REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère De L'Enseignement Supérieure Et de La Recherche Scientifique

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES SCIENCES



Thèse de Mémoire
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière
Agronomie

Spécialité
Phytopathologie

Présenté par :

- **Chaimaa BOUYAHIA**
- **Anfal MEZHOUD**

RÉPONSE ÉCOPHYSIOLOGIQUE DES PLANTULES DE TOMATE AUX STRESS ABIOTIQUE

Soutenue publiquement le : 02/ 07/ 2022

Membres du Jury :

• M.Salah HANINI	Pr. Université de Médéa	Examinateur2
• Mme. Fatima zohra TCHAKER	MCA. Université de Médéa	Examinateur1
• Mme. Amel BOUZIDI	MCB. Université de Médéa	Promotrice
• M. Nabil TOUZOUT	Doctorant. Université de Mostaganem	Co-promoteur

Année universitaire

2021/2022

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire De mon adorable chère cousin Nadjme el-ddine que je dois tout
Que Dieu ait son âme dans son vaste paradis.

Aux trois êtres qui n'ont cessé de se Sacrifier pour que je réussisse :

Ama mère ♡ Fatiha♡ qui a œuvré pour ma réussite par son amour son soutien tout au long de mes études, pour ses précieux conseils, et sa bienveillance dans ma vie.

Amon père ♡Foudil♡l'homme d'exception pour le soutien et l'aide qu'il m'a apporté sans cesse.

Ama 2éme mère ♡Fatima ♡qui a éclairé ma vie. Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles, qui peut être fière de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'avancer dans la vie.
Que ce modeste travail, soit l'exaucement de vos veux tant formulés et de Vos prières quotidiennes.

A mes très chers frères Mohamed Reda et Akrem.

A mon grand-père ♡Mohamed ♡que DIEU lui prête vie et bonne santé inchalleh.

Atous les membres de ma grande famille Bouyahia et Hachelaf.
Aceux qui étaient toujours en ma compagnie, cheminant ensemble les divers domaines et les sentiers de la vie, mes belles chéries: Hayet, Hadil et Bouthaina.
A ma copine, ma sœur, Ines qui malgré la distance est restée toujours dans mon cœur merci pour ces meilleurs moments passés ensemble.
A monami ghanou.
*A tous les étudiants de la promotion **2021/2022** Option : Phytopathologie.*
Je cite en particulier : Ma chère copine et binôme Anfel, pour sa patience envers mes crises, sa gentillesse et sa compréhension, merci pour cette belle amitié et des Moments agréables que nous avons passés ensemble.

Vous occupez tous une place particulière dans mon cœur. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux, plein de bonheur et de succès.

Chaimaa…….

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

Ames très chers parents mes forces et mes sources de valeurs.

Ames grand-mères, que DIEU les gardes et leur prête en bonne santé et longue vie.

A mes sœurs Aya, Kaouthar je leur souhaite de réussir dans leur vie.

A mon petite frère Mohamed Nadjib

A toute la famille Mezhoud et Rouabhia

A mon binôme chaima Nous avons passé un bon moment

A tous les étudiants de la promotion Phytopathologie 2021/2022

A toute personne chère à mon cœur et à tous ceux et toutes celles qui me connaissent et qui m'aime.

A tous ceux-là, je dédie ce fruit de mes efforts.

Anfal

Remerciement

Tous d'abord, louange à ***DIEU*** *le clément le miséricorde de nous avoir guidé donné le courage et la volonté de poursuivre nos études.*

Nous tenons aussi à demander notre encadreur ***MmeBouzidi Amel****, enseignante à l'université de Yahia Fers d'avoir eu la gentillesse et la patience pour assistance tout long de ce travail, de nous prodigué aide pour pouvoir terminer à bien notre travail.*

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de ***Mr Touzout Nabil****, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

Nous exprimons aussi toute notre gratitude et de remercier ***PrHANINI Salah*** *et* ***Mme TCHAKERFatima Zohra****pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Enfin un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué de prés comme de loin, au bon déroulement de l'étude.

A nos amis et toute la section de

Master 2 phytopathologie

Liste des abréviations

- **%:** pourcentage
- **µl :** microlitre
- **ABA :** Acide Abscissique
- **C° :** degré celsice
- **Ca^{2+} :** calcium
- **CE:** Conductivité électrique
- **CEC :**Capacité d'échanger Cationique
- **cK :** Témoin
- **Cl^- :** Chlore
- **CO_2:** Dioxyde de carbone
- **ds :** unité de mesure de conductance électrique du système internationale
- **DTNB:** Dystrobervine beta
- **eps :** Education physique sportive
- **ERO:** Espèce réactive de l'oxygène
- **FAO:** Food and Agriculture Organization of the united nation
- **Hco^{3-} :** Bicarbonate
- **HR:** Humidité relative
- **INVP:** Institut nationale des protections végétales
- **K^+ :** Azote
- **KH_2PO_4 :** Phosphate de Potassium monobasique
- **Km :** kilomètres
- **M^3:** mètre cube
- **Mg^{2+} :** Magnésium
- **mM:** milimole
- **MPa :** unité de pression ou de contrainte valant un million de pascals
- **MS :** Matière sèche
- **N :** azote
- **Na^{2+} :** Sodium
- **NaCl :** Chlorure de sodium
- **Nm :** nanomètre
- **P:** Phosphore
- **PH :** Potentiel Hydrogène
- **Ppm :** partie par million
- **Si :** Silicium
- **SiO_2 :** Dioxyde de silicium
- **SO^{2-}_4 :** Dioxyde se soufre
- **T :** tonne
- **T° :** température
- **Vol :** Voliam Flexi. 300 SC (Insecticide)

Liste des figures

Figure 1 : Plante de tomate à maturité **(Si Mohammed, 2010)** **03**

Figure 2 : la production mondiale **(FAO stat, 2012).** **04**

Figure 3 : Le cycle de la tomate comprend cinq phases **(Studylibfr.com)** **06**

Figure 4 : Mécanismes proposés expliquant la réduction significative de l'ion sodium (Na+) dans les parties aériennes lors de la supplémentassions en silicium (Si) **19**

Figure 5 : Diagramme schématique montrant la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et le rôle des enzymes de piégeage des ERO définissant la salinité dérivée du silicium tolérance chez les plantes. Superoxyde dismutase - SOD ; catalase Chat ; ascorbate peroxydase - APX ; peroxydase – POD **21**

Figure 6 : Effe**t** des différents traitements sur la teneur en pigments photosynthétiques dans les plantules de tomate **32**

Figure 7 : Effet des différents traitements sur le niveau de malonyldialdéhy de (MDA) dans les plantules de tomate **33**

Figure 8: Effet des traitements sur la tenure en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) dans les plantules de tomate **34**

Figure 9: Effet des traitements sur l'activité de Catalase (CAT) Dans les plantules de tomate **35**

Figure 10 : Effet des traitements sur l'activité Ascorbate peroxydase (APX) dans les plantules de tomate **36**

Figure 11 : Effet des traitements sur l'activité de Glutathion S-transférase (GST) dans les plantules de tomate **36**

Figure 12 : Effet des traitements sur la teneur en Glutathion (GSH) dans les plantules de tomate **37**

Figure 13 : Effet des traitements sur la tenure de proline dans les plantules de tomate **38**

Figure 14 : Effet des traitements sur l'activité de phénol total (PPT) dans les feuilles de tomate **38**

Figure 15 : Effet des traitements sur La teneur en flavonoïde dans les feuilles de tomate **39**

Liste des tableaux

Tableau 01 : la classification de tomate **IPNI, 2005 FAO, 2007** **04**

Tableau 02 : les exigences climatiques, pédologiques et hydriques de la culture des tomates **05**

Tableau 03 : présente les informations de voliam flexi 300 SC **23**

Tableau 04 : Composition de la solution nutritive **24**

Tableau 05 : Effet des différents traitements sur la biomasse des racines et des pousses des plantules de tomate **31**

Tableau 06 : Effet des différents traitements sur la longueur des racines et des pousses des plantules de tomate **32**

Sommaire

Dédicace
Remerciement
Liste des abréviations
Liste des figures
Liste des tableaux
Sommaire
Résumé
Abstract
ملخص
Introduction générale

Chapitre Ⅰ:Etude Bibiographique

Ⅰ.1 Historique : 3

Ⅰ.2 Description botanique : 3

Ⅰ.2.1 Position systématique de la tomate : 4

Ⅰ.3 La production de la tomate : 4

Ⅰ.3.1 La production mondiale : 4

Ⅰ.3.2 Au niveau Algérie :
Erreur ! Signet non défini.

Ⅰ.4 Exigence de la culture de la tomate :
Erreur ! Signet non défini.

Ⅰ.5 Cycle biologique de la tomate :
Erreur ! Signet non défini.

Ⅱ.1 Notion de Stress : 7

Ⅱ.2 Types de stress : 7

Ⅱ.2.1Stress biotique : 7

Ⅱ.2 .2 Stress abiotique : 8

Ⅱ.2 .2 .1 Stress Salin : 8

Ⅱ.2 .2.1.1 Introduction : 8

Ⅱ.2 .2.1.2 Effet de la salinité sur les plantes : 9

Ⅱ.2 .2.1.2.1 Effet de la salinité sur la morphologie : 9

Ⅱ.2 .2.1.2.2 Effet de lasalinité sur la physiologie de la plante : 9

- L'effet osmotique : 9
- L'effet de la salinité sur la germination : 9

- L'effet de la salinité sur la photosynthèse :10

Ⅱ.2 .2.1.2.3 Effet de la salinité sur la biochimie de la plante : 10

Ⅱ.2 .2.1.3 Réaction de la plante au stress salin :
Erreur ! Signet non défini.

Ⅱ.2 .2.1.3.1 Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité : 10

Ⅱ.2 .2.1.3.2 Adaptation des végétaux à la salinité : 11

Ⅱ.2 .2.1.3.2.1 Adaptations morphologique : 11

Ⅱ.2 .2.1.3.2.2 Adaptation physiologique : 12

- L'augmentation de la teneur des sucres solubles : 12
- L'accumulation de proline : 12

Ⅱ.2 .2.2 Les pesticides :
Erreur ! Signet non défini.

Ⅱ.2 .2.2.1 Notion sur les pesticides :
Erreur ! Signet non défini.

Ⅱ.2 .2.2.2 Absorption, transport et persistance des pesticides dans les plantes :
Erreur ! Signet non défini.

Ⅱ.2 .2.2.3 Classement des pesticides : 14

Ⅱ.2.2.2.4 Effet des pesticides sur les végétaux : 14

Ⅱ.2.2.2.5 Mécanismes de réponses des plantes aux stress xénobiotiques : 15

1. Rôle du xénomevégétal dans la tolérance des plantes aux xénobiotiques : 15

2. Mécanismes anti-oxydants de tolérance des plantes aux xénobiotiques: 15

3. Mécanismes de résistance des plantes aux xénobiotiques : 16

Ⅲ.Le silicium : 18

Ⅲ.1 L'absorption et transporté dans les plantes : 18

Ⅲ.2 Le Silicium et le stress abiotique : 18

Ⅲ.2.1 Effet dusilicium sur l'absorption et le transport de Na^+ et K^+ : 18

Ⅲ.2.2 Modulation par le silicium du métabolisme secondaire sous stress végétal : 19

Ⅲ.3 Le rôle du nano-Si dans la réduction du stress et l'amélioration de la germination: 20

Ⅲ.4 Réponse anti-oxydante médiée par le Si chez les plantes sous le stress : 20

Partie Expermentale

chapitre Ⅱ:Matériel et Méthodes

Ⅰ Objectif de travail : 22

Ⅱ Matériels : 22

Ⅱ.1 Matériel végétale : 22

Ⅱ.2 Matériel chimique : 22
Ⅱ.2.1 Le pesticide : 22
Ⅱ.2.2 Le Chlorure de sodium: 23
Ⅱ.2.3 Le Silicate de sodium : 23
Ⅱ.3 Autre matériel: 23
Ⅲ Méthodologie : 23
Ⅲ1 Analyse morphologique : 24
Ⅲ1.1 Production de la biomasse : 24
Ⅲ.2 Analyse physiologique : 24
Ⅲ.2.1Teneur en pigments chlorophylliens : 24
Ⅲ.3 Analyse biochimique : 25
Ⅲ.3.1 Analyse des Biomarque de stress : 25
Ⅲ.3.1.1 Teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2): 25
Ⅲ.3.1.2 Teneuren malonyldialdéhyde (MDA): 25
Ⅲ.3.2 Analyse des enzymes antioxydants : 26
Ⅲ.3.2.1 Extraction des enzymes (Catalase "CAT", Ascorbate peroxydase "APX" et Glutathion-s-transférase "GST": 26
Ⅲ.3.2.1.1 Détermination de l'activité des enzymes : 26
- Catalase (CAT) : 26
- Ascorbate peroxydase (APX) : 26
- Glutathion S-transférase (GST) 27

Ⅲ.3.3 Dosage des métabolites Antioxydants : 27
Ⅲ.3.3.1 Glutathion réduit (GSH): 27
Ⅲ.3.3.2 Phénol total (PPT) : 27
Ⅲ.3.3.3 Flavonoïdes : 27
Ⅲ.3.3.4 Teneure en proline : 28
Ⅳ Analyses statistiques: 29
Chapitre Ⅲ Résultats et Discussions
Ⅰ Résultats : 30
Ⅰ.1 Effet des traitements sur la biomasse des pousses et des racines de plantule de tomate 30
Ⅰ.2 Effet des traitements sur la longueur des pousses et des racines de tomate : 31
Ⅰ.3 Effet des traitements sur teneur en pigments Photosynthétiques : 32
Ⅰ.4 Effet des traitements sur le niveau de malonyldialdéhyde(MDA) dans les plantules de

tomate : 32
Ⅰ.5 Effet des traitements sur la tenure en peroxyde d'hydrogène(H_2O_2) dans les plantules de tomate : 33
Ⅰ.6 Effet des traitements sur l'activité des enzymes antioxydant dans les plantules de tomate : 34
Ⅰ.6.1 Catalase (CAT) : 34
Ⅰ.6.2 Ascorbate peroxydase (APX) : 35
Ⅰ.6.3 Glutathion S-transférase (GST) : 36
Ⅰ.7 Effet des traitements sur la teneur en métabolites antioxydantes dans les plantules se Tomate : 37
Ⅰ.7 .1 Glutathion (GSH) : 37
Ⅰ.7.2 Proline : 37
Ⅰ 7.3 Les polyphénols totaux (PPT) : 38
Ⅰ 7.4 Flavonoïde : 39
Ⅱ Discutions : 40
Conclusion : 43
Perspectives : 44
Références bibliographique : 45

Résumé

Cette étude a exploré les mécanismes physiologiques sous-jacents aux réponses des plantules de tomate au stress salin/pesticide, également en combinaison avec l'application exogène de silicium (Si). Le traitement au silicium a été appliqué en hydroponie simultanément avec l'exposition au sel aussi en hydroponie, et la pulvérisation de l'insecticide. Pour comprendre l'effet de la salinité (NaCl), de voliam flexi(VOL), de leur combinaison NaCl+VOL et du traitement au silicium, différentes déterminations analytiques, physiologiques et biochimiques ont été effectuées. Une salinité élevée (150 Mm) a induit une diminution générale de la croissance et de la teneur en chlorophylle. En particulier, l'application combinée de NaCl et de VOL augment encore cette inhibition. L'application de Si a contrecarré l'inhibition de la croissance et la réduction du taux de chlorophylle des plants de tomate induite par le polluant en améliorant leur croissance. La concentration de malonyldialdéhyde a été stimulée par la salinité et/au voliam indique que les plantules souffrent d'un stress oxydatif. Les analyses des enzymes et métabolites de piégeage des espèces réactives de l'oxygène ont montré une régulation positive en réponse à la salinité et/ou voliam. L'application de Si a amélioré la défense des plantules de tomate soumises à des conditions de stress.

Mots clés : Tomate, salinité, pesticides, voliam, stress oxydatif, système antioxydants, silicium.

Abstract

This study explored the physiological mechanisms underlying the responses of tomato seedlings to salt/pesticide stress; also in combination with the exogenous application of silicon (Si).The silicon treatment was applied in hydroponics simultaneously with the exposure to salt also in hydroponics, and the spraying of the insecticide. To understand the effect of salinity (NaCl), voliam flexi (VOL), their combination NaCl+VOL and silicon treatment, different analytical, physiological and biochemical determinations were performed.

High salinity (150 Mm) induced a general decrease in growth and chlorophyll content. In particular, the combined application of NaCl and VOL further increases this inhibition. The application of Si counteracted the pollutant-induced growth inhibition and reduction in chlorophyll level of tomato plants by improving their growth. The concentration of malonyldialdehyde was stimulated by salinity and/or voliam indicates that the seedlings suffer from oxidative stress. Analyzes of reactive oxygen species scavenging enzymes and metabolites showed upregulation in response to salinity and/or voliam. Application of Si improved the defense of tomato seedlings under stress conditions.

Keywords: Tomato, salinity, pesticides, voliam, oxidative stress, antioxidants system, silicon.

الملخص

استكشفت هذه الدراسة الآليات الفسيولوجية الكامنة وراء استجابات شتلات الطماطم لإجهاد الملح / مبيدات الآفات، وكذلك بالاشتراك مع التطبيق الخارجي للسيليكون (Si).تم تطبيق معالجة السيليكون في الزراعة المائية بالتزامن مع التعرض للملح أيضًا في الزراعة المائية، ورش المبيد الحشري. لفهم تأثير الملوحة ((voliam flexi (VOL،NaCl) ،توليفة كل من NaCl + VOLو معالجة السيليكون، تم إجراء تحليلات مختلفة وفسيولوجية وكيميائية حيوية.أدت الملوحة العالية (150 ملم) إلى انخفاض عام في النمو ومحتوى الكلوروفيل. على وجه الخصوص ،يزيد التطبيق المشترك لـ NaCl و VOL من هذا التثبيط.

أدى تطبيق Si إلى إعاقة النمو الناتج عن الملوثات وتقليل مستوى الكلوروفيل في نباتات الطماطم من خلال تحسين نموها.تم تحفيز تركيز malonyldialdehydeعن طريق الملوحة و / أو يشير voliam إلى أن الشتلات تعاني من الإجهاد التأكسدي. أظهرت تحليلات أنواع الأكسجين التفاعلية التي تزيل الإنزيمات والمستقبلات انتفاخًا في الاستجابة للملوحة و / أو الفوليام. أدى تطبيق Si إلى تحسين الدفاع عن شتلات الطماطم تحت ظروف الإجهاد.

الكلمات المفتاحية: الطماطم; الملوحة; المبيدات الزراعية; فوليام; الاجهاد التأكسدي; مضادات الاكسدة; السليسيوم.

Introduction général

Introduction

La tomate occupe la 2èmeplace dans le monde entier, après la pomme de terre. Car qui est l'un des légumes les plus importants dans l'alimentation humaine et qui se consomme frais ou transformés. La plante est cultivée en plein champs au sous abri sous presque toutes les altitudes sur superficie d'environ 3 millions d'hectares, ce qui représente du 1/3 des surfaces mondiales consacrés aux légumes (**Brault, 2005**). Les producteurs de tomates sont confrontés à d'importantes pressions de condition environnementale dans les plantations puisqu'elle est très sensible par les changements de leurs conditions favorables, et des grands problèmes phytosanitaires causés par l'utilisation des substances chimiques, telle que les pesticides.

Actuellement, les changements des conditions environnementales sont l'un des facteurs les plus importants affectant les plantes et leur croissance normale, ils est provoquant ce que l'on appelle le stress abiotique, les facteurs abiotique sont ceux liés à l'action du non-vivant sur le vivant ils sont dû principalement à des facteurs environnementaux **(Lezzar Et Meziani, 2015)** , comme la salinité est parmi des majeurs facteurs limitant la production végétale, et à influencée les différents paramètres de croissance chez les plantes à plusieurs stades (la germination, la photosynthèse…)(**Abdelly et *al.*, 2008).**

La salinité est liée étroitement avec les cations Na^{+}, Ca^{+2} et Mg^{+2}. Le NaCl est le sel le plus important parce que le Na^{+} et le Cl^{-}sont toxiques pour les plantes quand ils sont accumulés avec forte concentration (**Kaewanee et *al*., 2013).**

Selon (**Flowers et Flowers, 2005**) 20% des terres irriguées et 50% des terres cultivées dans le monde sont affectées par la salinisation, et d'après (**Drouhin, 1961)** l'Algérie est un pays de sels. Par ailleurs (**Dauod et Halitim, 1994**) notent qu'en Algérie la salinisation suite à l'irrigation avec des eaux minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètres irrigués notamment en milieu saharien.

A l'autre côté, chaque année des milliers de tonnes d'intrants chimiques (engrais, pesticides) sont utilisés dans l'agriculteur intensif, le but de cette utilisation parfois de manière même abusive est de maximiser les rendements et la productivité au niveau des parcelles cultivées. Contrairement à certains avantages, les effets négatifs sont énormes. Les pesticides sont présents dans nos aliments plus que 50% des fruits et des légumes, les plantes

Sensibles ou stressées peuvent être extrêmement vulnérables à la phytotoxicité. L'utilisation excessive de pesticide est l'un des principaux facteurs de la toxicité, d'après **(Xia et *al.*, 2006 ; Sharma et *al.*, 2015)** l'application des pesticides affectés négativement la croissance et le développement des plantes et provoque un stress oxydatif entraîne une dégradation du pigment chlorophyllien des protéines et entraîne finalement une réduction de l'efficacité photosynthétique des plantes.

Face à ce stress abiotique notamment le stress salin et le stress pesticides, il y'a une information dit que les plantes avec une forte concentration de silicium dans les racines ou les feuilles présentent une meilleure tolérance aux stress abiotique tels que la salinité et ou la toxicité des pesticides. Selon **(Almutairi, 2006 ; Haghighi et *al.*, 2012 ; Haghighi et Pourkhaloee, 2013)** l'application de si et nano-si améliorée la photosynthèse, la germination, la conductance du mésophile et l'efficacité de l'utilisation de l'eau chez la tomate.

La pollution par les pesticides se produit souvent avec la salinité des sols. Le silicium (SI) induit une tolérance des plantes à plusieurs stress abiotiques, notamment le stress du pesticide (VOL) et du Salinité (NaCl). Cependant, le rôle de SI dans l'amélioration du stress induit par la co-contamination VOL + NaCl est inconnu. Ici, les effets interactifs du VOL, du NaCl et du SI ont été étudiés dans des plantules de tomates.

Comment la plante a réagi sous le stress abiotique ? Et est-ce qu'il y'a des effets bénéfiques du silicium sur celui-ci en présence de stress ?

Notre travail est structuré comme suit :

- Une introduction générale
- Un chapitre bibliographique de 3 sous chapitres distincte, dans le premier un aperçu général sur la plante de tomate, le seconde une généralité sur le stress abiotique précisément le stress salin et leur effet plus l'utilisation des pesticides avec la réponse écophysiologique de les plantes sous les factures de stress abiotique et le 3èmeest une information générale sur le silicium et son rôle dans les plantes.
- Une partie expérimentale est composé 2 chapitres, l'un est consacré au matériel biologique et chimique utilisé dans cette expérience, il comporte aussi la méthodologie applicable.
- Le 3ème chapitre est consacré aux résultats obtenus et la discussion.
- Enfin, La conclusion et perspectives.

Chapitre I

Etude bibliographie

I.1 Historique :

L'Origine de la tomate est l'Amérique du sud, elle a été utilisée comme plante d'ornement avant d'être consommée comme un légume.

Les noms qui ont toujours été appelés " pomme d'amour " ou" pomme d'or ", le nom " tomate " n'ont été accepté par l'académie française des sciences qu'en 1835.

Le nom scientifique ***solanum lycopersicum*** signifie littéralement « pêche de loup » et fait référence au caractère toxique attribue initialement à ce fruit à cet aspect, en Angleterre, en suite tout au long du XVIe siècle aux États-Unis, de nombreuse personnes interdisaient la consommation de la tomate à cause des risques qu'elle pouvait occasionner sue la sante. **(Naika, 2005).**

I.2 Description botanique :

La tomate est une plante herbacée, annuelle, buissonnante ; elle a une taille variée entre 40 cm à plus de 5 mètre selon les variétés et le mode de culture **(Toussaint et Baudoin, 2010).** Les graines sont petites, avec un système racinaire très développé et pivotant et de nombreuse racines. Sa tige est pleine et anguleuse, pousse jusqu'à une longueur de 2 m à 4 m, Les feuilles sont composées, alternées, sans stipule, mesurant entre 15 à50 cm de long et 10 à 30 cm de large, le pétiole mesure de 3 à 6 cm, Les fleurs sont hermaphrodites, en grappe et généralement de couleur jaune et les fruits sont de forme globulaire ou platées avec un diamètre de 2 à 15 cm. La couleur des fruits murs varié du jaune ou rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés **(Polese, 2007).**



Figure 1 :plante de tomate à maturité **(Si Mohammed, 2010)**

I.2.1 Position systématique de la tomate :

Tableau 01 : la classification de tomate

Classification	
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	*Magnoliophyta*
Classe	*Magnoliopsida*
Sous-classe	*Asteridae*
Ordre	*Solanales*
Famille	*Solanaceae*
Genre	*Solanum*
Espèce	*Solanum lycopersicum*

SOURCE : IPNI, 2005 FAO, 2007

I.3 La production de la tomate :

I.3.1 La production mondiale :

La tomate est cultivée dans presque tous les pays du monde, sa production est repartie dans toutes les zones climatiques, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri, à l'échelle mondiale la tomate est classée deuxième culture légumière après la pomme de terre de par son volume de production, en effet, près de 5 millions hectares sont réservé annuellement à cette culture avec une production supérieure à 140 millions de tonnes et un rendement moyen de 28,3 tonnes à l'hectare production.

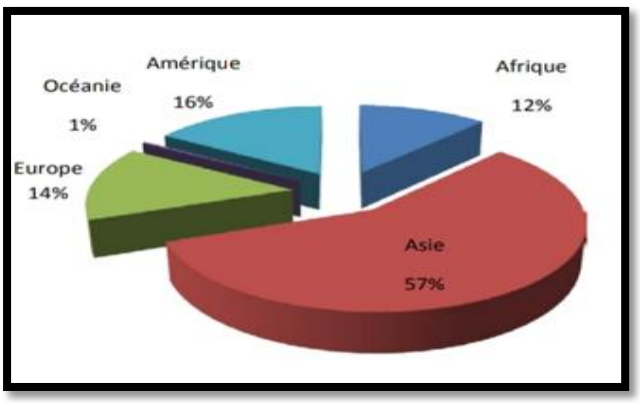


Figure2 :la production mondiale**(FAO stat, 2012)**

I.3.2 Au niveau Algérie :

Le sous-directeur du développement des filières végétales au ministère, a déclaré à l'Algérie presse service (APS) que la filière de la tomate industrielle a enregistré des « performances records » au cours des dernières années, notamment lors de la dernière campagne qui s'est soldée par une production nationale de plus de 23 millions de quintaux, contre 16,5 millions quintaux en 2019 et 9,2 millions quintaux en 2013. Avec une superficie de production passant à 24 800 hectares.

A ce titre, l'existence de cinq pôles principaux de production en Algérie, à savoir Skikda (500 km à l'est d'Alger), El-taraf (595 km à l'est d'Alger), Guelma (500 km au sud-est d'Alger), Ain-defla (120 km, un peu plus au sud), Annaba (549,6km à l'est d'Alger), en plus de quelque pôle émergeant, tels que Chleff (210 Km à l'ouestd'Alger).

Toujours en termes de performances, le responsable a évoqué l'amélioration de la productivité avec un pic qui a atteint les 1 300 quintaux /hectare à Ain-defla, avec un rendement national qui avoisine les 800 quintaux/hectare en 2021, contre 500 quintaux/hectare en 2013.

Par ailleurs aucune importation n'a été enregistrée pour ce produit durant les cinq dernières années (2018 à 2022). **(Algérie Presse Service, 2021).**

I.4 Exigence de la culture de la tomate :

Tableau 02 : les exigences climatiques, pédologiques et hydriques de la culture des tomates

Exigences climatiques	**La température** -18 à 25 °C par le jour. -15 à 16 °C par la nuit. **(Lambert, 2006)**	**L'humidité relative** 60 % à 65 % convient à tous les stades. **(Chibane, 1999)**	**Luminosité** Photopériode de 14 à 18 heurs/jour. **(Naika et *al.*, 2005)**
Exigences pédologiques	**La température** Minimale de 15°C **(Elmhurst, 2006)**	**L'humidité de sol** Très grande pendant toute la végétation, environ 80%.**(Heller, 1981)**	**PH de sol** Entre 6 et 7. **(Chaux et Foury, 1994)**
Exigences hydriques		**Besoin en eau** Entre 4000et6000m^3/ha **(Benterelsen, 1980)**	

I.5 Cycle biologique de la tomate :

Chez la tomate, la durée du cycle végétatif complet varie selon : les variétés l'époque et les conditions de culture. Il s'étend généralement de 3,5 à 6 mois, du semis jusqu'au dernier récolte. **(Gallais et Bannerot, 1992)**

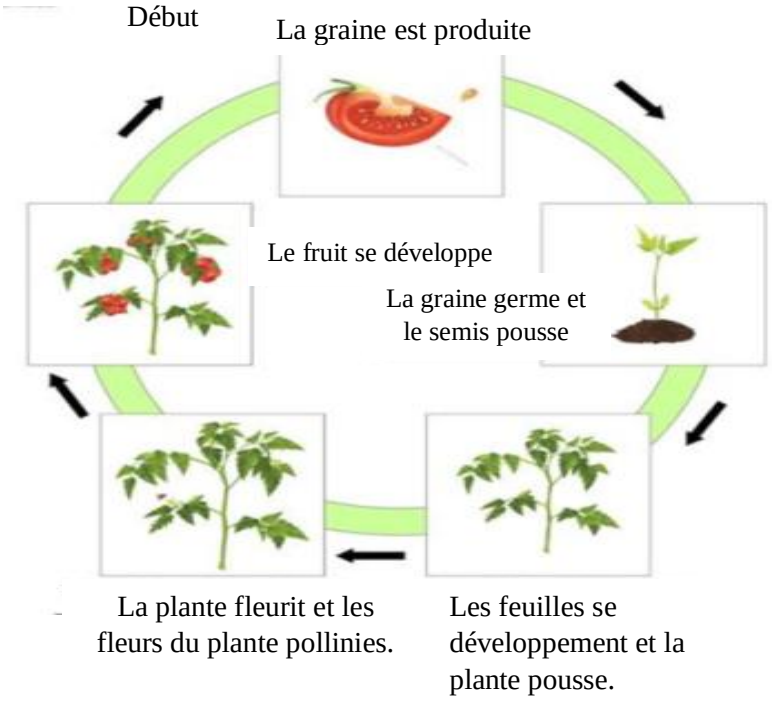


Figure3 : Le cycle de la tomate comprend cinq phases **(Studylibfr.com).**

II.1 Notion de Stress :

Claude Bernard fut le premier à dégager une notion physiologique du stress en1868. Selon lui, les réactions déclenchées par le stress visaient à maintenir l'équilibre denotre organisme. L'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par lephysiologiste Américain **(C.W. Bradford,1915).** L'association de ces trois notions stress homéostasie adaptation constitue l'approche biologique du stress et permet notammentd'expliquer l'influence du stress qui est de permettre, lorsqu'il est appliqué dans certaineslimites, l'adaptation à l'environnement, et donc au maintien de la vie.

En revanche ce terme lorsqu'il est utilisé en biologie végétale, a des connotations particulières, il représente le facteur responsable des perturbations, et des changements, plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante subie au cour de son développement **(Bouchoukh, 2010).**

En effet, le stress signifie la déviation dans le développement et les fonctions normaux de la physiologie des plantes, il est perçu au niveau cellulaire puis transmis à la plante entière. Le changement dans l'expression des gènes qui s'ensuit modifie la croissance et le développement, et influence les capacités reproductives de la plante, Causant ainsi des dommages aux plantes **(Benkoli et Bouzeghaia, 2016).**

La plante accomplie le retour à la stabilisation et les réactions de répartition par un réajustement d'états adaptés et le maintien de grands pouvoirs de résistance, qui font tous appel à une énergie additionnelle et métabolite.

Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètreenvironnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stressbiotiques et les stress abiotiques**(Levitt, 1980 ; Zhu, 2002 ; Vincent, 2006).**

II.2Types de stress :

La plante et la plupart de ses cellules sont directement exposées aux changements des Conditions environnementales qui peuvent être de deux natures distinctes **:**

II.2.1Stress biotique :

Ce terme représente la totalité des paramètres physico-chimiques ou biologiques qui découlent de l'existence de l'action des êtres vivants. Les facteurs biotiques caractérisent donc l'ensemble des influences qu'exercent les êtres vivants entre eux et sur leur milieu (**Ramade, 2003).**

II.2 .2 Stress abiotique :

Il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les Températures extrêmes, excès d'eau et la salinité **(Hopkins, 2003).**

Le stress abiotique est défini comme l'impact négatif des facteurs non vivants sur des organismes vivants dans un environnement spécifique. Les facteurs de stress abiotique, naturels ou anthropiques, influent négativement sur la performance de la population ou la physiologie des individus **(Vinebrooke et*al*., 2004)**. Ils causent des dommages aux végétaux et aux animaux mais les plantes sont plus affectées du fait qu'elles dépendent des facteurs environnementaux.

Divers stress abiotiques sont disponibilité d'eau (sécheresse et inondation). Les températures extrêmes (froid, gel, chaleur), la salinité, les carences nutritionnelles et la Structure des sols etc. La salinité et la sécheresse sont les deux majeurs limitant

Le développement des plantes. Ils imposent aux plantes un stress osmotique qui perturbe la structure cellulaire et les fonctions physiologiques **(Larcher.2003).**

II.2.2.1 Stress Salin :

II.2.2.1.1Introduction :

La salinité est un problème écologique croissant dans le monde entier, ce phénomène est considéré comme un processus majeur de la dégradation des terres **(Ben Yahmed, 2013)**. Le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions, mais pas exclusivement aux ions Na^+ et Cl^- **(Ibrahim *et al.*,2013)**.

La salinité se rencontre en de nombreuses zones arides et semi arides du bassin Méditerranéen**(Drevon et *al*., 2001).**En Algérie les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à : l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel et la conduite empirique des irrigations. Le fort ensoleillement et la faible pluviométrie font accumuler les sels dissous en surface.

La salinité des sols est caractérisée par une forte concentration de sels solubles. Les sols sont classés comme salins où la conductivité électrique d'un extrait de pâte saturée à 25°C (CEeps) est égale ou supérieure à 4 dS/m ou plus **(USDA-ARS, 2008),** ce qui équivaut à environ 40 mM de NaCl et génère une pression osmotique d'environ 0,2 MPa. Cette définition de la salinité qui dérive de la CEeps, réduit considérablement le rendement de la plupart des espèces cultivées.

II.2 .2.1.2Effet de la salinité sur les plantes :

II.2 .2.1.2.1 Effet de la salinité sur la morphologie :

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques mais c'est le poids de la matière sèche et la longueur des tiges qui représentent la meilleure tolérance ou la sensibilité des plantes aux sels **(Burnet*al*., 1980).**

La comparaison des plantes vivantes dans un milieu non salé et celles des milieux salés, montre que les fortes concentrations de sels solubles dans l'environnement racinaire provoquent la formation de plantes naines ainsi qu'une germination lente chez certaines espèces **(Elmekkaoui, 1987).**

Les racines sont moins affectées par la salinité que la partie aérienne. En effet, un jaunissement apparaît sur les jeunes feuilles. Il peut se former des décolorations ou des brûlures dues à la toxicité des sels à fortes doses **(Cherfaoui, 1997 in Ziani, 2001)**. Les chercheurs ont constaté que la surface foliaire est réduite sous stress salin **(Benaceuret*al*., 2003)**.

D'une manière générale, la salinité a tendance à être plus nuisible par temps chaud et sec que par temps fraisent humide **(Aubert, 1978).**

II.2 .2.1.2.2 Effet de la salinité sur la physiologie de la plante :

- **L'effet osmotique :**

C'est la diminution de la disponibilité de l'eau pour le végétal due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol. Ajoute que les effets osmotiques du stress salin peuvent limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol **(Jabnoune, 2008).**

- **L'effet de la salinité sur la germination :**

La germination des graines est une étape importante et vulnérable pour le cycle de développement des angiospermes terrestres et de déterminer l'établissement du semi et la croissance des plantes.

La salinité des sols constitue un facteur limitant en agriculture, car elle inhibe la germination et le développement de la plantule. Le chlorure de sodium présent dans le sol retarde la germination des graines **(Siddikee et *al*., 2015).** La présence de NaCl dans la solution nutritive freine la germination d'autant plus que la concentration saline est élevée **(Saeed et *al*., 2014**).

Le stress salin peut affecter la germination de deux façons :

- En diminuant la vitesse d'entrée et la quantité d'eau absorbée par les graines

- En augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans les graines à desdoses qui deviennent toxiques.

- **L'effet de la salinité sur la photosynthèse :**

L'intensité et l'étendue de la salinité ont un effet significatif sur les pigments photosynthétiques des feuilles et entraînent une altération du métabolisme **(Tang et *al.*, 2013).**

L'impact de la salinité sur les pigments photosynthétiques varie d'une plante à l'autre **(Ashraf et Harris, 2013).** Des recherches antérieures sur les génotypes de blé ont indiqué que le sel provoquait une baisse significative de la conductance stomatique **(James et *al.*, 2008).** La fermeture des stomates entraîne la diminution du CO_2 interne, ce qui réduit l'activité de nombreuses enzymes, limitant ainsi la carboxylation et abaissant la production photosynthétique nette **(Chaves et *al.*, 2009).**

II.2 .2.1.2.3Effet de la salinité sur la biochimie de la plante :

Dans les conditions salines, il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse. Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité **(Alem et Amir, 2005)**.

Aspinal et **Pale(1981)** signalent que la proline est l'acide aminé le plus caractérisé des plantes soumises au stress salin. L'importance de la proline comme indicateur aux agressions semble jouer un rôle dans le maintien des pressions sol-vacuole, mais aussi dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, ainsi qu'un régulateur de pH. **(ALEM et AMRI, 2005)**.

II.2 .2.1.3 Réaction de la plante au stress salin :

Pour comprendre les mécanismes physiologiques responsables de la tolérance à la salinité chez les espèces végétales, il est nécessaire de savoir si leur croissance est limitée par l'effet osmotique du sel dans le sol, ou l'effet toxique du sel dans la plante. Dans la plus simple analyse de la réponse d'une plante au stress salin, la réduction de la croissance se déroule en deux phases selon **(Munns, 2005)** : une réponse rapide à l'augmentation de la pression osmotique externe, et une réponse plus lente due à l'accumulation de Na^+ dans les feuilles.

II.2 .2.1.3.1 Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité :

Le paramètre le plus pertinent pour évaluer la tolérance à la salinité est la croissance

ou lerendement, en particulier à des niveaux de salinité modérés **(Allen et *al*., 1994).** Il est important de noter que la tolérance d'une plante à la salinité est annulée par une exposition soudaine à ce stress, même si cette plante appartient à une espèce caractérisée comme tolérante**(Albert et *al*., 1975).**

Les plantes sont classées en deux groupes pour ce qui concerne la tolérance à la salinité: les halophytes qui sont capables de se développer en présence de forts niveaux de salinité, et les glycophytes, dont la croissance est rapidement inhibée par un environnement salin**(Ruan et *al*., 2010).**

De façon opérationnelle, on distingue deux stratégies chez les plantes pour s'adapter à la salinité : la stratégie appelée "exclusion" ou la stratégie appelée "inclusion".

Dans le premier cas, les plantes dites "excluders" s'adaptent à la salinité en exprimant des mécanismes permettant de limiter l'entrée et l'accumulation de Na^+ dans les racines et les parties aériennes.

Dans le second cas, les plantes appelées "includers" expriment des mécanismes permettant une accumulation significative d'ions Na^+, essentiellement dans les vacuoles, où ces ions participent à l'ajustement osmotique des tissus. De façon générale, la stratégie d'inclusion conduit aux niveaux de tolérance les plus élevés **(Munns et *al*., 2006 ; Volkov,2015).**

Une autre propriété impliquée systématiquement dans la tolérance à la salinité est la capacité à contrôler l'accumulation de Na+ dans les parties aériennes par"déssalage" de la sève xylémienne ou "recirculation" des ions Na+ par la sève phloémienne , des feuilles vers les racines **(Munns et Tester, 2008; Flowers, 2010; Aslam, 2011; Hasegawa, 2013; Roy et *al*., 2014; García-Caparrós, 2016) .**

Enfin, la tolérance à la salinité implique aussi systématiquement une grande diversité de mécanismes biochimiques, permettant par exemple de limiter les conséquences du stress oxydatif déclenché par le stress ionique, ou conduisant à la synthèse d'osmotiques organiques compatibles avec le métabolisme cytoplasmique **(voir par exemple Ashraf, 2009)**.

II.2 .2.1.3.2 Adaptation des végétaux à la salinité :

II.2 .2.1.3.2.1 Adaptations morphologique :

Selon **Hamza (1982),** les plantes manifestent des adaptations diverses en présence d'unexcès de sel, un allongement faible des organes, un raccourcissement des entres nœuds et une réduction de la surface foliaire. Les différentes parties de la plante ne réagissent pas de la

même façon en milieu salin. La longueur des racines commence à diminuer **(Levigneron et*al*., 1995).**

II.2 .2.1.3.2.2 Adaptation physiologique :

La diminution du flux d'eau à travers la plante montre que l'action du sel présente les mêmes symptômes avec la sècheresse.

La plante pour survivre à divers stress hydrique, salin ou thermique doit réaliser des réactions sous forme d'accumulation de composés organiques. L'acide abscissique (ABA) hormone qui est synthétisée dans ces situations de stress salin, cette dernière contribue à la fermeture des stomates, stimule l'assimilation, l'absorption d'eau par les racines et la formation des racines latérales et des poils absorbants.

- **L'augmentation de la teneur des sucres solubles :**

Le taux des sucres augmente considérablement chez les plantes soumises aux différents types de stress, cela a été vérifié par **(Chungyang, 2001**). Les espèces résistantes au stress salin, ont un taux élevé de sucres solubles résultant d'un blocage de la glycolyse **(Lessani, 1969 in Hadjari, 1999).** Les principaux sucres accumulés sont le glucose, fructose et le saccharose **(Hare *et al.*, 1998).**Ils jouent un rôle dans le maintien de la pression de turgescence qui est la base de différents processus contrôlant l'activité d'une plante.

- **L'accumulation de proline :**

De nombreuses études, sur les halophytes ont mis en évidence une accumulation d'acides aminés libres notamment la proline **(Hubac *et al*.,1969 ; Stewart, 1979).**

La proline à un rôle osmotique dans le cytoplasme **(Batamouny, 1993).**La quantité de proline augmente suite à l'hydrolyse de protéines stockées sous l'effet du sel**(Levit, 1972).**Selon **Hadj Khelil Aminata(2001),** quelques aspects de la tolérance de la tomate à la salinité ont été étudiés ; les jeunes feuilles bénéficient d'une protection accrue, celles-ci en contrepartie accumulent des sucres solubles et de la proline qui contribuent à leur ajustement osmotique.

II.2 .2.2 Les pesticides :

II.2 .2.2.1 Notion sur les pesticides :

Un pesticide est un composé utilisé pour repousser, tuer ou prévenir tout ravageur. Sur la base de la cible tuée, les pesticides sont principalement classés en herbicides, fongicides et insecticides. L'augmentation de la demande alimentaire en raison de l'explosion démographique a contraint l'homme à utiliser des pesticides pour une meilleure production agricole **(Tomer, 2013).** Les pesticides sont utilisés pour protéger les cultures dans les champs ainsi que pendante stockage après récolte afin de minimiser les dommages aux cultures. Cependant, l'utilisation de pesticides chimiques reste la stratégie la meilleure et là plus largement appliquée pour protéger les cultures contre les ravageurs et se traduit par une production à haut rendement des cultures. Il a été ont rapporté qu'environ deux millions de tonnes de pesticides sont consommés chaque année dans le monde, La consommation mondiale de pesticides comprend 47,5 % d'herbicides, 29,5 % d'insecticides, 17,5 % de fongicides et 5,5 % d'autres pesticides **(De et *al*., 2014).**

II.2 .2.2.2 Absorption, transport et persistance des pesticides dans les plantes :

L'absorption des pesticides signifie leur absorption par le système végétal qui traduit par contrôle de leur lessivage **(Kerle et *al*., 2007).** La traction de la transpiration aide à l'absorption des pesticides solubles dans l'eau et à leur pénétration dans le système végétal. Les pesticides volatils pénètrent indirectement dans l'atmosphère via les feuilles à travers les stomates lors de la transpiration. Les plantes absorbent les pesticides par les racines, la surface des feuilles. Un certain nombre de facteurs sont impliqués dans l'absorption des pesticides et Leur métabolisme dans le système végétal, notamment les facteurs environnementaux externes (température, humidité et précipitations) et les propriétés physicochimiques du sol et des pesticides **(Finlayson et MacCarthy, 1973**). L'absorption des pesticides via le système racinaire et leur le métabolisme dans le système végétal est affecté par des facteurs tels que le mode d'application, la quantité de pesticide, les propriétés physicochimiques et biochimiques des pesticides et leur réaction avec le sol et le stade de développement de la plante **(Führ,1991).** L'absorption des pesticides par les plantes est également déterminée par le degré de leur solubilité dans l'eau. L'absorption des pesticides se fait soit par absorption active via le système racinaire, soit par absorption passive. Les pesticides absorbés sont soit métabolisés par le système végétal, soit s'accumulent dans les plantes et entraînent une bioamplification dans l'écosystème **(Mwevura, 2000).**

II.2.2.2.3 Classement des pesticides :

Pesticide caractérisé par plusieurs classes d'insecticides, herbicides, fongicides, rodenticide, produits de préservation du bois, produits chimiques pour le jardin et désinfectants ménagers utilisés pour tuer ou protéger des ravageurs **(Eldridge, 2008).**

Ces pesticides varient dans leurs propriétés physiques, chimiques et similaires d'une catégorie à l'autre. Il convient donc de les classer en différentes catégories comme l'exige actuellement. Pesticides synthétiques sont des produits chimiques fabriqués par l'homme et n'existent pas dans la nature. Ils sont classés en différentes classes selon les besoins. Actuellement, il y a trois plus méthodes populaires de classification des pesticides suggérées par **(Drum, 1980).**

Ces trois méthodes acceptées de classification des pesticides comprennent :

Le mode d'entrée, la fonction du pesticide et l'organisme nuisible qu'il tue, et composition chimique du pesticide.

II.2.2.2.4Effet des pesticides sur les végétaux :

Chez les végétaux, la phytotoxicité due aux pesticides est observée sous forme de nécrose, de chlorose, de rabougrissement, de brûlures et de torsion des feuilles. L'utilisation excessive de pesticides est l'un des principaux facteurs de réduction de la diversité de la végétation structurelle **(Donald, 2004).** Les plantes sensibles ou stressées peuvent être extrêmement vulnérables à la phytotoxicité. La toxicité dépend de nombreux facteurs tels que l'utilisation de pesticides, le taux d'application, la technique de pulvérisation, les conditions climatiques, l'organisation de la flore, l'humidité et les propriétés du sol telles que l'humidité, la température, le pH, la texture et l'activité microbienne. Il a été observé que l'application de Pesticides affecte négativement la croissance et le développement des plantes **(Sharma et *al.*, 2015).** L'application de pesticides provoque un stress oxydatif pour les plantes en raison de la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ERO). Ce stress oxydatif entraîne une dégradation du pigment chlorophyllien, des protéines et entraîne finalement une réduction de l'efficacité photosynthétique des plantes **(Xia et *al.*, 2006 ; Sharma et *al.*, 2015**). Pour faire face au stress oxydatif, le système de défense antioxydant des plantes est activé, ce qui implique des antioxydants enzymatiques et non enzymatiques **(Xia et *al.*, 2009 ; Sharma et *al.*, 2015 ;Sharma et *al.*, 2016).** L'activation du système de défense antioxydant aide à piéger les ERO et réduit le stress oxydatif chez les plantes causées par la toxicité des pesticides **(Sharma et *al.*,2015).**

II.2 .2.2.5 Mécanismes de réponses des plantes aux stress xénobiotiques :

Les caractéristiques propres à chaque plante, et notamment leur génotype, conditionnent le niveau de toxicité du xénobiotique **(Ramel et *al*., 2009).** Les plantes présentent en effet des capacités intrinsèques de perception et de réponse aux stress chimiques qui peuvent être l'origine de phénomènes de tolérance et de résistance aux xénobiotiques, qui permettent alors la survie, le développement ou la croissance sur des milieux pollués. Des différences majeures de sensibilité ou de tolérance sont ainsi trouvées entre espèces, entre écotypes ou entre populations.

1. Rôle du xénomevégétal dans la tolérance des plantes aux xénobiotiques :

Le terme de "xénome"proposé par **(Edwards et *al*., 2005)** définit l'ensemble des biosystèmes moléculaires etbiochimiques intervenant dans le devenir des xénobiotiques dans les cellules végétales.

La variabilité d'activité du xénome pourrait donc être responsable de la différence de réponse des plantes aux xénobiotiques en termes de sensibilité ou de tolérance. (**Pour Chen et *al*., 2000et Cho et Sohn, 2004)**la sensibilité est en grande partie la conséquence d'un xénome défectueux ou ayant une faible activité. Au contraire, un génotype générant des combinaisons optimales d'expression de gènes d'intérêt, et coordonnant ainsi les différentes étapes du processus de détoxification, devrait aboutir à un xénome fonctionnel et à une tolérance au moins partielle de la plante aux xénobiotiques.

La tolérance vis-à-vis d'un xénobiotique correspond à la capacité d'un organisme à se développer en présence de ce xénobiotique malgré des effets négatifs sur sa croissance. Cette tolérance est souvent due à la mise en place chez les plantes de systèmes d'accumulation, de détoxification et de métabolisation des xénobiotiques, qui restent mal connus. Des modèles généraux de détoxification des xénobiotiques par les plantes ont toutefois été proposés, notamment le modèle "green-livre"de**(Sandermann, 1992)** concernant les polluants organiques. Ce modèle, proche des mécanismes décrits chez les mammifères, se compose de deux parties : (i) la perception et signalisation des xénobiotiques ou de leurs effets (ii) le transport et la biotransformation des xénobiotiques.

2. Mécanismes antioxydants de tolérance des plantes aux xénobiotiques :

La majorité des xénobiotiques génèrent dans la plante un stress oxydatif.De nombreuses études ont mis en évidence que la lutte contre les effets délétères des ERO est assurée par différents systèmes de défense, chargés non seulement de capter et de neutraliser les ERO, mais aussi d'éliminer et de remplacer les molécules endommagées **(Foyer et Noctor, 2005).**

Ces systèmes de défense sont présents dans le cytosol, mais également dans les différents organites, tels que les chloroplastes **(Asada, 2006),** les mitochondries **(Møller, 2001 ; Møller et *al*., 2007),** les peroxysomes **(Del Rio et *al*., 2006)** et le réticulum endoplasmique **(Ozgur et *al*., 2014).** Les systèmes antioxydants assurent trois fonctions majeures. La première consiste à empêcher la formation ou l'amplification des ERO par "quenching" (désactivation de molécule) de biomolécules excitées telles que les chlorophylles ou l'oxygène singlet, afin d'éviter la surexcitation et le transfert d'énergie à l'O_2. La seconde fonction repose sur leprocessus de "scavenging" (détoxification chimique) par des molécules antioxydantsimpliquées dans des processus enzymatiques ou non-enzymatiques. Les moléculesantioxydantes majoritairement utilisées dans les cellules sont le glutathion et l'ascorbate**(Foyer et *al*., 1994 ; Foyer et Noctor, 2011 ; Noctor et *al*., 2012 ;Noctor et Foyer, 1998 ;Sharma et Davis, 1997).** Troisième fonction des systèmes antioxydants assure la réparation des dommages oxydants et l'élimination des molécules endommagées.

Plusieurs autres molécules ont des propriétés multifonctionnelles et présentent, en plus dealeurs propriétés métaboliques ou régulatrices, des propriétés antioxydants, en piégeant ou désactivant les ERO.

1. Mécanismes de résistance des plantes aux xénobiotiques :

La notion de résistance à un composé phytotoxiques correspond à la capacité de certains individus à éviter ou contourner les effets d'inhibition de la cible, par des phénomènes d'adaptation issus de mutations génétiques. Les bases génétiques de telle adaptation concernent non seulement le codage génétique des cibles, mais aussi l'ensemble des gènes impliqués dans la défense et la détoxification. Comme cela a été vu précédemment, le développement des analyses transcriptomiques et protéiniques a permis en effet de démontrer que les modifications d'expression génétique et d'activité des protéines jouent un rôle important dans les réponses des plantes aux pesticides, notamment aux herbicides **(Délye,2013; Ramel et *al*., 2007, 2009ab, 2012).**

Deux grands types de mécanismes sont impliqués dans la résistance des plantes. D'une part, a résistance du site cible de pesticide (Target-site résistance, TSR), qui correspond à desmutations spécifiques dans le gène codant les protéines ciblées, ce qui cause une réduction de l'efficacité de l'action directe de la molécule sur sa cible. Ceci se traduit, au niveaubiochimique, par des modifications de structure et de conformation du site de liaison de pesticide, qui aboutissent à une forte réduction des interactions protéine-pesticide, rendant ainsi le composé phytosanitaire inefficace **(Délye, 2013 ; Powles et Yu, 2010).** Il peut également y avoir une compensation de l'action inhibitrice de pesticide par une augmentation de l'expression ou de l'activité intrinsèque de la protéine cible. Ce type de résistance du site cible du xénobiotique a été décrit pour un large spectre de molécules, en particulier les inhibiteurs de la photosynthèse comme les triazines **(De Prado et *al*., 2000 ; Foes et *al*., 1998, 1999 ; Sajjaphan et *al*., 2002).**

Il existe d'autre part des résistances non liées aux sites cibles des molécules (Non-Target-site résistance, NTSR). Ce type de résistance reste encore peu connu **(Délye, 2013).** Contrairement au TSR qui induit une résistance au xénobiotique en ciblant la protéine affectée par le pesticide, le NTSR peut permettre des résistances à de nombreux pesticides à modes d'actions variés **(Délye et *al*., 2010 ; Petit et *al*., 2010ab).**

Ces résistances peuvent être dues à des modifications en lien avec divers mécanismes. Elles peuvent permettre une réduction de la pénétration de pesticide dans les cellules de la plante par modification des propriétés physiques et chimiques de la cuticule, comme cela a été par exemple mis en évidence dans des cas de résistance au glyphosate **(Vila-Aiub et *al*., 2012).** Des mutations de gènes codant des activités du xénome peuvent également générer une augmentation de L'efficacité de dégradation des herbicides, avec des sur-expressions de gènes de détoxification tels que ceux codant des cytochromes P450 **(Délye, 2013).** Certaines résistances NTSR correspondent à une augmentation des enzymes intervenant dans la protection contre le stress oxydatif causé par pesticide **(Cummins et*al*.,2009).** Des cas de résistances non liées à la cible ont ainsi été observés vis-à-vis des triazines, impliquant par exemple la détoxification de l'atrazine par des enzymes à cytochrome P450 ou des GSTs **(Anderson et Gronwald, 1991 ; Gray et *al*., 1996 ; Gressel et al, 1983 ;Gronwald et *al*., 1994 ; Sulmon et *al*., 2006).**

III Le silicium (Si)

Le silicium (Si) a été classé comme nutriment minéral non essentiel en raison du manque de preuves démontrant son implication dans le métabolisme des plantes **(Mandlik et *al*.,2020**).

Le Si c'est un métalloïde tétravalent, et il le 2éme élément le plus abondant dans le sol après l'oxygène, représente 60 à 70% de la masse du sol sous forme de SiO2 **(Richmond et Sussman, 2003).**

Ⅲ.1Absorption et transport dans les plantes :

La plante absorbe le Si de la solution du sol sous forme de silice monomère non chargée acide/acide monosilicique à PH inférieur à 9 **(Ma et Yamaji, 2006).**

Le Si est transporté vers les pousses par flux de transpiration à travers le xylème, et finalement déposé sur les feuilles sous forme de phtolithes (corps de silice solides) trouvés dans et entre les cellules de l'épiderme **(Currieet Perry, 2007 ; Imtiaz et *al*., 2016).**

Le processus complexe d'absorption et transport de Si implique des entrées et des sorties des transporteurs appartenant à la famille des aquaporines des protéines intrinsèques de type nodulin 26 (NIP) et possèdent des propriétés de sélectivité particulières **(Ma et Yamaji. 2006 ;Ma etYamaji, 2008 ; Yan et *al*.,2018).**

III.2Le Silicium et le stress abiotique :

Le Silicium joue un rôle central dans l'état nutritionnel d'une grande variété des espèces végétales monocotylédones et dicotylédones et il l'aide directement ou indirectement à lutter contre les stress abiotique et biotique. En général les plantes avec une forte concentration de Silicium dans les racines ou les pousses sont moins sujettes aux attaques des ravageurs et présentent une meilleure tolérance aux stress abiotique tels que la sécheresse, la salinité ou la toxicité des métaux. Il a plusieurs effets bénéfiques sur la croissance et le développement en particulier dans des conditions de stress (**Liu et *al*.,2017 ; Ma et Yamaji, 2006 ; Imtiaz et *al*., 2016).**

III.2.1 Effet dusilicium sur l'absorption et le transport de Na^+ et K^+ :

L'efficacité du silicium dans la réduction des impacts négatifs du stress salin et l'amélioration de la tolérance au sel chez les plantes a été largement étudiée, mais le mécanisme souligné est marginalement compris. Les dommages sont survenus en raison à une salinité élevée est principalement due au stress osmotique et à la toxicité ionique.

L'amélioration de la tolérance à la salinité avec la supplémentation en Si est principalement due à diminuer la sensibilité de la plante aux stress osmotiques et ioniques (Fig.4).

Dans une étude d'orge sur le stress salin, l'activité H^+ -ATPase a été réduite dans les racines. Sel médié par le silicium la tolérance a été conférée par un niveau accru de H^+ -ATPase dans les racines et superoxyde dismutase (SOD) dans les feuilles et une concentration réduite demalondialdéhyde (MDA) dans les feuilles **(Liang, 1999).** Comme discuté précédemment, l'activité H+-ATPase fait sortir Na^+ de la cellule. Au niveau de tonoplaste les activités H+-ATPase et H+-PPase conduisent à la compartimentation du sodium dans les vacuoles pour prévenir la toxicité du sodium **(Yamaguchi et *al.*, 2013).**

La polymérisation du Si dans les racines de la luzerne a provoqué une inhibition de l'absorption du sodium **(Wang et Han, 2007).**

La fertilisation Si a réduit la localisation Na^+ trans des racines aux pousses et aux feuilles de la plante. Le rôle de Si dans l'augmentation de l'activité H^+ -ATPase et agissant comme une barrière mécanique qui à son tour aide à maintenir un rapport K^+ /Na^+ optimal semble être un processus important de réduction du sel stress.

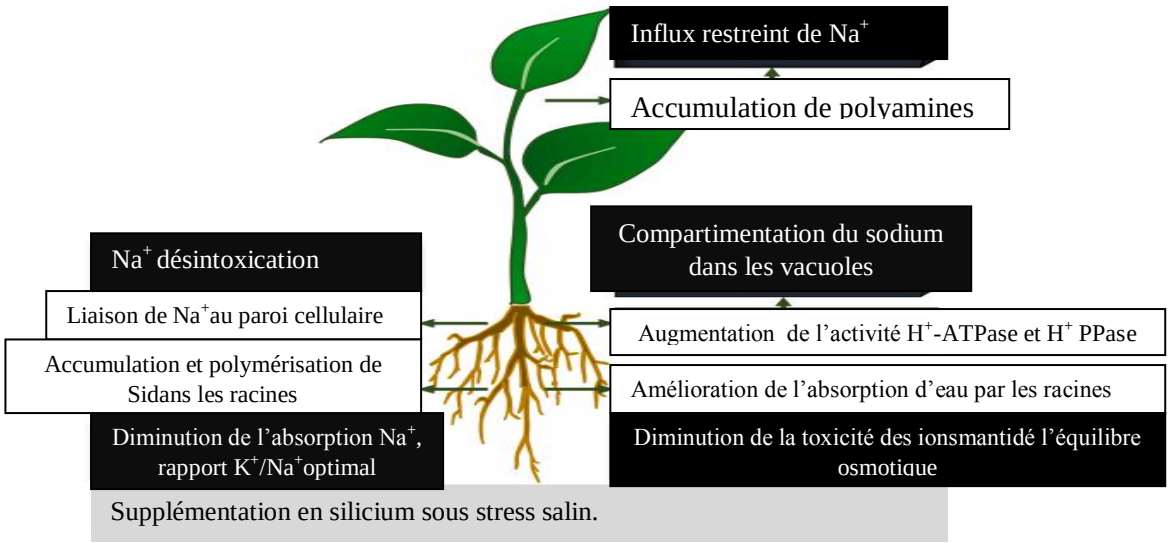


Figure4 : Mécanismes proposés expliquant la réduction significative de l'ion sodium (Na+) dans les parties aériennes lors de la supplémentassions en silicium (Si)

III.2.2 Modulation par le Silicium du métabolisme secondaire sous stress végétal :

Les métabolites secondaires régule la croissance des plantes par interaction avec les conditions environnementales de ces dernières **(Austen et *al.*,2019).**Car il remplit des fonctions importantes, telles que les antimicrobiens **(Akula et Ravishankar, 2011)**

(Mazid et *al*.,2011); **(Takshak et Agrawal, 2019).** Bien que le rôle diversifié des métabolites secondaires dans la plante système de défense ont été largement démontrés chez les plantes **(Kliebenstein, 2004)** ; cependant, la régulation de la tolérance au stress des plantes par Si indirectement en influençant le métabolisme secondaire est largement inconnu. Les plantes exploitent les effets bénéfiques du silicium en raison de leur capacité d'absorption et accumulation de Si ; cependant, l'absorption et la disposition de Si montrent de grandes variations entre plantes **(Deshmukh et *al*.,2013**).

III.3Le rôle du nano-Si dans la réduction du stress et l'amélioration de la germination :

Les nanoparticules de silicium jouent un rôle dans l'amélioration de la teneur en eau relative des feuilles et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans les plantes **(Munns et *al*., 1988).**Ils peuvent atténuer les stress abiotiques comme la sécheresse et la salinité en augmentation de l'activité enzymatique antioxydante, co-précipitation de substances toxiques les ions métalliques et la compartimentation des ions métalliques dans les plantes.

Des études antérieures ont indiqué que les nanoparticules de silicium peuvent améliorer la tolérance à la salinité et ainsi améliorer la croissance et le rendement des plantes sous stress de salinité. Nano-Si à faible concentration (1 mM nano-Sisous 25 mM de NaCl) améliore la germination des graines de plants de tomates sous stress salin **(Haghighi et *al*., 2012).(Almutairi, 2016)** a suggéré l'effet du nano-Si dans la tomate sur les gènes de stress salin et le rôle du nano-Si dans atténuer le stress salin et améliorer la germination des graines et les semis croissance sous stress salin. D'ailleurs, l'application de nano-SiO_2 améliore également le taux de germination des graines et caractéristiques de croissance grâce à une réduction des niveaux de malonyldialdéhyde(MDA) et peroxyde d'hydrogène de (H_2O_2), et fuite d'électrolyte **(Siddiqui et *al*., 2014).** Application de Si et nano-Si améliore la photosynthèse, la conductance du mésophylle et l'efficacité de l'utilisation de l'eau chez la tomate cerise (*Solanum lycopersicum L.)*

Il est impératif d'en savoir plus sur rôle potentiel du nano-Si dans la réduction du stress salin, ce qui peut être utile pour améliorer la tolérance au sel des plantes.

III.4Réponse anti-oxydante médiée par le Si chez les plantes sous le stress :

Le stress salin affecte la croissance des plantes de plusieurs façons, en provoquant stress osmotique entrainant une altération de l'équilibre ionique, une toxicité ionique entraînant des dommages aux plantes irréparables. Dans ces conditions limites, les plantesproduire des

espèces réactives de l'oxygène en excès à la suite de dommages continus transport d'électrons et la photo peroxyde d'hydrogènerespiration **(Khoshgoftarmanesh et *al.*, 2014).**Les plantes ont donc développé des enzymes anti-oxydantes comme stratégie de défense pour atténuer les effets négatifs de stress salin en piégeant les ERO. De nombreuses études ont montré que le Si amélioré la résilience des plantes sous stress abiotique en améliorant la capacité de la plante à piéger les ERO **(Kim et *al.*, 2017).**

Les racines de riz peuvent absorber 90% du silicium du sol, et translocation vers les pousses **(Ma et Takahashi, 2002).** Cependant ce processus est médiatisé par types différents de Si-transporteurs à savoir OsLsi1 (influx si-transporteurs) et OsLsi2 (efflux si-transporteurs) **(Maet Yamaji, 2006 ; Ma et Yamaji, 2008 ; Ma et *al.*, 2007).**

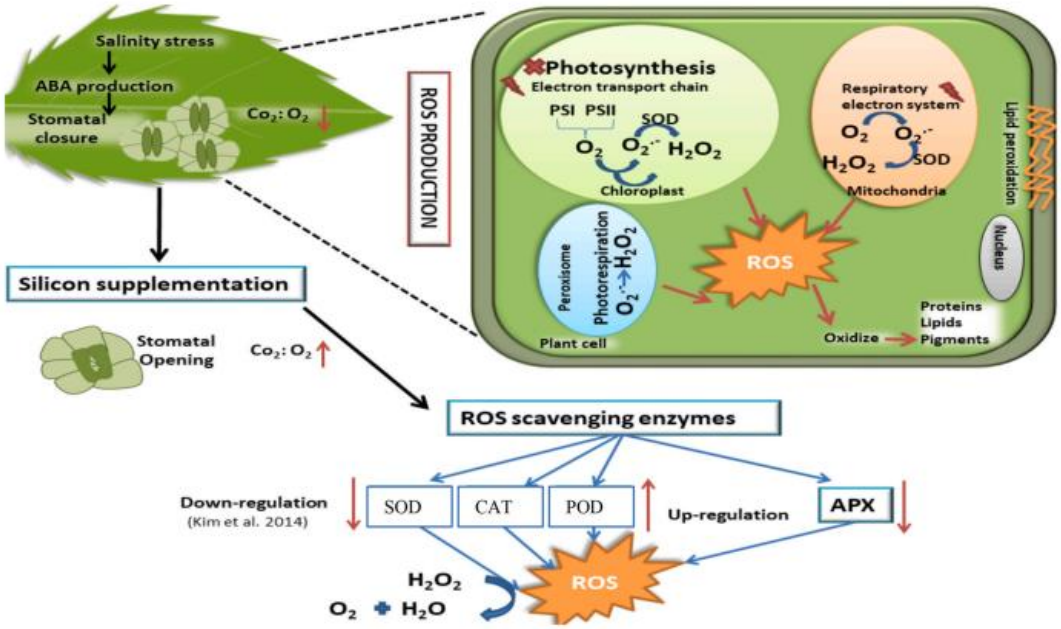


Figure5: Diagramme schématique montrant la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et le rôle des enzymes de piégeage des ERO définissant la salinité dérivée du silicium tolérance chez les plantes. Superoxyde dismutase - SOD ; catalase Chat ; ascorbate peroxydase - APX ; peroxydase - POD

Chapitre II

Matériel et Méthode

I Objectif de travail :

La présente étude a été réalisée pour étudier les effets interactifs du voliam (VOL, un modèle pesticide) et du NaCl sur la croissance, la photosynthèse, les enzymes et les métabolites du système antioxydant et de détoxification chez les plantules de tomates. L'application racinaire de $SiNa_2$ a été utilisée comme source de silicium pour déterminer si le SI pouvait atténuer le stress induit par la co-contamination VOL + NaCl chez la tomate.

II Matériels :

II.1 Matériel végétale :

La variété de tomate utilisée est HETMASER. Il s'agit d'une variété à croissance semi-indéterminée. Son cycle est de 45 à 60 jours. Elle produit de gros fruits et donne un bon rendement en climat tropical (15-20T/ha). Elle est habituellement cultivée par les producteurs de tomate de la Martinique.

Les plantules de tomate ont été apportées d'une pépinière Rami, située à Alger la commune d'Ain Taya.

II.2 Matériel chimique :

II.2.1 Le pesticide :

Le pesticide utilisé dans l'expérience c'est l'insecticide Voliam flexi 300. C'est un produit systémique qui est actif sur un grand nombre d'insectes ravageurs.

Le tableau ci-dessous (Tableau03) présent quelques détails concernant ce pesticide.

Tableau 03 : les informations de voliam flexi 300 SC

Nom commercial	Voliam Flexi 300 SC	**Cultures**	Tomate
Matière active	Chlorantranliprole + Thiamethoxam	**Dose d'utilisation**	300 ml/HA
Concentration	100 G/L + 200 G/L	**N° d'homologation**	11 51 031
Formulation	SC	**Firmes**	SYNGENTA Agro Services AG
Déprédateurs	*Mineus (Tutaabsoluta)*	**Représentant**	SYNGENTA crop protection AG

La source : (**IndexPhytosanitaire, 2020)**.

II.2.2 Le Chlorure de sodium :

C'est un composé chimique de formule NaCl.

II.2.3 Le Silicate de sodium :

Le Silicate de sodium est une substance chimique de formule $Na_2(SiO_2)_nO$, qui regroupe une série de composés dérivés des verres solubles de Silicate de sodium**.**

II.3 Autre matériels :

Tubes à essaies ; pissette ; micro pipette ; tube gradué ; mortier ; spatule ; bicher ; règle graduée ; balance électronique ; agitateur magnétique ; vortex ; réfrigérateur ; centrifugeuse réfrigérée ; spectrophotomètre

Eau distillée ; méthanol ; éthanol ; acétone ; flavo.

III Méthodologie :

Dans notre étude nous avons appliqué la culture hydroponique aux plantules de tomates après avoir lavé et débarrassé le sol collé sur les racines.

Par la suite, les semis ont été placés chacun dans un gobelet en plastique contenant 60 ml de la solution nutritive préparée : le milieu de Hoagland (tableau04) et mis dans une chambre avec des conditions contrôlées : T°= 24-26 °C, Humidité relative (HR)= 70-80% et photopériode 16/8 h.

Préparation de la solution nutritive (milieu de Hoagland) :10 litres de la solution "2" ont été mélangés dans 5,5 litres de la solution "1"

Tableau 04 : composition de la solution nutritive

La solution 1 (g/5,5L)	**La solution 2 (mg /L)**
NH, NO_2 :0,46 g	H_3BO_3 :2,86 g
KNO_3 :0,7 g	$MnSO_4$, $4H_2O$:1,81 g
KH_2PO_2 :0,19 g	$ZnSO_4$, $6H_2O$:0,22 g
$MgSO_4$, $7H_2O$:0,68 g	$CuSO_4$, H_2O :0 ,08 g
	$(NH_4)MO$, O_{24}, $4H_2O$:0,09 g
	EDTA-Fe : 0,008 g

Après deux jours, les semis ont été divisés au hasard en 8 groupes, notés de 1 à 8, contenant chacun 8 plantules.

Les 8 lots sont répartis comme suit :

Lot 1 : le témoin (plantules dans la solution nutritive seulement)

Lot 2 : plantules soumises au stress salin appliqué par le milieu de Hoagland (à la solution nutritive sont ajoutés 150mM de Chloride de sodium(NaCl).

Lot 3 : 0,57 g/l de Si sont ajoutés hydroponiquement à la solution nutritive

Lot 4 : application foliaire d'une d'insecticide préparée (3 ml de Voliam /1L d'eau robinet) à l'aide d'un pulvérisateur

Lot 5 : les semis exposés à un stress combiné : application foliaire de VOL et NaCl ajouté hydroponiquement à la solution nutritive

Lot 6 : plantules soumises à l'effet du combiné NaCl+Si

Lot 7 : semis exposés à un stress combiné : application foliaire de la solution de VOL déjà préparée et le Si ajouté hydroponiquement à la solution nutritive

Lot 8 : plantules exposées à un stress combiné ; application foliaire de la solution de VOL et le NaCl et le Si sont ajoutés hydroponiquement

Chaque 3 jour les solutions sont rafraichis

Le VOL est pulvérisé deux fois chaque jour

Après 7 jours de traitement dans les conditions de croissance mentionnées ci-dessus, les semis ont été récoltés et utilisés pour analyse morphologique et biochimique.

III 1 Analyse morphologique :

III 1.1Production de la biomasse :

Les masses de matière fraîche sont déterminées à l'aide d'une balance de précision. La partie aérienne et la partie souterraine des plantules de tomate sont pesés. Les langueurs de system aérienne et de system souterrain sont déterminées à l'aide d'une règle.

III .2Analyse physiologique :

III .2.1Teneur en pigments chlorophylliens :

Les pigments photosynthétiques ont été quantifiés par méthode spectrophotométrique en utilisant l'acétoneà 80 % (v/v) comme solvant d'extraction. L'acétone à 80 % a été préparé en mélangeant 80 ml d'acétone avec 20 ml de clore. Le surnageant a été recueilli après une centrifugation de l'extrait végétal à 10 000 x g pendant 5 min. L'absorbance a été lue aux longueurs d'onde 663 nm et 647 nm pour la chlorophylle a et b, respectivement, et à 470 nm pour les caroténoïdes. La teneur en chlorophylletotale, et en caroténoïdes (xanthophylles + carotènes) a été calculée selon les équations proposées par **Lichtenthaler (1987)**. Les résultats sont exprimés en mg / g.

Nous avons opté pour 3 mesures indépendantes par traitement (une plante par répétition).

III.3 Analyse biochimique :

III.3.1Analyse desBiomarque de stress :

III.3.1.1Teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2):

L'accumulation de H_2O_2 dans les feuilles et les racines a été détectée par une méthode spectrophotométrique selon **Velikova et *al*., (2000).** Des tissus frais (0,1g) ont été broyés dans un bain de glace à l'aide d'un mortier et un pilon avec 3 ml de TCA (acide trichloracétique) à 0,1 % (p/v). L'homogénat a été centrifugé à 12 000×g à 4 °C pendant 15 minutes. À 0,5 ml du surnageant, 0,5 ml de tampon de phosphate (KH_2PO_4/K_2HPO_4 ; pH 7) et 1ml d'iodure de potassium ont été ajoutés.

La densité optique du mélange a été lue à 390 nm, tandis que la teneur finale en H_2O_2 a été déterminée à l'aide d'une courbe standard et exprimée en µmol g^{-1}Matière fraiche(MF).

III.3.1.2 Teneur enmalonyldialdéhyde (MDA):

Les radicaux libres génèrent le processus de peroxydation des lipides dans l'organisme. Le malondialdéhyde (MDA) est l'un des produits finaux de la peroxydation des acides gras polyinsaturés dans les cellules. La peroxydation des lipides a été déterminée en mesurant la formation de MDA par la réaction de l'acide thiobarbiturique (TBA), selon Heath et Packer (1968).

Environ 0,1 g de tissus végétaux frais (racines et feuilles) ont été broyés dans un 3 ml de solution 5 % d'acide trichloroacétique (TCA). Le broyat a été centrifugé à 10000×g pendant 15 min. Après la centrifugation, 1 ml de surnageant a été mélangé avec 4 ml d'une solution formé de 0.5% d'acide thiobarbiturique (TBA) et 20% d'acide trichloroacétique (TCA) (m/v: 1/10). Le mélange a été incubé dans un bain-marie bouillant à 95°C pendant 30 minutes. Pendant cette incubation, un complexe se forme entre le TBA et les composés aldéhydiques, essentiellement le malondialdéhyde (MDA) : TBA-MDA. La réaction a été arrêtée par un refroidissement immédiat dans un bain de glace. Après une $2^{éme}$ centrifugation à 10 000×g pendant 5 minutes, l'absorbance du surnageant a été mesurée à 532 nm. Les valeurs ont été corrigées pour tenir compte de l'absorption non spécifique ensoustrayant l'absorbance lue à 600 nm.

La quantité de MDA a été calculée à partir du coefficient d'extinction molaire (ε=155 mM^{-1} cm^{-1}) et exprimée en µmol/g MF selon l'équation :

MDA (µmol/g MF) = (A532 - A600) x V x 1000/155 x MF

Avec :

A : Absorbance

V : Volume de l'extrait (ml)

MF : Matière fraiche (g)

III.3.2Analyse des enzymes antioxydantes :

III.3.2.1 Extraction des enzymes (Catalase "CAT", Ascorbate peroxydase "APX" et Glutathion S-transférase "GST") :

Les échantillons de feuilles fraîches prélevées de plantes témoins et stressées ont été immédiatement broyés dans50 mM du tampon phosphate de potassium (K_2HPO_4 / KH_2PO_4) (PH 7,8) contenant 0,1 mM d'acide éthylène-diamine-tétraacétique (EDTA), 1% (p/v) de polyvinylpyrrolidone (PVP) pour les enzymes : CAT, GST et APX. L'homogénata été centrifugé à 15 000 x g à 4 °C pendant 15 min, et le surnageant a été utilisé pour mesurer la teneur en protéines et la détermination des activités des enzymes antioxydants.

Afin de calculer les activités spécifiques des enzymes étudiées, la concentration des protéines totales solubles a été déterminée selon la méthode décrite par **Bradford (1976),** en utilisant le sérum albumine bovine (BSA) comme étalon.

Toutes les analyses spectrophotométriques ont été menées sur un spectrophotomètre de type Jenway (6305 UV / Vis. Angleterre) dans des cuves en quartz de 1 cm.

III.3.2.1.1Détermination de l'activité des enzymes:

- **Catalase (CAT) :**

L'activité de la catalase a été déterminée selon la méthode décrite par **Aebi, (1984).** Le mélange réactionnel contient 50 mM du tampon phosphate de potassium (pH 7,0) et 10 Mm de H_2O_2. La réaction a été déclenchée par addition de 0,1 ml d'extrait enzymatique et l'activité a été déterminée par le suivi de la vitesse initiale de disparition de H_2O_2 à 240 nm, dont le coefficient d'extinction (E) est égal à 39,4 mM^{-1} cm^{-1}, pendant 2 min. L'activité de la CAT aété exprimée en unités : nmol de H_2O_2 décomposé /min/mg de protéines.

Nous avons optépour 3 mesures indépendantes par traitement (une plante par répétition).

- **Ascorbate peroxydase (APX) :**

L'activité de l'APX a été déterminée par le suivi de l'oxydation initiale de l'ascorbate par H_2O_2 à 290 nm (coefficient d'extinction (E) = 2,8 mM^{-1} cm^{-1}) selon la méthode décrite par **Nakano et Asada (1981)**. Le mélange réactionnel contient 50 mM du tampon phosphate de potassium (pH 7,8), 1 mM d'ascorbate de sodium, 0,1 mM d'EDTA et 0,1 ml de l'extrait enzymatique. La réaction a été déclenchées par addition de 10

mM de H_2O_2. L'activité APX a été exprimée en n mol ascorbate (ASA) /min / mg de protéines.

Nous avons opté pour 3 répétitions par traitement (une plante par répétition).

- **Glutathion S-transférase (GST) :**

L'activité de la GST a été mesurée dans un mélange réactionnel contenant 50 mM de tampon K_2HPO_4 / KH_2PO_4(pH 7,5), 1 mM de 1-chloro-2, 4-dinitrobenzène (CDNB) et 0,1 ml de l'extrait enzymatique. La réaction estinitiée par l'addition de 1 mMGSH et la formation de 2,4-dinitrophényl S-glutathion (DNP-GS) a été suivie à 340 nm selon la méthodedécrite par **Habig et *al*.,(1974) et Habig et Jacoby, (1981).** L'activité de la GST a été exprimée en n mol GSH / min / mg de protéines enutilisant un coefficient d'extinction de 9,6 $mM^{-1}cm^{-1}$ relatif au composé formé.

Nous avons opté pour 3 répétitions par traitement (une plante par répétition).

III.3.3 Dosage des métabolites antioxydants :

III.3.3.1Teneur en Glutathion réduit (GSH):

Dans des conditions de froid, 0,1 gde feuilles fraîches ont été homogénéisées dans 3 ml d'acide sulfosalicylique à 5 % (p:v). L'homogénat a été centrifugé à 10000×g à 4 °C pendant 20 min et les sur nageants ont été recueillis pour la détermination du contenu en GSH. La teneur en GSH a été analysée selon le protocole d'Anderson (1985). Le milieu réactionnel contenant 0,6 ml de tampon phosphate 100 mM (pH 7,0) et 40 µl de DTNB ont été ajoutés à 0,5 ml de surnageant.

L'absorbance a été enregistrée à 412 nm sur un spectrophotomètre UV-Vis.

III.3.3.2Teneur en phénol total (PPT):

L'activité de la PPT a été mesurée à 410 nm en suivant l'oxydation du catéchol selon la méthode de **Moore et FIurkey, (1990).** Le mélange réactionnel contient 100 mM du tamponphosphate de potassium(pH 6), 50 mM de catéchol et 0,1 ml de l'extrait enzymatique. En raison de l'incertitude du coefficient d'extinction molaire du produit d'oxydation de catéchol, l'activité de PPO est exprimée en unité enzymatique (UE) / mg de protéines.

Nous avons opté pour 3 mesures indépendantes par traitement (une plante par répétition).

III.3.3.3 Teneur en Flavonoïdes:

La teneur en flavonoïdes totaux a été déterminée par la méthode colorimétrique de **Zhishen et *al*., (1999)** basée sur la formation d'un complexe entre les

flavonoïdeetle chlorur d'aluminium.L'intensitédelacouleurroseindique l'importance du contenu des plantes en flavonoïdes.

Les échantillons (0,3g) sont immergés dans le méthanol(80% ; 3 ml) pendant 24 heures et par la suite, ils sont filtrés pour l'obtention d'un extrait brut de chaque échantillon. Un aliquote de 250 µl de chaque extrait est mélangé avec 75 µl d'une solution de $NaNO_2$(5%), puis le mélange est incubé pendant 6 minutes, puis additionné de 150 µl de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$, $6H_2O$, 10%)fraîchement préparé. Ce mélange est incubé pendant 5 minutes à la température ambiante, puis additionné de 500 µl de NaOH (1M). Le mélange est ajusté avec l'eau distillée à un volume final de 1525 µl.Une gamme étalon est préparée avec des concentrations croissantes de catéchine (de 50 à 500 $mg.L^{-1}$), et les extraits sont mesurés avec un spectrophotomètre à 510nm **(Dewanto et *al.*, 2002).**Les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en mg d'équivalents catéchine par gramme de matière sèche (mg EC. g^{-1} MS).

III.3.3.4 Teneure en proline:

Le contenu en proline libre a été estimé selon la méthode de (Bates et al. 1973). 0,5 g d'échantillon de feuilles fraîches ont été homogénéisés avec 5 ml d'acide sulfosalicylique à 3% (m/v) et l'homogénat a été centrifugé à 12 000×g pendant 12 min. 2 ml d'acide acétiqueglacial et 2 ml de réactif à la ninhydrine (0,1% ninhydrine (m/v) dans 60 % acide acétique100% et 40 % d'acide orthophosphorique6 M) ont été additionnés à 2 ml du surnageant. Après 1 h au bain-mariebouillant, la réaction est arrêtée par refroidissement dans de la glace. Puis 2 ml de toluène sont ajoutés et l'ensemble est agité pendant 1 min avant incubation à température ambiante. La coloration a été développée toluène. La densité optique du chromophore a été lue à 520 nm.

Le calcul a été effectué à l'aide d'une courbe étalon, selon l'équation :

[(µg proline/ml * X ml de toluène)/115,5 µg/µmol]/ [g échantillon/5)] = µmol de proline / g de poids frais.

IV Analyses statistiques :

Les données expérimentales ont été analysées par ANOVA à une voie, tandis que Tucky a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les traitements au niveau P <0,05. Les valeurs présentées sont des moyennes ± SE de trois répétitions. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS (Ver 16.0).

Chapitre III

Résultats et Discussion

I Résultats :

I.1 Effet des traitements sur la biomasse des pousses et des racines de plantules de tomate :

Les quantités phytotoxiques de VOL, NaCl et NaCl + VOL ont un impact délétère sur la biomasse des pousses et des racines des plantules de tomate qui a été évaluée en termes d'accumulations de matière fraiche (MF).Après 7 jours de traitement, l'accumulation de la MF a diminué dans les racines traitées par le NaCl plus que le VOL et le VOL+NaCl (31,04; 13,8 et15,52 %, respectivement).La biomasse des pousses de tomates traités par la combinaison de NaCl+VOL a diminué plus que celle des plantules traitées par le NaCl et le VOL(43,98; 40,41 et 37,28%, respectivement), par rapport à leurs tissus témoins respectifs(tableau04).

Cependant ,l'application exogène de Si avec traitement au VOL et/au NaCl a fait augmenter la biomasse des racines (6,89 ; 3,44et 2,28%, respectivement).

Une augmentation la biomasse dans les pousses traitées par le VOL plus que la combinaison VOL+NaCl et le NaCl (24,78 ; 15,4 et10, 27%, respectivement) par rapport aux parties de plantes traitées au VOL, NaCl et leur combinaison (tableau04).

Tableau 04 *:* Effet des différents traitements sur la biomasse des racines et des pousses des plantules de tomate

Traitements	**La biomasse (%)**	
	Des racines	**Des pousses**
T	100±0,014	100±0,056
Si	89, 65± 0 ,014	88, 39± 0,155
NaCl	68,96± 0,028	59 ,59± 0,021
NaCl+Si	72,41± 0,007	69,86± 0,049
VOL	84,48± 0 ,042	62,72± 0,247
VOL+Si	91,37± 0,007	87,5± 0 ,070
NaCl+VOL	86,2± 0,014	56,02± 0,063
NaCl+VOL+Si	88 ,48± 0,007	71,42± 0,042

I.2 Effet des traitements sur la longueur des pousses et des racines de tomate :

Les indices de croissance ont été influencés négativement par l'application de VOL et NaCl sur les plantules de tomate, pendant 7jours. Les plantules traitées avec un stress séparé et combiné de NaCl et VOL a montré une diminution significative de longueur des pousses de (21,15 ; 16,67 et 24,88% respectivement) et des racines de (24,61 ; 13,1et 22,62% respectivement) (tableau05) par rapport au témoin.

L'application de Si sur les plantules de tomate traité par NaCl et NaCl+VOL a augmenté la longueur des racines de (6,95 et 4,76% respectivement) par contre avec le VOL a diminué de (4, 21%) (tableau18). La langueur des pousses élevé par l'ajoute de Si avec le NaCl et/au VOL de (9,95 ; 11,49 et 9,7% respectivement) (tableau05) par rapport des plantules traité par NaCl et/au VOL.

Tableau05 : Effet des différents traitements sur la longueur des racines et des pousses des plantules de tomate

Longueur % Traitements	**Des racines**	**Des pousses**
T	100±0,282	100±0,141
Si	92, 69±0 ,254	96, 76 ± 0,777
NaCl	75,39± 0	78 ,85 ± 0, 212
NaCl+Si	82,34± 0,247	88,8±1,202
VOL	86,9 ±0 ,212	83,33±1,06
VOL+Si	82,69±0,636	95,27 ± 0 ,212
NaCl+VOL	77,38 ±0,353	75,12± 1,272
NaCl+VOL+Si	82 ,14±0,212	84,82± 0,07

I.3 Effet des traitements sur teneur en pigments Photosynthétiques :

L'application simultanée de NaCl, VOL et NaCl + VOL ont dévoilé une baisse remarquable de la teneur en chlorophylle totale. L'effet de NaCl est plus nuisible que de l'effet de VOL et leur combinaison de(35,65 ; 14,09 et 10,81%, respectivement) par rapport au témoin (Fig.6).

D'autre part, la supplémentation de Si avec le VOL et/au NaCl augmente la teneur totale en Chlorophylle de (7,77 ; 18,71et 6,38%, respectivement) par rapport aux plantules traitées au NaCl, VOL et leur combinaison (Fig.6).

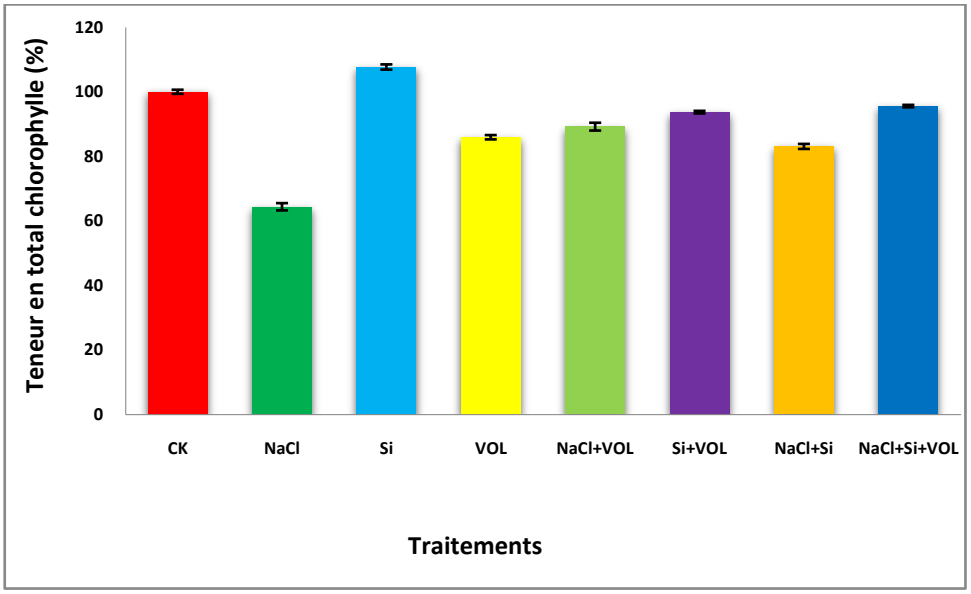


Figure 6: Effet des différents traitements sur la teneur en pigments photosynthétiques dans les plantules de tomate

I.4 Effet des traitements sur le niveau de malonyldialdéhyde(MDA) dans les plantules de tomate :

Une augmentation remarquable de la production de MDA a été documentée chez les feuilles de tomate traitées au VOL plus que le NaCl et NaCl + VOL de (109,72, 86, 11 et 84,72%, respectivement) par rapport au témoin (Fig.7).

Au contraire, l'addition de Si avec le VOL, NaCl et leur combinaison diminué la teneur en MDA de (62,5, 27,78et 15,28%, respectivement) par rapport aux plantules traitées au VOL, NaCl et NaCl + VOL (Fig.7).

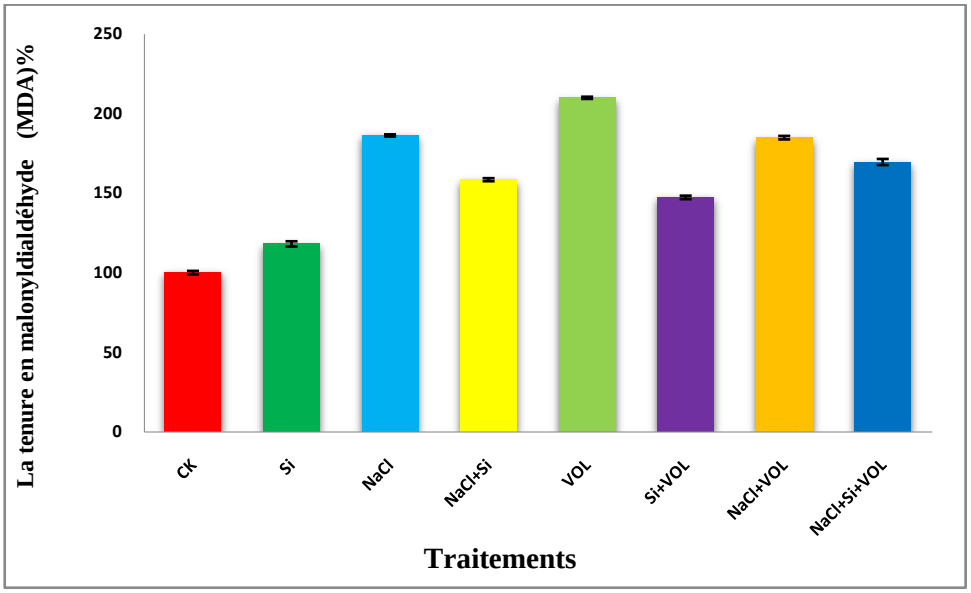


Figure7 : Effet des différents traitements sur le niveau de malonyldialdéhy de (MDA) dans les plantules de tomate

I.5 Effet des traitements sur la tenure en peroxyde d'hydrogène(H_2O_2) dans les plantules de tomate :

L'application de facteur de stress sur les plantules de tomate pendant 7 jours, a entraîné une diminution significative de la teneur H_2O_2dans les feuilles de tomate(Fig.8). L'application de VOL, NaCl et NaCl+VOL diminuée le contenu en H_2O_2 par (21,22 ; 74,55et94, 6 %, respectivement) par rapport aux tissus respectifs des feuilles témoin (Fig.8).

Cependant, l'application de Si avec le NaCl a diminué l'accumulation de H_2O_2(66,8 %), tandis qu'avec NaCl + VOL et le VOL a augmenté le H_2O_2 (22,06 ; 8,64%, respectivement) par rapport aux plantules traitées au VOL et au NaCl et leur mélange(Fig.8).

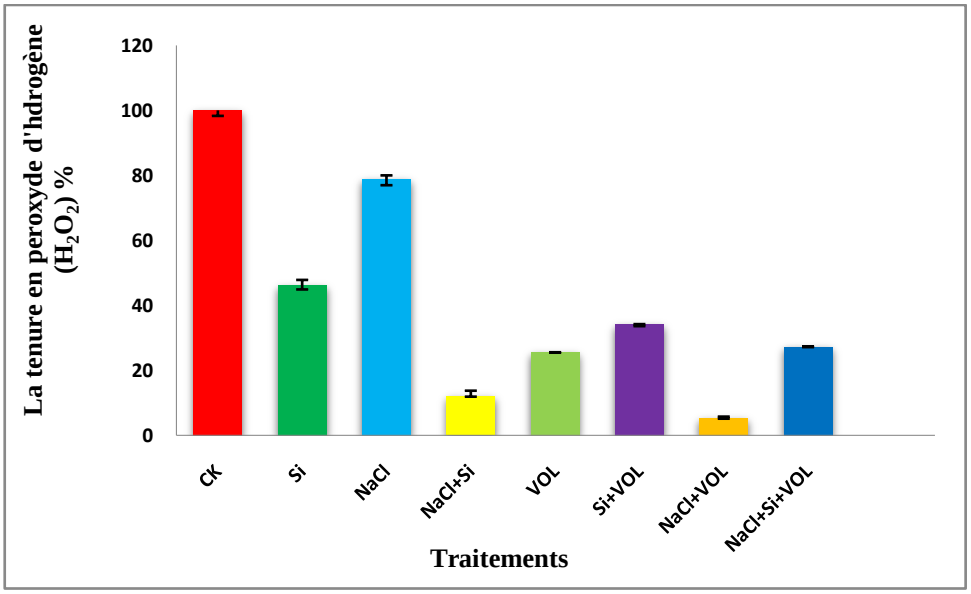


Figure8 : Effet des traitements sur la tenure en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) dans les plantules de tomate

I.6 Effet des traitements sur l'activité des enzymes antioxydant dans les plantules de tomate :

I.6.1 Catalase (CAT) :

Par rapport au témoin, l'activité de CAT dans les feuilles de tomates a évidemment été augmentée par le traitement combiné de VOL et NaCl plus élevé que le NaCl et le VOL (226,27, 168,23 et85, 88%, respectivement) (Fig.9).

Au contraire, l'ajout externe de Sien NaCl + VOL et VOL a diminué l'activité de CAT dans les feuilles de tomate de (228,24 et 69,02%, respectivement), mais a augmenté avec le NaCl de (66,67%) (Fig.9).

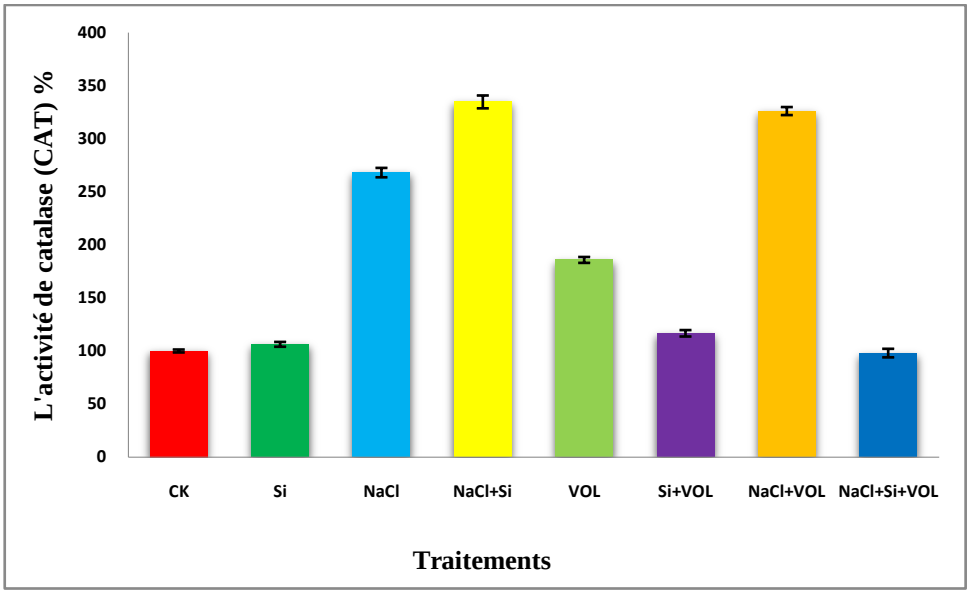


Figure 9 : Effet des traitements sur l'activité de Catalase (CAT)
Dans les plantules de tomate

I. 6.2 Ascorbate peroxydase (APX) :

L'application de stress salin et pesticide dans les plantules de tomate pendant 7 jours a augmenté l'activité d'APX (Fig.10). L'application de NaCl augmente l'activité d'APX plus que le VOL et leur combinaison (186,58 ; 71,86et 59,3%, respectivement) par rapport au témoin (Fig.10).

Cependant, une supplémentation de Si avec NaCl +VOL et le VOL ont été encore augmenté l'activité de l'APX dans les feuilles de tomate de (117,75 ; 110,39%, respectivement), et avec le NaCl l'activité d'APX a diminué de (17,32%) par rapport aux plantules traités au VOL et au NaCl et leur combinaison(Fig.10).

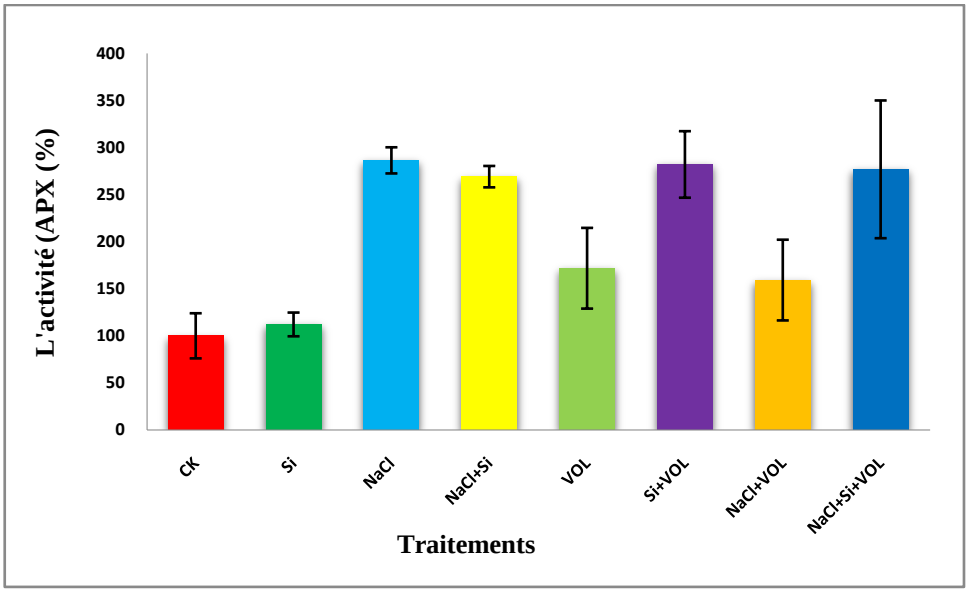


Figure10 : Effet des traitements sur l'activité Ascorbate peroxydase (APX)dans les plantules de tomate

I. 6.3 Glutathion S-transférase (GST) :

L'activité de GST était améliorée significativement avec les traitements VOL au NaCl et leur combinaison de (22,49, 18,85 et8, 9%, respectivement) dans les feuilles de tomate, par rapport aux témoins (Fig.11).

L'addition de Si avec le VOL a encore augmente l'activité de GST (4,94%) et a diminué avec le NaCl+VOL et le NaCl dans les feuilles de tomate (6,66et 5,01%, respectivement) comparativement par qui traités au VOL et au NaCl et leur mélange(Fig.11).

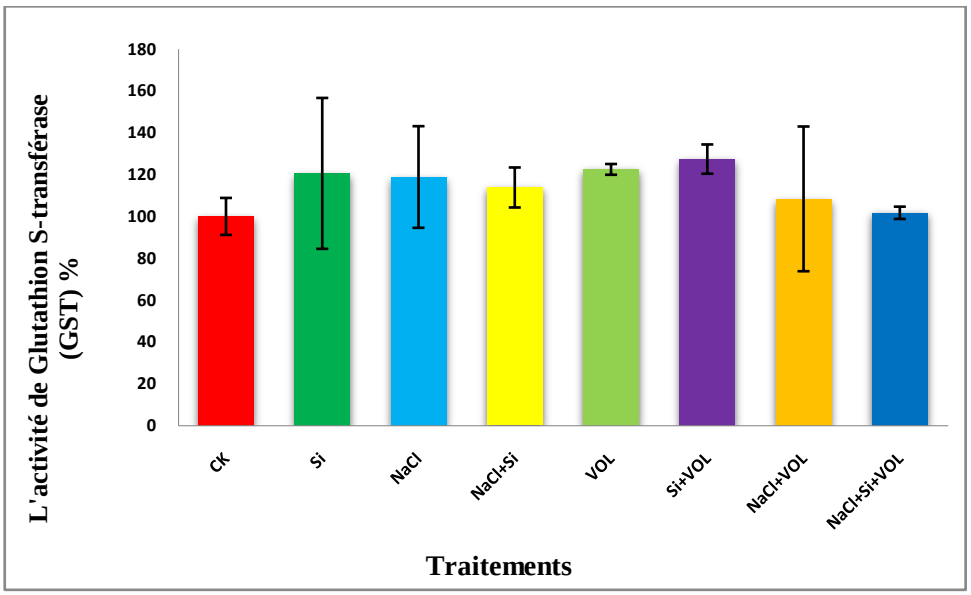


Figure11 : Effet des traitements sur l'activité de Glutathion S-transférase (GST)dans les plantules de tomate

I.7 Effet des traitements sur la teneur en métabolites antioxydants dans les plantules se tomate :

I.7 .1 Teneur en Glutathion (GSH) :

L'application du NaCl et VOL +NaCl ont augmenté le contenu GSH dans les feuilles de tomate (Fig.12). NaCl significativement augmenté la teneur en GSH, tandis que la combinaison légèrement augmenté son contenu (140,68 et 58,82%, respectivement), par contre le VOL a diminué la tenure en GSH (29,42%) par rapport aux témoins(Fig.12).

L'addition de Si avec NaCl a diminué la teneur en GSH (139,21%), et a augmenté avec le VOL et leur combinaison (143,63 et 7,84%respectivement)dans les feuilles de tomate par rapport aux plantules traitées aux NaCl et au VOL et NaCl +VOL(Fig.12).

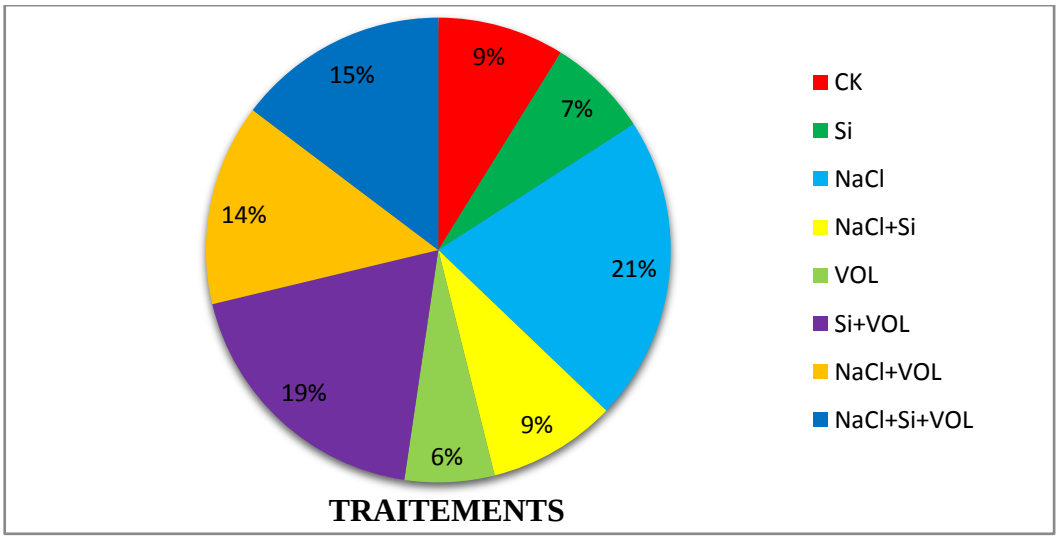


Figure12 : Effet des traitements sur la teneur en Glutathion (GSH) dans les plantules de tomate

I.7.2 Teneur en Proline :

Après 7jours d'application de NaCl et/au VOL ont amélioré le contenu de proline dans les plantules de tomate (Fig.13). La contamination de VOL+NaCl a provoqué une augmentation de la tenure de proline plus que le VOL et le NaCl (312,77 ; 171,22 et 155%, respectivement) par rapport au témoin(Fig.13).

Une diminution remarquable de la tenure de proline après l'application de Sien NaCl et/au VOL (167,23 ; 157,22 et 323,89%, respectivement) par rapport aux plantules traitées par VOL et/au NaCl(Fig.13).

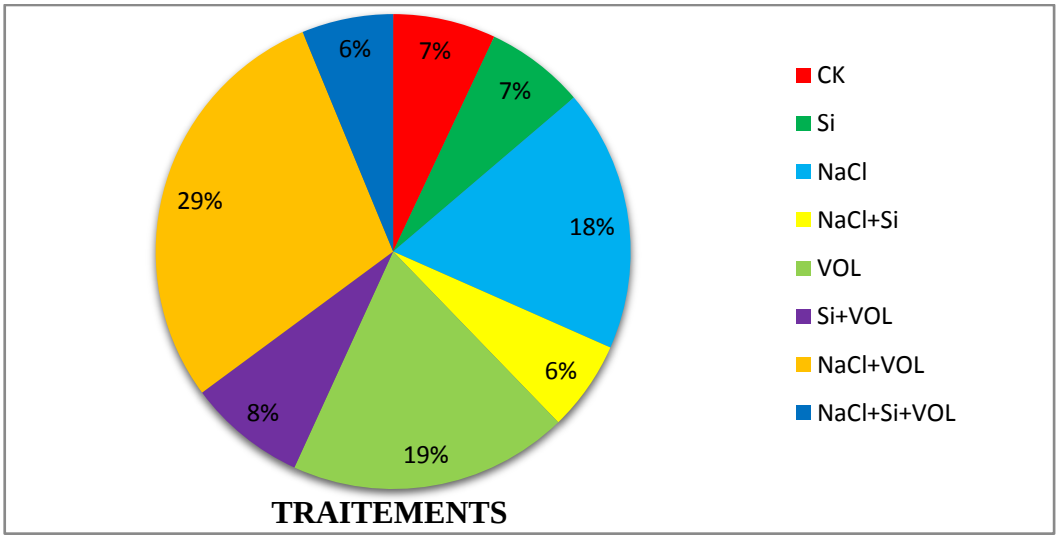


Figure13 : Effet des traitements sur la tenure de proline dans les plantules de tomate

I. 7.3 Teneur en polyphénols totaux (PPT) :

L'application de NaCl dans les plantules de tomate a augmenté l'activité de polyphénols (59,83%), par contre une diminution de la teneur de PPT par l'application de NaCl+VOL et VOL (42,66 et 11 ,85%, respectivement) par rapport au témoin (Fig.14).

Ces résultats montrent qu'une supplémentation de Si à des plantes de tomate stressées par VOL et NaCl+VOL pourrissent améliorent la teneur de PPT (43,84 et39, 1%, respectivement), au contraire avec le NaCl a réduit le contenu de PPT (46,51%) par rapport aux plantules traité par VOL et au NaCl et le mélange entre eux (Fig.14).

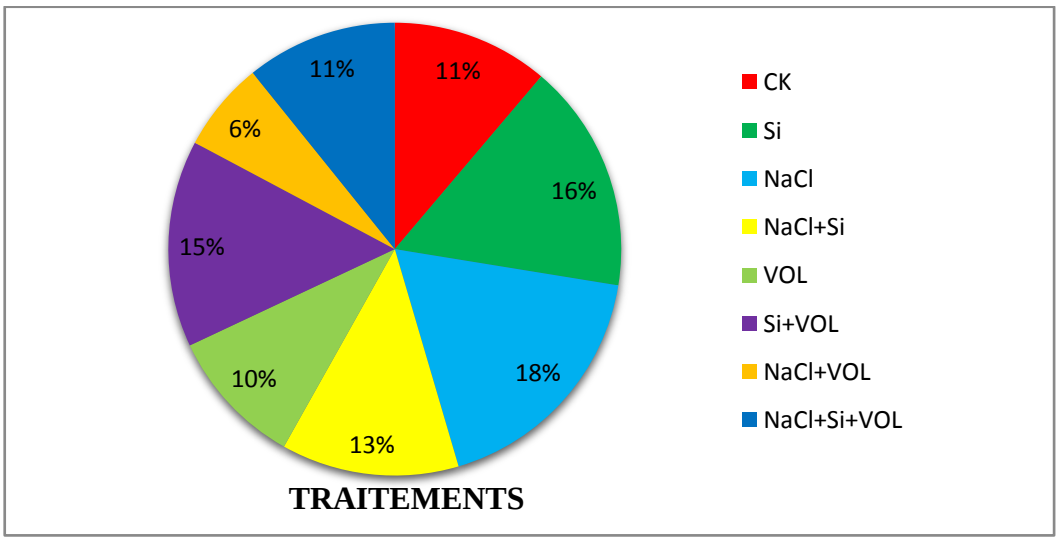


Figure14 : Effet des traitements sur l'activité de phénoltotal (PPT) dans les feuilles de tomate

I. 7.4 Teneur en Flavonoïde *:*

Le contenu de flavonoïde augmente de manière significative par l'application de NaCl+VOL ; VOL et NaCl unique sur les plantules de tomate pendant 7joursde (29,64 ; 29, 34 et 23,23%, respectivement) par rapporte au contrôle (Fig.15).

Par contre, l'ajout externe de Si avec NaCl et VOL a diminué la tenure de flavonoïdes de (19, 63 et1, 21%, respectivement) et avec leur combinaison a augmenté le contenu en flavonoïdes par rapport aux plantules traitées au VOL et / au NaCl (Fig.15).

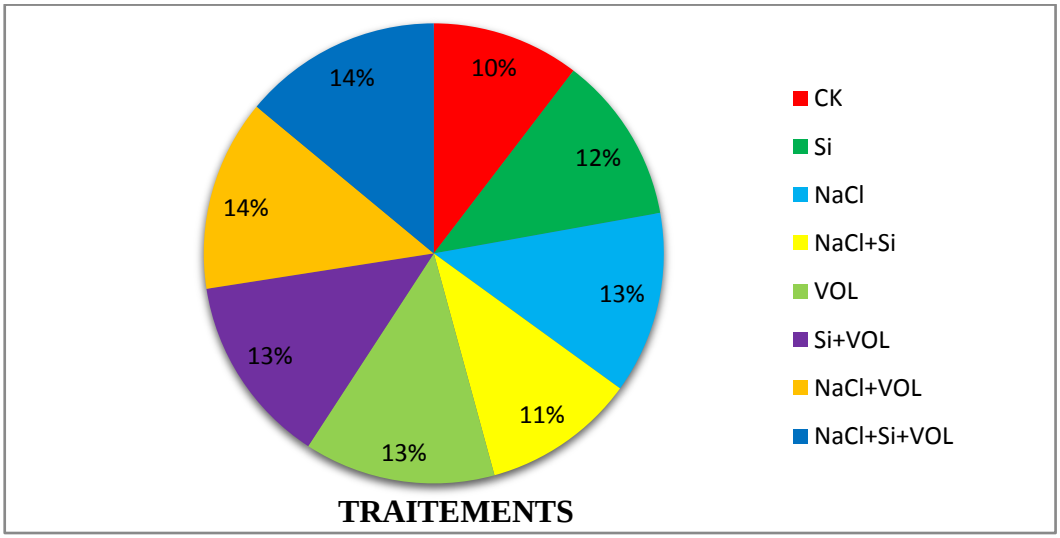


Figure15 : Effet des traitements sur la teneur en flavonoïde dans les feuilles de tomate

II Discussion :

Dans l'étude actuelle, les plantules stressées ont révélé une diminution considérable d'accumulation de la biomasse, la teneur totale en chlorophylle et la langueur des racines et des pousses. Ces conséquences peuvent être dues à la perturbation des chloroplastes et à la baisse du potentiel hydrique dans les cellules, ce qui a entraîné la fermeture des stomates ainsi une moindre assimilation du CO_2 et par conséquent l'inhibition de la division cellulaire sous l'effet du NaCl **(Altaf et *al*.,2020; Dhiman et *al*., 2021; Zhou et *al*.,2022)**.

Aussi il a été démontré que les pesticides et la salinité sont des menaces abiotiques majeures qui limite la croissance des plantes et la production de biomasse **(Dhiman et *al*., 2021).**

L'ajout externe de Si a permis une augmentation de la biomasse, des longueurs des racines et des pousses ainsi que la teneur en chlorophylle. Ces résultats suggèrent que le Si contribue significativement dans la croissance des plantes et la tolérance au stress en activant l'absorption des nutriments et par amélioration de la croissance et développement des plantules sous le stress dû aux VOL et NaCl ce qui a été prouvé par **Debona et *al*.,(2017).**Notre étude est en accord avec les résultats de **Altaf et *al*.,(2020)**qui ont démontré que le Si est efficace dans la restauration de la croissance des plantules stressées.

D'après les résultats trouvés, on a observé que l'application de traitement de VOL et/au NaCl a diminué la teneur de H_2O_2 dans les plantules de tomate. Ces résultats ne concordent pas avec ceux d'autres chercheurs qui ont noté une augmentation du H_2O_2 intracellulaire dans les feuilles de maïs et de tomate exposées respectivement au deltamethrin (DM) et au cadium (Cd). Cela suggère que la combinaison de VOL et NaCl peut produire une réaction d'antagonisme sur l'accumulation de H_2O_2 dans les feuilles de tomate**(Ahammed et *al*., 2013; Shakir et *al*., 2018; Touzout et *al*., 2021)**.

La teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)par l'application de silicium(Si) a diminué avec le traitement de NaCl ou VOL seul, par contre une augmentation de H_2O_2 dans les plantules traitées par leur combinaison a été observée. La surproduction d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et le stress oxydatif qui en résulte sont les mécanismes communs de phytotoxicité par le VOL et le NaCl **(Ahammed et *al*., 2013; Shakir et *al*., 2018; Soares et *al*., 2021; Touzout et *al*., 2021).**

Des niveaux accrus de Malonyldialdéhyde (MDA) ont été observés sous l'effet de stress appliqué. Ces résultats ont confirmé que les plantules de tomates étaient sous stress oxydatifpreuve de la génération des radicaux libres de manière significative. En effet, le

MDA est un indicateur de la peroxydation des lipides suite aux dommages causés par les ERO nocifs**(Soares et al, 2019).**La combinaison de divers stress environnementaux perturbe l'homéostasie cellulaire, entraînant une augmentation des espèces réactives de l'oxygène et, finalement, du stress oxydatif**(Gill et Tujeta, 2010).**

Cependant, l'ajout externe de Si à diminuer les teneurs toxiques en MDA dans les plantes stressées, ce qui est valide avec des travaux précédents montrant le soulagement induit par le brassinosteroide (BR) du stress dû aux métaux lourds et au hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) **(Ahammed et *al.*, 2013).** L'atténuation du stress oxydatif est généralement attribuée à l'amélioration des propriétés antioxydants par le silicium**(Dhiman et *al*., 2021).**

Dans la présente étude, nous avons observé que l'activité des catalase (CAT) et d'Ascorbate peroxydase (APX) a nettement augmenté dans les plantules de tomate stressées. Nos résultats sont compatibles avec ceux d'autres travaux scientifiques**(Alam et *al*., 2021; Altaf et *al*., 2020; Soares et *al*., 2021).**

De même, l'activité de Glutathion S-transférase (GST) dans les feuilles de tomate s'est significativement améliorée après le stress appliqué. Diverses approches et preuves montrent que les GST contribuent de manière significative à l'adaptation et à la tolérance des plantes aux stress environnementaux abiotiques tels que la sécheresse, la salinité et le stress dû au froid**(Altaf et *al.*, 2020; Debona et *al.*, 2017; Dhiman et *al*., 2021).**

Les Glutathion S-transférase(GST) végétales sont une vaste collection d'enzymes multifonctionnelles qui catalysent une variété de processus impliquant la conjugaison du glutathion qui est un antioxydant clé soluble dans l'eau et joue un rôle central dans le piégeage des ERO à travers le cycle GSH-ascorbate et en tant que donneur d'électrons à la glutathion peroxydase (GPx). C'est la forme de stockage et la forme de transport du soufre réduit, participant à la détoxification des métaux lourds et des xénobiotiques**(Mittler, 2017; Touzout et *al*.,2021).**De la conjugaison du glutathion (GSH; γ-Glu-Cys-Gly) résulte des composés électrophiles pour générer des dérivés plus solubles qui peuvent être transférés à la vacuole et métabolisés davantage **(Soares et *al.*, 2019).**

L'ajout de Si dans des conditions de stress abiotique a des effets bénéfiques sur l'activité des enzymes antioxydantes. Nous accordons que l'application de l'EBR (24-epibrassinolide) pourrait augmenter l'activité des enzymes antioxydantes sous stress de phenanthren (PHE) et/ou cadmium(Cd) **(Ahammed et *al.*, 2013).** Il a été rapporté que

l'EBR améliore le métabolisme des xénobiotiques en améliorant les activités de GST (Glutathion S-transférase), POD (Peroxydase) et l'expression des gènes associés.

Pour le GSH, d'après les mêmes résultats son contenu dans les plantules de tomate a augmenté sous l'effet du stress appliqué. Par contre l'ajoute de Si a diminué la teneur en GSH sous le stress de NaCl mais il l'a augmenté sous le stress de VOL et leur combinaison. Des résultats similaires de la teneur en GSH ont été observés chez les plantes de tomate traitées au PHE+Cd**(Mittler, 2017; Touzout et *al.*, 2021; Xia et *al.*, 2009).**

Nos résultats sont montrés aussi une amélioration de la teneur de proline dans les plantules de tomate stressées. De même**, Shakir et *al.*, (2018)** ont signalé que le niveau de la proline s'est amélioré dans les feuilles de tomate traitées avec une dose recommandée d'IMI(imidacloprid). De plus, l'exposition au stress du Cd a augmenté l'accumulation de la proline dans les plantes de tomate**(Touzout et *al.*, 2021).**Par contre l'addition de Si a fait diminuer l'accumulation de la proline chez les plantes stressées.

La proline, un puissant antioxydant, améliore la tolérance des plantes au stress abiotiques comme les pesticides, la salinité et les métaux**(Gill et Tuteja, 2010).** Il agit comme un antioxydant en piégeant les radicaux OH^- et $1'O_2$, c'est un inhibiteur de la peroxydation lipidique. De plus, la proline peut agir comme chélateur de métaux et source de carbone et azote **(Gill et Tuteja, 2010).**

Parmi les systèmes de défense antioxydant non enzymatique, les métabolites secondaires tels que les phénols et les flavonoïdes qui jouent un rôle important dans la tolérance et l'adaptation des plantes à divers stress environnementaux. Au cours de notre étude nous avons marqué une augmentation de la teneur de flavonoïdes dans les plantules de tomates stressées et une diminution de la teneur en polyphénols.

En effet, les facteurs environnementaux tels que l'altitude, la salinité, les températures élevées/basses, la sécheresse et les conditions d'éclairage influencent de manière significative la qualité et la quantité des métabolites secondaires dans les plantes**(Soares et al, 2019).**

L'ajoute externe de Si sur ces plantules de tomates aux le stress, a amélioré le contenu de ces métabolites. La régulation de la teneur en composés phénoliques par des éléments bénéfiques tels que le silicium (Si) a rarement été discuté. L'atténuation par le silicium du stress biotique et abiotique a été bien observée chez de nombreuses espèces végétales. Récemment, de nombreuses études ont révélé l'implication du Si dans le

renforcement de la tolérance au stress via des modulations du métabolisme secondaire chez les plantes**(Altaf et *al*., 2020; Dhiman et *al*., 2021; Soares et *al*., 2021).**

Conclusion

La présente étude a démontré pour la première fois les effets néfastes de la combinaison du VOL et du NaCl sur la croissance et le métabolisme des plantules de *Solanum lycopersicum*, et leur gestion suite à l'application exogène de molécules potentielles le silicium (Si). Le traitement combiné du VOL et du NaCl a considérablement réduit la croissance des plantes, la teneur totale en chlorophylle, tout en améliorant les niveaux d'H_2O_2 et MDA. Cependant, l'application exogène de Si a efficacement géré les réponses de croissance et les effets néfastes des molécules cytotoxiques/marqueurs oxydatifs dans les feuilles de plantes traitées au VOL et au NaCl. Le présent travail a révélé que la protection médiée par silicium contre les blessures imposées par le VOL et le NaCl était le résultat de l'amélioration de l'activité des enzymes tels qu'APX, GST et CAT et des métabolites antioxydants tels que proline et métabolites antioxydants. Le Si s'est révélé efficace dans l'atténuation des réponses globales au stress dans les feuilles des plantules de *Solanum lycopersicum.*

Perspectives

Les résultats obtenus laissent entrevoir de nombreuses perspectives qui nécessitent des études plus approfondies, à s'avoir :

✓ L'aspect de la génétique moléculaire dans la tolérance des stress salin, thermique et hydrique comme étant trois facteurs limitant la production végétative

✓L'étude des caractères morphologiques et biochimiques qui restent importants dans la caractérisation des variétés de tomates.

✓ L'étude des réponses aux stress biotiques

✓ Essayer des durées prolongées supérieures à 4heures comme temps d'acquisition d'image surtout pour les plantes stressées.

✓ Elargir l'étude en comparant les variétés de tomates.

✓ Introduire les gènes impliqués dans la résistance et accélérer le processus de création variétale.

✓ L'étude des conséquences résultants de l'utilisation des pesticides à long termes sur le degré de virulence du pathogènes et sur la santé et l'environnement

✓trouver d'autres moyens de lutte susceptibles de protéger les cultures de tomates contre les agents pathogènes tout en limitant l'utilisation des pesticides comme démarche respectueuse de l'environnement et limite la pollution.

Références bibliographique

- **Abbas. T ; Balaf.RM; Shahid.MA ; Perves. MA et Ayyub.CM.(2015)**.Silicon-inducedalleviation of Na Cltoxicity in Okra(*Abelmoschus excufentus*) is associated with enhanced Photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. Acta Pbyziol.Plant. **37**. P.6.
- **Abdely. C; Ozturk. M; Ashraf M et Grignon. C. (2008)**. Bios line Agriculture and HighSalinityToleranceEd: Brikhausen Verlag /L Swizerland. P.36.
- **Aebi. H. (1984).** [13] Catalase in Vitro. In Methods in Enzymology. Vol. **105**. P. 121–126. Elsevier.

Ahammed. G. J ; Choudhary. S. P ; Chen. S ; Xia. X ; Shi. K ; Zhou. Y et Yu. J. (2013). Role of brassinosteroids in alleviation of phenanthrene-cadmium co-contamination-induced Photosynthetic inhibition and oxidative stress in tomato. *Journal of Experimental Botany*,**64(1)**, P.199–213.

- **Achour. A. (2016).** Caractérisations physiologique et biochimique du Gombo (*AbelmoschusesculentusL.*)sousstresssalin, thèse doctorat en sciences biologiques. P. 1- 120.
- **Akula.R;Ravishankar.GA. (2011).** Influence of abiotic stress signals on secondary metabolite in plants. Plant Signaling and Behavoir.**6.**P.1720-1731.
- **Alam. P ; Balawi. T.H ; Altalayan. F.H ; Hatamleh. A.A ; Ashraf. M et Ahmad.(2021).** Silicon attenuates the negative effects of chromium stress in tomato plants by modifying antioxidant enzyme activities, ascorbate–glutathione cycle and glyoxalase system. ActaPhysiologiae Plantarum, **43(7).** P. 1-17.
- **Almutairi. Z. (2016).**Effect ofnano-Silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*solanum Lycoperricum L.)* Seedling under Salt stress. Plant Omics.**9**.P.106-114.
- **Alem. C et Amri. A. (2005).** Importance de la stabilité des membranes cellulaires tolérance à la salinité chez l'orge. Maroc. **4**. P. 20-32.
- **Allen. J.A ; Chambers. J.L et McKinney.D. (1994).** Intraspecific variation in the response of Taxodium distichum seedlings to salinity. Forest Ecology and Management.**70**.P. 203–214.

Altaf. M.A ; Shahid. R ; Ren. M.X ; Naz. S ; Altaf. M.M ; Qadir. A ; Anwar. M ; hakoor. A et Hayat. F. (2020). Exogenous melatonin enhances salt stress tolerance in tomato seedlings. *Biologia Plantarum*, 64. P. 604-615.

- **A et Hayat. F. (2020).** Exogenous melatonin enhances salt stress tolerance in tomato seedlings. Biologia Plantarum, **64**. P. 604–615.
- **Anderson. M.E. (1985).** [70] Determination of glutathione and glutathione disulfide in biological samples. In *Methods in Enzymology* (Vol. 113, Issue C, P. 548–555). Elsevier.
- **Anderson. MP ; Gronwald. JW. (1991).** Atrazine resistance in a velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) biotype due to enhanced glutathione S-transferase activity. Plant physiology.**96**. P. 104-109.

Asada. K. (2006). Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. Plant Physiology **141**. P. 391-396.

Ashraf. M.m (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. Biotechnology Advances. **27**. P. 84–93.

Aslam. R ; Bostan. N; Nabgha-e-Amen Maria ; Safdar. M et Safdar. W. (2011). A critical review on halophytes: salt tolerant plants. J Med Plants Res.**5**. P.7108–7118.

- **Aspinal ; Pale. (1981).** In Teggar, N, **(2015).**Etude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres biochimiques et morphologiques de la lentille (*Lens.culinaris L*).Thèse de magister. Université d'Oran Es Senia, Oran, Algérie. P. 98.
- **Austen. N; Walker. H.J; Lake. J.A; Phoenix. G.K et cameron. DD. (2019).**Theregulation ofplant secondary metibolismin response to abiotic stress: Infraction between heat shock and elevatedCo(2).Frontieres in Plant Science.**10**. P.1463.
- **Aubert.G. (1976).**Les sols sodiques en Afrique du Nord, An .Ina Alger. P. 185-197.
- **Ayadi.A et al. (1979).** échange ioniques cellulaire cas des plantes en milieu salé et rôle des parois cellulaire, physiologie Vgle Vol ED cautier paire. P.90.
- **Bates. L.S ; Waldren. R.P et Teare. I.D. (1973).** Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, **39(1)**. **P.** 205–207.
- **Batamony. K. (1993).** Adaptation of plants in to saline condition in arid region, Faculty of science Cairo. University, Egypt. acad publisher in Netherlands. P.13-20.
- **Belouazani.N. (1994).** Etude de comportement des tomates industrielles soumises à l'action de la salinité croissance et anatomie des tiges et racines, thèse ING-ITA. Mostaganem.
- **Ben Yahmed. J. (2013).**Etude des propriétés de tolérance au déficit hydrique et au stress salin de génotypes appartenant au genre Poncirus et au groupe des mandariniers, Thèse doctorat en Biologie Intégrative des Plantes. P. 200.
- **Benaceur.(2003).** Effet dus stress salin sur la germination ; la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé, sècheresse Vol **12**. P. 48.

Benkolli. M et Bouzeghaia. B. (2016). Etude biochimique de dix variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*)Sous l'effet d'un stress oxydatif généré par un stress hydrique. MémoireUniversitéMentouri. Constantine. P. 1.

- **Benterelsen. C.L.M. (1980).** Réponse des rendements à l'eau. Ed. Dunod. P. 235.
- **Bouchoukh. I. (2010).**Comportement écophysiologique de deux Chénopodiacées des genres Atriplex et Spinacia soumises au stress salin. P. 16.
- **Boukachabia. E.(1993) .** Contribution à l'étude de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance à la salinité chez cinq génotypes de blé dur (*Triticum durum* Dest). Mémoire de Magister en production et physio vég. Annaba. P. 108.
- **Bouaziz. E. (1980) .** Tolérance à la salure de la pomme de terre. physiol. Vég. P.18.
- **Bouzid. S. (2010).** Etude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysiologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L., Mémoire de magistère en Biologie Végétale, Option : Ecophysio et Biotechnologie Végétale. P. 124.
- **Bradford. M.M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, ***72*(1–2)**. P. 248–254.
- **Brault.P. (2005).** Semences et Plants Bio-Fiche technique, Dossier Solanacèes en Langue doc- Roussillon. Buffetin N°5 deuxième semestre Biocivam de D'AudeetFRAB-LR. P. 47.
- **Buchel. K.H. (1983)**. Chemistry of Pesticides. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- **Burn. A. (1980).** Effets comparés de différence concentrations de NaCl sur la germination ; la croissance et l a composition d quelques populations de luzernes annuelles d'Algérie Thèse.Doc Cycle. Montpellier.
- **Chaux. C.L et Foury C.L.(1994).** Cultures légumières et maraîchères. Tome*3*légumineuse Potagères, légumes fruits. Tec et Doc Lavoisier. Paris. P.563.
- **Cheesman .J.(1978)**. Mechanism of salinity tolerance in plants .Plant . physiol .**87**. P. 547-550.
- **Chen. LM ; Lin. C.C ; Kao. CH.(2000)**. Copper toxicity in rice seedlings: changes in antioxidative enzyme activities, H2O2 level, and cell wall peroxidase activity in roots.
- **Chiba. Y; Mitani. N ; Ma. JF;Yamaji. N**. **(2009).** HvLsil is a silicon influx transporter in barley.ThePlantJournal. **57**. P. 810-818.
- **Chibane. A. (1999).** Tomate sous serre, Bulletin transfère detechnologie enagriculture. No.57. Ed. P.N.T.T.A Rabat.

- **Cho. U.H ; Sohn. J.Y**. (**2004).** Cadmium induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and lipid peroxidation in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Plant Biology **47.** P. 262-269.
- **Chungyang . C et Kaiyun .W. (2001)**. Differbces in drought responses of three contrasting Eucalyptus microtheca E muell population Uni of Helsinki Finland Forest Ecology and Management Vol.**179**. P. 377-385.
- **Cummins. I ; Bryant. DN ; Edwards. R**. (**2009)**. Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*). Plant Biotechnology Journal **7**. P. 807-820.
- **Currie . H. A; Perry. .CC**. (**2007)**. SilicainPlants:Biological,Biochemical and chemical studies. Annals of Botany. **100.** P. 1383-1389.
- **Dauod. Y et Halitim. A. (1994)**.Irrigation et salinisation an Sahara Algérien. Sécheresse,**3.(5)**. P. 151-160.
- **Das. K.C ; Das. C.K**.(**2000)**. Thioredoxin, a single oxygen quencher and hydroxyl radical scavenger:Redox independent functions. Biochemical and Biophysical Research Communications. **277**. P. 443-447.
- **De. A ; Bose. R ; Kumar. A ; Mozumdar. S. (2014).** Worldwide pesticide use.Editors. Targeted delivery of pesticides using biodegradable polymeric nanoparticles New Delhi: Springer. P.5-6.
- **De Prado. R ; Lopez-Martinez. N ; Gonzalez-Gutierrez. J**. (**2000)**. Identification of two mechanisms of atrazine resistance in *Setaria faberi* and *Setaria viridis* biotypes Pesticide Biochemistry and Physiology **67**. P. 114-124.
- **Debona. D ; Rodrigues. F. A et Datnoff. L. E. (2017).** Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. *Annual Review of Phytopathology*. **55**. P. 85–107.
- **Del Rio. LA**.(**2006)**. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes.production, scavenging, and role in cell signaling. Plant Physiology **141**. P. 330-335.
- **Della Penna. D ; Pogson. B.J**. (**2006).** Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids.Annual Review of Plant Biology.**57**. P. 711-738.
- **Délye. C**. **(2013)**. Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. Pest Management Science.**69.** P. 176-187.

- **Délye. C ; Michel. S ; Bérard. A ; Chauvel. B ; Brunel. D ; Guillemin. J.P ; Dessaint. F et Le Corre. V**. (**2010)**.Geographical variation in resistance to acetyland coenzyme A carboxylaseand inhibitingherbicides across the range of the arable weed *Alopecurus myosuroides* (black- grass). New Phytologist. **186**. P. 1005-1017.
- **Deshmukh. RK; Vivancos. J; Guerin.V; Sonah. H; Labbe. C; Belzile. F; Belanger. RR**. (**2013)**. Identification and fuctional characterization of silicontransporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in Arabidopsis and rice.Molecular Biology. **83**. P. 303- 315.
- **Dhiman. P ; Rajora. N ; Bhardwaj. S ; Sudhakaran. S.S ; Kumar. A ; Raturi. G ; Chakraborty. K ; Gupta. O.P ; Devanna. B.N ; Tripathi. D.K et Deshmukh. R. (2021).**Fascinating role of silicon to combat salinity stress in plants: An updated overview. *Plant Physiology and Biochemistry*, *162*(February), P. 110–123.
- **Drevon. J.J; Saadallah. K; Hajji. M; Abdelly. C. (2001**).Genotypic variability for tolerance toNsalinity of N2-fixing common bean (*Phaseolusvulgaris L.*) , Agronomy. **21**. P. 675-682.
- **Drouhin. G. (1961).**Expérience algérienne d'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence Particulières aux sols Salins. U.N.E.S.C.O. Pois. P. 239-244.
- **Drum. C.(1980).** Soil Chemistry of Pesticides. PPG Industries, Inc., USA.
- **Edwards. R; Brazier-Hicks. M;Dixon. DP et Cummins. I.** (**2005)**. Chemical manipulation of antioxidant defences in plants. Advances in Botanical Research **42.** P. 1-32.
- **Edwards. R; Dixon. DP;Cummins. I;Brazier-Hicks. M et Skipsey. M**. (**2011)**. New Perspectives on the Metabolism and Detoxification of Synthetic Compounds in Plants. In: Organic Xenobiotics and Plants. Ed: Springer, Netherlands. P.125-148.
- **Eldridge. B.F. (2008)**. Pesticide Application and Safety Training for Applicators of Public Health Pesticides. California Department of Public Health, Sacramento, CA. Vector-Borne Disease Section, 1616 Capitol Avenue, MS7307, P.O. Box 997377.
- **Elmhirst. J**. (**2006)**. Profil de culturede tomate de serre aucanada.Ed: agriculture et agroalimentaire Canada. Canada. P. 50.
- **Elmekaoui. M.(1987)**. Etude de la tolérance du NaCl chez le blé dur, tendre et l'orge ; Thèse ing ENSA MONTPELLIER ; France.
- **El-mekkaoui. M.** (**1990).**Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*I.durum*) et l'orge (*H. vulgare*) : recherches de tests précoces de sélection. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Montpellier. P. 191.

- **FAO stat.(2012)**. Organisation de la nation unie pour l'alimentation et l'agriculture.
- **Flowers. T.J and Flowers. S.A. (2005**).Why does salinity pose such a difficult problem for plantbreeders ? Agricultural Water Management.**78.** P.15-24.
- **Flowers. T.J;Galal. H.K et Bromham. L. (2010)**. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. Funct Plant Biol. **37**. P. 604–12.
- **Finlayson. DG ; MacCarthy. H.R**. (**1973)**. Pesticides residues in plants. In: Edwards CA. editor. Environmental pollution by pesticides.London: Plenum Press.P.57-86.
- **Foyer. CH ; Noctor. G**. (**2005)**. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. Plant, Cell and Environment **28**. P. 1056-1071.
- **Foyer. CH ; Descourvieres. P ; Kunert. K.J**. (**1994)**. Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants. Plant, Cell and Environment. **17**. P. 507-523.
- **Foyer. CH et Noctor. G**. (**2011)**. Ascorbate and glutathione: the heart of the redox hub. Plant Physiology.**155**. P. 2-18.
- **Foes. M.J ; Liu. L ; Tranel. P.J ; Wax. L.M et Stoller. E.W**.(**1998)**.A biotype of common waterhemp (*Amaranthus rudis*) resistant to triazine and ALS herbicides. Weed Science.**46**. P. 514-520.
- **Gallais. A et Bannerot. H**. (**1992)**.Amélioration des espèces végétales cultivés objectif et critères de sélection. INRA.
- **Garg. N ; Bhandari. P**. (**2016)**. Silicon nutrition and mycorrhizal inoculation improve growth, nutrient status, K^+/Na^+ ratio and yield of (*Cicer arietinum L.*) genotype under SalinityStress.Plant Growth Regul.**78**. P. 371- 387.
- **García-Caparrós. P ; Llanderal. A ; Pestana. M ; Correia. P.J et Lao. M.T. (2016)**. Tolerance mechanisms of three potted ornamental plants grown under moderate salinity. Scientia Horticulturae. **201. P.** 84-91.
- **Gill. K.S. (1979)**: Effects of soil salinity on grain filing and grain development in burly. Biologia plantarum. **24 (4)**. P. 266-269.
- **Gill. S. S et Tuteja. N. (2010**). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry. **48(12)**. P. 909–930.
- **Goh. W.L ; Yiu. P-H ; Wong.S-C et Rajan. A. (2011).**Safe use of chlorpyrifos for insect pest management in leaf mustard (*Brassica juncea* L.Coss.). J Food Agric Environ. **9(3/4)**. P. 1064-6.

- **Gould. K.S; McKelvie. J; Markham. K.R**. (**2002)**. Do anthocyanins function as antioxidants in leaves? Imaging of H_2O_2 in red and green leaves after mechanical injury. Plant, Cell and Environment.**25**. P. 1261-1269.
- **Gray. J.A;Balke.N.E;Stoltenberg. D.E**. (**1996)**. Increased glutathione conjugation of atrazine confers resistance in a Wisconsin velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) biotype. Pesticide Biochemistry and Physiology. **55**. P. 157-171.
- **Gressel. J ; Regev. Y ; Malkin. S et Kleifeld. Y**. (**1983)**.Characterization of an s-triazine-resistant biotype of *Brachypodium distachyon*. Weed Science. **31**. P. 450-456.
- **Gronwald. J.W**. (**1994)**. Resistance to photosystem II inhibiting herbicides. In: Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry. Ed: Lewis Boca Raton, P.27-60.
- **Habig. W.H ; Pabst. M.J et Jakoby. W.B. (1974).**Glutathione S transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. Journal of Biological Chemistry.**249(22).** P. 7130–7139.
- **Hadjaris. S. (1999).**Études du comportement de l'orge (*Hordeum Vulgare*) et du triticale au double stress hydrique et salin ; Thèse ING, ISA, Tiaret.
- **Haghighi. M ; Afifipour. Z et Mozafarian. M**. (**2012)**. The effect of N-Sion tomato seed germination under Salinity levels. J. Biod. Environ. Sci. **6.** P. 87-90.
- **Haghighi. M et Pourkhaloee. A**. (**2013).**Nano-particles in agricultural soils : their risks and benefits for seed germination. Minerva Biotecnol. **25**. P. 123-132.
- **Hamza.M. (1982).** Adaptation physiologique des plantes cultivées à la salinité, Bulletin soc ; Ecophysiologie végétale.P.169-184.
- **Haoual.a F ; Ferjani. H et Ben El Hadj. S. (2007**). Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na+, K+ et Ca2+) et du chlore (Cl-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. Biotechnol. *Agron. Soc. Environ.* Vol.**11(3).** P.235-244.
- **Hare. P.D; Cress. W.A and Van Staden. J. (1998) .Dissecting** the roles of osmolyte accumulation during stress plant Cell Environ.**21.** P. 535 -553.
- **Heath. R. L et Packer. L. (1968).** Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. **125(1).** P. 189–198.
- **Hernandez. J.A ; Olmos. E ; Corpas. F.J ; Sevilla. F et del Rio. L.A. (1995).** Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants. Plant Sci. **105.**P. 151–167.
- **Heller. R. (1981)**. Physiologie Végétale. Tome I: nutrition, 2ème Edition masson.
- **Hopkins. W.G. (2003).** Physiologie Végétale. 2e ed. De boeck. Paris, France. P. 514.

- **Hubac .C ; Gerrier .D And Ferran .J .(1969).** Résistance à la sècheresse du carex pachystylis (J gay).Plante du désert du Neguev.OEcol.Plant. Gautiers Vitters.IV. **18**. P. 325-345.

Ibrahim. M.M.M ; Dafalla. M.S ; Elhag. A.M.HetIbrahim. I.S. (2013). Monitoring predicting and quantifying soil salinity, sodicity and alkalinity in Sudan, Using soil techniques, Remote sensing and Gis analysis, Case Study. Internationa journal of scientific and research publications, Vol. **3(3)**. P. 1-7.

- **Imtiaz. M; Rizwan. MS; Mushtaq. MA; Ashraf. M; Shahzad. SM; Yousaf. B; Saeed. DA; Rizwan. M ; Nawaz. MA; mehmood. S and Tu. S**. (**2016)**. Silicon occurrence, uptake, transport andmechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: a review. Journal of Environmental Management. **183**. P. 521-529.
- **Iraki. N.M ; Bressan.R.A ; Hasegawa. P And Carpica. C.(1989)**. Alteration of the physical and chemical structure of the primary cell wall of growth limited plant cells adapted to osmotic stress ;Plant physiol. **91**. P. 39-47.
- **Jabnoune. M. (2008**). Adaptation des plantes au stress Salin : caractérisation du transporteur de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz .Thèse doctorat. Physiologie végétale et biologie Moléculaire univ Montpellier.**2.** P. 1-127.
- **Kaewmanee. K ;Krammart. P ; Sumranwanich. T ; Choktaweekarn. P and Tangtermsirikul. S. (2013)**. Effect of free lime content on properties of cement-fly ash mixtures. Construction and Building Materials. **38**. P. 829-836.
- **Kalteh. M; Alipour. Z; Ashraf. S; Marashi Alia badi. M; Falah Nosratabadi. A.(2018).** Effect of silica nano-particles on basil (*Ocimumbasilicum)* under SalinityStress.JGrem.HealthRisks. **4 (3).**P.1-6.
- **Khan. M.A ; Hamid. A ; Salahuddin. A.B.M; Quasem. A and Karim. M.A. (1997).** Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Ovsya sativa*). J. Agronomy and science.P. 149-161
- **Khan. W.U.D ; Aziz. T ; Hussain. I ; Ramzani. P.M.A and Reichenawer. T.G. (2017**). Silicon: a beneficialnutrient for maize crop to enhance photochemical efficiency of photosystem II under salt stress. Arch.Agron Sail Sci. **63**. P. 599-611.
- **Khoshgoftarmanesh. A.H ; Khodarahimi. S ; Haghighi. M.(2014)**. Effectofsilicon nutrition on lipidperoxidation and antioxidant response of Cucumber plants exposed to SalinityStress. Arch. Agron Soil Sci. **60**. P. 693-653.

- **Kim. Y-H ; Khan. AL ; Kim. D-H ; Lee. S-Y ; Kim. K-M ; Waqas. M ; Jung. H-Y ; Shin. J-H ; Kim. J.G ; Lee. I-J**. (**2014)**. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPase, (*OryzaSativa*) low silicone genes,and endogenous phytohormones. BMC . Plante Biology. **14**. P. 13.
- **Kim. Y.H; Khan. A.L; Waqas. M; Lee. I.J**. (**2017).** SiliconRegulates antioxidant activites of crop plants under abiotic-induced oxidative strees : a review. Front. Plant Sci. **8.** P. 510.
- **Kliebenstein. D**. (**2004).**Secondarymetabolites and Plant /environment interaction : aView through (*Arabidopsis thaliana)*tinged glasses. Plant, cell and Environment. **27**. P.675-684.
- **Larcher. W. (2003)**. Physiological plant ecology, 4th edn. Springer.

Lasram. M. (1995). Salinity problems in the Mediterranean's area,Ed acadèmie de Paris N°2, séances pecialisèe du 22 mars 1995.

- **Lembent. L**. (**2006).** Lutteantiinsectes applique aux tomates de serre au Canada Programme de réduction du risque lié aux pesticides centrepour la lutte antt parasitaire.Agriculture et Agroalimentaire Canada. Aout 2006.
- **Levitt. J. (1980).**Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing and High Temperature Stresses, 2 nd edn. Levitt, J. (Ed.). Academic Press, New York, NY.
- **Levit.(1972).**Reponses of plants to environmental stresses, Academic press New York.
- **Lezzar. H et Meziani. A. (2015).** Recherchein silico et conception d'amorce do génes de tolérance au Stressabiotique chez le blé. memoire. Université desfrères Mentouri Constantine1.P. 3-10.
- **Liang. Y. (1999).** Effect of Silicon onenzyme activity andSodium,potasium andcalciumConcentration in barley under Salt stress. Plant Soil. P. 209-217.
- **Lichtenthaler. H.K and Wellburn. A.R. (1983).** Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents . In Biochemical Society Transactions (Vol. 11, Issue 5, P. 591–592). Portland Press Ltd.
- **Liu. J ;Zhu. J ; Zhang. P ;Han. L ; Reynolds. O.L ; Zeng. R ; Wn. J ; You. M and Gurr. G.M**. (**2017).** Siliconsupplementation alters the composition of herbivors inducedPlantvolatiles and enhances attraction of parasitoids to in fested rice plant. Frontier in Plant Science. **8.** P. 1265.
- **Luo. S ; Levine. R.L. (2008)**. Methionine in proteins defends against oxidative stress. The FASEB Journal.**23.** P. 464-472.
- **Ma.J.F; Takashi.E. (2002).**Soil, fertilizer and plant Silicon research in Japan : The Netherlands, Elsevier. P. 17-39.

- **Ma- J.F; Yamaji. N**. (**2006).**Silicon uptake and accumulation in higher Plants- Trends in Plant Science. **11**. P. 392-397.
- **Ma. J.F; Yamaji. N; Mitani. N ; Tamai. K; Konishi. S ; Fujiwara. T; Katsuhara. M ;Yano. M.**(**2007).** An efflux transporter of Silicon inrice. Nature. **448**. P. 209.
- **Ma. J.F; Yamaji. N**. (**2008).**Functions and transportbof siliconin plants. Cellular and Molecular Life Sciences. **65.** P. 3049-3057.
- **Manduk. K.R ; Thakral. V ; Ratun.G ; Shinde. S ; Nikolic. M ; Tripathi. D.K ; Sonah. H and Deshmukh. R.**(**2020).** Significance of Silicon uptake, transport and deposition in plants. J. Exp. Bot. **71(2).** P. 6703-6718.
- **Maniguet. M. (2003).** Les pays secs environnement et développement. Ellipse Edition marketing. Paris. P. 24-32.
- **Matysik. J ; Alia. A ; Bhalu. B and Mohanty. P**. (**2002**). Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Science.**82**. P. 525-532.
- **Mazid. M ; Khan. T; Mohammad. F.**(**2011**). Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. Biology and Medicine. **3.**P.232-249.
- **Mitani. N; Chiba. Y; Yamaji. N andMa. J.F**. (**2009**). Identification and characterization of maize and barley L Si 2-like silicon efflusxtransporters reveals a distint silicon uptake system from that in rice. The Plant cell. **21**. P. 2133-2142.
- **Mittler. R. (2017).** ROS Are Good. *Trends in Plant Science*. ***22*(1).** P. 11–19.
- **Møller. I.M**. (**2001**). Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. Annual Review of Plant Biology.**52**. P. 561-591.
- **Møller. I.M ; Jensen. PE and Hansson. A**. (**2007).** Oxidative modifications to cellular components in plants. Annual Review of Plant Biology.**58**. P. 459-481.
- **Munus. R ; Gardner. P.A ; Tonnet. M.L and Rawson. H.**(**1988).** Growth and development in NaCl-treated plants. 2. Do Na^+or Cl^- concentration individing or expandingtissues determine growth in barley? Funct. Plant Biol. **15.** P. 529-540.
- **Munns. R**. (**2005**). Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytol. **167**. P. 645–63.
- **Munns. R ; James. A.J and Läuchli. A. (2006)**. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Experimental Botany. **57**.P. 1025-1043.

- **Munns. R et Tester. M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. Annu Rev Plant Biol. **59**.P. 651–681.
- **Munns.R ; Donalds. B.F ; Loraine et Tonnet .M .(1986)**.NaCl transport in the from leaves and NaCl treated barley .Astr .J.physiol ,**13 (A)**. P. 757-766.
- **Mwevura. H. (2000).** Study on the levels of organochlorine pesticide residues from selected aquatic bodies of Tanzania [thesis]. Tanzania: University of Dar es Salaam.
- **Naika. A. (2005).** La culture de la tomate, production, transformation et commercialisation. Ed: Fondation Agromis et CTA. P. 105.
- **Naika. S ; Dejeud. J.V.L ; De Jeffau. M et Vandam. B.(2005).** La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed: Wageningen, Pays-Ban. P.105.
- **Nakano. Y and Asada. K. (1981).** Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, **22(5).** P. 867–880.
- **Nishizawa. A ; Yabuta. Y ; Shigeoka. S.(2008)**. Galactinol and raffinose constitute a novel function to protect plants from oxidative damage. Plant Physiology.**147.** P. 1251-1263.
- **Noctor. G and Foyer. CH**. **(1998)**. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control.Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology **49**. P. 249-279.
- **Noctor. G ; Mhamdi. A ; Chaouch.S ; Han. Y ; Neukermans. J ; MarquezGarcia. B ; Queval. G and Foyer. CH**. **(2012)**. Glutathione in plants: An integrated overview. Plant Cell Environment. **35.** P. 454-484
- **Ouis. M. (2016).** Recherche des marqueurs biochimique de la tolérance à la salinité chez le Gombo (*Abelmoschus esculentus L.*), thèse doctorat en sciences biologiques. P. 1- 115.
- **Ozgur. R ; Turkan. I ; Uzilday. B ; Sekmen. A.H**. **(2014)**. Endoplasmic reticulum stress triggers ROS signalling, changes the redox state, and regulates the antioxidant defence of *Arabidopsisthaliana*. Journal of Experimental Botany.**65**.P. 1377-1390.
- **Pareek. A. (1997).** Molecular characterization of stress proteins in (*Oryza sativaL.)* with emphasis on 90 Kda family, Ph.d. thesis, University of Delhi, Delhi.
- **Parida. A.K ; Das. A.B. (2005)**. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety. **60**. P. 324-349.
- **Pedriza.T.(1974).**Effect of chlorophyll deficiency on praline metabolism in higher plants Fiziologica rostania.**21.** P. 47-53.
- **Polese. J.M.(2007).** La culture de la tomate . Ed: Artémis. P. 95.
- **Powles. S.B and Yu. Q**. **(2010)**. Evolution in action: plants resistant to herbicides. Annual Review of Plant Biology.**61**. P. 317-347.

- **Qados.A.M.A ; Moftah. A.E.(2015)**. Influence of silicon and nano-silicon on germination, growth and yield of faba bean (*Vici faba L.*) under Salt stress condition. J. Exp. Agric. P. 509-524.
- **Ramel. F ; Sulmon. C ; Cabello-Hurtado. F ; Taconnat. L ; Martin-Magniette. M-L ; Renou. J-P,El ; Amrani. A ; Couée. I and Gouesbet. G.(2007)**. Genome-wide interacting effects of sucrose and herbicide-mediated stress in *Arabidopsis thaliana*: novel insights into atrazine toxicity and sucrose-induced tolerance. BMC Genomics. **8**. P. 450.
- **Ramel. F ; Sulmon. C ; Bogard. M ; Couée. I and Gouesbet. G.a.(2009).** Differential patterns of reactive oxygen species and antioxidative mechanisms during atrazine injury and sucrose-induced tolerance in *Arabidopsis thaliana* plantlets. BMC Plant Biology.**9**. P. 28.
- **Ramel. F ; Sulmon. C ; Gouesbet. G et Couée. I. (2009)**. Natural variation reveals significant integration of carbohydrate nutritional status and acclimation to xenobiotic stress in *Arabidopsis thaliana* plantlets. Annals of Botany.**104**. P. 1323-1337.
- **Ramel. F ; Sulmon. C ; Serra. A.A ; Gouesbet. G and Couée. I. (2012)**. Xenobiotic sensing and signaling in higher plants. Journal of Experimental Botany **63**. P. 3999-4014.
- **Richmond.K.E; Sussman. M. (2003).** Got silicon ? The non-essential beneficial plant nutrient. Current Opinion in Plant Biology.**6.**P.268-272.
- **Roy. S.J ; Negrão. S, Tester. M. (2014).** Salt resistant crop plants. Plant Biotechnology. **26.**P. 115–124.
- **Rush. D.W; Epstein. E. (1981).** Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of wild germplasm into a domestic tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **106**.P. 699-704.
- **Sabaghnia. N; Janmohammadi. M. (2015).** Effect of nano- siliconParticles application on Salinity tolerance in early growth of some lentil genatypes.Ann. UMCS. Biol. **69**. P.39-35.
- **Saeed, R., Ahmad, R., Mirbahar, A. A., and Jehan, B. (2014)**. Germination indices of egg plant (*Solanum melongena* L.) under sea salt salinity. Int. J. Biol. Biotech, 11(1):P.51-55.
- **Sandermann. H. (1992)**. Plant metabolism of xenobiotics. Trends in Biochemical Sciences.**17**. P. 82-84.
- **Sajjaphan. K ; Shapir. N ; Judd. A.K ; Wackett. L.P and Sadowsky. M.J. (2002)**. Novel psbA1gene from a naturally occurring atrazine-resistant cyanobacterial isolate. Applied and Environmental Microbiology.**68.** P. 1358-1366.
- **Scandalios. J.G. (2005).** Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. Brazilian Journal of Medical and Biological Research.**38.** P.995-1014.

- **Shahzad. B ; Tanveer. M ; Che. Z ; Rehman. A ; Cheema. S.A ; Sharma. A ; Song. H ; Rehman. S.ur and Zhaorong. D. (2018).** Role of 24-epibrassinolide (EBL) in mediating heavy metal and pesticide induced oxidative stress in plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety. **147**. P. 935–944.
- **Shakir. S.K ; Irfan. S ; Akhtar. B ; Rehman. S.ur ; Daud. M.K ; Taimur. N and Azizullah. A. (2018)**. Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *Ecotoxicology*. ***27*(7).** P. 919–935.
- **Sharma. I ; Bhardwaj. R ; Pati. PK.(2015)**. Exogenous application of 28-homobrassinolide modulates the dynamics of salt and pesticides induced stress responses in an elite rice variety Pusa Basmati-1. J Plant Growth Regul. **34**. P. 509-18.
- **Sharma. YK ; Davis. K.R.(1997)**. The effects of ozone on antioxidant responses in plants. Free Radical Biology and Medecine. **2.** P. 480-488.
- **Si mohammed. A. (2010)**.Étude de la compatibilité végétative chez des populations de (*Fusarium oxysporum)*isolées dans I'ouest algerien. Mémoire demagister, universiteoxy d'Oran. P. 74.
- **Siddiqui. M.H; AL-Whaibi. M.H; Faisal. M; Al Sahli. A.A.(2014)**. Nano- Silicon dioscide mitigates the advers affects of salt stress on (*Cucurbita pepoL.*) Environ. Toxicol.Chem.**33**.P.2429-2437.
- **Siddikee. M.A ; Sundaram. S ; Chandrasekaran. M ; Kim. K ; Selvakumar. Gand Sa. T. (2015)**. Halotolerant bacteria with ACC deaminase activity alleviate salt stress effect in canola seed germination. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry.**58(2)**. P. 237-241.
- **Singleton. V.L ; Rossi. JrJ. A and Rossi J.A J.r. (1965).** Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. ***16*(3)**. P. 144–158.
- **Soares. C ; Carvalho. M.E. A ; Azevedo. R.A and Fidalgo. F. (2019).** Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*. **161**. P. 4–25.
- **Soares. C ; Nadais. P ; Sousa. B ; Pinto. E ; Ferreira. I.M.P.L.V.O ; Pereira. R andFidalgo. F. (2021).** Silicon improves the redox homeostasis to alleviate glyphosate toxicity in tomato plants—are nanomaterials relevant? *Antioxidants*.***10*(8)**.
- **Sulmon. C ; Gouesbet. G ; El Amrani. A and Couée. I**. (**2006)**. Sugar-induced tolerance to the herbicide atrazine in Arabidopsis seedlings involves activation of oxidative and

xenobiotic stress responses. Plant Cell Reports. **25**. P. 489-498.

- **TaKshak. S ; Agrawal .S.B. (2019).** Defense potential of secondary metabolites in medicinal plants under UV-B Stress. Jornal of Photo-chemistory and Photobiology B: Biology.**193**.P.51-88.
- **Tomer. N. (2013)** Determination of chlorinated pesticide in vegetables, cereals and pulses by gas chromatography in east national capital region, Delhi, India. Res J Agric For Sci.**1**. P. 27-8.
- **Toussaint. A et Baudoin. J.P.(2010).** La biodiversité chez la tomate, stratège de conservation et valorisation de collection "Luc Fichots", gemblox agro- tech. P. 105.
- **Touzout. N ; Mehallah. H ; Moralent. R ; Moulay. M ; Nemmiche. S. (2021).** Phytotoxic evaluation of neonicotinoid imidacloprid and cadmium alone and in combination on tomato (*Solanum lycopersicum L.*). *Ecotoxicology*.***30*(6)**. P. 1126–1137.
- **Tsao. R ; Peterson. C.J ; Coats. J.R. (2002)**. Glucosinolate breakdown products as insect fumigants and their effect on carbon dioxide emission of insects. BMC Ecol. **2 (5)**. P. 1-7.
- **USDA-ARS. (2008)**. Research Databases. Bibliography on Salt Tolerance. George E. Brown, Jr.Salinity Lab. US Dep. Agric., Agric. Res. Serv. Riverside, CA.
- **Van Heerden. P.D.R ; Kiddle. G ; Pellny. T.K ; Mokwala. P.W ; Jordaan. A ; Strauss. A.J ; De-Beer. M ; Schlüter. U ; Kunert. K.J and Foyer. C.H. (2008)**. Regulation of Respiration and the Oxygen Diffusion Barrier in Soybean Protect Symbiotic Nitrogen Fixation from Chilling-Induced Inhibition and Shoots from Premature Senescence. *Plant Physiol*. Vol.**148**. P. 316-327.
- **Velikova. V ; Yordanov. I and Edreva. A. (2000).** Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*. ***151*(1)**. P. 59–66.
- **Volkov. V. (2015**). Salinity tolerance in plants. Quantitative approach to ion transport starting from halophytes and stepping to genetic and protein engineering for manipulating ion fluxes. Front Plant Sci. **6**. P. 873.
- **Vila- Aiub. M.M ; Balbi. M.C ; Distéfano. A.J ; Fernández. L ; Hopp. E ; Yu. Q and Powles. S.B.2012)**. Glyphosate resistance in perennial *Sorghum halepense* (Johnsongrass), endowed by reduced glyphosate translocation and leaf uptake. Pest Management Science.**68**. P. 430-436.
- **VinebrookeRolf. Det al. (2004)**. Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: the role of species co-tolerance. OIKOS. **104**. P. 451– 457.
- **Vincent. R. (2006).**Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune (*Laminaria digitata*). Thèse de doctorat. Biologie. Un de Rennes **1.** P. 237.

- **Wahome. P.K ; Jesch. H.H et Grittner. I.(2001)**. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: Rosa chinensis 'Major' and R. rubiginosa. *Sci. Hort*. **87**. P. 207-216.
- **Wang. X.S; Ham. J.G. (2007)**. Effect of NaCl and silicon on ion distribution in the roots , shoots and leaves of twoalfalfa cultivars with different salt tolerance. soil sci. Plant Nutr. **53**. P. 278-285.
- **Yamaguchi. T ; Hamamoto. S; Mazumi. N.(2013)**.Sodiumtransport System inplant cells. Front. PlantSci.**4.** P. 410 .
- **Yan.G-c; Nikolic.M.J ;Xiao.Z-x;Liang.Y-c. (2018)**.Siliconacquisition andaccumulation in plant and its significance for agriculture . Journal of Integrative Agriculture.**17**.P. 2138 -2150.
- **Yim.L; Wang. S; Tanaka. K; Oka. M**. **(2013)**. Applicato of Silicon improves Salt tolerance through amelienating osmotic and ionic stresses in the seedling of (*Songhunbicolor*). Acta Physiol.Plant.**35**. P.3099-3107.
- **Xia. X.J ; Zhang. Y ; Wu. J.X ; Wang. J.T ; Zhou. Y.H ; Shi. K**. **(2009)**.metabolism of pesticides in cucumber. J Agric FoodChem. **57(18)**. P.8406-13.
- **Xia. X.J ; Huang. Y.Y ; Wang. L ; Huang. L.F ; Yu. W.L ; Zhou. Y.H ; Yu. J.Q.(2006).** Pesticides induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epi-brassinolide pre-treatment in (*Cucumis sativus L.*) Pestic Biochem Physiol.**86**. P. 42-8.
- **Zhishen. J ; Mengcheng. T andJianming. W. (1999).** The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry. ***64*(4)**. P. 555–559.
- **Zhou. W ; Zheng. W ; Wang. W ; Lv. H ; Liang. B and Li. J. (2022).** Exogenous pig blood-derived protein hydrolysates as a promising method for alleviation of salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum L.*). *Scientia Horticulturae*, *294*(November 2021), 110779.
- **Zhu. J-K. (2002).**Salt and drought stress signal transduction in plants. An. Rev. of Plant Biol. **53**. P.247- 73.
- **Ziani.(2001).** Comportement de l'orge et du triticale en contraintes hydriques et salines Thèse ING ; ISA, P.11-22.
- **Zid. E. (1982).** Relations hydriques dans la feuille de (*Citrus aurantium)*: effets de l'âge et de la salinité. Rev. FAC.Sc. Tunis. **2**. P. 195-205.

LIENS INTERNET

- https://WWW.fao/corp/statics/fr/
- https://images.app.goo.gl/of1WDyQYqHb66qxAA

- https://www.aps.dz/economie/130791-tomate-industrielle-croissance-de-la-production-de-17-en2021#:~:text=ALGER%2D%20La%20production%20de%20la,a%20indiqu%C3%A9%20un%20responsable%20du