

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIES

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme en Master académique
Spécialité : Biotechnologies Végétales

Thème :

ACTION COMBINE DE LA SALINITE ET DE L'ACIDE SALICYLIQUE
SUR LE COMPORTEMENT DE LA PLANTE JUVENILE DE TOMATE
(*SOLANUM HYCOPERSICUM*) CULTIVEE EN HORS SOL.

Réalisé par : **ABDI ASMA**
BENREBHA NAWEL.

Devant le jury composé de :

Mme BRADEA MS.	Maître de conférences A	USD. Blida1	Présidente
Mr ABBAD M.	Maître assistant A	USD. Blida1	Promoteur
Mme BOUCHNAK F.	Maître assistant A	USD. Blida1	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2015/2016

Remerciement

En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir accordé le courage et la force de mener à bien ce modeste travail.

Ce mémoire est le résultat d'un travail de recherche de près de huit mois. En préambule, on veut adresser tous nos remerciements aux personnes avec lesquelles on a pu échanger et qui nous a aidés pour la rédaction de ce mémoire.

Au terme de cette étude, En commençant par remercier tout d'abord Monsieur : ABAAD MOHAMMED, notre promoteur, pour avoir accepté de diriger ce modeste travail.

Nos sincères remerciements aux membres de jury : Mme. BRADDA Maria Stella, de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire et nous remercions également Mme. BOUCHNAK, F, d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous tenons à remercier tout le personnel du laboratoire de recherche de Biotechnologie des productions végétales de notre département, et en Particulier madame Soraya l'ingénieur de laboratoire, et Mr. SAOU Abd El Halim et Mr Abedlah Mohamed Houcin abou chib Kadarou pour sa présence et son aide durant les mois de la réalisation de notre mémoire.

A la fin, on adresse nos plus vifs remerciements et notre profonde gratitude envers toute personne qui est de loin ou de près a contribué à la réalisation de ce travail.

Nawel et Asmaa



Dédicace

Je dédier ce modeste travail :

A mes très chers parents, Vous êtes pour moi l'exemple de générosité et de la cause. Que ce travail soit pour vous une infime compensation pour tous les sacrifices que vous avez toujours consentis à mon égard. Qu'il me soit donné d'être à la hauteur de votre confiance et de vos sacrifices.

*À l'homme le plus cher dans ma vie .pour qui a consacré sa vie pour mon avenir que je suis. Mon père « **BELKACEM** », que dieu le protège et prolonger son âge.*

*A la femme la plus cher dans ma vie.ma mère « **SALIHIA** »ma source de tendresse et mon exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager, de m'aider et de veiller sur moi.*

*A mon très cher mari **ALI** qui je le remercie pour son grand soutien et son encouragement, je ne cesserai jamais de te remercier pour tout ce que tu m'apportes à chaque seconde de ma vie.*

*A mes chères sœurs : **SABRINA, HADJIRA et ZINEB***

*J'ai le plaisir d'adresser mes remerciements les plus chaleureux à mon directeur monsieur **BEN AMAAR ALI** « le directeur de l'office nationale des terres agricoles »*

Qui a été l'origine de mon inscription en thèse

*A mes deuxièmes parents : mon beau père **KAMEL**, ma belle-mère **HAKIMA***

*A mes belles sœurs **HASSIBA et LILA** et mes beaux-frères **MOHAMED et ABDERAHMEN***

*A mes cousines : **NADIA, MERIEM et IHSEN***

*A mes amies : **KHAJJDA, HIND, AMINA et IMEN***

*A ma meilleure amie et mon binôme **NAWEL**. Merci pour tous les beaux moments.*

A toute la promotion de biotechnologie végétale : 2016 / 2017.

ASMA

Dédicace

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je
dédie mon modeste travail :*

*A mes chers parents **ma mère** et **mon père** pour leur patience, leur
aide, leur amour, leur soutien, leur encouragement et leurs conseils
judicieux qui m'ont éclairé le chemin de ma vie.*

*J'espère qu'un jour je pourrai vous rendre un peu de ce qu'ils ont
fait pour moi, que dieu vous prêter bonne santé et longue vie et que du
bonheur.*

A mon grand-père que dieu vous protège et prolonge votre âge

*A mes chères sœurs **Nesrine**, **Nassima** et mes frères **Zinedine** et
Amine et surtout à ma puce ma chère nièce **Nihel**.*

*A mes tantes, mes oncles, mes cousines et mes cousins et à toute
ma famille paternelle et maternelle.*

*A ma chère amie **Iman** pour leur aide et leur soutien et aussi mes
agréables amis : **Fatene**, **Amina**, **Sarra**, **Rabbab** ; **Yacine** et a toute la
promotion de biotechnologie végétale 2015-2016.*

*A ma meilleure amie mon binôme **Asma**, merci pour tous les
moments inoubliables qu'on a passé ensemble.*

*A tous mes professeurs qui m'ont enseigné et a l'équipe de
laboratoire de biotechnologie végétale : Mm **Soraya**, **Halim** et **Youcef**.*

*Et surtout Mr **abdelah Mohamed***

Et à tous ceux qui me connaissent de loin ou de près.

Nawel 

Résumé

Notre présent travail se propose d'étudier l'effet du stress salin sur le comportement physiologique de la tomate de variété Saint-Pierre. En phase de croissance en culture hors sol par l'application d'une part le NaCl avec différentes concentrations et d'autre part la combinaison de ce traitement avec l'acide salicylique à deux doses comparé à un témoin (solution nutritive standard).

Les résultats enregistrés dans notre expérimentation montrent que les plantes qui sont irriguées par la solution nutritive standard révélées de hausses remarquables, ce qui indique que cette dernière qui présente le témoin a permis une meilleure croissance et développement des plantes grâce à sa richesse en macro et microéléments. Par contre, l'application de NaCl à différentes concentrations a eu un effet nocif sur les paramètres de croissance, la plus remarquable est révélée à la concentration 200mM qui caractérise par des chutes de l'ordre de 59.49% pour la hauteur, pour le diamètre des tiges 50.76%, pour la surface foliaire 90%, pour la longueur des racines 35.06%, la biomasse fraîche des feuilles 79.67%, la biomasse fraîche des tiges 83.91%, la biomasse fraîche des racines 72.41% pour les paramètres biométriques. Concernant les paramètres physiologiques, nous avons enregistrés augmentations de la teneur des feuilles en proline elle est de 562% de NaCl, et des baisses de chlorophylle en été enregistrés, pour la chlorophylle a 81.74% et 81.38% pour la chlorophylle (b) et 76% pour la chlorophylle (c).

En revanche, la combinaison salinité-acide salicylique permet d'améliorer ces paramètres étudiés dont les hausses les plus remarquables enregistrées à 0,50 mM d'acide salicylique. Cette étude a permis de déterminer la dose de sel la plus nocive et le rôle de l'acide salicylique sur les paramètres de croissance et les paramètres physiologiques.

Mots clés : stress salin, tomate, hors sol, NaCl, acide salicylique.

Abstract

Our present work intends to study the effect of salt stress on the physiological behavior of the tomato of Saint-Pierre variety. In the growth phase in soilless culture by applying a hand with different NaCl concentration and secondly the combination of the treatment with salicylic acid has two dosages compared to a control (standard nutrient solution).

The results achieved in our experiments show that plants that are irrigated by the proven standard nutrient solution remarkably increases, which indicates that this latter presenting the witness has a better growth and development of plants through its rich macro and microelements. On the other hand, the application of different NaCl concentration had a negative effect on growth parameters, the most remarkable is the 200 mM concentration was revealed that characterizes by falls in the range of 59.49% to the height to the diameter 50.76% of the stems, leaf area to 90% for the languor roots 35.06%, the fresh biomass of 79.67% leaves, fresh biomass of 83.91% stems, fresh root biomass 72.41% for the biometric parameters. Regarding physiological parameters, we recorded increases in content of proline in leaves it is 562% NaCl, and chlorophyll decreases in recorded for the chlorophyll a 81.74% and 81.38% for chlorophyll (b) and 76 % for chlorophyll (c).

In contrast, the salinity salicylic acid combination can improve these parameters studied with the most dramatic increases recorded at 0.50 mM salicylic acid. This study identified the most harmful salt dose and the role of salicylic acid on the growth parameters and physiological parameters.

Key words: salt stress, tomato, above ground, NaCl, salicylic acid.

الملخص

عملنا الحالي هو دراسة تأثير الإجهاد الملحي على السلوك الفسيولوجي للتنوع الطماطم سانت بيير. في مرحلة النمو في الزراعة بدون تربة من خلال تطبيق جنب مع تركيز كلوريد الصوديوم محترم وثانيا الجمع بين العلاج مع حمض الساليسيليك واثنين من جرعات مقارنة بالشاهد (المحلول المغذي قياس). وتشير النتائج التي تحققت في تجاربنا أن النباتات التي تروى عن طريق المحلول المغذي القياسية ثبت يزيد بشكل ملحوظ، مما يدل على أن هذا الأخير تعرض الشاهد لديه أفضل النمو والتنمية من النباتات من خلال الغنية الكلي و الصغرى. من سلبيات، وكان تطبيق تركيز كلوريد الصوديوم مختلفة لها تأثير سلبي على معايير النمو، والأكثر لافت للنظر هو تركيز 200 مم تم الكشف عن أن يميز عن انخفاض الأسعار في نطاق من 59.49٪ إلى الارتفاع إلى قطر 50.76٪ من ينبع، مساحة الورقة إلى 90٪ عن جذور كسل 35.06٪، والكتلة الحيوية جديدة من 79.67٪ الأوراق، والكتلة الحيوية جديدة من 83.91٪ ينبع، والكتلة الحيوية جذر جديدة 72.41٪ للمعلمات البيومترية. وفيما يتعلق المعلمات الفسيولوجية، سجلنا زيادة في محتوى البرولين في يتركها هي 562٪ كلوريد الصوديوم، وانخفاض الكلوروفيل في تسجيل لالكلوروفيل 81.74٪ و 81.38٪ لالكلوروفيل (ب) و 76٪ لالكلوروفيل (ج). في المقابل، يمكن الجمع بين الملوحة حمض الساليسيليك تحسين هذه المعايير درس مع الزيادات الأكثر دراماتيكية سجلت عند 0.50 ملي حمض الصفصاف. وحددت هذه الدراسة جرعة الملح الأكثر ضررا ودور حمض الساليسيليك على معايير ومؤشرات النمو والفسيولوجية.

الكلمات الدالة: الإجهاد الملحي، الطماطم، فوق سطح الأرض، كلوريد الصوديوم، حمض الساليسيليك

Sommaire

Remerciement

Résumé

Abstract

الملخص

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité sur la salinité des eaux et des sols

1. Notion de stress	16
2. Catégorie de stress	16
3. La salinité.....	17
4. Répartition des sols salés.....	19

Chapitre II : généralité sur la culture hydroponique36

1. Historique.....	36
2. Définition.....	36
3. Les composants de systèmes hors sol.....	36
4. Les avantages de culture hors sol.....	44
5. Les inconvénients de culture hors sol.....	44

Chapitre III : Généralité sur l'acide salicylique45

1. Définition.....	45
2. Historique.....	45
3. Les propriétés chimiques et physiques.....	46
4. Biosynthèse.....	46
5. Rôle de l'acide salicylique.....	48
6. Mode d'action.....	50

Chapitre IV : Généralité sur la culture de tomate51

1. Historique et l'origine de la tomate.....	51
--	----

2. Classification de la tomate.....	51
3. Caractéristique morphologique de la tomate.....	53
4. Appareil reproducteur.....	55
5. Caractéristiques physiologiques de la tomate.....	57
6. Nouaison des fleurs.....	58
7. Maturation du fruit.....	58
8. Exigences édapho-climatiques de la tomate.....	58
9. Valeur nutritionnelle des fruits de la tomate.....	60
10. Production de la tomate.....	61
11. Pathologie et ravageurs de la tomate.....	62

Partie expérimental

Chapitre V : Matériels et méthodes	66
1. Objectif de l'expérimentation.....	66
2. Matériel végétale testé.....	66
3. Conditions expérimentales.....	67
4. Analyse statistique	80
Chapitre VI : Résultats et discussion	81
1. Paramètres biométriques.....	81
2. Paramètres physiologiques.....	99
Conclusion	107
Liste des annexes	109
Références bibliographiques	115
Table des matières	140

Liste des abréviations

S.A.U	surface agricole utile
AS	Acide salicylique
ASA	Acétyl Salicylique
ATP	Adénosine triphosphate
CE	Conductivité électrique
CO ₂	Dioxyde de carbone
DO	Densité optique
Meq	Mél-Equivalent
BS	Biomasse sèche
MS	Matière sèche
UV	Ultraviolet
ESP	électro stabilisateur programmé
FAO	Organisation international de l'alimentation et de l'agriculture
Faostat	Food and Agriculture Organization corporate Statistical database
MADR	Ministère d'agriculture et de développement rural
Mo	Matière organique
Mt	Mégatonne
NADPH	Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
NFT	La technique de culture sur film nutritif
NRA	L'activité du nitrate réductase
PEG	Polyéthylène glycol
pH	Potentiel hydrogène
PSII	Le photosystème II
ROS	Les dérivés réactifs de l'oxygène
SiO ₂	Dioxyde de silicium
T	Traitement

Liste des figures

Figure 1 : La voie biosynthèse de la proline	30
Figure 2 : illustration des stratégies « inclusion » et « exclusion ».....	35
Figure 3 Schéma simplifiée d'un système hydroponique de type NFT.....	42
Figure 4 : Schéma d'un système a percolation (goutte à goutte).....	42
Figure 5 : Schéma simplifiée d'un système Aéroponique	43
Figure 6 : Présentation d'un système table à marées	44
Figure 7 : la source de la salicine, le remède populaire contre la douleur et l'inflammation. A gauche : <i>Salix babylonica</i> . A droite: <i>Salix alba</i>	46
Figure 8 : Schéma de la voie biosynthétique de l'AS	48
Figure 9 deux types de croissances : (a) indéterminée, (b) déterminée.....	61
Figure 10 : appareil végétatif de la tomate : système racinaire.....	54
Figure 11 : Aspect générale de la tige de la tomate.....	53
Figure 12 : Aspect générale des feuilles de tomate	55
Figure 13 : Diagramme florale de la tomate.....	55
Figure 14 : Appareil reproducteur de la tomate : fleur de tomate et fruit de tomate.....	56
Figure 15 : section transversale et longitudinale d'une tomate.	66
Figure 16 : Production mondiale de la tomate 1962-2010	65
Figure 17 : évolutions des superficies et de la production de la tomate de 1999- 2009 en Algérie	62
Figure 18 : les graines de variétés Saint-pierre	67
Figure 19 : Position de lieu d'expérimentation.....	67
Figure 20 : Aspect générale des conteneurs	68
Figure 21 : Aspect général du gravier utilisé comme substrat.....	69
Figure 22 : Lavage de substrat à l'eau	69
Figure 23 : Désinfection de substrat.....	69
Figure 24 : Schéma de dispositif expérimental.....	70
Figure 25 : les graines de tomate dans les boites de Pétri mis pour la germination.....	73
Figure 26 : Aspect général des grains de tomate avant et après la germination.....	74
Figure 27 : apparition des radicules.....	74
Figure 28 : l'apparition de premières feuilles de la tomate.....	75
Figure 29 : balance de précision utilisée pour réaliser les pesé.....	76
Figure 30 : Schéma de dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle.....	77

Figure 31: le spectrophotomètre	78
Figure 32: Aspect général des échantillons du dosage de la proline.....	78
Figure 33 : Aspect général des tubes au bain marie à 85°C pendant le dosage de la proline	79
après refroidissement.....	80
Figure34: Hauteur finale des tiges (Essai I et II).....	81
Figure 35: Diamètre des tiges (Essai I et II).....	83
Figure 36 : Nombre de feuille (Essai II).....	86
Figure 37 : Longueur des racines (Essai I et II).....	88
Figure 38: Biomasse sèche des feuilles (g) (Essai I et II).....	89
Figure 39: biomasse fraîche des tiges (essai I et II).....	91
Figure 40: biomasse fraîche des racines (essai I et II).....	94
Figure 41 : Biomasse sèche des feuilles (Essai I et II).....	94
Figure 42: biomasse sèche des tiges (Essai I et II).....	96
Figure 43 : Biomasse sèche des racines (Essai I et II).....	98

Liste des tableaux

Tableau 1 : La superficie affectée par la salinité dans différentes régions u Monde.....	19
Tableau2 : le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la surface agricole utile.....	20
Tableau 3 : Caractéristiques des sols salin et sodique	22
Tableau 4 : Classe de la salinité des sols	23
Tableau 5 : Classification de l'eau.....	24
Tableau 6 : Composition élémentaire de deux types de laine de roche en %.....	39
Tableau 7 : la solubilité de l'acide salicylique dans différentes solvants	46
Tableau8 : La valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate.....	60
Tableau 9 : Principaux pays producteurs de la tomate en 2010 (en tonnes).....	61
Tableau 10 : Moyennes des températures par décade en °C.....	68
Tableau 11 : Doses et fréquences nécessaires pour la culture de la tomate.....	75
Tableau 12 : Surface foliaire (Essai I et II)	86
Tableau 13 : Teneur en proline dans les feuilles	99
Tableau 14 : Teneur en chlorophylle (a) dans les feuilles	101
Tableau 15 : Teneur en chlorophylle (b) dans les feuilles.....	102
Tableau 16 : Teneur en chlorophylle (c) dans les feuilles	105

Partie
bibliographique

Partie expérimentale

Introduction

En région méditerranéenne, la salinité constitue une contrainte dans beaucoup de périmètres de grandes cultures où la qualité de l'eau joue un rôle majeur et où la recherche de plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient un impératif pour la production agricole. La sélection variétale, nécessite la connaissance des mécanismes responsables de la tolérance du végétal à la salinité (Arbaoui et *al.*, 2000).

Dans beaucoup de cas, les stress abiotiques ne se produisent pas indépendamment, et donc les stress environnementaux peuvent impliquer ainsi un complexe d'interaction de facteurs de stress (Amane et *al.*, 1999).

L'effet de la forte salinité peut être observé au niveau de toute les plantes comme la mort de la plante et / ou la diminution de la productivité. Beaucoup de plantes développent des mécanismes soit pour exclure le sel de leurs cellules ou pour tolérer sa présence dans les cellules (Parida et Das, 2005).

Les enjeux de ces études sont nombreux et une compréhension détaillé des mécanismes du stress osmotique pourrait ouvrir la voie à une meilleure maîtrise des pratiques agronomiques en milieu salin pour identifier et caractériser les sources de résistance, connaître les mécanismes de réaction de défense, comprendre les mécanismes du contournement des résistance, évaluer la durabilité des résistances, proposer des stratégies d'amélioration et d'utilisation des résistances (Yokoi et *al.*, 2002).

A ce jour, deux grandes stratégies de résistance au sel étaient chez les plantes : limiter l'entrer de sodium au niveau des racines ou séquestrer le sodium au niveau des feuilles (Haouala et *al.*, 2007). A la différence des glycophytes qui ne supportent pas la présence de sels, les halophytes poussent mieux sur un sol salin (Calu, 2006). Elles déclenchent des mécanismes de tolérance qui contribuent à l'adaptation au stress osmotique et ionique provoqué par la salinité élevée (Lee et *al.*, 2008). Ces mécanismes permettent d'ajuster la pression osmotique interne, grâce aux électrolytes et aux solutés organiques (Driouich et *al.*, 2001) principalement des sucres solubles et des acides aminés, comme la proline et glycine bétaine (Tadji et *al.*, 2004, Denden et *al.*, 2005). Ainsi les plantes développent des réponses complexes pour surmonter les effets néfastes de la salinité (Szalai et Janda, 2009).

L'expérimentation a porté sur des plantes cultivée en hors sol sous contrainte saline en présence d'acide salicylique. Cet acide salicylique est un hormone largement utilisée dans le domaine des stress biotiques (Benhamou et Rey, 2012 ; Jourdan et *al.*, 2008, Grant et Lamb, 2006) fait l'objet de très peu de travaux dans le domaine des plantes conduites sous stress

abiotiques (Hayat et *al.*, 2010 ; Aftab et *al.*, 2011 ; Jayakannan et *al.*, 2013). Son application exogène à des plantes sous différents stress a été étudiée par plusieurs chercheurs et son rôle dans l'activation de la germination, de la croissance sous stress salin a été signalé chez le blé, tournesol, tomate... (Arfan et *al.*, 2006).

Dans notre expérimentation, le choix des concentration en acide salicylique est établi en référence à de nombreux travaux sur cette hormone par exemple 0.05mM est utilisé chez le pois chiche, le blé et l'orge (Vanchker et *al.*, 2001 ; Deef, 2007 ; Boukraa et *al.*, 2013), 0.25mM utilisé chez le Maïs et l'orge, le blé et la pomme de terre (Arfan et *al.*, 2007 ; Sun, 2009, Sajid et Aftab, 2012 ; Tufail et *al.*, 2013) et la concentration de 0.5mM est utilisé chez le pois chiche, le pistache, la tomate et le maïs (Szepesi et *al.*, 2005 ; Arfan et *al.*, 2007 ; Zahra et *al.*, 2010 ; Bastam et *al.*, 2013)

Dans le cadre de cette approche et afin de mieux comprendre l'effet de l'acide salicylique sur le comportement morphologique et physiologique de la plante, nous nous sommes intéressés à des plantes juvéniles de tomate «*Solanum lycopersicum L.*», c'est une plante sensible à la salinité des sols et des eaux d'irrigation, ne constituent pas un facteur limitant, mais elle peut constituer un facteur qui limite la qualité de la production (Pntta, 1999). La tolérance de la tomate à la salinité a fait l'objet de plusieurs études (Shalhev and Yaron 1973), d'après ces auteurs, la tomate est moyennement tolérante à la salinité cependant cette tolérance varie d'une variété à autre, plusieurs critères sont utilisé pour tester la tolérance à la salinité des tomates en phase de croissance végétative. (Cruz et Cuartero, 1999). Cet espèce est capable d'accumuler la proline afin d'assurer l'ajustement osmotique sous condition stressantes du milieu a des proportions variable.

La première partie de ce travail aborde une recherche bibliographique sur le stress salin, la technique de culture utilisée qui est la culture hors sol, l'acide salicylique et le matériel végétale utilisé la tomate.

Dans la seconde partie, nous décrirons la méthodologie adoptée dans notre expérimentation.

Et dans la troisième partie, nous interprétons les résultats obtenus sur le comportement morphologique de la plante et sa réponse a traves l'accumulation de la chlorophylle et de la proline sous stress salin et en présence d'acide salicylique, nous essayons d'expliquer l'interaction de ces deux facteurs dans les parties aériennes et souterraines des deux espèces.

1. Objectif de l'expérimentation

Notre travail a pour objectif de

- Déterminer d'une part, l'action dépressive de la salinité par la présence du chlorure de sodium (NaCl) à des concentrations croissantes (50, 100, 150 et 200mM/l) sur le comportement morphologique des plantes juvéniles de tomate «*Solanum lycopersicum L.*», variété «Saint-Pierre » ainsi son comportement physiologique traduit par des mesures de la teneur des feuilles en chlorophylle et en proline.
- Et d'autre part, déterminer l'action combinée de l'acide salicylique, qui est utilisé dans notre expérience sous deux doses 0.25 et 0.50mM/l, avec les mêmes concentrations en NaCl déjà testés dont le but est de déterminer la dose la plus stimulante et qui permet d'obtenir une régulation osmotique parfaite pour les plantules de tomate dans les conditions de stress.

2. Matériel végétal testé

Le matériel végétal utilisé durant notre l'expérimentation est la tomate «*Solanum lycopersicum L.*», est une espèce annuelle, de la famille des **Solanacées**, et c'est une plante moyennement sensible à la salinité, qu'elle a la possibilité à tolérer les conditions environnementales sévères tel que le stress salin (Bacha et *al.*, 2015), l'expérience a été réalisée durant l'hiver de 04/01/2016 au 01/03/2016.

La variété testée est «Saint-Pierre», qui est une variété très cultivée en Algérie, elle possède les caractéristiques suivantes :

- vigoureuse,
- demi-hâtive.
- Production abondante de fruits de 100-120 g, en bouquet de 4-5, jusqu'en automne.
- Chair ferme et savoureuse.
- Bonne résistance aux craquelures.
- Semis : en mars/avril sur couche chaude (20° C) ou en godets. Repiquez en place quand les gelées ne sont plus à craindre et que les plants atteignent 12 à 15 cm.
- La tomate aime les sols riches, meubles, sains. Récolte 4 à 5 mois après le semis.



Figure 18: les graines de variétés Saint-pierre (source personnel).

3. Conditions expérimentales

3.1.Lieu de l'expérience

Notre étude a été réalisée au niveau du laboratoire de recherche de biotechnologie des productions végétales situé au sein du département de Biotechnologies, université de Blida 1. Le laboratoire contient les équipements nécessaires à la réalisation de l'ensemble des essais et expérimentations sur la tomate, qui comprend aussi une serre où notre expérimentation a été effectuée. La serre est en polycarbonate dont : l'orientation est nord sud, l'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre. Des radiateurs ont été installés au niveau de la serre pour assurer le chauffage pendant l'hiver.



Figure 19 : Position de lieu d'expérimentation (Source personnelle).

Pour suivre l'évolution de la température, nous avons installé un thermomètre positionné au centre de la serre. Des relevés quotidiens de températures ont été effectués à trois moments de la journée : 9h00, 12h00 et 15h00. Le tableau ci-dessous montre les moyennes par décade des températures diurnes au niveau de la serre.

Tableau 10: Moyennes des températures par décade en °C.

Période	Temperature		
	9h	12h	15h
10/01/2016 au 17/01/2016	17,8	27,5	28,8
18/01/2016 au 24/01/2016	15,5	24,8	26,8
25/01/2016 au 31/01/2016	17,2	24	26,5
01/02/2016 au 07/02/2016	18,1	23,7	23,1
08/02/2016 au 14/02/2016	16,14	24,8	26,1
15/02/2016 au 21/02/2016	13,7	25,5	22,4
22/02/2016 au 28/02/2016	15,8	23,8	23,5

Dans le tableau au-dessus, on a calculé la moyenne de température de la serre pour chaque semaine durant la période de l'expérimentation, nous constatons que la période matinale, les températures moyennes étaient peu favorable à la croissance de la tomate, à partir de 12h, les températures moyennes deviennent plus favorables à la croissance et le développement de l'espèce testée. Pour stimuler la croissance, on a créé un microclimat par l'utilisation des chauffages de la serre.

3.2.Conteneurs

Les conteneurs utilisés sont des pots en plastique, de couleur marron ayant une capacité de 1kg et présentant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire. Le diamètre supérieur est de : 10cm et l'inférieur est de : 6cm et la hauteur égale à : 10cm.



Figure 20 : Aspect générale des conteneurs (Source personnelle).

3.3.Substrat utilisé

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est le gravier de rivière dont le diamètre est de 3 à 8mm provenant de la région de Blida. Ce substrat constitue un milieu défavorable pour le développement de micro-organismes. Grâce à sa porosité, il assure une meilleure aération pour les racines des plantes alors que sa capacité de rétention en eau est très faible.



Figure 21 : Aspect général du gravier utilisé comme substrat (source personnelle).

Afin d'éviter tous risques de contamination par les maladies parasitaires, une procédure de désinfection a été effectuée comme suit :

- Lavage des pots à l'eau et hypochlorite de sodium diluée afin d'éliminer les particules terreuses et les débris végétaux des cultures précédentes.
- Rinçage des pots avec l'eau abondant et laisser sécher.
- Lavage de substrat (gravier) par l'eau pour supprimer toutes les particules terreuses.
- Remplissage des pots avec le substrat lavé.
- Désinfection du substrat avec une solution d'hypochlorite de sodium diluée de concentration initiale 12.
- Rinçage abondant de substrat à l'eau de robinet pendant trois jours pour éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium fortement nocive pour les racines des jeunes plantules de tomate.



Figure 22 : Lavage de substrat à l'eau. **Figure 23**: Désinfection de substrat

3.4. Dispositif expérimentale

Notre expérimentation a été réalisée en plan complètement randomisé avec un seul facteur étudié qui est la composition de la solution d'irrigation. Cette dernière est composée de deux variables qui sont:

- La dose de la solution d'irrigation en NaCl dont les concentrations testés sont 50, 100, 150 et 200mM. Ceci correspond aux traitements T1, T2, T3 et T4 respectivement,
- La dose en acide salicylique combinée aux mêmes solutions d'irrigation prédéfinies, au quelle nous avons testés deux concentrations à savoir 0.25 et 0.50mM/l. La première combinaison donne la définition des traitements T5 ; T6 ; T7 et T8 testés dans l'essai I, alors que la deuxième combinaison définir les traitements T5' ; T6' ; T7' et T8' testés dans l'essai II, L'interaction entre ces deux variables donne naissance à 08 traitements comparés par une solution nutritive standard qui est considéré comme un témoin (T0) soit au total 9 traitements testés avec 03 répétitions pour chaque traitements, Ceci donne 27 unités expérimentales pour chaque plan, au totale seront 54 unités expérimentales (Voir figure 25). La distribution des traitements faite aléatoirement selon la table de permutation des nombres aléatoires de 1 à 10 pour chaque plan.

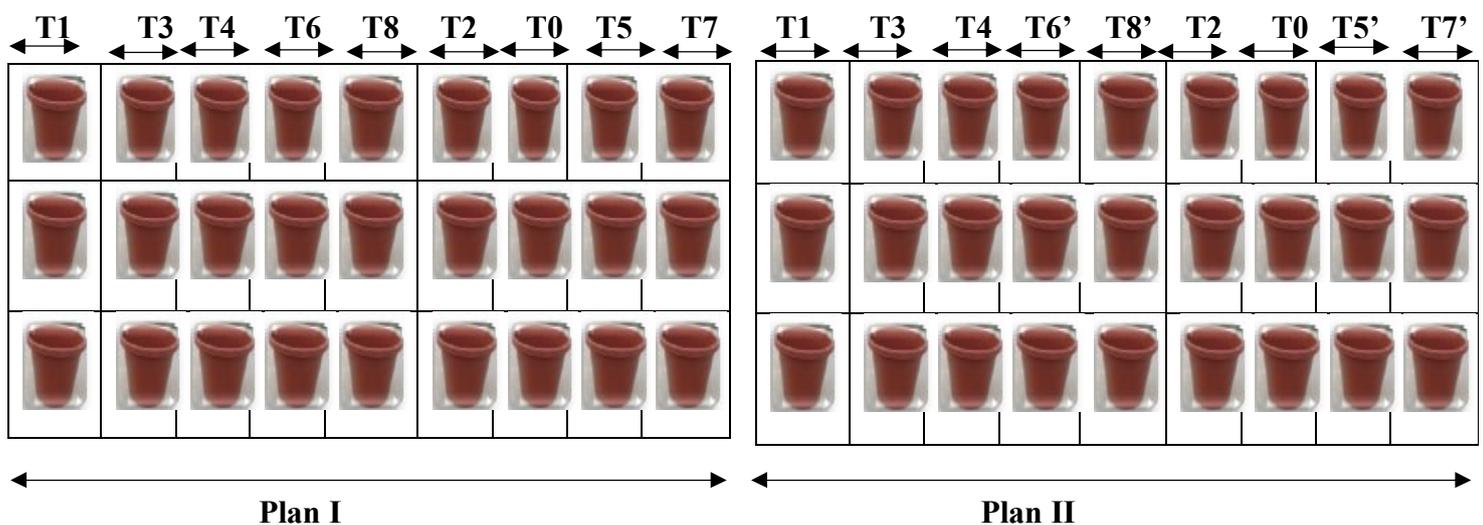


Figure 24: Schéma de dispositif expérimental.



: Unité expérimentale.

T0, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T5', T6', T7', T8': Traitements utilisées.

3.5. Les différents traitements testés

Plan I :

T0 : Solution nutritive standard

T1 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 50mM/l.

T2 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 100mM/l.

T3 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 150mM/l.

T4 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 200mM/l.

T5 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 50mM/l +Acide salicylique à 0.25mM/l.

T6 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 100mM/l + Acide salicylique à 0.25mM/l.

T7 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 150mM/l + Acide salicylique à 0.25mM/l.

T8 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 200mM/l + Acide salicylique à 0.25mM/l.

Plan II :

T0 : Solution nutritive standard

T1 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 50mM/l.

T2 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 100mM/l.

T3 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 150mM/l.

T4 : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 200mM/l.

T5' : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 50mM/l +Acide salicylique à 0.50mM/l.

T6' : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 100mM/l +Acide salicylique à 0.50mM/l.

T7' : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 150mM/l +Acide salicylique à 0.50mM/l.

T8' : Solution saline chargée en NaCl dont sa concentration est de 200mM/l +Acide salicylique à 0.50mM/l.

Nous avons préparé tous les traitements testés avec l'eau potable de Blida, pour des raisons pratiques et compte tenu des besoins en eau importants des plantes en cours de cycle de développement. La composition de la solution nutritive est : K^+ : 4.25meq/l ; Na^+ : 1.30 meq/l ;

Ca²⁺ : 5.10meq/l ; Mg²⁺ : 1.80 meq/l ; NH₄⁺ : 1.80meq/l ; H⁺ : 3.3meq/l ; NO³⁻ : 10.20 meq/l ; PO₄³⁻ 3.3meq/l ; SO₄²⁻ : 1.50 ; Cl⁻ : 0.60 meq/l

En dernier lieu, nous avons ajouté les solutions d'oligoéléments A et B, solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par Coic et *al.* (1975). Le contrôle de pH de la conductivité électrique est obligatoire après chaque préparation.

3.5.1. Calcul de la concentration des solutions testées

D'une part, les traitements salins chargés en NaCl ont été préparés par la méthode suivante :

- T1 : Solution saline chargée en NaCl à 50mM/l. Soit $T1 = \frac{50 \times 58.44}{1000} = 2.92g/l$
- T2 : Solution saline chargée en NaCl à 100mM/l. Soit $T2 = \frac{100 \times 58.44}{1000} = 5.84g/l$
- T3 : Solution saline chargée en NaCl à 150mM/l. Soit $T3 = \frac{150 \times 58.44}{1000} = 8.75g/l$
- T4 : Solution saline chargée en NaCl à 200mM. Soit $T4 = \frac{200 \times 58.44}{1000} = 11.68 g/l$

D'autre part, la combinaison salinité- acide salicylique permis de définir le reste des traitements testés durant notre expérience. Pour cela, nous avons testés deux doses d'acide salicylique qui sont 0.25 et 0.50 mM/l. Ceci pour but de déterminer la dose qui stimule mieux la croissance ainsi il permet de maintenir une régulation osmotique adéquate pour une meilleure absorption hydrominérale dans un milieu salin. La composition des traitements (T5, T6, T7, T8, T5', T6', T7', T8') est la suivante :

Essai I : acide salicylique à 0.25mM/l

Le poids moléculaire d'acide salicylique est 138.12

- Eau chargée par 0.25mM d'acide salicylique $\frac{0.25 \times 138.12}{1000} = 0.029g/l$
- T5 : Solution saline chargée en NaCl à 50mM/l+ 0.25mM/l d'acide salicylique. Soit $T5 = 2.92g/l + 0.029g/l$
- T6 : Solution saline chargée en NaCl à 100mM/l + 0.25mM/l d'acide salicylique. Soit $T6 = 5.84g/l + 0.029g/l$
- T7 : Solution saline chargée en NaCl à 150mM/l + 0.25mM/l d'acide salicylique. Soit $T7 = 8.75g/l + 0.029g/l$
- T8 : Solution saline chargée en NaCl à 200mM + 0.25mM/l d'acide salicylique. Soit $T8 = 11.68 g/l + 0.029g/l$

Essai II : acide salicylique à 0.50mM/l

- Eau chargée par 0.5mM d'acide salicylique $\frac{0.5 \times 138.12}{1000} = 0.059\text{g/l}$
- T5' : Solution saline chargée en NaCl à 50mM/l+ 0.50mM/l d'acide salicylique. Soit T5'= 2.92g/l + 0.059g/l
- T6' : Solution saline chargée en NaCl à 100mM/l + 0.50mM/l d'acide salicylique. Soit T6 = 5.84g/l+0.059g/l
- T7' : Solution saline chargée en NaCl à 150mM/l + 0.50mM/l d'acide salicylique. Soit T7 = 8.75g/l+ 0.059g/l
- T8' : Solution saline chargée en NaCl à 200mM + 0.50mM/l d'acide salicylique. Soit T4 = 11.68 g/l+0.059g/l

4. Germination des graines

4.1.Pré- germination des graines

Le pré germination a été réalisé le 04/01/2016, les grains sont mise en germination dans des boites de Pétri, chaque boite est tapissée par un papier filtre. Contenant chacune Quarante graines de tomate imbibées par l'eau distillée, Les boites sont mises à l'obscurité dans une étuve réglée à une température de 25°C. Les gaines sont hydratées quand c'est nécessaire pour éviter leur dessèchement.

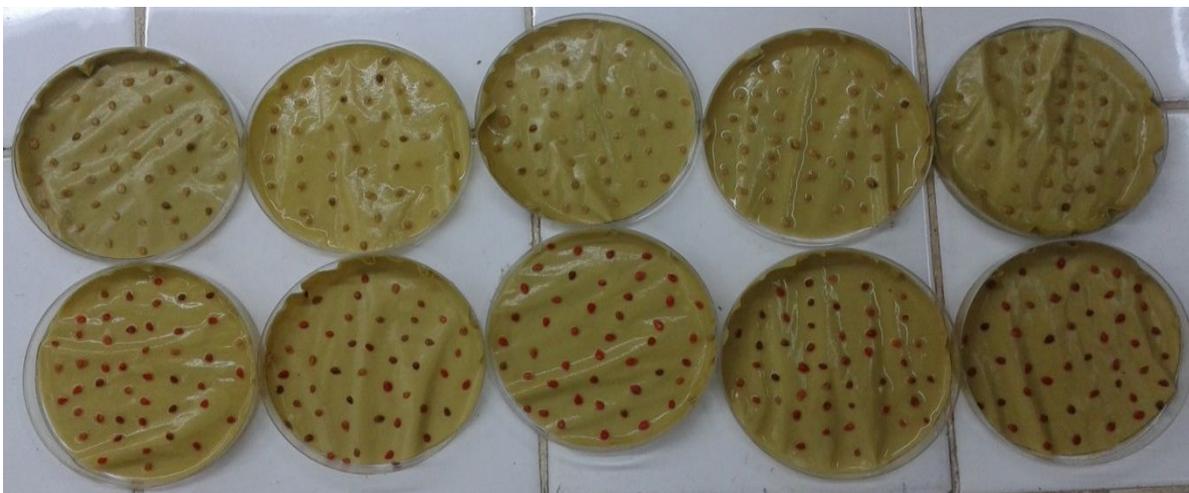


Figure 25 : les graines de tomate dans les boites de Pétri mis pour la germination (Source personnelle, 2016)



Figure 26: Aspect général des grains de tomate avant et après la germination

4.2.Repiquage des germes

Après la germination, et l'apparition de la radicule (voir figure 27), les germes de la tomate sont repiqués soigneusement et mis en pots, le 10/01/2016 à raison de 2 germes par pot à une profondeur convenable (0,5 à 1 cm) avec un léger tassement et elles sont irriguées par l'eau de robinet tiède depuis le 10/01/2016 jusqu'à l'apparition des feuilles cotylédonaires.



Figure 27 : l'apparition des radicules (Source personnelle, 2016).

Après l'apparition des premières feuilles (voir la figure 28), une seule plante par pot est conservée et irriguée par une solution nutritive qui a été préparée déjà par des macros et des micros éléments, depuis le 25/01/2016 jusqu'à le 14/02/2016 dans le but d'avoir un matériel végétal vigoureux et homogène de départ.

Nous avons commencé l'application des différents traitements le 25/01/2016 jusqu'à le 14/02/2016 soit 15 jours d'application de traitement.



Figure 28: l'apparition de premières feuilles de la tomate (Source personnelle, 2016).

4.3. Entretien de la culture

4.3.1. Irrigation

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de la solution d'irrigation en excès. Il est important dans la culture hors sol de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, pour pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les déficits et les éventuels excès de solution nutritive.

La dose et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les conditions microclimatiques telle que la température.

Tableau 11 : Doses et fréquences nécessaires pour la culture de la tomate :

Date	Type d'irrigation	La dose d'irrigation	La fréquence
10/01/2016 au 24/01/2016	L'eau de robinet tiède	80 ml	3 fois /jour
25/01/2016 au 14/02/2016	La solution nutritive	20 ml	
25/01/2016 au 14/02/2016	Application des traitements	20ml	

5. Paramètres mesurés

5.1. Paramètres Biométriques

5.1.1. Hauteur finale des plantes

La hauteur des plantes mesurée à l'aide d'une règle graduée et cela du collet jusqu'à l'apex. Nous renseigne sur l'effet du stress sur la croissance des plantes stressées comparativement au témoin, Cette mesure a été effectuée au moment de la coupe finale.

5.1.2. Diamètre des tiges

Le principe consiste à mesurer le diamètre des tiges à l'aide d'un pied à coulisse et ce au niveau de tous les plants au moment de la coupe.

5.1.3. Nombre des feuilles

Ce paramètre a été réalisé au moment de la coupe, le principe consiste à faire un comptage des feuilles pour chaque plant.

5.1.4. La surface foliaire

La mesure de la surface foliaire, qui est un indice nécessaire pour la détermination de la croissance est réalisé selon la méthode de Paule *et al.*, (1979). Cette méthode consiste à pesé 1cm² de la surface d'une feuille.

5.1.5. Biomasse fraîche produite

Au moment de la coupe, ce paramètre consiste à peser les différents organes de la plante en gramme, à l'aide d'une balance de précision (figure 29). Les pesées ont porté sur le poids frais total suivante :

- Poids frais des feuilles de chaque plante.
- Poids frais de la tige de chaque plante.
- Poids frais de la racine de chaque plante.



Figure 29: balance de précision utilisée pour réaliser les pesé.

5.1.6. Biomasse sèche produite

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais de différents organes, misent dans un étuve à 70°C jusqu'à la stabilité du poids sec puis nous avons pesé : Poids sec de l'échantillon moyen des feuilles.

- Poids sec de l'échantillon moyen des tiges.
- Poids de l'échantillon moyen des racines.

- Puis déterminer les biomasses sèches (BS) en(g) par la méthode suivante :

$$BS \text{ (g)} = \text{poids sec moyen} \times \text{poids frais} / \text{poids frais moyen}$$

5.1.7. Taux de matière sèche

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%] et qui est calculé comme suit:

$$MS \text{ [%]} = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100$$

- Taux de matière sèche des feuilles en [%].
- Taux de matière sèche des tiges en [%].
- Taux de matière sèche des racines

5.2. Paramètres physiologiques

5.2.1. Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle

Les teneurs en chlorophylle (a), (b) et caroténoïdes sont déterminées selon la méthode utilisée par Shabala et *al.*, (1998) in Hassani, (2014).

Un échantillon de 100 mg de la partie médiane de l'avant dernière feuille est mis en tube à essai en présence de 10 ml d'acétone à 95 % à 4°C dans l'obscurité pendant 48 heures.

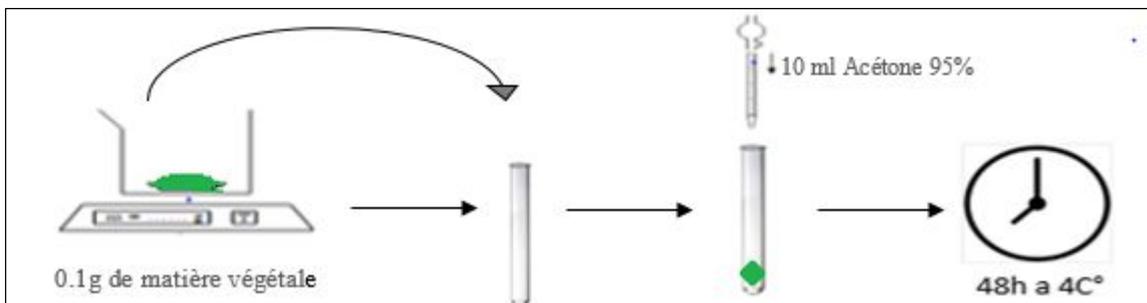


Figure 30 : Schéma de dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle.

La lecture de la densité optique (DO en nm) est faite à l'aide d'un spectrophotomètre UV à des longueurs d'onde respectives de 470, 645 et 663 nm qui correspondent aux pics d'absorption de la chlorophylle "a", "b" et des pigments caroténoïdes.



Figure 31: le spectrophotomètre

Ensuite le calcul des quantités de chlorophylle "a", "b" (expérimenté en mg/ml) se fait à l'aide des formules suivantes :

- **Chl a** = $9,78 \text{ DO (663)} - 0,99 \text{ DO (645)}$;
- **Chl b** = $21,42 \text{ DO (645)} - 4,65 \text{ DO (663)}$;
- **Caroténoïdes** = $[1000. \text{DO (470)} - 1, 90. \text{Chl a} - 63, 14. \text{Chl b}]/214$.

5.2.2. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986).

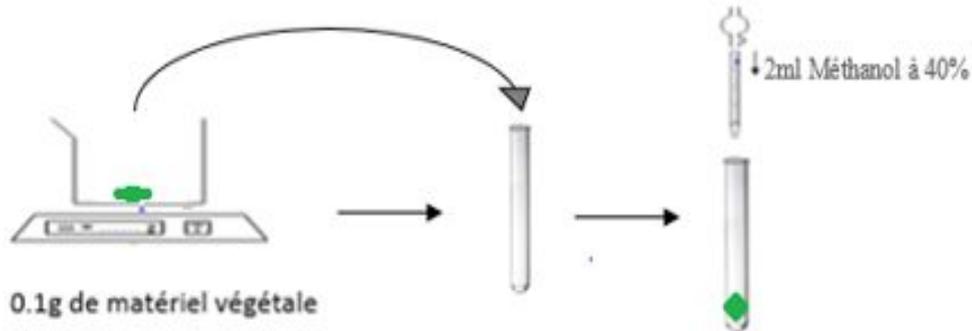
Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.



Figure 32 : Aspect général des échantillons du dosage de la proline (Source personnelle, 2016).

La méthode consiste à:

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- Ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %.

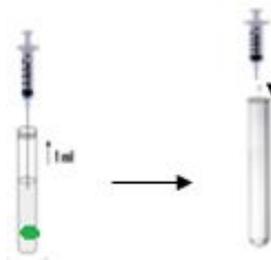


Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min (voir figure 32).

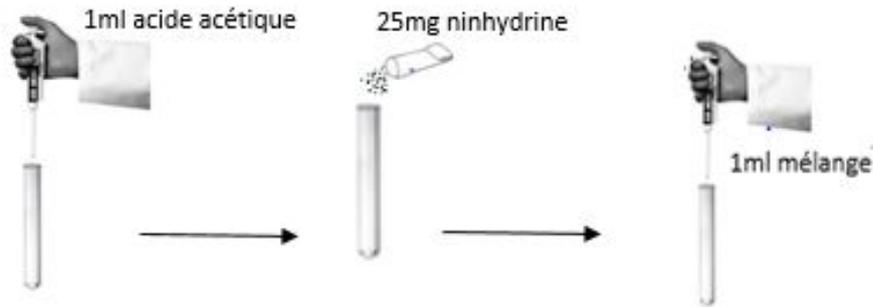


Figure 33 : Aspect général des tubes au bain marie à 85°C pendant le dosage de la proline Après refroidissement (Source personnel).

- Prélever 1 ml de la solution de chaque tube ;
- Mettre dans de nouveaux tubes ;



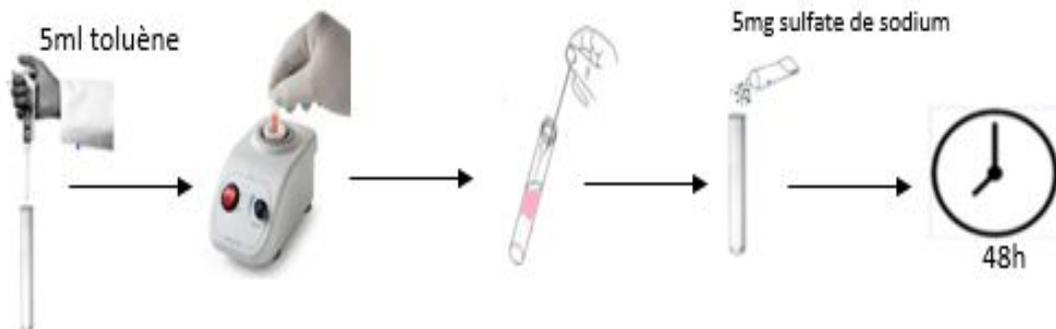
• Ajouter 1 ml d'acide acétique + 25 mg de ninhydrine + 1 ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique ;



- Porter les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min.

Après refroidissement des solutions:

- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent
- Prélever la phase supérieure
- Ajouter 5 mg du sulfate de sodium
- Laisser au repos pendant 48h.



On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre (figure) à la longueur d'onde de 528 nm.

La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule:

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO (528)} \times 0,62$$

6. Analyse statistique

Nous avons réalisés notre analyse statistique a l'aide du logiciel Excel par l'option "utilitaire d'analyse". Son principe de comparer entre les moyennes obtenues.

1. Paramètres biométriques

1.1. Hauteur finale des tiges

Les résultats relatifs de ces paramètres sont illustrés dans la figure 34. Nous constatons que les plantes de tomate qui ont été reçoivent la solution nutritive standard pendant le cycle de développement révèlent les hauteurs des tiges les plus importantes avec des valeurs de 29.50 et 25.50cm dans l'essai I et II respectivement.

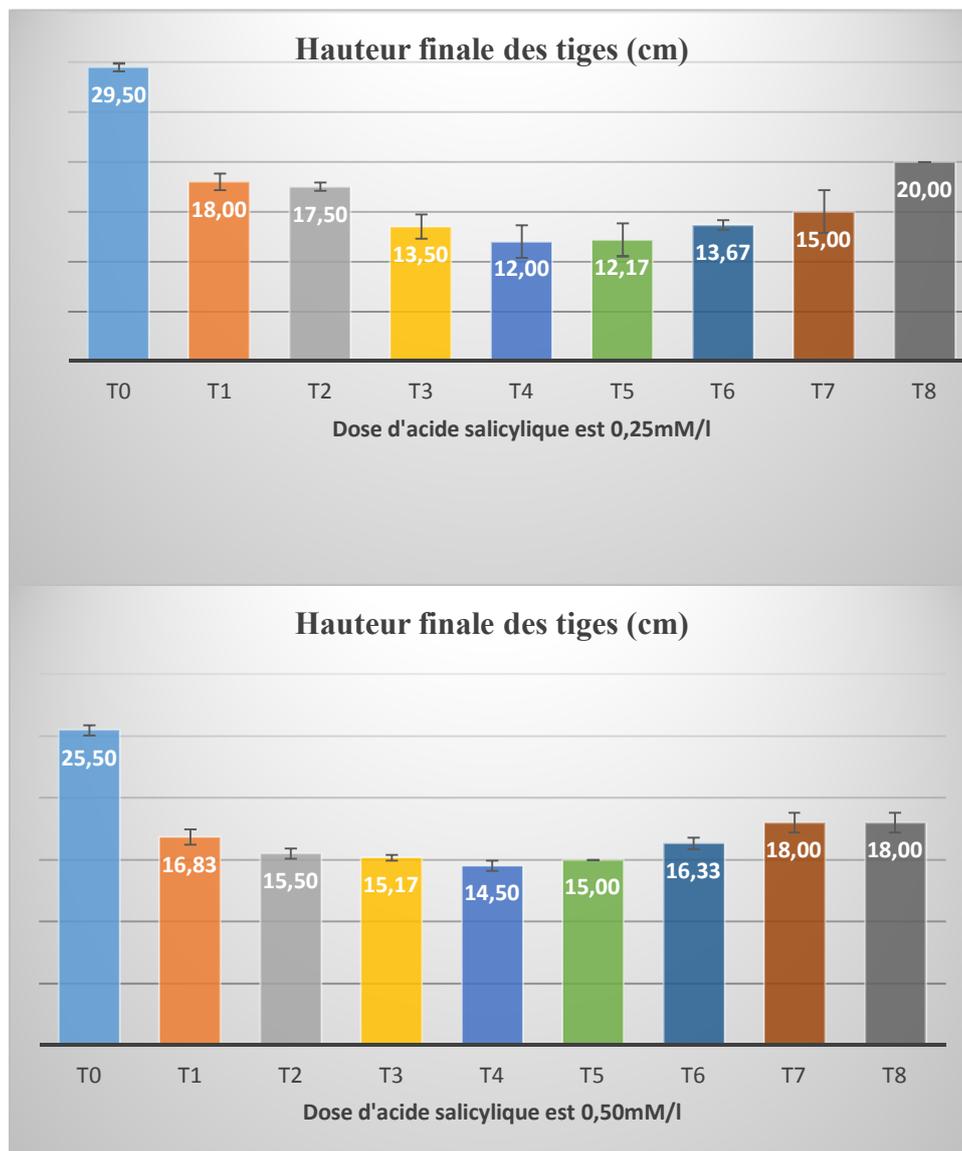


Figure34: Hauteur finale des tiges (Essai I et II).

Dès que la dose en NaCl dépasse 50mM/l dans la solution d'irrigation, nous remarquons que les chutes des hauteurs des plantes de tomate est plus significatif. Il atteint jusqu'au 40.67% et 56.68% lorsque la dose en NaCl est 200mM/l dans l'essai I et II respectivement. Alors que les chutes sont 61.01% ; 59.32% ; 45.76% et 66%; 60.78% ; 59.49% dont la concentration en NaCl est de 50; 100 et 150mM respectivement.

Ces résultats confirmés par le travail réalisé par Bennabi (2005) qui montre que la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces ainsi que la grosseur des fruits diminue d'une façon importante avec l'augmentation de la salinité.

Selon Singh et Prasad (2009), l'action dépressive du sel se manifeste par une réduction de la hauteur des plantes. La réduction de la croissance des plantules est attribuée à une combinaison de l'effet osmotique et l'effet spécifique des ions Na^+ et Cl^- (Turan et al., 2007; Taffouo et al., 2010). La salinité du milieu affecte significativement sur la longueur des tiges des plantules de *G. hirsutum*, ce qui se traduit par une corrélation linéaire positive entre la durée de culture et des doses croissantes de NaCl.

De plus, Benmahioul et al., (2009) indiquent que la présence de NaCl dans le milieu de culture entraîne chez le pistachier fruitier, une diminution significative de la longueur de la tige.

En revanche, la combinaison salinité- acide salicylique permis de stimuler la croissance des plantules de tomate. Ceci traduit par une augmentation significative des hauteurs mesurées. La dose 200mM/l combinée d'une part à 0.25 révèle les hauteurs des plantes les plus dominants avec une hausse de 64.33%. D'autre part ; cette dose en combinaison avec 0.50mM/l révèle une hausse de 20%.

Ces résultats sont en accord avec celles de Khodary (2004), Noreen et Ashraf (2008) et Idrees et al., (2011), qui ont reporté que l'application foliaire de l'acide salicylique atténue l'effet dépressif de NaCl sur la croissance des plantes de Maïs, tournesol et la citronnelle. Aussi, Senaratha et al., (2000) ont indiqué que l'acide salicylique incite la tolérance aux stress biotique et abiotique. Aussi, Sakhabutdinova et al., (2003) a conclu que le traitement de l'acide salicylique a réduit l'action destructrice de salinité et le déficit d'eau sur la croissance de jeune plant de blé et a accéléré une restauration de processus de croissance. De plus, Gunes et al., (2007) ont montré que l'acide salicylique inhibe fortement l'accumulation de Na^+ et Cl^- mais il simule la concentration de N, Mg, Fe dans les plantes de Maïs. Ces résultats suggèrent que l'acide salicylique puisse être utilisé comme une molécule de signale endogène responsable a la tolérance au stress abiotique dans les plantes et les mêmes auteurs ont souligné que l'application exogène de l'acide salicylique augmente la croissance des plantes significativement dans les deux conditions salines ou non salée.

1.2.Diamètre des tiges

Les résultats relatifs de ce paramètre sont illustrés dans la figure 35.

Le diamètre des tiges a été mesuré pendant le coup final à l'aide d'un pied à coulisse au niveau du collet de chaque plantule de tomate.

Nous avons remarqués que les plantules de tomate irriguées par la solution nutritive standard (T0) tout au long du cycle de culture, permis d'enregistrer les diamètres les plus élevés avec 0.58 et 0.65 mm pour l'essai I et II respectivement.

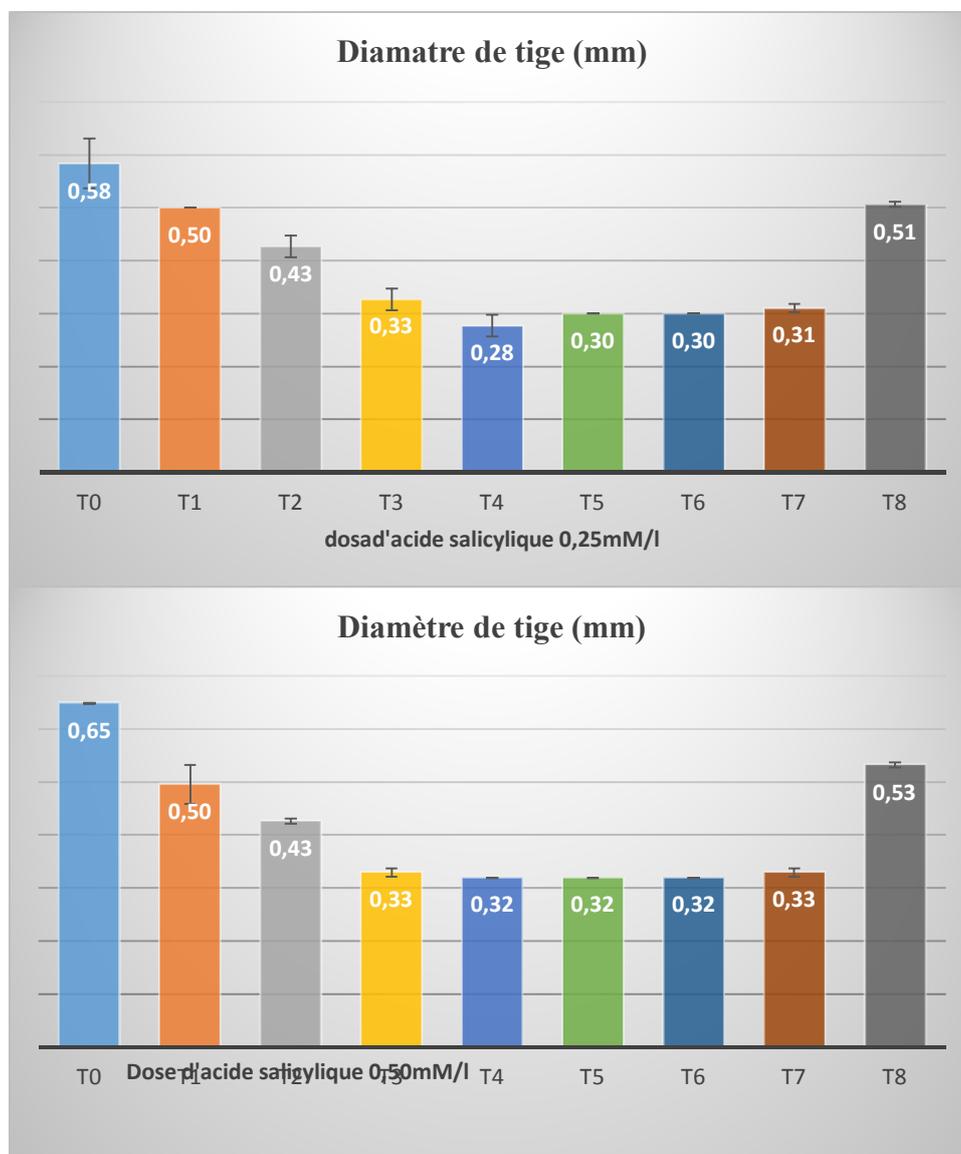


Figure 35: Diamètre de tige (Essai I et II).

Ceci est expliqué par la richesse de la solution nutritive standard en éléments nutritifs ainsi son équilibre ionique parfait qui favorise une meilleure absorption hydrominérale des plantules de tomate surtout en culture hors sol.

L'irrigation des plantules de tomate avec les solutions à des concentrations croissantes en NaCl présentent des baisses significatives du diamètre des tiges. Ils ont de l'ordre de 13.79% ; 25.90% et 43.10% lorsque les doses en an NaCl sont 50 ; 100 et 150mM pour les deux essais alors qu'il atteint 51.72% et 50.76% a 200mM/l de NaCl pour l'essai I et II respectivement.

Selon Daoud et Halitim (1994), la présence des sels à des concentrations importantes provoque un retard de la croissance des plantes en compagnie d'une formation des tiges peu rigides et peu développées.

Par contre, la combinaison salinité-acide salicylique permis de pousser l'élongation des plantules de tomate en longueur et largeur. Ceci traduit par une augmentation significative de diamètre des tiges, quand la dose en NaCl est de 200mM/l combinée à 0.25 et 0.50 mM/L ce qui correspond à 0.51 et 0.53 mm. Les hausses révélées sont de l'ordre de 70 et 65.62% respectivement par rapport au T5.

Ces résultats ont été confirmés par Rady et Gamal (2015), qui ont été indiqués que les caractéristiques sur la longueur des plantes, nombres des feuilles, diamètres des tiges et le poids sec de haricot soulignées de sel ont été positivement affecté par acide salicylique.

1.3.Nombres des feuilles

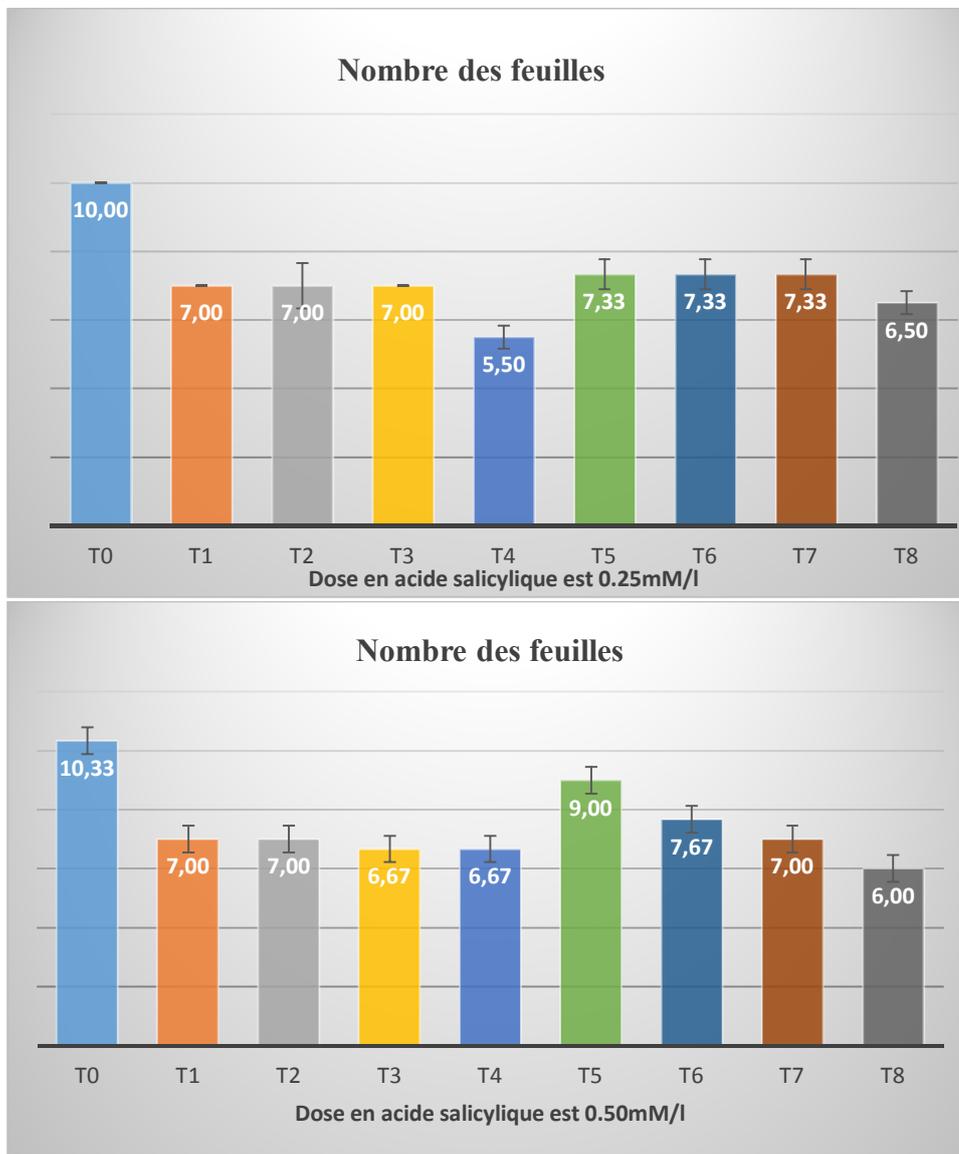


Figure 36 : Nombre de feuille (Essai II)

Les résultats relatifs au paramètre de croissance « nombre de feuille » des plantules de la variété Saint-Pierre de tomate cultivée en hydroponie durant deux semaines en présence des concentrations croissantes de NaCl avec et sans combinaison à l'acide salicylique comparés à un témoin montrent toutefois, qu'en absence de stress, le nombre de feuille calculés lorsque les plantules de tomate reçoit la solution nutritive standard est le plus élevé avec 10 feuilles dans les deux essais testés.

Tant que la dose en NaCl est augmenté dans la solution d'irrigation, elle entrain chez cette variété une baisse importante dans nombre des feuilles. Il a été remarqué que l'irrigation avec la solution saline en présence de 50mM de NaCl ou le double a été révélé le même nombre de feuille (7 feuilles). Ceci représente à une chute de 30% par rapport au témoin pour l'essai I et II. L'irrigation avec 200mM permis de réduire significativement ce paramètre. Le nombre de feuille a été chuté jusqu'à 5.5 et 6.67. Ce qui représente une réduction de 45%et 35.40% pour l'essai I et II respectivement.

Rush et Epstein, (1981) ont montré que les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la réductions du nombre de feuilles, Des recherches similaires Il s'est avéré aussi que les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à une salinité excessive (Benmahiou *et al.*, 2009).

Bois (2005), confirme qu'une grande partie des pertes de croissance est aussi attribuée à l'accumulation ionique au niveau des feuilles. Cette accumulation est alors capable de gêner et de troubler l'activité enzymatique et les processus métaboliques ainsi que les microstructures des feuilles. La présence de l'acide salicylique avec NaCl provoque des valeurs plus proches par rapport au témoin, la dose 200mM combinée à 0.25 et 0.50mM révèlent des hausses de et respectivement. Cela affirme que la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique (Zhu, 2001).

La combinaison salinité-acide salicylique permis de changer le comportement morphologique des plantules de tomate dans un milieu salin. Ceci traduit par une augmentation de nombre de feuille lorsque la dose en NaCl est combinée avec 0.25mM qu'avec 0.50mM. Les gains sont de l'ordre de 4.71% on comparant le traitement qui présente la combinaison avec son homologue salin brute (T5/T1 ; T6/T2 et T7/T3) pour l'essai I. alors que les gains dans l'essai II sont 28.57% ; 9.57% et 4.94% pour la même comparaison.

Il est à noter que le nombre de feuille révélé chez les plantules qui ont reçoivent 200mM de NaCl en combinaison avec 0.25mM d'acide salicylique dans l'essai I représente un gain de 18.18%, alors que cette même dose en combinaison avec 0.50mM d'acide salicylique dans l'essai II révèle une chute de 11.37% par rapport au T4.

L'effet d'application de l'acide salicylique sur les feuilles a été attribué à son rôle important dans l'activation de la division cellulaire. Raskin (1992), a été signalé que l'augmentation de l'effet de l'acide salicylique sur la disponibilité et le mouvement de différente substance nutritive qui pourrait aboutir à ces substances nutritives différentes stimulantes dans les feuilles.

1.4. Surface foliaire

Surface moyenne d'une feuille adulte (exprimée en cm²) a été déterminée sur un échantillon de trois feuilles par traitement, par la méthode des pesées : les feuilles ont été soigneusement découpées et pesées à l'aide d'une balance de précision.

Tableau 12 : Surface foliaire (Essai I et II)

	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>
Essai I	1175,3 ± 2,66	228,18 ± 4,25	211,62 ± 1,57	127,33 ± 8,87	111,04 ± 12,06	371,14 ± 20,83	257,32 ± 17,87	160,79 ± 17,58	126,23 ± 25,38
Essai II	1186,01 ± 3,12	216,74 ± 3,96	212,71 ± 1,41	171,75 ± 7,53	180,01 ± 11,37	368,74 ± 12,77	318,91 ± 13,12	270,12 ± 18,92	245,11 ± 11,76

D'après les résultats illustrés dans le tableau 12, nous remarquons que la surface foliaire des plantes irriguées par la solution nutritive standard (T0) est très importante qui sont de l'ordre 1175.30 et 1186.01cm² dans l'essai I et II respectivement et cela du a la richesse de la solution nutritive standard en macro et microéléments.

Les plantes irriguées par les traitements de la solution saline de NaCl ont eu un effet très marqué sur la diminution de la surface foliaire. Les chutes atteint jusqu'à 90.53% et 84.82% à 200mM de NaCl dans l'essai I et II respectivement.

Sibole *et al.*, (2000), indique que la diminution du taux de croissance des feuilles après une augmentation de la salinité est due principalement à l'effet osmotique du sel autour des racines. Ces effets provoquent la perte d'eau des cellules foliaires. Le taux d'allongement et d'élongation de la cellule est réduit. Cette réduction conduit finalement à l'apparition des feuilles de faible surface foliaire mais plus épais.

En revanche, l'addition de l'acide salicylique avec NaCl améliore considérablement la surface foliaire dont la combinaison 50mM de NaCl avec l'acide salicylique (T5) représente les valeurs les plus dominat avec une hausse de 62.65% pour l'essai I et 70.13% pour l'essai II respectivement. En autre, dès que la concentration de la solution d'irrigation en NaCl augmente

en 200mM, cette combinaison a donnée des hausses faibles de celle enregistrée. Elles sont de l'ordre de 13.77% et 36.16% dans l'essai I et II respectivement

Ces résultats sont semblables à ceux rapportés par Khoshbakht et Asgharei (2015), qui a constaté que l'acide salicylique améliore la croissance végétale de *Valencia orange* dans les conditions saline et il peut être utilisé comme un régulateur de croissance de plantes stressées. De plus, Raskin (1992) a mentionné que l'acide salicylique renforce la disponibilité et la circulation des éléments nutritifs qui peut entraîner en stimulant les différents nutriments dans les feuilles. L'application foliaire de l'acide salicylique augmente la surface foliaire de canne à sucre (Zhou et al., 1999).

1.5. Longueur des racines

Les résultats obtenus montrent que le stress salin induit par les différents traitements de NaCl n'influe pas que sur la croissance en longueur de la partie aérienne mais également celle de la partie souterraine, la (figures 37) confirme ces résultats en montrant une différence très hautement significative entre les moyennes de la longueur des racines qui sont irriguées par la solution nutritive standard et les autres traitements qui sont irriguées par le NaCl a des différentes doses. L'allongement le plus important de la partie souterraine est de (25,67 et 24,83 de essai I et II) a été obtenu respectivement chez le témoin.

Dès que la concentration de la solution d'irrigation en NaCl est devenue 150mM, la longueur des racines enregistrés ont connaissent des chutes de 22.08% et 11.39% dans l'essai I et II respectivement. Alors que, lorsque cette dose en NaCl est de 200mM, les chutes révélées sont de l'ordre de 35.06% et 19.45%.

Les résultats obtenus sont en accord avec d'autres études qui ont confirmaient la sensibilité de la tomate a la salinité, par exemple Brugnoli et Björkman, (1992) ont montré que la résistance du système racinaire au stress salin peut être due à une diminution de l'allocation du carbone pour la croissance foliaire au profit de la croissance racinaire, ainsi cela est concorde avec les résultats trouvés par Araujo et al., (2006) qui ont étudié l'effet du NaCl sur *Atriplex nummularia*. Ils ont trouvé qu'il y a une modification induites par la salinité sur la longueur des racines.

D'autres auteurs rapportent que la plante semble s'adapter au stress salin en réduisant en premier lieu son système racinaire préservant la partie aérienne devant maintenir et assurer la production de photosynthétiques (Hamrouni et al, 2011). Chez d'autres plantes, le système racinaire est le plus sensible à la salinité que la partie aérienne (Radhouane, 2008).

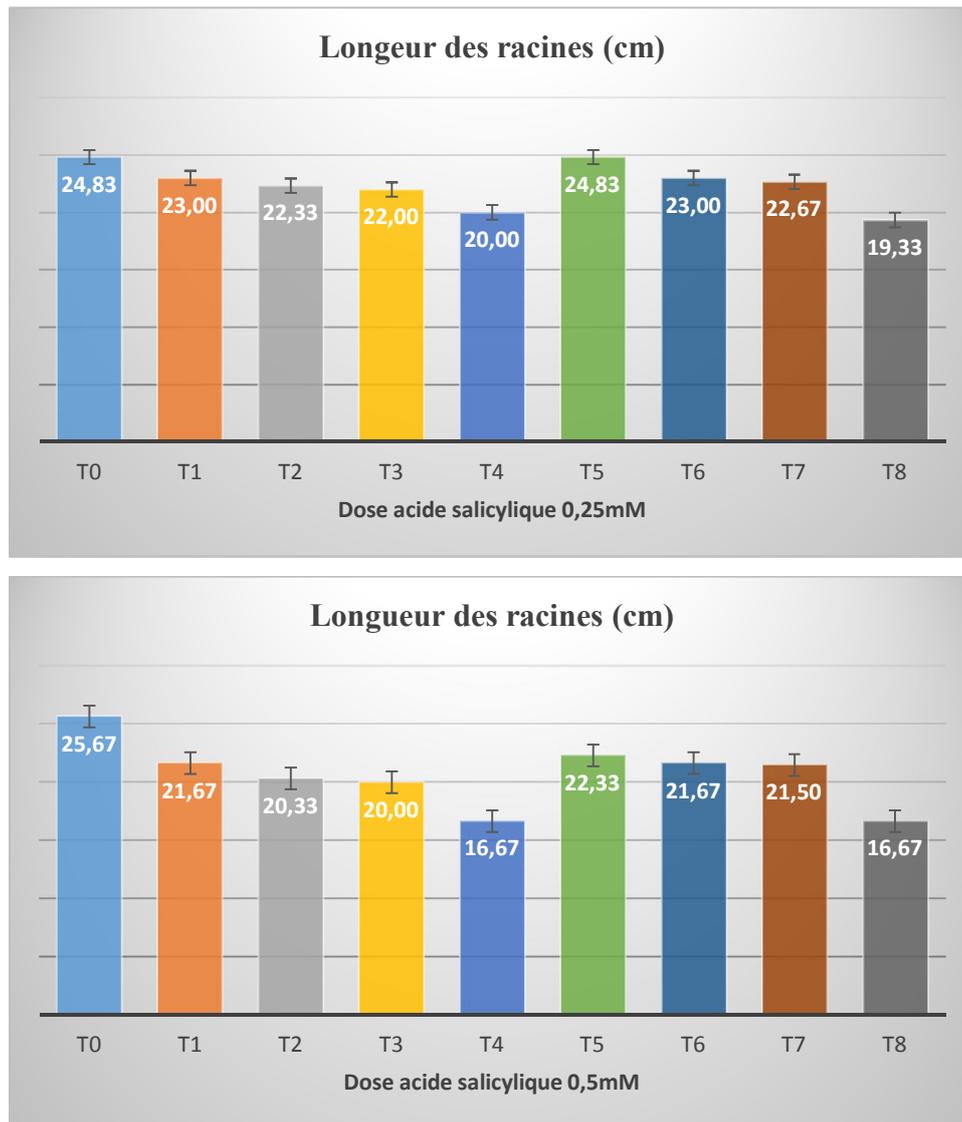


Figure 37 : Longueur des racines (cm) (Essai I et II).

L'interaction acide salicylique-NaCl agit efficacement sur la longueur des racines, elle permet d'enregistrer des valeurs élevées lorsque la combinaison a été faite entre 50mM de NaCl et 0.25mM d'acide salicylique avec des longueurs de 24.83cm. Ceci correspond exactement à la valeur révélée chez les plantules irriguées par la solution nutritive standard. En revanche, la dose 50mM en NaCl combinée avec 0.50mM d'acide salicylique donne des longueurs qui sont importantes que celles enregistrées chez les plantules qui reçoivent la solution nutritive avec 22.33cm de longueur. Celle-ci correspond à des baisses de 13.01%

Ces résultats indiquent que l'activité de l'acide salicylique offre une protection contre le stress de la salinité. Nos résultats sont comparables à ceux de Shakirova et Bezrukova, (1997) qui ont indiqué qu'un intérêt considérable a été suscité par le pouvoir de l'acide salicylique à produire des effets protecteurs sous l'action des facteurs de différentes natures de stress abiotique.

1.6. Biomasse fraîche produite

1.6.1. Biomasse fraîche de feuilles

La biomasse fraîche des feuilles a été pesé au moment de la coupe à l'aide d'une balance, et nous a permis d'avoir les résultats enregistrés dans la figure 38.

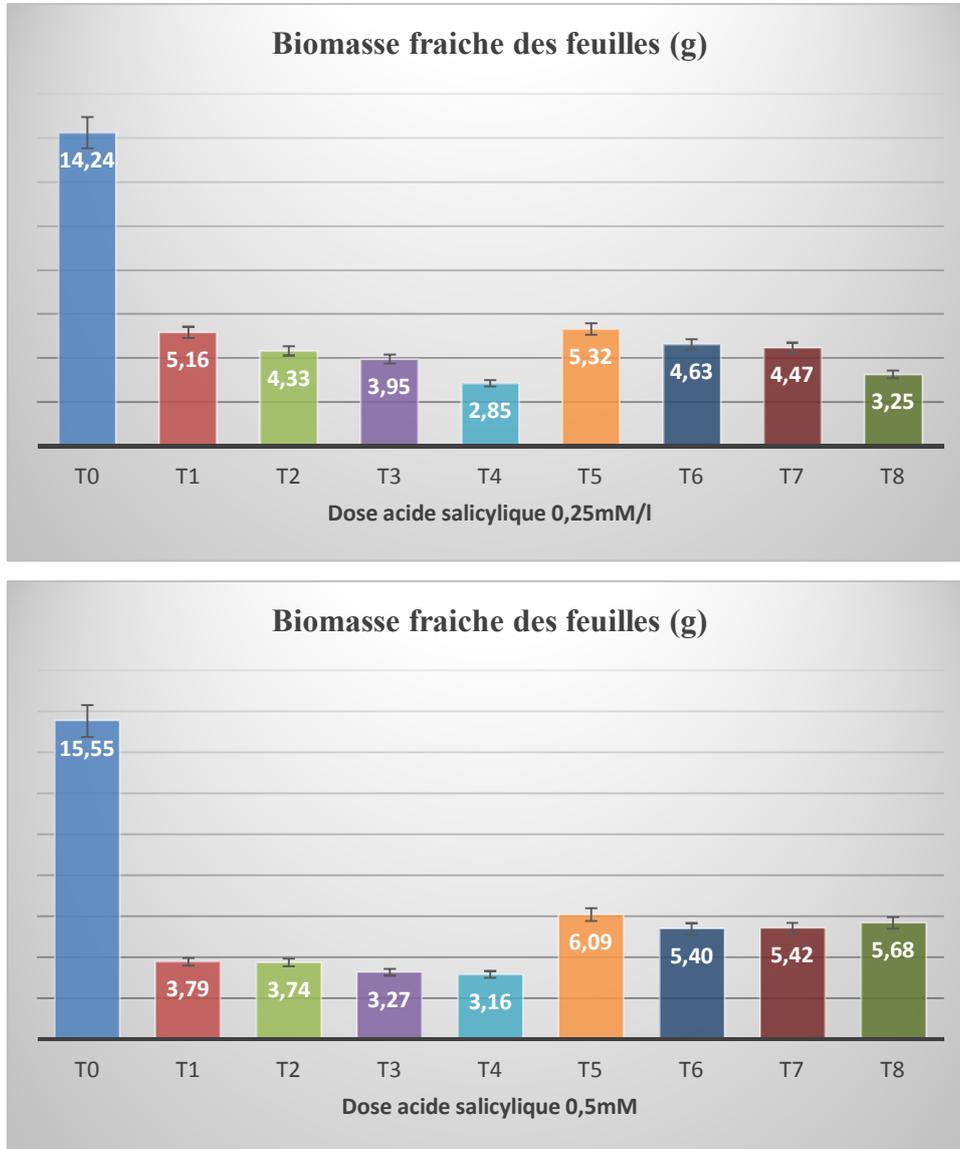


Figure 38: Biomasse sèche des feuilles (g) (Essai I et II)

Nous remarquons que les plantes de la tomate irriguées avec la solution nutritive standard (T0) enregistrent les biomasses fraîches des feuilles les plus important avec 14,24g, 15,55g pour l'essai I et II respectivement. De ce fait, nous pouvons dire que l'irrigation des plantes par la solution nutritive standard on a un effet bénéfique sur la croissance des plantes, cela s'explique par la richesse du milieu en éléments nutritifs et par l'équilibre parfait favorisant le développement des plantes .

La présence de NaCl dans la solution d'irrigation permis de réduire significativement les biomasses fraîches des feuilles produite chez les plantules de tomate. Pour cela, les taux de réductions sont de l'ordre de 72.26% ; 78.97 % et 79.98% ; 79.67% en présence de 150 et 200mM en NaCl dans l'essai I et II respectivement

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que la tomate est une plante sensible à l'action de NaCl et que la salinité perturbe plusieurs activités qui se répercutent négativement sur la croissance et la production de biomasse fraîche de la plante.

Ces résultats sont en accord avec les résultats de Rahman *et al.*, (2008), qui ont montré que la présence de sel affecte négativement sur la production de la biomasse fraîche des plans.

Dans le même contexte Benmahiou *et al.*, (2008) , signalant que des biomasses totales des matières fraîches des parties aérienne et racinaire a décelé des différences significatives pour les différentes concentrations du sel.

Mülling et Lauchli (2002), trouvent que l'augmentation de la salinité, conduit à la diminution du rendement de la partie aérienne des pousses de Maïs. L'accumulation de fortes concentrations de Na⁺ ou Cl⁻ dans les feuilles aboutit généralement à la formation de lésions de type brûlure des feuilles (Silini, 2013). Et les travaux de Thornton *et al.*, (1988) ont montré également que les poids de la matière fraîche et de la matière sèche des feuilles du chêne rouge sont réduits à partir de 7,5 mM de NaCl.

L'association de salinité- acide salicylique permis d'augmenter la croissance des plantes de tomate. La dose 200 mM/l combinée à 0.25 et 0.50mM atteindre des hausses de 14.03% et 79% par rapport au T4 dans l'essai I et II respectivement.

1.6.2. Biomasse fraîche de tiges

La biomasse fraîche des tiges a été pesée au moment de la coupe à l'aide d'une balance, et nous a permis d'avoir les résultats enregistrés dans la figure 39.

Le traitement dominant et qui représente la moyennes la plus élevé est mesurées chez les plantes qui ont reçu le traitement (T0), nous avons enregistré une augmentation qui atteindre 8,43mM et 7,63mM pour les deux essais respectivement.

De ce fait, nous pouvant dire que l'irrigation des plantes par une solution nutritive durant tout le cycle de développement a un effet bénéfique sur la croissance des plantes, cela s'explique par la richesse du milieu en éléments nutritifs et par l'équilibre parfait favorisant le développement des plantes.

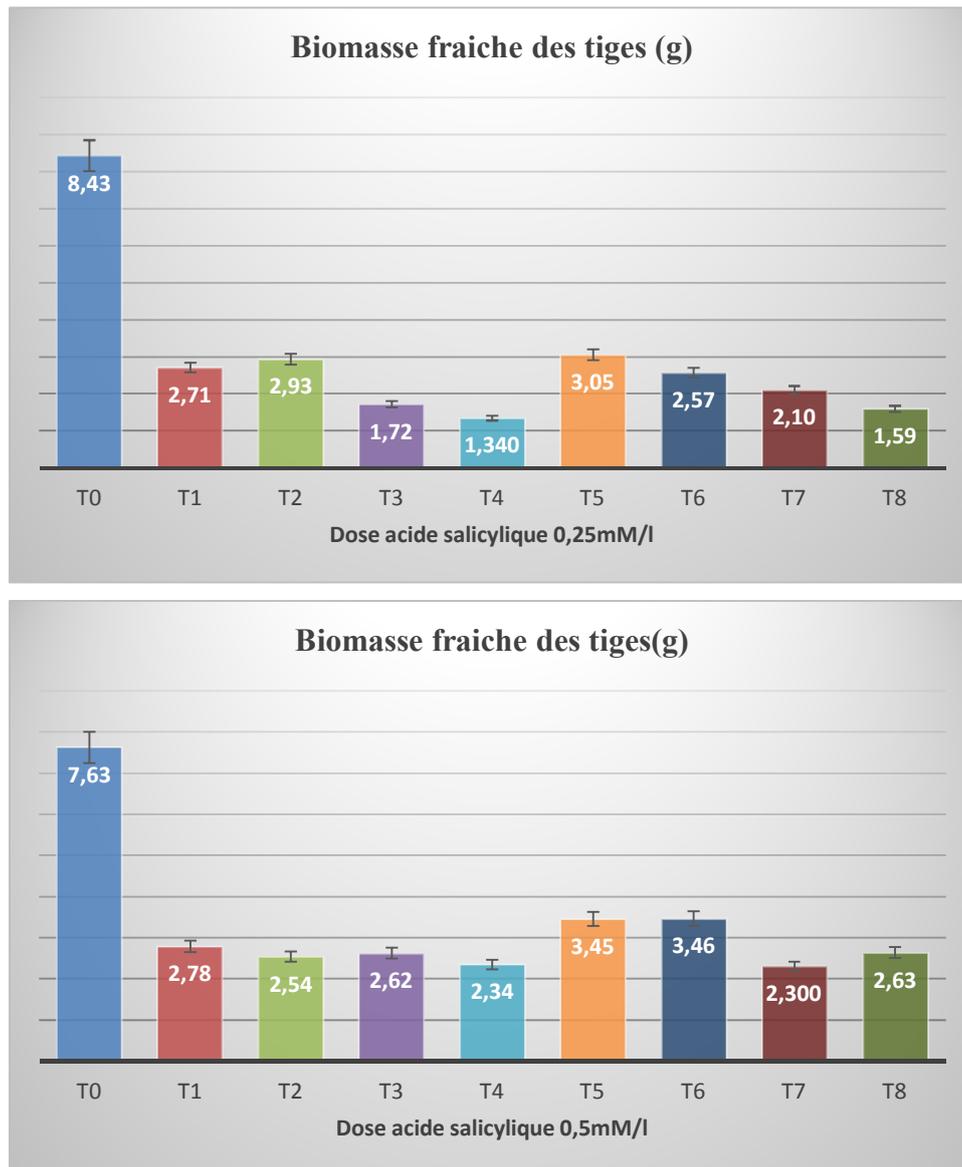


Figure 39: biomasse fraîche des tiges (essai I et II).

L'effet de la salinité s'est manifesté sur la variété de la tomate par une réduction significative du poids frais des tiges corrélées avec l'augmentation de la salinité des eaux d'irrigation

Nous remarquons que l'irrigation avec de la solution contenant 200mM révèle les biomasses fraîche des tiges valeur de 1.34g et 2.34g respectivement pour l'essai I et II. Ceci correspond à des chutes de 83.91% et 69.33%.

Ces résultats correspondent aux observations de Lemzeri (2006) ou il a signalé que l'augmentation de la salinité induit une diminution de la croissance de la partie aérienne.

La combinaison salinité-acide salicylique permis d'observer une amélioration dans la biomasse fraîche des tiges. De ce fait, la révélé chez les traitements présentes 50 mM de NaCl

en combinaison avec l'acide salicylique est la plus élevée. Elle est de 3.05g et 3.45g ce qui correspond à des gains de 12.54% et 24.10% par rapport au T1 respectivement.

Il est à noter que la présence de 100mM de NaCl en combinaison avec 0.50mM permis d'améliorer le poids frais des tiges. Le gain observé est de 41.22% par rapport au T2.

A la lumière de ces résultats, nous pouvons admettre que les deux concentrations de l'acide salicylique ont augmenté la moyenne de la biomasse fraîche des tiges par rapport aux plantes stressées. Chez le soya, il semble que la vaporisation d'une solution aqueuse d'acide salicylique sur le feuillage ait stimulé la croissance des tiges (Gutierrez et *al.*, 1998)

1.6.3. Biomasse fraîche de racines

La biomasse fraîche des racines a été pesée au moment des trois coupes à l'aide, d'une balance, et nous a permis d'avoir les résultats enregistrés dans la figure 41.

Nous remarquons que l'irrigation des plantules de tomate avec la solution nutritive standard (T0) nous a permis d'enregistrer les biomasses fraîche des racines les plus élevées avec 8,01g et 8,12g pour les deux essais.

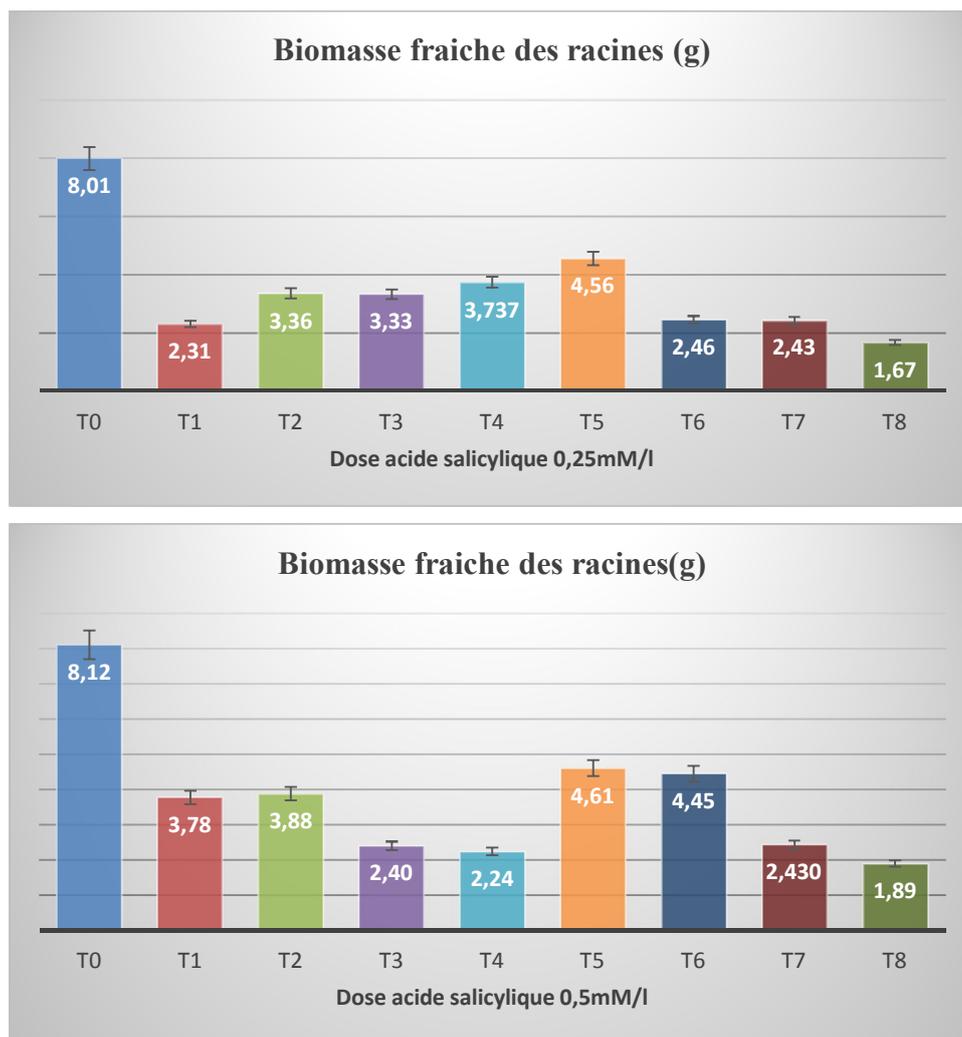


Figure 42 : biomasse fraîche des racines (g) (Essai I et II).

L'irrigation avec traitement T1 révèle une biomasse fraîche des racines de l'ordre de 71.16% et 46,55%. Cependant les plants.

L'irrigation avec traitement T2 présente des biomasses fraîches des racines égales à 85.05% et 52.21% respectivement pour l'essai I et II.

Nous remarquons que les plants irrigués avec le traitement T3 révèle une biomasse fraîche des racines de l'ordre de 58.42% ; 70.44%.respectivement pour l'essai I et II

L'irrigation avec le traitement T4 c'est une concentration de 200mM de NaCl, nous constatons que les plantules révèlent une chute de biomasse fraîche de l'ordre de 53.43% et 72.41% respectivement pour les deux essais.

Les résultats obtenus montrent que, la biomasse fraîche des racines des plantules de la tomate se diffère selon le type de la solution d'irrigation : solution nutritive standard ou solution saline.

La plante perçoit alors la présence de fortes concentration en sodium dans le sol et réoriente la croissance des racines (Tuteja, 2007; Kudla *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2011).

Zörb *et al.* (2004) ont montré que l'exposition des plantes d'une variété de maïs hybride à une concentration de 100 mM NaCl, fait diminuer le poids racinaire et foliaire jusqu'à la moitié. La diminution de la croissance racinaire est attribuée au fait qu'une proportion élevée des assimilés transférés aux racines stressées semble être utilisée dans les processus énergétiques nécessaires à l'ajustement osmotique aux fortes salinités (Bouraoui *et al.*, 1998).

Chez d'autres plantes, le système racinaire est le plus sensible à la salinité que la partie aérienne (Radhouane, 2008).

L'interaction entre les deux facteurs NaCl et acide salicylique dans la concentration 50mM révèlent des hausses de 97.4% et 22% les observations obtenues montrent que le traitement hormonal amélioré la moyenne de la biomasse fraîche des racines en présence de l'acide salicylique.

Ces résultats sont confirmées par Heller, (1990) qui montre que la croissance des plantes est contrôlée par des signaux hormonaux, aussi elle joue un rôle d'un indicateur naturel de la thermogénèse, contrôle l'absorption des ions par les racines et la conductivité stomacale (Raskin L., 1992)

1.7.Biomasse sèche

1.7.1. Biomasse sèche de feuilles

Ce paramètre est réalisé après séchage des feuilles dans un étuve à 70°C jusqu'à la stabilité du poids sec de cet organe, puis on a fait le pesé à l'aide d'une balance.

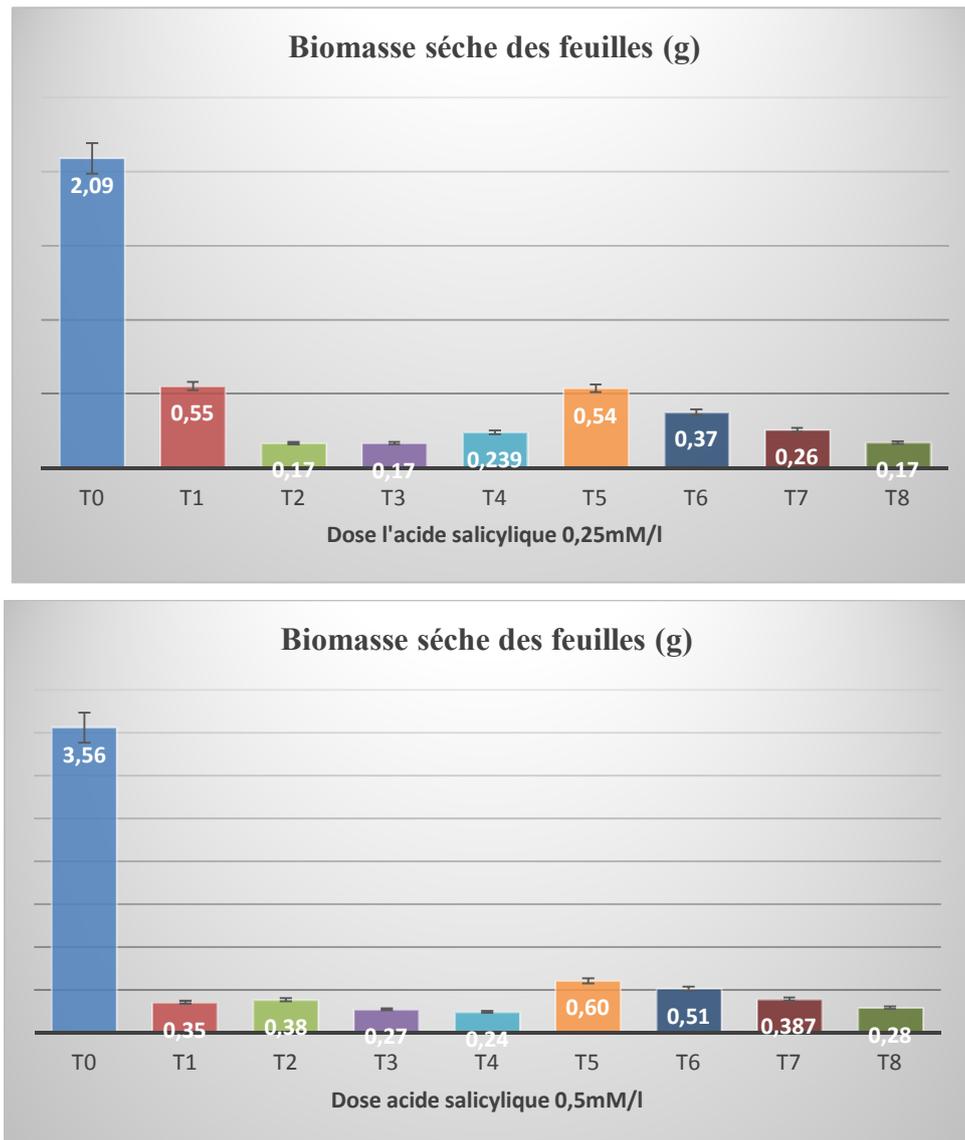


Figure 41 : Biomasse sèche des feuilles (Essai I et II).

Les résultats obtenus montrent que les plantes de tomates irriguée avec la solution nutritive standard (T0) enregistrent des valeurs importantes de biomasse sèche des feuilles à celles obtenues par les plantes stressées, qui arrive jusqu'à 2.09 et 3.56g.

Ces biomasses sèches des feuilles très importantes produites par les plantes qui sont alimentées par la solution nutritive standard (SNS) sont dues essentiellement à la richesse de cette solution en macros et microéléments. Ainsi, la présence d'un potentiel hydrique (pH) favorable facilitant l'absorption de ces derniers par les plantes de tomate dans ce milieu nutritif.

A une durée de stress de 15 jour, nous distinguons que la présence des chlorures de sodium dans les traitements T1, T2, T3 et T4 présente une biomasse sèche des plants très réduite est égale à 0.55, 0.17, 0.17, 0.23g et 0.35, 0.38, 0.27, 0.24g dans l'essai I et II respectivement, qui révèlent des chutes de l'ordre : 73.68% ; 91.86% ; 92.41% ; 88.56% dans l'essai I et 90.16% ; 89.32% ; 92.41% ; 93.25% dans l'essai II.

Les résultats obtenus par les plantes alimentées par les eaux salines est en réduction continu avec l'augmentation de la concentration de NaCl, qui sont assimilable aux résultats de Ben Ahmed et al. (2008) qui indique que l'action dépressive du sel se manifeste par une réduction de la production de matière sèche des différents organes de la plante. Et Haouala (2002) a confirmé que la salinité affecte sur l'allongement de la tige et la production de matière sèche des organes végétatifs (racines, tiges, feuilles) de l'oeillet (*Dianthus caryophyllus L.*). Et la baisse de production de la masse sèche est une réponse classique à la contrainte saline Gautheret(1981) et Pessarakli(1991).

Nous remarquons que les solutions de NaCl de concentration 100 et 150mM/l combinée avec deux doses de l'acide salicylique 0.25 et 0.50mM/l enregistrent des valeurs supérieures à celle des solutions salines avec le NaCl seulement, qui sont égale à 0.36 ; 0.26g et 0.51 ; 0.38g dans l'essai I et essai II respectivement, ces dernières induit par des hausses de : 17% ; 52% dans l'essai I et 34% ; 43.3% dans l'essai II.

Ceci exprime que l'acide salicylique améliore le poids sec des feuilles dans les conditions saline, par rapport aux plantes stressées par le NaCl seulement. Et la dose 0.5mM/l de l'acide salicylique a un effet plus significatif que la dose 0.25mM/l dans ce cas.

Aussi Azfal et al (2005), ont indiqué que le poids sec a été réduit chez le blé dans les conditions de stress salin mais les plantes traités avec l'acide salicylique améliorent le poids sec par rapport aux plantes soumises au stress salin.

1.7.2. Biomasse sèche des tiges

Ce paramètre suit le même principe que le poids sec des feuilles. Il y a eu un séchage des tiges dans un étuve à 70°C jusqu'à la stabilité du poids sec de ces organes. Pour ce qui est du poids sec des tiges, les meilleures performances sont enregistrées par les plantes de tomate alimentées par la solution nutritive standard avec un poids de 0.62g dans les deux essais. Ces résultats indiquent une bonne absorption hydrominérale pour les plantes de témoin.

En revanche, les solutions salines ont enregistré des biomasses sèches des tiges plus faibles. Les taux de diminution des poids sec des tiges par rapport au témoin (T0) est de l'ordre 68.62% ; 67.74% ; 69.35% et 84.83% ; 80.94% ; 79.03% dans l'essai I et essai II respectivement marquée par les plantes stressé par les traitements salins riche en NaCl de concentration de 50, 100, 150mM/l.

Ces résultats sont confirmés par Siakhène (1984) qui indique que La diminution du poids sec des tiges est attribuée à une diminution du nombre des ramifications chez les plantes stressées, ceci a déjà été observé chez la luzerne annuelle. En raison de la présence de sel (NaCl) dans la solution d'irrigation testée, la conductivité électrique et le potentiel hydrique de

ces dernières sera plus élevées, ce qui manifestent un déséquilibre ionique et une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes de tomate dans ces milieux ce qui se traduit par une production de biomasse faible. Ces résultats sont en accord avec celles de Najfan *et al.*, (2009) et Nebauer *et al.*, (2013), qui ont montré que la croissance diminue avec l'augmentation de la dose de sel dans le milieu de culture respectivement chez le thym, la citronnelle et la tomate. Des résultats analogues de l'effet dépressif de la salinité sur la production de matière sèche de plantules de tomate (*Solanum lycopersicum*) ont été obtenus par d'autres auteurs (Wasti *et al.*, 2012 ; Nebauer *et al.*, 2013).

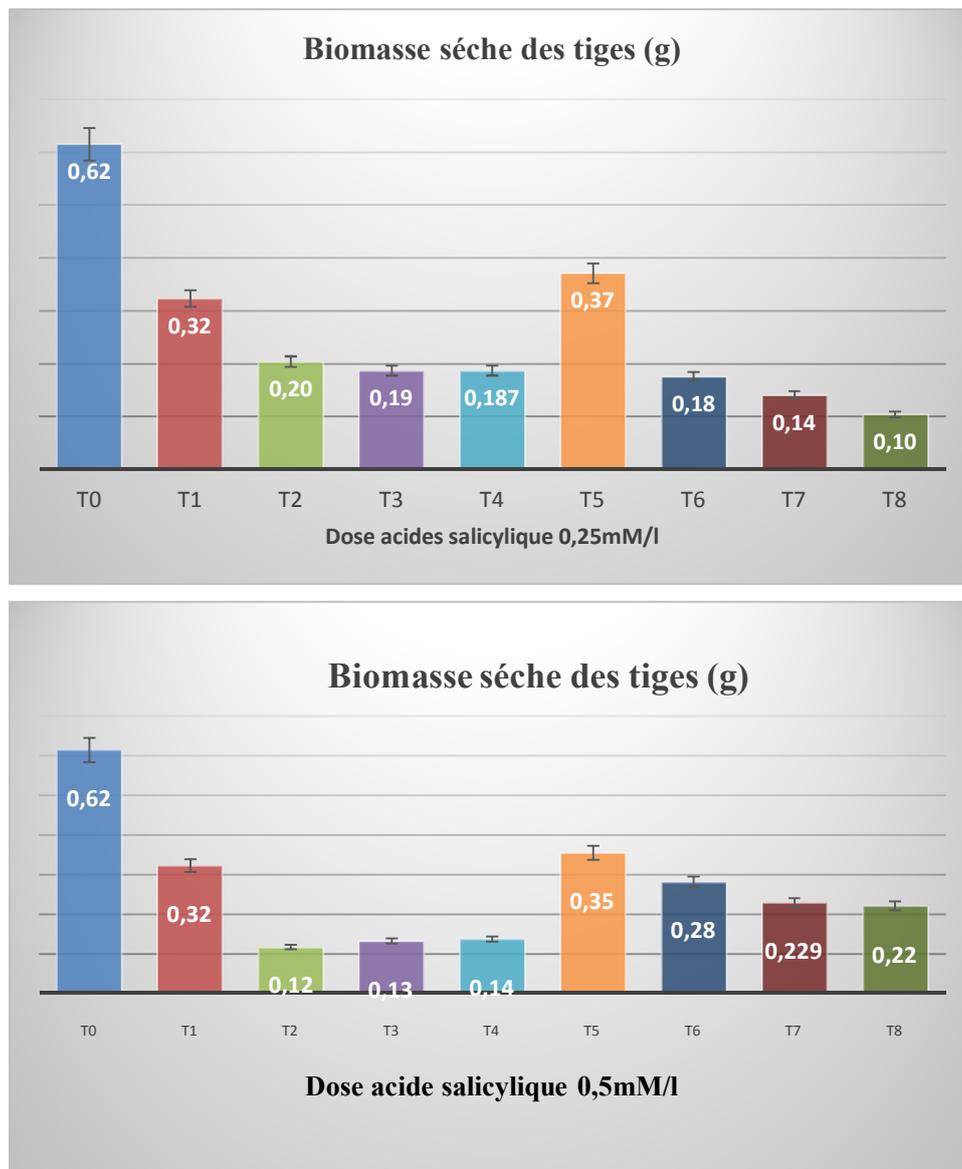


Figure 42: biomasse sèche des tiges (Essai I et II).

Ainsi nous avons noté que les traitements de le NaCl combinée avec l'acide salicylique, permet d'élever la biomasse sèche des tiges par rapport aux plants stressés par NaCl uniquement qui montre des hausses de 15.6% ; 33% ; 17.6% et 9.37% ; 19% ; 21.5% dans l'essai I et l'essai II respectivement, nous remarquons que la dose 0.5mM a un effet plus marqué que la dose 0.25mM de l'acide salicylique.

On constate que l'addition de l'acide salicylique (0.25 et 0.5mM) chez les plantes soumises à un traitement de NaCl augmente la masse de la matière sèche des tiges par rapport aux plantes qui sont soumises seulement à un traitement de NaCl. Ces résultats sont en accord avec celles de Yusuf *et al.*, (2008) qui a montré l'effet toxique de NaCl chez les plantules de Brassica est complètement surmonté par l'aspersion foliaire d'acide salicylique.

1.7.3. Biomasse sèche des racines

Concernent la biomasse sèche des racines, les valeurs obtenues sont présentées dans la figure 43.

Les résultats montrent qu'il y a une augmentation notable significative du poids sec des racines de tomate selon la composition de milieu d'irrigation. Le poids sec se varie entre 1.50 et 2.42g pour les racines des plantes irriguée par la solution nutritive standard dans l'essai I et essai II. Ceci peut être expliqué par la meilleure répartition spatiale des racines suite à l'équilibre ionique des milieux et surtout leur richesse en éléments minéraux indispensables à la croissance radriculaire et notamment à l'osmolarité du (SNS) la plus faibles.

Nous constatons que les plantules alimentées avec des solutions salines riche en NaCl dans la solution d'irrigation avec des concentrations croissantes (50, 100, 150 et 200mM) permis de réduire significativement la biomasse sèche des racines avec des pertes de 88.01% ; 88.42% ; 90.49% ; 90.90% et 85.33% ; 70% ; 74.66% ; 74.66% ; 75.33% pour les traitements T1, T2, T3 et T4 dans l'essai I et II respectivement.

Il est également établi que la salinité restreint la production de biomasse racinaire à travers une limitation de l'absorption du potassium et de calcium (Lachaal *et al.*, 1995) et de leur transport (Solatni *et al.*, 1990).

Les travaux de Ben laazizi *et al.*, (2007) ont des résultats similaires à nos résultat. L'inhibition par le sel concerne la production de matière sèche des racines et des parties aériennes. Et Blanc (1987), indique que la conséquence la plus immédiate d'une concentration saline est une lésion des racines suivies du flétrissement de la plante lui étant à une difficulté d'absorption hydrominérale.

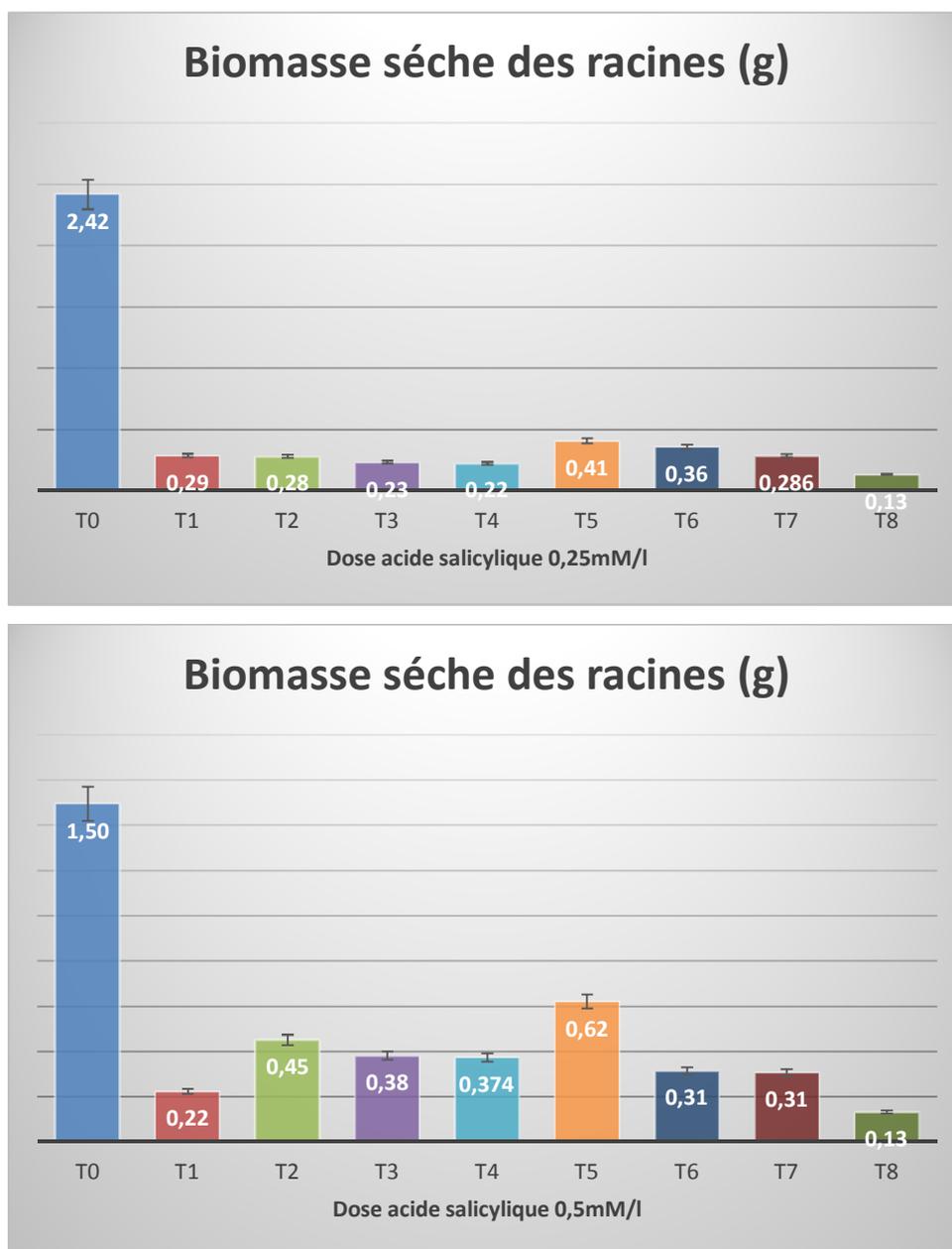


Figure 43 : Biomasse sèche des racines (Essai I et II).

La présence de l'acide salicylique en combinaison avec NaCl n'a pas un effet hautement significatif sur le pois sec des racines par rapport aux plantes stressées par NaCl seulement.

Nous remarquons que l'ajout de 0.25mM d'acide salicylique combinée avec 50 et 100 mM de NaCl permis une augmentation de biomasse sèche des racines de 41.37% et 28.37% (nettement visible dans les traitements T5 et T6 dans l'essai I). Concernant l'essai II, la concentration de 0.50mM d'acide salicylique combinée avec les mêmes doses de NaCl 50 Mm révèle des hausses de 40%.

D'après nos résultats, nous constatons que la dose 0.50mM d'acide salicylique a un effet plus significatif que la dose 0.25mM. Khodary et al (2004) ont signalé que l'acide

Salicylique a augmenté le poids frais et sec de la pousse et des racines des plantes de Maïs soumise aux contraintes de salinité. Et Afzal (2005) indique que le poids sec des racines a été réduit par le sel dans le blé en raison du stress salin mais le jeune plant traité avec acide salicylique améliore le poids sec en comparant avec les plants non traité avec l'acide salicylique. Et El-Tayeb (2005) montre que le traitement des plants avec l'acide salicylique augmente significativement la tolérance de stress salin.

2. Paramètres physiologiques

2.1. Teneur en proline dans les feuilles

Le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de la résistance des plantes aux contraintes abiotiques.

La teneur des feuilles en proline a été mesurée avant et après l'application des traitements salins (Tableau 13).

Tableau 13 : Teneur en proline dans feuilles

Proline	Les traitements	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Pré- stress		0,026 ± 0,002								
Essai I	stress modéré	0,05 ±0,009	0,10 ±0,01	0,11 ±0,00	0,21 ±0,019	0,39 ±0,016	0,12 ±0,002	0,08 ±0,002	0,14 ±0,051	0,13 ±0,043
	stress sévère	0,071 ±0,028	0,31 ±0,039	0,15 ±0,005	0,26 ±0,014	0,47 ±0,012	0,11 ±0,041	0,16 ±0,009	0,22 ±0,012	0,85 ±0,033
Essai II	stress modéré	0,04 ±0,001	0,09 ±0,001	0,10 ±0,016	0,17 ±0,055	0,40 ±0,030	0,12 ±0,002	0,16 ±0,008	0,22 ±0,023	0,23 ±0,025
	stress sévère	0,03 ±0,007	0,37 ±0,046	0,10 ±0,001	0,34 ±0,013	0,46 ±0,00	0,48 ±0,038	0,19 ±0,014	0,18 ±0,016	0,71 ±0,049

En période de pré-stress, nous remarquons que les plantules de la tomate enregistrent une faible teneur en proline ; il est de l'ordre de 0,026µg/g. En outre, L'irrigation avec la solution nutritive standard permis d'augmenter la teneur en proline dans les feuilles des plantules de la tomate. Elle passe de 0,05µg/g à 0,071µg/g, ceci correspond à une hausse de 92,3% et 173,07% par rapport à l'état initial.

A une durée de stress modéré, nous avons remarqués une augmentation significative de la teneur des feuilles en proline par rapport à l'état initial, la présence de 100 et 150mM de NaCl dans la solution d'irrigation en maintenant un déséquilibre dans la concentration entre l'osmolarité intracellulaire et l'osmolarité externe de la cellule traduit par une production accrue de la proline accumulé dans les feuilles de la tomate, ceci correspond à des hausses de 323.07 et 707.69% respectivement.

A une durée de stress sévère, l'accumulation de cet osmorégulateur est encore plus remarquable en présence des solutions salines à des concentrations croissantes, il atteint 0.26 puis 0.47 μ g pour les concentrations de 150 et 200mM, ceci correspond à des hausses de 900 et 1707.69% respectivement.

Des études biochimiques ont montré que les plantes sous stress salin accumulent un certain nombre de métabolites, qualifiées de solutés compatibles, parce qu'ils n'interfèrent pas avec le métabolisme de la plante (Sivakumar *et al.*, 2000). Parmi ces solutés, proline est largement répandue chez les plantes, et il s'accumule en plus grande quantité que les autres acides aminés chez les plantes stressées par le sel (Ashraf et Foolad, 2007).

Accumulation de proline est une des modifications plus fréquemment signalées par le déficit hydrique et le stress salin chez les plantes, et il est souvent considéré d'être impliquées dans les mécanismes de tolérance du stress (Ashraf et Foolad, 2007 ; Matisse *et al.*, 2007).

Aussi, Teixeira et Fidalgo (2009), indiquent que chez certaines espèces de plantes, proline joue un rôle majeur dans l'ajustement osmotique. Tandis que dans d'autres, comme la tomate, proline ne s'accumule pas dans les feuilles à un niveau suffisant pour contribuer de manière significative dans l'ajustement osmotique (Aziz *et al.*, 1999). Syed *et al.*, (2011), suggèrent que la capacité d'augmentation de la synthèse de la proline en état du stress salin peut déterminer les niveaux de tolérance de la plante à la salinité. C'est possible que, amélioré l'accumulation de proline peut régler plusieurs processus nécessaires à la survie dans la condition du stress salin (Maggio *et al.* 2002). Et Lemzeri *et al.*, (2006), ont montré que globalement, les espèces qui se sont montrés les plus sensibles au sel sur le plan morpho-physiologique, réagissent en accumulant plus rapidement de la proline. Par contre, celles qui se sont montrées tolérantes, présentent une stabilité relative ou une faible accumulation de leur teneur en proline comparativement à celles sensibles. Chez les plantes supérieures, la proline est accumulée en cas de stress, aussi bien suite à une augmentation de sa synthèse que par une réduction de sa dégradation (Nakashima *et al.*, 1998).

La combinaison de la salinité-acide salicylique permis de maintenir une bonne régulation osmotique. Ceci traduit par une production encore plus de la proline dans les feuilles de plantules de tomate, mais elle reste significative.

A un stress modéré ou sévère, les combinaisons les plus importantes sont celle du 200 mM avec des hausses de 112.5 et 54.34%, par rapport au témoin lorsque la durée de stress est sévère.

Nos résultats sont similaires à celle de Tasgin *et al.*, (2006) qui indiquent que l'accumulation de proline en présence d'acide salicylique augmente dans les feuilles de blé,

l'avoine, le haricot et la tomate, sous des stress oxydatifs, ainsi d'autres recherches montrent que la présence de sel augmente la proline dans les racines et les feuilles, mais l'interaction de l'acide avec 0 à 25mM de sel n'avait pas un changement significatif sur le niveau de proline mais avec un haut niveau de sel, la proline augmente significativement (Desnigh et Kanagarai, 2007).

En plus, Shakirova *et al.*, (2003), ajoutent que l'application exogène de l'acide salicylique entraîne l'accumulation de l'acide abscissique qui pourraient avoir contribué à la préadaptation au stress salin que l'acide abscissique induit à la synthèse d'une vaste gamme de protéines anti-stress, protégeant ainsi les plantes.

2.2. Teneur en chlorophylle (a) dans les feuilles

Les résultats relatifs de la teneur des feuilles en chlorophylle (a) sont illustrées dans le tableau 14, Nous constatons qu'avant l'application des traitements salin (l'état initial) que les plantules de tomate sont pas stressés, il accumule des teneurs de 16,82mg/ml, lorsque le stress salin passe à l'état modérée, nous remarquons que leur comportement physiologique des plantules de tomate est modifié, les plantules arrosées par la solution nutritive standard (T0) révèlent 13,6mg/ml ceci correspond à des hausses à 19.14% par rapport à la période initiale.

Tableau 14 : Teneur en chlorophylle (a) dans les feuilles

Chl A	Les traitements	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Prés-stress		16,82 ± 0,255								
Essai I	stress modéré	13,6 ±0.04	6,2 ±1.23	6,96 ±1.63	5,77 ±0.82	5,7 ±1.41	12,1 ±0.50	13,2 ±0.16	7,62 ±0.35	7,35 ±1.03
	stress sévère	15,6 ±1,08	4,92 ±0,59	3,07 ±0,31	4,75 ±0,21	5,6 ±0,26	10,8 ±0,35	6,71 ±0,45	3,02 ±0,08	3,7 ±0,13
Essai II	stress modéré	14,1 ±0.55	9,55 ±0.65	7,86 ±0.50	7,53 ±1.80	7,86 ±0.54	10,8 ±4.03	8,75 ±0.75	8,8 ±0.14	8,75 ±0.43
	stress sévère	16,4 ±1.08- --	2,86 ±0.35	11,3 ±0.51	4,22 ±0.21	5,24 ±0.26	5,98 ±0.35	4,52 ±0.45	6,05 ±0.08	2,5 ±0.13

Par contre, la présence du NaCl dans la solution d'irrigation a perturbé la régulation osmotique des plantules de la tomate, ce qui traduit par une réduction de la teneur des feuilles en chlorophylle (a), ces baisses sont plus remarquable lorsque la concentration en NaCl est 50 et 100mM avec des pourcentages de baisses de 63.13% et 58.62% dans l'essai I et 43.22% et 53.26% dans l'essai II. Après 14 jours, lorsque le stress devient sévère la teneur des feuilles en chlorophylle (a) révélés chez les plantules de tomates irriguées par la solution nutritive standard ne représentent des chutes remarquables mais les plantules irriguées par les solutions saline

riche en NaCl révèlent des baisses hautement significatives de l'ordre de 70.74%, 81.74% et 83%, 33% dans l'essai I et II respectivement par les concentrations 50 et 100Mm.

La toxicité du sel serait dans ce cas, causer des dommages, causer des dommages de chlorophylle proportionnellement à la concentration de sel. Ces phénomènes ont été également déjà rapporté par Lepengue et *al.*, (2010) sur le Maïs (*Zea mays* L), Symaraytis et *al.*, (1992) sur *Nicotianaplumba ginifolia*, Piri (1991) et sur le blé (*Triticum durum* L.), en réponse à la toxicité du sel. En outre, trois variétés de *Lycopersicum esculentum* et une variété de *Lycopersicum sheemaniai* ont été étudiés sous différents régimes de l'irrigation dans l'eau salée.

Le contenu en chlorophylle (a), (b) et totale ont diminué sous l'influence d'un stress salin (El Malik et *al.*, 2002, Bouchoukh, 2010). Aussi Cengiz et *al.*, (2009), confirme que La teneur en chlorophylle est significativement réduite par la salinité. La salinité détruit la structure fine des chloroplastes et provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments (Lapina et Popov, 1984) et la diminution de la teneur en chlorophylle (kingsbury et *al.*, 1984 ; Downton et Millhouse, 1985 ; Reddy et Vora, 1986). La réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophylliens (Rao et Rao, 1981).

L'addition de 0.25mM de l'acide salicylique dans l'essai I en combinaison avec les solutions salines riche en NaCl, dans le cas de stress modéré, les plantules de tomate révèlent des hausses de l'ordre de 90% (T5/T1), 89% (T6/T2), 32.06% (T7/T3) et 30% (T8/T4).

Pour une durée de stress sévère, la combinaison de salinité-acide salicylique, nous a permis d'enregistrer encore un chute par rapport aux plantules a l'état de stress modéré qui sont de l'ordre de 119.5% (T5/T1) ; 118.5 (T6/T2) ; 63.57(T7/T3) et 34% (T8/T4) dans l'essai I.

Pour l'essai II, la combinaison avec 0.5mM de l'acide salicylique nous a permis des augmentations de 13.08%, 11.32%, 17%, 11.32% pour une durée de stress modéré et lorsque le stress devient sévère, nous avons enregistrés des baissent de 109%, 60%, 43.3% et 53% pour les traitements (T5/T1), (T6/T2), (T7/T3) et (T8/T4).

D'après ces résultats, nous avons constatés que la concentration 0.50mM d'acide salicylique dans les conditions salines a un effet sur les plantules de tomate plus significatif que la dose 0.25mM sur la teneur des feuilles en chlorophylle (a).

Ces résultats sont en accord avec Ünlü et *al.*, (2009) qui montrent que les teneurs en chlorophylle (a), chlorophylle (b) et en chlorophylles totale augmentent en présence de l'acide salicylique par rapport au témoin non traité chez le haricot. Ces résultats ont été déjà obtenues par Okcu et *al.*, (2005) sur le pois chiche et par Kaya et Day (2008) sur le tournesol.

2.3.Teneur en chlorophylle (b) dans les feuilles

Les résultats relatifs de ce paramètre sont illustrés dans le tableau 14. Nous remarquons que les plantules de tomates avant l'application de stress enregistrent une quantité qui correspond à 7.90mg/ml de fluorescence chlorophyllienne (b).

Tableau 15 : Teneur en chlorophylle (b) dans les feuilles

Chl B	Les traitements	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Près-stress		7,90 ± 0,563								
Essai I	stress modéré	20,9 ±11,06	4,01 ±0,53	4,54 ±2,22	4,31 ±2,06	3,89 ±2,46	8,71 ±2,75	7,01 ±1,10	5,13 ±2,05	4,82 ±0,68
	stress sévère	6,78 ±0,75	1,91 ±0,27	1,43 ±0,30	1,3 ±0,39	4,65 ±0,49	4,06 ±0,48	3,7 ±0,37	1,65 ±0,06	1,96 ±0,74
Essai II	stress modéré	6,64 ±0,21	4,92 ±0,21	6,87 ±3,66	7,72 ±1,00	4,54 ±0,30	5,95 ±0,28	4,19 ±1,89	3,44 ±0,17	4,95 ±1,81
	stress sévère	6,27 ±0,83	3,24 ±0,55	1,12 ±0,12	1,01 ±0,09	2,85 ±0,14	2,3 ±0,54	3,44 ±0,35	2,63 ±0,02	2,07 ±0,64

On absence de stress, les plantules traités par la solution nutritive standard synthétisent la quantité de chlorophylle (b) la plus importante (20.9mg/ml). Ceci correspond à des hausses de 164.55% qui est peut être expliquée par l'équilibre ionique parfait de ce milieu nutritif, ainsi qu'une richesse en éléments minéraux et plus particulièrement l'azote qui donne au feuillage cette couleur verdâtre signe de la chlorophylle.

En revanche, le traitement salin riche en chlorure de sodium (NaCl) révèle les moyennes les plus faibles en chlorophylle (b). A une durée de stress modéré, nous avons distingué une réaction distincte des plantules de tomate par rapport à l'état prés stress et cela en fonction de la composition de la solution d'irrigation appliquée. Pour les plantules irrigués avec les traitements T1, T2, T3 et T4 nous avons révélé des chutes de l'ordre de 80.81% ; 78.27% ; 79.37% et 81.38%. Ceci peut être expliqué par l'oxydation des pigments chlorophylliens en raison du taux et de déséquilibre ionique des milieux nutritifs. Lorsque le stress est sévère, nous avons révélé encore une diminution significative de chlorophylle (b) des chutes de l'ordre 71.82% ; 78.90% et 80.82% par les plantules irriguées par les traitements T1, T2 et T3.

Des résultats similaires ont été trouvés par les travaux de Cheikh M'hamed et *al.*, (2008), où ils montrent que dans un milieu salin, le taux de chlorophylle (b) est affecté en raison des perturbations coursées au niveau des chloroplastes. Ces phénomènes ont été déjà signalés par Lepengue et *al.*, (2010) sur le maïs (*Zea mays*, L), Symaraytis et *al.*, (1992) sur *Nicotiana Plumba ginifolia* et Piri (1991) sur le blé (*Triticum durum* L.), en réponse à la toxicité du sel.

D'une façon générale, nous avons constaté que la chlorophylle (b) est moins sensible au stress salin que la chlorophylle (a) et (c) et que sa teneur diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress salin conformément à ce que nombreux auteurs ont démontré (Kadri et *al.*, 2008). Tahri et *al.*, (1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens (Chlorophylles a et b).

L'addition de 0.25mM de l'acide salicylique dans l'essai I en combinaison avec les concentrations salines testés, dans le cas de stress modéré, les plantules de tomate révèlent des hausses de l'ordre de 80.20% (T5/T1) ; 54.40% (T6/T2) ; 20% (T7/T8).

A une durée de stress sévère et en présence de la combinaison salinité-acide salicylique, nous avons constaté des élévations par rapport aux plantes traités seulement par NaCl qui est de l'ordre de 82% (T5/T1) ; 58% (T6/T2) ; 20% (T7/T3).

Concernant l'essai II, l'interaction de 0.5mM d'acide salicylique avec les différentes concentrations salines sur les plantules de tomates montrent aussi des hausses de de l'ordre de 40% ; 85% ; 60%.

D'après ces résultats, nous avons constatés que la concentration 0.50mM d'acide salicylique dans les conditions salines a un effet plus significatif que la dose 0.25mM.

Plusieurs chercheurs ont prouvé le rôle de l'acide salicylique dans l'augmentation de la teneur de la chlorophylle (a) et (b) de l'activité de la Rubisco chez les plantes sous différents stress abiotique (Hamada et El hakimi, 2001 ; Szalai et al ., 2005 ; Korkmaz, 2007). Et El Tayeb (2005), indique que l'acide salicylique peut jouer un rôle sur le maintien de l'intégrité des membranes.

2.4.Teneur en chlorophylle (c) dans les feuilles

Les résultats relatifs de ce paramètre sont illustrés dans le tableau 16.

A l'état initial (prés stress), la teneur des feuilles en chlorophylle (c) synthétisée atteint 5.96 mg/ml. Les résultats enregistrés des plantules alimentés par le traitement nutritif standard (T0) sont 1.37 au 4.59mg/ml. En revanche, la présence du NaCl dans la solution d'irrigation avec différentes concentration perturbe la régulation osmotique des plantules de tomate qui affecte sensiblement sur la teneur des feuilles en chlorophylle (c).

A l'état de stress modéré, nous avons remarqué une diminution significative de la quantité de caroténoïde par rapport au témoin qui est de l'ordre 31.56% ; 48% et 55.25% ; 56% dans l'essai I et II respectivement avec les concentrations 100 et 150 mM de NaCl.

Tableau 16 : Teneur en chlorophylle (c) dans les feuilles :

Chl C	Les traitements	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Près-stress		5,96 ± 0,131								
Essai I	stress modéré	4,53 ±1,87	3,53 ±2,66	3,1 ±0,95	2,36 ±2,06	4,32 ±1,43	3,9 ±1,10	4,12 ±0,44	1,95 ±0,26	2,73 ±1,16
	stress sévère	4,59 ±0,30	2,64 ±1,59	2,26 ±2,86	2,02 ±0,81	1,39 ±1,49	4,36 ±1,51	2,74 ±0,88	2,6 ±1,90	1,71 ±0,30
Essai II	stress modéré	4,09 ±0,44	3,17 ±0,14	1,83 ±0,69	1,8 ±1,38	2,57 ±0,40	3,63 ±1,26	3,11 ±2,57	2,59 ±0,41	1,7 ±0,18
	stress sévère	1,37 ±1,41	0,25 ±0,00	0,17 ±0,07	0,32 ±0,03	0,35 ±0,01	0,37 ±0,04	0,29 ±0,14	0,4 ±0,01	0,45 ±0,42

D'ailleurs, les mêmes concentrations de NaCl (100 et 150mM) enregistrent une chute remarquable à une durée de stress sévère. Les taux de réduction marqués sont 50.76% ; 56% et 29.2%. 76% respectivement dans l'essai I et II. Il est noté que l'irrigation avec la solution de 200mM de NaCl provoque une réduction jusqu'à 69% et 74.4% dans les deux essais.

Nos résultats sont semblable à celle de El Tayeb (2005), qui a trouvé chez les plantes d'orge traité par NaCl une diminution significative de Chl a, b et caroténoïdes.

En constate que La chlorophylle (c) est la plus sensible à la salinité, les résultats de Nieves et *al.* (1991), ont montré que la forte concentration du chlorure et/ou du sodium réduit la teneur foliaire en chlorophylle. Cette réduction de la teneur des caroténoïdes est due probablement à la diminution de la surface foliaire, et de l'azote au niveau des pigments chlorophylliens. Les résultats de Balibrea et *al.*, (1997) ont montré que l'accumulation des sels affecte la régulation du transport des électrons au niveau des chloroplastes dans la feuille et affecte par la suite le bon fonctionnement des chloroplastes et diminue la chlorophylle.

Des études sur l'effet du stress salin à long terme ont montré que la croissance est affectée plus que la photosynthèse. La réduction de la photosynthèse est due en grande partie à la fermeture des stomates et éventuellement la réduction de conductance du parenchyme chlorophyllien provoquées par la perte de turgescence et les signaux racinaires (Orcutt et Nilsen, 2000).

L'addition de l'acide salicylique à 0.25mM en combinaison avec les concentrations salines testées dans l'essai I révèlent des hausses remarquables de la teneur des feuilles en chlorophylle (c), lorsque le stress est modéré. Elles sont de l'ordre de 10.5% (T5/T1) et

33% (T6/T2), a une durée de stress sévère les hausses sont de 65% et 21% avec les mêmes traitements.

À propos de l'essai II, la combinaison de 0.5mM de l'acide salicylique avec les concentrations salines permet d'enregistrer des augmentations plus significative qui est de l'ordre de 14% et 70% a une durée de stress modéré et le stress est sévère les hausses sont de 48% et 70% en comparant avec les traitements T1 (50mM) et T2 (100mM).

Nos résultats sont similaire à celle de Zhou et *al.*, (1999), qui sont rapporté que les pigments photosynthétique ont été augmentés chez le Maïs avec l'application de l'acide salicylique. De plus, khan et *al.*, (2003) ont montré que l'acide salicylique augmente le taux photosynthétique chez le Maïs et le Soja.

En plus Türkyılmaz et *al.*, (2005), indiquent que le traitement de l'acide salicylique chez les plantes de le haricot dans les condition saline ou non salines accrues les pigments photosynthétiques et une pulvérisation foliaire de l'acide salicylique a augmenté le Chl (a), (b) et caroténoïdes.

Conclusion

La salinité est l'une des contraintes majeures et des facteurs limitatifs de la productivité végétale et du rendement agricole. L'impact de cette contrainte abiotique se perçoit intensément dans l'expression des espèces à utilisation agricole.

Au terme de notre travail qui a visé à étudier d'une part, l'effet des doses croissantes en NaCl présentes dans des solutions d'irrigation sur quelques paramètres biométriques et physiologiques et d'autre part, l'effet de la combinaison de l'acide salicylique avec ces doses en NaCl, sur le comportement de la plante juvénile de tomate *Solanum lycopersicum* L., nous avons relevé à cet effet :

- Une diminution de la hauteur des tiges dans toutes les plantes stressées par les sels NaCl, par rapport aux plantes qui sont arrosées avec la solution nutritive qui est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique.
- La salinité a eu un effet très marqué sur le nombre de feuilles, la diminution de la surface foliaire se présente comme étant la principale stratégie développée par les plantes pour atténuer les effets de la disponibilité de l'eau dans les conditions de stress salin, cette diminution a un effet bénéfique sur le plan de l'économie en eau mais accélère la sénescence et inhibe la photosynthèse.
- Une production faible de la biomasse fraîche et sèche des organes de l'appareil végétatif aérien et souterrain. Les réductions dans la biomasse de *Solanum lycopersicum* L. sous les conditions de salinité étaient indicatives des limitations de la croissance.
- D'autre part, nous avons observé que l'addition de l'acide salicylique améliore la hauteur de plante, nombre des feuilles, longueur des racines, surface foliaire et la biomasse fraîche et sèche par rapport aux plantes traitées seulement par le NaCl, ce qui indique que l'acide salicylique agit comme la molécule de signal endogène responsable d'inciter la tolérance aux stress abiotiques aux plantes et son application exogène augmente la croissance des plantes.
- Les teneurs en chlorophylles (**a**, **b** et **c**) sont des paramètres très sensibles, qui peuvent nous renseigner sur le degré de tolérance de la culture de tomate à la salinité. Les traitements salins naturels ont montré des taux de réduction considérables de la chlorophylle **a**, **b** et **c** donc elle est sensible à l'effet de stress salin qui baisse en présence de NaCl et augmentent par son absence. La chlorophylle **a** s'accumule lentement par rapport à la chlorophylle **b**, aussi bien pour les témoins que pour les plantes stressées.

Conclusion

- L'acide salicylique semble jouer un rôle important dans l'accumulation de la teneur de chlorophylle par rapport aux plantes soumises au stress salin.
- Une production élevée de proline sous contrainte de NaCl, qui améliore encore en présence de l'acide salicylique par son application de façon exogène, atténuant les effets nocifs de la salinité, qui a une réponse induite de défense pour ajuster l'osmolarité interne de la plante.
- L'utilité de l'acide salicylique dépend de sa concentration. Une concentration de 0.50mM semble la plus efficace sur la plus part des paramètres morphologique et physiologique sur les plantules de la tomate que celle de 0.25mM appliquée.

Enfin, il est possible de suggérer d'autres tests expérimentaux faisant usage à d'autres cultures avec d'autres concentrations que 0.25 et 0.50 mM d'acide salicylique accompagnées d'une étude biométrique. Les nouvelles informations permettraient de situer le niveau de tolérance et/ou de résistance de ces espèces aux stress.

Chapitre I : Généralité sur la salinité des eaux et des sols

1. Notion de stress

Le stress est fondamentalement un concept de mécanique, définie comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet ou une influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner (Hopkins, 2003).

Selon Levitt (1980), c'est un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant.

Claude Bernard fut le premier à dégager une notion physiologique du stress en 1868. Selon lui, les réactions déclenchées par le stress visaient à maintenir l'équilibre de notre organisme. L'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par le même auteur en 1915. L'association de ces trois notions stress homéostasie- Adaptation constitue l'approche biologique du stress et permet notamment d'expliquer l'influence du stress qui est de permettre, lorsqu'il est appliqué dans certaines limites, l'adaptation à l'environnement, et donc au maintien de la vie.

La notion du stress biologique est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal, et la réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation à la limite de dégradation menant à une issue fatale (Leclerc, 1999).

Les dommages causés par le stress salin à long terme est surtout le déséquilibre ionique et la toxicité provoqués par le Na^+ plutôt que l'effet du sel sur le potentiel hydrique réduisant la disponibilité en eau (Munns, 1995)

Les situations de stress et les réactions des végétaux peuvent différer. Des stress peuvent être plus ou moins habituels ou exceptionnels. Un stress peut être transitoire ou irréversible, elle crée une vie en conditions extrêmes (Richard et *al.*, 1984)

Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) (Vincent, 2006).

2. Catégorie de stress

2.1. Stress abiotique

Il est causé par des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau (asphyxie racinaire), la salinité. On peut citer quelques types des stress abiotiques qui peuvent affecter les végétaux :

• Stress salin

C'est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (Tremblin, 2000).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces (Levigneron et *al*, 1995).

• Stress hydrique

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique. Selon Hopkins (2003), le stress hydrique provoqué par un déficit en eau constituant un menace permanent pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morpho-physiologiques qui leurs permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée.

• Stress ionique

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.

• Stress nutritionnel

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

2.2 Stress biotique

Nous réunissons sous ce terme la totalité des paramètres physico-chimiques ou biologique, des facteurs propres aux interactions intra et inter-spécifique, 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, ils sont susceptibles d'être classés selon diverses modalités. (Ramade, 2003).

3. La salinité

Elle est définie comme la présence d'une concentration excessive de sels solubles dans La solution du sol ou dans l'eau d'irrigation (Baiz, 2000). C'est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité des plantes (Bouزيد, 2010).

Les pratiques agricoles diverses ont augmenté progressivement le taux de sels dans le sol et ont entraîné la dégradation des terres arables depuis plusieurs siècles. (Schwabe *et al.*, 2006). Et elle est devenue un véritable fléau pour les cultures agricoles (Munns *et al.*, 2008).

3.1. Les principaux sels solubles

La présence de sels solubles en quantité importante ou d'un horizon sodique à structure dégradée, caractères qui ont une influence néfaste sur le développement de la végétation ou des cultures. Les principaux sels solubles qui participent dans la formation des sols salés sont :

- **Les carbonates** : les plus rencontrés sont le carbonate de sodium (Na_2CO_3), Bicarbonate de sodium (NaHCO_3), carbonate de calcium (CaCO_3) et le carbonate de magnésium (MgCO_3).
- **Les sulfates** : ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont le sulfate de magnésium (MgSO_4), sulfate de sodium (Na_2SO_4) et le sulfate de calcium (CaSO_4).
- **Les chlorures** : ce sont plus soluble et à forte toxicité. Elle principalement le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl_2) et chlorure de magnésium (MgCl_2). (AUBERT, 1982).

3.2. Types de la salinisation

D'après CHERBUY (1991), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

3.2.1. Salinisation primaire

Se produit naturellement là où la roche mère du sol est riche en sels solubles ou bien en présence d'une nappe phréatique proche de la surface dans les régions arides et semi-arides, où les précipitations sont insuffisantes pour les sels solubles du sol et où le drainage est restreint, des sols salins vont se former avec des concentrations élevées de sels (les sols salinisés), plusieurs processus géochimiques peuvent également avoir comme conséquence la formation de sols salinisés .

3.2.2. Salinisation secondaire

Se produit lorsque des quantités significatives d'eau chargée de sels sont apportées par irrigation, sans réseau de drainage adéquat pour la lixiviation et l'élimination des sels, ces apports entraînent une augmentation de la teneur en sels des sols, ce qui diminue leur productivité, la capacité des cultures à capter l'eau et les micronutriments est réduite, des ions toxiques se concentrent dans les végétaux et peuvent dégrader la structure du sol.

3.3. Mesure de la salinité

Elle est mesurée généralement par la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée à 25°C (Kenfaoui, 1997). En effet, un sol est considéré salé quand sa conductivité électrique devient supérieure à 4 millimhos.cm⁻¹(Halitim, 1986).

Marc, (2001), montre que 1 S/m = 10⁴ mhos et 1 mhos = 1/10⁴ ohm unité de résistance électrique, la conductivité de l'eau peut être rapidement convertie en mg de sel par litre par la formule : 1 dS /m = 1 Sm/cm = 640 mg/l de sels

4. Répartition des sols salés

4.1. Dans le monde

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorables de faible fertilité sont généralement peu convenables pour la production agricole, entraînant la réduction inacceptable de rendement. En raison du besoin accru de distribution de production alimentaire et d'augmentation des sols affectés par salinité, la recherche sur des réponses des plantes à la salinité a rapidement augmenté en quelques dernières décennies (Madhava Rao et al., 2006).

En Europe, la salinisation du sol affecte 1 à 3 millions d'hectares de terres. Ce phénomène est considéré comme une cause majeure de désertification et constitue donc une forme grave de dégradation des sols. Elles se trouvent en Hongrie, en Roumanie, en Grèce, en Italie et dans la péninsule ibérique. Ce problème s'accroît du fait de l'augmentation des températures et de la réduction des précipitations, caractéristiques du climat de ces dernières années.

Tableau 01: La superficie affectée par la salinité dans différentes régions du Monde :

Région	Superficie (million d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du nord	5,7
Amérique du sud	129,2
Asie du sud	87,6
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du centre et du nord	211,7

Source : Handj et al, 1995 in Snoussi ,2001

4.2. Les sols salés en Algérie

Les sols salés sont très répandus en Algérie essentiellement dans les zones arides et semi-arides; des travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (Halitim, 1986).

D'après Szablocs (1989), 3,2 million d'hectares en Algérie subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

Tableau 02: le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la surface agricole utile

Wilayas	S.A.U (ha)	Superficie affectée par la salinité	% de la S.A.U affectée par la salinité
Tamanrasset	2510	1445	57,57
Ouargla	17390	9850	56,64
Ghardaïa	7930	3284	41,41
Bechar	13250	2249	16,97
Illizi	570	60	10,53
Djelfa	67760	6250	9,22
Relizane	241670	20000	8,28
Ain temouchent	18350	15000	8,14
Tébessa	231750	13000	5,61
Adrar	14990	780	5,20
Biskra	151530	7272	4,80
Khanchla	177900	4480	2,52
Mascara	328740	6475	1,97
Alger	7940	150	1,89
Mostaganem	131730	1977	1,50
Naama	4150	62	1,49
Laghouat	487740	800	1,48
Batna	85860	5100	1,05
Oran	188620	850	0,99
Cheliff	183860	1490	0,79
Guelma	22150	1283	0,70

Mila	72090	100	0,45
Boumersès	306480	192	0,27
Saida	615340	700	0,23

Source : Halitim, (1986)

Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra, Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum el Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhah d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...).

4.3 Causes et effets de la salinisation

Les causes les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-arides, sont l'engorgement, la salinisation et la sodification. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que le monde perd au moins 3 hectares de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol.

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation (Denden et *al.*, 2005, Ashraf et Foolad, 2007).

Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux (Morsli, 2007).

4.5 Classification des sols

Il existe plusieurs classifications des sols dans le monde, la classification Américaine, française, russe et celle de la FAO (1975), parmi ces classifications, celle proposée par (U.S.S.I., 1954) et aussi celle proposée par (Duchaufour, 1977 et Cherbuy, 1991) qui voient en ces sols, trois grandes classes :

- Sols salins
- Sols salins et alcalins
- Sols alcalins

Selon Cramer (2002), les sols alcalins ou sodiques sont caractérisés par un rapport d'adsorption de sodium (SAR) supérieur à 15. Le SAR est calculé comme suit :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Na^{2+}}} / 2$$

Tableau 03: Caractéristiques des sols salin et sodique :

Caractéristique	Sols salins	Sols sodiques
Chimique	Dominé par des sels solubles neutres : chlorure et sulfates de sodium, calcium et magnésium	Peu de sels solubles neutres, quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline
	pH de l'extrait de sol saturé de moins de 8.2	pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8.2 et atteignant souvent 9 ou 10
	La conductivité électrique (CE) de l'extrait de sol saturé de plus de 4 dS/m à 25°C est en général la limite acceptée.	CE est moins de 4 dS/m mais peut être plus important au cas où des quantités de Na ₂ CO ₃ , seraient présentes
	Pas de relation entre le pH de l'extrait des sols saturé et le coefficient d'absorption du Sodium (ESP)	Bonne relation entre le pH du sol et l'ESP de telle sorte que le pH peut être utilisé comme index proche du degré d'alcalinité.
	Des quantités appréciables de composés calciques solubles peuvent se trouver (tel que le gypse).	Le gypse est pratiquement toujours absent
Physique	En présence excessive de sels solubles neutres. La fraction argileuse est floculée et le sol est stable.	Un excès en Sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.
	La perméabilité à l'eau et à l'air de cels est comparable à ceux des sols «normaux »	La perméabilité à l'eau et l'air est faible. Les propriétés physiques de ces

		sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du SAR.
	Toxicité des ions tels que les ions Na, Cl, B, etc.	A travers le pH élève du sol causant des déséquilibres nutritionnels incluant notamment une déficience Calcium A travers la toxicité d'ions tels que les ions Na, CO ₃ , Mo, etc.

Source : (Maillard, 2001)

Les sols salins et alcalins est sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieure à 4 dS/m et un pH supérieure à 8,5 (Voir tableau 04). Par définition, ce sont des sols qui contiennent suffisamment de sels solubles et de sodiums échangeables supérieurs à 15% (Hullin, 1983). Son perméabilité dépend du rapport entre CE/ESP, de la teneur de la nature de la fraction argileuse des sols. (Daoud, 1993),

La structure de ces sols généralement bonne mais pouvant se dégrader considérablement lors de lessivage, nécessité d'apports de cations de substitution (Mermoud, 2006)

Tableau 04 : Classe de la salinité des sols

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)
Non salins	0 – 2
Légèrement salins	2 – 4
Modérément Salins	4 – 8
Fortement salins	8 – 16
Très fortement salins	> 16

Source : (Maillard, 2001)

4.5.1. Qualité de l'eau d'irrigation

Toutes les eaux naturelles utilisées pour l'irrigation contiennent des sels minéraux en solution qui proviennent des roches ou des matières solides à travers lesquelles elles ont filtré. Les matières dissoutes les plus communes sont les chlorures, les sulfates, les bicarbonates de calcium, de magnésium, de sodium. La concentration et la proportion de ces matières qui déterminent la possibilité d'utiliser une eau pour l'irrigation.

D'autres constituants comme le bore, qui a un effet toxique sur les végétaux, peuvent se trouver en moindres quantités dans l'eau d'irrigation (Moore 1951 et Cassidy 1984).

Si l'eau utilisée pour l'irrigation contient les constituants désignés ci-dessus en quantités excessives, la croissance des végétaux peut en être affectée de trois manières :

- Les modifications défavorables des caractéristiques physiques du sol peuvent agir sur elle de façon défavorable ;
- A l'augmentation de pression osmotique des solutions du sol peut correspondre une diminution pour le végétal de l'humidité du sol physiologiquement utilisable ;
- L'accumulation de certains ions dans les solutions du sol peut avoir un effet toxique spécifique sur l'activité physiologique de la plante (Moore 1951 et Cassidy 1984).

Tableau 05: Classification de l'eau :

Classe	EC en dS/m	Concentration en sels totale en mg/l	Type d'eau
Non saline	< 0.7	< 500	Eau potable et irrigable
Légèrement saline	0.7 – 2	500 – 1500	Eau d'irrigation
Modérément saline	2 – 10	1500 – 7000	Première eau de drainage et eau souterraine
Très saline	10 – 25	7000 – 15 000	Seconde eau de drainage et eau souterraine
Très fortement saline	25 – 45	15 000 – 35 000	Eau souterraine très salée
Saumure	> 45	>45 000	Eau de mer

Source : (Maillard, 2001)

4.6. Conséquences de la salinité

4.6.1. Action de la salinité sur le sol

L'influence des sels solubles et du sodium échangeable sur les propriétés physiques des sols a fait l'objet de nombreuses recherches (Tessier, 1984). En effet, les forts taux de sodium échangeable peuvent influencer considérablement de nombreuses propriétés des sols comme la dispersion des particules argileuse (Grachev et *al.*, 1997), La dispersion de la matière organique (Amrhein et *al.*, 1992) , et la conductivité électronique (Zahow et Amrhein, 1992)

Les conséquences traduites par l'ensemble de ces paramètres se manifestent dans le sol par une dégradation de la couche de surface aboutissant à la formation d'une croûte de battance pouvant atteindre plusieurs centimètres, cette croûte à une influence négative sur les échanges sol-atmosphère (Abu awwad et Akasheh, 1997).

4.6.2. Action sur l'absorption

Chez les végétaux stressés par le sel, les concentrations des solutés organiques et inorganiques varient, selon les espèces, l'âge de la plante et le traitement salin. Chez les plantes cultivées sur milieu témoin sans sel, la concentration totale de la solution foliaire en solutés organiques tend à diminuer avec l'avancement en âge des plantes ; alors qu'un effet opposé est noté pour la concentration inorganique totale de la feuille (Rahmoune *et al.*, 1997 ; Ben Naceur *et al.*, 2001).

La sensibilité à la salinité des espèces végétales est due notamment à l'absorption et à l'accumulation d'une quantité relativement élevée de (Na^+) et (Cl^-) au niveau des feuilles (Bell, 1999 ; Cıçek *et al.*, 2002).

La grande accumulation de Cl^- dans les feuilles peut contribuer au maintien d'un gradient osmotique en condition de salinité modérée. C'est au niveau des feuilles que se visualise le plus l'effet toxique des ions chlorures. Les dégâts observés sur la végétation sont dus à la toxicité des chlorures (Cl^-) et non aux ions sodium (Na^+) qui sont généralement inoffensifs vis-à-vis de la plupart des plantes, et la surface foliaire nécrosée est souvent directement proportionnel à l'accumulation des chlorures (Garre *et al.*, 1989).

En présence du sel ; l'absorption des cations Na^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2} dépasse souvent celle des anions Cl^- , PO_4^- et NO_3^- ; ce qui engendre ainsi un déficit anionique pour le végétal. Le chlore, en entrant en compétition avec NO_3^- ; inhibe dans les plantes sensibles aux sels l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes et engendre ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée, par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ et la teneur en Cl^- (Slama, 1986).

4.6.3. Action de la salinité sur la germination

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (Gutterman, 1993 in Ndour et Danthu, 2000). C'est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique (Boulghalagh *et al.*, 2006).

Des travaux effectués sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (Katembe *et al.*, 1998 in Debez *et al.*, 2001).

La germination des plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique :

- **Les effets osmotiques** se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination ;
- **Les effets toxiques** sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili et *al.*, 2006).

4.6.4. Action de la salinité sur la croissance

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de ce phénomène si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000).

La salinité accrue manifeste une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (Mohammad et *al.*, 1998). Elle résulte aussi dans la diminution de la biomasse fraîche et sèche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000).

4.6.5. Action de la salinité sur les plantes

La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité des plantes (Allakhverdiev et *al.*, 2000). Elle provoque :

- Une toxicité ionique;
- Un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique ;
- Une réduction du potentiel hydrique.

Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limite de la productivité végétale depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (Hayashi et Murata, 1998).

Lus dans Parida et Das (2005), ajoute que l'arrête de la croissance et directement lie à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de la solution du sol. Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse la synthèse des protéines le métabolisme génétique sont affectés.

4.6.6. Action de la salinité sur l'état hydrique de la plante

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Romeroaranda et *al.*, 2001).

Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (Lu et al., 2002).

4.6.7. Action de la salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme et du mésophyle, la longueur et le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles du haricot, coton et de l'Atriplex (Longstreth et Nobel, 1979). Elle réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Delphine et al., 1998 dans Parida et Das, 2005).

Mitsuya et al., (2000) citent les causes du stress salin :

- Un développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique ;
- Un gonflement de la mitochondrie, la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste ;
- Une dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoeabatatas*).

4.6.8. Action de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Agastian et al., 2000).

De plus, Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité (Agastian et al., 2000, Parida et al., 2002).

Par contre, Wang et Nil (2000) ont rapporté que le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus*.

4.6.9. Action de la salinité sur les lipides

Les lipides sont la source la plus efficace du stockage de l'énergie, ils fonctionnent comme des isolateurs des hormones et organes délicats, et jouent un rôle important comme des constituants des structures de la plupart des cellules membranaires (Singh et al., 2002).

L'instauration des acides gras empêche le stress salin ou hydrique (Wu et al., 1998) ont analysé le changement de la composition des lipides soumis à un stress salin dans la membrane plasmique des racines chez *Spartina patens* et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

4.6.10. Action de la salinité sur le taux des ions

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre d'une part, une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K⁺, ce qui conduit à son déficience. D'autre part, elle

induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du Ca^{2+} , K^+ et le Mg^{2+} chez de nombreuses plantes (Khan, 2009).

La salinité fait augmenter le contenu de Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- chez *Vicia faba* et le rapport K^+/Na^+ diminue (Gadallah in haoula et al 2007).

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions.. L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K^+ , tandis qu'une concentration élevée en Na^+ diminue l'absorption de K^+ chez le riz (Levitt, 1980) et la canne à sucre (Nimbalkar, Joshi, 1975).

Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Hamza, 1977) et le laurier rose (Hajji, 1980)

4.6.11. Action de la salinité sur les enzymes antioxydants

En cas de stress biotique ou abiotique, on observe chez les plantes une production rapide et massive d'espèces réactives de l'oxygène. De nombreuses études ont été menées, notamment chez les plantes, afin de préciser quels facteurs entraînent ce phénomène. de nombreuses conditions environnementales ont ainsi été définies : la sécheresse, les stress thermiques (hautes et basses températures), l'exposition aux métaux lourds, aux ultraviolets, aux polluants aériens tels que l'ozone et le SO_2 , les stress mécaniques, les carences en nutriments, les attaques de pathogènes, la salinité et les fortes expositions à la lumière (Ben Naceur et *al.*, 2005).

Le stress salin cause un déficit hydrique comme conséquence à l'effet osmotique sur les activités métaboliques des plantes. Ce déficit hydrique cause un stress oxydatif à cause de la formation des espèces réactives de l'oxygène comme les superoxydes, les radicaux hydroxyles et peroxyde. Les espèces réactives de l'oxygène qui sont le produit des stress hyper osmotique et ionique causent des disfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996).

Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydants comme la catalase, la peroxydase, la glutathion réductase et le superoxyde dismutase, qui élimine les espèces réactives de l'oxygène. L'activité des enzymes antioxydants comme l'ascorbate peroxydase, la glutathion réductase, la monodéshydroascorbate réductase(MDHAR) et la déshydroascorbate réductase (DHAR) augmentent sous les conditions des stress salin chez le blé alors que l'ascorbate total et le contenu de la glutathion diminuent (Hernandez et *al.*, 2000).

4.6.12. Action de la salinité sur le métabolisme de l'azote

L'activité de la nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles de beaucoup de plantes pendant le stress salin (Flores et *al.*, 2000). La première cause de cette réduction est un effet spécifique associé à la présence du sel Cl^- dans le milieu externe. Cet effet de Cl^- semble être dû à la réduction de l'absorption du NO_3^- et par conséquent une concentration réduite du NO_3^- dans les feuilles, bien que l'effet direct du Cl^- sur l'activité de l'enzyme qui ne peut être écarté (Flores et *al.*, 2000).

Chez le Maïs (*Zea mays*), le taux des nitrates diminue dans les feuilles, mais augmente dans les racines sous le stress salin (AbdElBaki et *al.*, 2000 in Parida et Das, 2005).

L'exposition des racines ondulées à NaCl des légumineuses comme le soja et le haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale. (Serraz et *al.*, 1998).

4.6.13. Action de la salinité sur l'ultra structure du chloroplaste

Chez les plantes traitées avec le NaCl, la microscopie électronique a montré que la structure du thylacoïde du chloroplaste devient désorganisée, le nombre et la taille des plasto-globules augmentent et le taux d'amidon diminue (Hernandez et *al.*, 1999).

Dans le mésophile de la patate douce (*Ipomoea batatas*), les membranes des thylacoïdes sont gonflées et la plupart sont perdues sous un stress salin sévère (Mitsuya et *al.*, 2000).

4.6.14. Action de la salinité sur la photosynthèse

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse. Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur ce phénomène.

A court terme, ils se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, et la réponse est importante ; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone.

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (Munn et Termatt, 1986),

Aussi, Kao et *al.*, (1999, 2001) ont rapportés qu'il y a suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel.

Iyengar et Reddy (1996), ont montrés que la diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs, parmi eux :

- La déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂,
- La toxicité du sel ;
- La réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydro active des stomates ;
- La sénescence accrue induite par la salinité ;
- Le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique.

4.6.15. Action de stress sur la proline

D'après Nounjana, et *al.*, (2012), l'un des mécanismes efficaces de protection des plantes contre le stress hyper-osmotique est l'augmentation du niveau endogène des solutés compatibles tels que la proline. Elle est multifonctionnel des acides aminés et une molécule de signalisation agissant comme un régulateur de croissance végétale en déclenchant la cascade de signalisation de processus (Yang, 2009). Proline préféré comme un osmolyte commun chez les plantes et obtenir la régulation contre différentes contraintes (Szabados et Savoré., 2009).

La proline est un acide aminé particulièrement sensible au stress. Un grand nombre de plantes synthétisent dans leurs feuilles de la proline à partir de glutamine. Une réaction qui se déroule entre γ -carboxyle du glutamate et la molécule d'ATP pour former l'acyle phosphate et donne γ -glutamyl phosphorique, acide qui se cyclera en dégageant une molécule d'H₂O et forme le D pyrroline carboxylique qui se cyclera à son tour avec une molécule NADPH et donne la proline (Khadi., 2006).

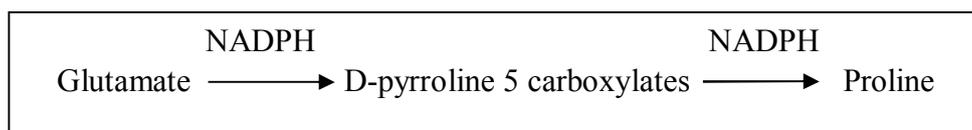


Figure 01: La voie biosynthèse de la proline (Khadi, 2006)

Son rôle a été montré lors des expériences menées sur des cultures de cellules de tomates. Des cellules soumises à un stress hydriques (osmotique) par une exposition à des concentrations hypertoniques de polyéthylène glycol (PEG) répondent d'abord par une perte de turgescence puis par une rapide accumulation de proline. Cependant au fur et à mesure de l'accumulation de proline, la turgescence réapparaissait (Khadi., 2006).

L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement (Belkhodja et Benkabilia, 2000), Aussi, la proline est considéré comme d'importance majeure, car il a été signalé à s'accumuler dans un grand

nombre d'espèces en réponse au stress tels que la salinité excessive, sécheresse, froid, carences nutritionnelles, métaux lourds, les infections pathogènes et acidité élevée (Trovato, et *al.*, 2008), qui offre une protection contre la salinité et la sécheresse (Singh M, and *al.*, 2014), et joue un rôle dans l'ajustement osmotique, elle protège les enzymes, les structures des protéines et les membranes des organites. Elle fournit également de l'énergie pour la croissance et la survie de la plante (Chandrashekar et Sandhyarani, 1996; Ashraf et Foolad, 2007; Hoque et *al.*, 2007).

Chez les halophytes, la proline est un marqueur intéressant pour évaluer leur résistance au stress salin (Heyser et *al.*, 1989) .

L'application exogène de la proline peut être une bonne approche pour diminuer les effets indésirables du stress de la salinité sur les plantes (Yang et *al.*, 2009) et le stress métalliques (Aggarwal et *al.*, 2011). Il a été également signalé que l'application exogène de proline atténue les effets néfastes du sel en réduisant l'accumulation de Na⁺ et Cl dans les plantes (Khattab et *al.*, 2009).

Enfin, le stress salin a imposé les graves conséquences sur la croissance des plantes et la productivité en interrompant les processus métaboliques normaux et la proline peut atténuer l'impact négatif du sel en diminuant le stress osmotique qui par conséquent maintenir l'intégrité de la membrane et sa fonction (Singh, et *al.*, 2014).

4.6.16. Action de stress sur chlorophylle

Selon Brack et Mathis (2000), il existe deux principaux types de chlorophylle chez les plantes et certaines algues : la chlorophylle **a** et la chlorophylle **b**. Chez les plantes seules la chlorophylle **a** est impliquée directement dans les réactions lumineuses, elle absorbe la lumière des régions bleu violet et rouge du spectre et apparaît vert foncé, car elle réfléchit principalement la lumière verte.

La chlorophylle **b** n'est pas directement impliquée dans les réactions lumineuses, mais transmet l'énergie absorbée à la chlorophylle **a**. La chlorophylle **b** est donc appelé pigment accessoire (Brack. et Mathis., 2000).

Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress salin (Mouellef., 2010). Tahri et *al.*, (1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Les résultats de Tahri et *al.*, (1997) révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle

qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri et *al.*, 1997).

4.7. Mécanismes d'adaptation aux contraintes abiotiques

En effet, selon le degré de salinité dans le milieu, les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Bennaceur et *al.*, 2001), biochimique (Grennan, 2006) et minéral (Martinez et *al.*, 2007).

Ainsi, les plantes réagissent à ces variations de la salinité dans le biotope, soit pour disparaître ou déclencher des mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte (Munns, 2002).

En effet, la tolérance, dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence (Garg et *al.*, 2002, Moinuddin et *al.*, 2005)

Grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'expriment par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ et Na^+ (Parida et Das, 2005, Navarro et Rubio, 2006) et Cl^- (Munns et *al.*, 2006, Teakle et *al.*, 2007) ou de composés organiques tels les sucres solubles (Ottow et *al.*, 2005) et certains aminoacides comme la proline, (Morant-Manceau et *al.*, 2004).

Il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) (Grennan., 2006, Martinez et *al.*, 2007) et il peut intervenir à tous les stades du développement du végétal, (Malasses, 1996).

L'osmorégulation permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol vacuole et de régulation du pH (Ottow et *al.*, 2005).

Pour lutter contre la contrainte abiotique, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu, et la variété tolérante développe plusieurs mécanismes de résistances et pas un seul mécanisme (Bouatrous et *al.*, 2009).

La résistance d'une plante à une contrainte abiotique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles.

4.7.1. Adaptations phonologiques

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La

précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur et *al.*, 1999).

Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le décalage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales.

La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999).

4.7.2. Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications s'affectent la partie aérienne ou souterraine par réduction de la surface foliaire et du nombre des tiges, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire.

4.7.3. Adaptations physiologiques

a. État hydrique de la plante

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse ou de salinité provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (Henchi, 1987 ; Ben derradji et *al.*, 2010).

L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (Bouatrous et *al.*, 2009).

Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Sorrells et *al.*, 2000 , Bousba et *al.*, 2009).

b. Fonctionnement stomatique

L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au déficit hydrique chez les céréales si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique (Salama, 2000). L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO₂ et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide.

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes à la sécheresse, En outre les résultats trouvés par Djekoun et Ykhlef (1996), montrent que le taux de la réduction de l'activité photosynthétique est en grande partie liée au degré de fermeture des stomates et celui de la réduction de l'activité des PSII. Cette diminution de la

transpiration peut engendrer une réduction de la Photosynthèse. Ainsi, les géotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau (photosynthèse/transpiration) plus élevée et une plus grande capacité de survie.

4.7.4. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation, il peut intervenir à tous les stades de développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel. Il joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress (Kara et *al.*, 2011). La plante devra synthétiser des solutés organiques afin de se protéger contre un stress osmotique, qui sont des molécules non toxiques qui s'accumulent majoritairement dans le cytoplasme et qui n'interfèrent pas avec le métabolisme normal. Leur rôle principal est de préserver la turgescence de la cellule en maintenant une osmolarité intracellulaire égale à l'osmolarité cellulaire, ce qui évite un efflux d'eau de la cellule, mais ils ont aussi d'autres fonctions de protection pour la cellule (Belfakih et *al.*, 2013). En plus de leur rôle d'osmolyte, les sucres pourraient protéger des macromolécules, et lutter contre les effets des ROS (Nanjo et *al.*, 1999).

Un autre soluté compatible majeur est la proline (Delauney et *al.*, 1993), qui a de nombreuses fonctions dans la protection de la cellule contre les effets du stress osmotique, telles que la stabilisation des structures cellulaires, la préservation des effets des ROS et elle pourrait même participer à la signalisation du stress (Nanjo et *al.*, 1999).

Enfin, certaines amines telles que la spermidine, la putrescine, la spermine et la glycine bêtaïne sont également utilisées comme osmolytes. Comme les composés précédemment décrits, leur rôle ne se limite probablement pas à celui de solutés compatibles, mais leurs autres propriétés permettant de lutter contre les effets du stress osmotique ne sont pas encore bien documentées (Seki et *al.*, 2007)

- **Exclusion**

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellule de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine (Levent Tuna et *al.*, 2007)

- **Inclusion**

La plante capte le sel, qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. À l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompe moléculaire. Les vacuoles sont des compartiments

fermes au sein de la cellule. Le sel est ainsi isolé des constituant cellulaires vitaux (Berthomieu et *al.*, 2003).

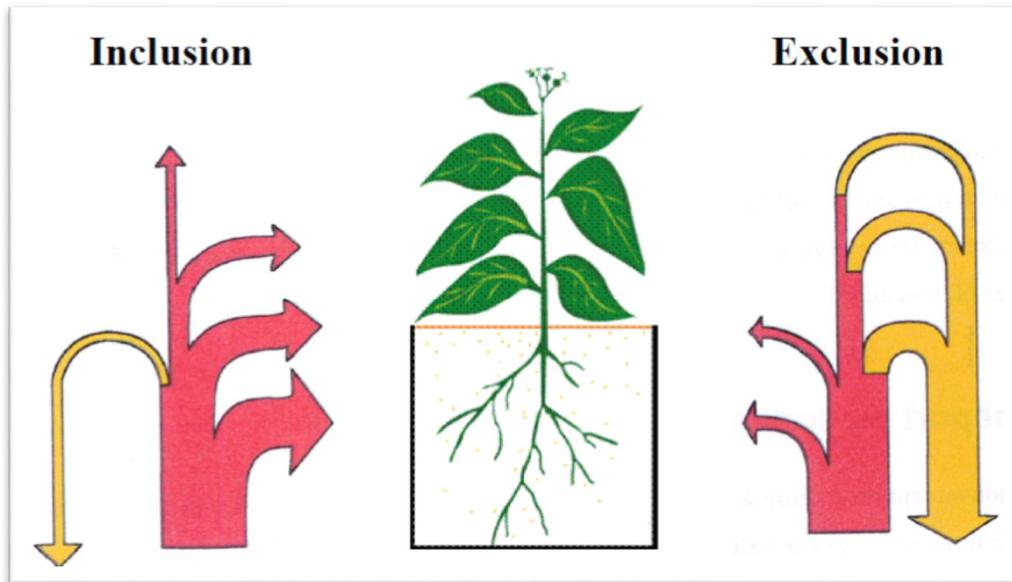


Figure 02: illustration des stratégies « inclusion » et « exclusion » (Levigneron et *al.*, 1995)

Chapitre II : généralité sur la culture hydroponique

1. Historique

L'hydroponique est une méthode d'agriculture ancienne dont l'histoire remonte aux Jardins Suspendus babyloniens, où l'on perpétue depuis des millénaires la culture sur gravier. Les Aztèques ont développé un système de culture sur radeaux sur des lacs peu profonds. Il est toujours possible de voir des jardins flottants près de la ville de Mexico. On y voit pousser des potagers à la surface de l'eau sur du paillage, des bambous, des colonies de jacinthes d'eau Le développement de l'hydroponique (Thiault, 2004).

D'après Righi (2006), En Europe, la culture hydroponique n'a débuté qu'en 1699 où on a réussi à faire pousser des plantes dans une solution d'eau et de terre. Puis, d'autres scientifiques européens réussirent à cultiver des plantes en solutions de nutriments composés de sels minéraux qui éliminèrent ainsi le besoin de terre.

En 1925, des applications concrètes de l'hydroponique commencèrent à être utilisées par l'industrie serricole. Le développement de l'hydroponique accéléra durant la décennie suivante lorsque les chercheurs commencèrent à voir son potentiel. En 1930, l'université de Berkeley produisit le premier système hydroponique commercial aux États-Unis. Le développement continua et l'utilisation commerciale de l'hydroponique se propagea graduellement à travers le monde. De nos jours, des systèmes de contrôles automatisés ainsi que des équipements de test numérique furent développés et permirent à l'hydroponique de devenir une possibilité pour les jardiniers amateurs (Righi, 2006),

2. Définition

Texier (2014), dit que la culture hydroponique est une culture de plantes terrestres réalisée à l'aide de substances nutritives, sans le support d'un sol. Cette technique peut être appliquée de deux façons différentes : en immergeant les racines nues dans une solution nutritive, ou en les plantant dans un substrat autre que la terre, un substrat inerte. Les principes fondamentaux de cette culture sont simples : la solution nutritive doit être maintenue à bonne température, oxygénée, et les plantes doivent recevoir les nutriments dont elles ont besoin. Pour réaliser un bon système hydroponique, l'eau doit être en permanence saturée en oxygène.

3. Les composants de systèmes hors sol

Selon Winter (2005), tout système de culture hors sol est caractérisé par trois composantes :

- Le substrat
- Le conteneur
- La solution nutritive

3.1. Substrat

D'après Blanc (1985), le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pur ou en mélange, permet l'encrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support. Tout matériau solide peut être utilisé comme substrat dans la mesure où il est compatible avec un développement normal du système racinaire, donc il y a plusieurs types de substrats :

3.1.1. Matériaux organiques naturels

3.1.1.1. Tourbe

Selon Lozet et Mathieu (1990), la tourbe est un « dépôt de matière organique dont la décomposition et l'humification sont très lentes suite à des conditions de milieu mal aéré et saturé en eau de façon permanente en toute saison. Elle s'accumule en couches épaisses, constituées surtout de débris végétaux peu transformés et de produits intermédiaires, notamment la lignine». La tourbe est de couleur blonde, brune ou noire, à une densité apparente qui passe de 0.05 à 0.5, sa porosité totale varie de 40% à 90%, pour la rétention en eau : 100g de tourbe absorbent entre 400g et 1500g d'eau (Ravoux et Peter, 1973)

3.1.1.2. Les écorces

L'écorce peut être mise en œuvre à l'état frais, après broyage et/ou calibrage ou compostée avec des tourbes et d'autres sous-produits de l'industrie. Sa composition est très variable selon l'origine de l'écorce et on préfère souvent composter un mélange d'écorces broyées (50% à 60%) et de tourbe, additionné d'azote, de phosphore et de potasse (Chilton et *al.*, 1978).

3.1.2. Matériaux minéraux naturels

3.2.1.1. Graviers

Ce sont en général des produits siliceux contenant des matériaux calcaires dur, du granite ou du basalte. Il est constitué par des grains compris entre 2 et 20mm, La densité apparente est supérieure à 1.5. La porosité totale est inférieure à 50% (Hewitt., 1966).

3.2.1.2. Sables

C'est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 et 2mm, selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Le sable est souvent le produit de la décomposition du micaschiste du fait de l'érosion. Ainsi, le plus fréquent de ses composants est le quartz, constituant le moins altérable du granite, ainsi que des micas et feldspaths. Elle est issu d'une roche volcanique est plutôt noir tandis qu'un sable marin s'enrichit de débris de coquillages (Blan, 2011).

3.2.1.3. Pouzzolanes

Ce sont des débris magmatiques projetés dans l'atmosphère au cours des phases éruptives. Selon la viscosité du magma, la pression des gaz et la vitesse de refroidissement on obtient des catégories différentes de produits, dont les plus importantes: les cendres (0 à 20 mm), les ponces (2 à 50 mm) et les scories (10 à 100 mm) (Geoffroy et Valladeau., 1977). Cependant, le calibre moyen fréquemment utilisé en horticulture est de 4 à 7 mm. Sa porosité pour l'eau varie entre 7 et 13 % et celle pour l'air est de 60% (Monnier, 1975). Les pouzzolanes sont par conséquent des matériaux à forte porosité grossière et fermée, retiennent peu d'eau et ont une forte aération. Ils sont des matériaux riches en éléments mineurs tels que la silice, le phosphore et les oligo-éléments (Dron et Brivot., 1977).

3.1.3. Matériaux minéraux artificiel ou traités

Ce sont des matériaux expansés par un procédé industriel qui vise à obtenir des fibres et des granulats légers et très poreux. Le procédé de fabrication par voie thermique a pour inconvénient d'élever le prix de revient des substrats, mais pour avantage de fournir des matériaux homogènes, stériles et de qualité constante (Moinereau et *al.*, 1985).

3.2.2.1. Perlite

C'est un sable siliceux volcanique qui, chauffé brutalement à 1000-1100°C pendant 5mn, fond et gonfle d'environ vingt fois son volume initial, par vaporisation de l'eau combiné (2 à 5% d'eau). On obtient des perles blanches vitreuses, très poreuses (Moinereau et *al.*, 1985). C'est un matériau très peu dense, sa masse volumique apparente ainsi que sa rétention d'eau varient selon la granulométrie, une perlite grossière (>3mm) offre une faible disponibilité en eau et une forte aération. Sa résistance mécanique est très faible. La durabilité du matériau en culture est fonction de qualité de la perlite (une durée minimale de 4 ans) est effective en culture florale. D'un point de vue chimique, la perlite est un substrat inerte, car elle est dépourvue de capacité d'échange et par conséquent de pouvoir tampon vis-à-vis de la nutrition de la plante (Moinereau et *al.*, 1985).

3.2.2.2. Vermiculite

C'est un mica (silicate d'alumine magnésien et potassique en feuillet) expansé par choc thermique, le chauffage à 1100°C provoque une vaporisation brutale des molécules d'eau interfoliaires, ce qui entraîne un gonflement des lamelles de 10 à 12 fois l'épaisseur initiale. Le comportement hydrique de la vermiculite est proche de celui de la perlite, au contraire les propriétés chimiques et le comportement mécanique sont assez éloignés, c'est un substrat tamponné, très actif d'un point de vue physico-chimique dont le pH est pratiquement neutre (7 à

7.5). En cours de culture, on observe un tassement important, le milieu peut devenir asphyxiant et sa durabilité est limitée à quelques cultures (De Boodt et *al.*, 1981).

3.2.2.3. Argile expansé

C'est un produit obtenu par granulation et chauffage à 1100°C de nodules d'argile humide. Par ébullition brutale de l'eau, on obtient des boulettes dures et poreuses (Heymans, 1980). Ses propriétés sont semblables à celles de la pouzzolane, sa porosité est grossière et fermée. De ce fait, sa rétention d'eau est faible et varie selon la granulométrie utilisée. Par contre, c'est un matériau très aéré, inerte, neutre, sans capacité d'échange et à très longue durabilité (Heymans., 1980).

3.2.2.4. Laine de rochet

Ce produit dont l'intérêt agronomique a été appréhendé au Danemark est commercialisé sous le nom de GRODAN. Il est fabriqué par extrusion d'un mélange fondu à 1600°C comprenant des roches basaltiques (Diabase), du calcaire et du coke dans le rapport massique 4-1-. A partir des fibres pontées entre elles par un polymère urée/formol et éventuellement enrobés d'un mouillant, il y a un matériau de même nature est fabriqué en France par la société ISOVER et commercialisé sous le nom de CULTILENE (tableau 1.1) (Verdure., 1981).

Tableau 06 : Composition élémentaire de deux types de laine de roche en %

Désignations	GRODAN	CULTILENE
SiO₂	47	41.8
CaO	16	41.0
Al₂O₃	14	11.0
MgO	10	3.7
FeO	8	0.8
Na₂O	2	-
TiO₂	1	0.4
MnO	1	0.5
K₂O	1	-
S	-	0.3

Source : Verdure (1981).

3.2. Conteneur

D'après Zuang et Musard (1986), Fevrau (1987), et Winterborne (2005), les conteneurs sont des pots ou des récipients qui portent le substrat et la plante. Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. En général, ils sont en matière plastique chimiquement inerte, étanche, durable et facile à installer.

3.3. Solution nutritive

La croissance et le développement des végétaux en culture hors sol nécessitent en permanence une bonne synchronisation entre les besoins des végétaux en éléments minéraux et leur fourniture par la solution nutritive. Dans ce système de culture, la composition de cette solution nutritive est une composante fondamentale du rendement et de la qualité des productions puisqu'elle constitue le seul vecteur de l'alimentation hydrominérale des plantes (Morard, 1995). Cette solution nutritive contient les éléments minéraux majeurs et oligoéléments nécessaires en quantité équivalente. Ils sont apportés sous forme assimilable par le système racinaire de la plante (Fernandez, 1995).

Selon Duthil (1973), la solution nutritive est caractérisée par trois principaux paramètres :

- Le potentiel hydrogène (pH) ;
- La conductivité électrique (CE) ;
- Température de l'eau

3.3.1. Potentiel hydrogène (pH)

Selon Baize (2004), Le pH de la solution est très important pour le bon échange de nutriments entre le système racinaire et la solution nutritive. Si cette dernière est trop acide ou trop alcaline, la plante aura du mal à se nourrir. En effet, pour le bon échange des principaux minéraux, la solution nutritive doit pouvoir rendre à la plante ce qu'elle a besoin au moment voulu. Si le pH n'est pas bon, l'assimilation des engrais hydroponique sera tout simplement bloqué.

En culture hydroponique, tout jaunissement de la plante fait à 99% référence à un mauvais taux de pH. Le bon pH se situe entre 5.5 et 6.5 alors que l'idéal se situe entre 5.8 et 6.2. Aussi, la valeur de pH influe d'une part sur la croissance ou une bonne assimilation de l'Azote (N) favorisant la construction cellulaire, nous pouvons fixer la valeur de pH à 5.9 et d'autre part la floraison de la plante, ou les principaux besoin de la plante se trouveront dans le Phosphore (P) et le Potassium (K), nous pouvons fixer le pH à 6.2 (Baize, 2004).

3.3.2. Conductivité électrique (CE)

Selon Letard et *al.*, (1995) et Le Quillec, (2002), la conductivité électrique représente la concentration globale d'éléments minéraux dans la solution nutritive. Si la concentration est diminuée au-delà des seuils bas, les racines prélèvent très facilement les éléments minéraux en quantités insuffisantes, cette diminution correspond à un apport insuffisant en éléments minéraux, une absorption hydrique faible ou à un excès d'arrosage. Lorsque la conductivité électrique augmente au-delà des seuils, l'eau est difficilement absorbée et par conséquent le potentiel hydrique est diminué, cette augmentation correspond à un apport excessif d'éléments minéraux, une absorption minérale et hydrique élevée ou à un manque d'arrosage.

3.3.3. Température de l'eau

La température de l'eau influe sur la teneur en oxygène dissous dans la solution : si la température augmente, l'eau reste moins oxygénée. Lorsque la plante a très chaud, ses besoins en oxygène augmentent énormément. Il lui faut donc tout l'oxygène dont elle peut disposer. Une baisse, même légère, en oxygène, accompagnée des besoins croissants de la plante, provoque des insuffisances importantes d'oxygène. Et sans oxygène, même si les racines baignent dans une solution parfaite à tous les autres niveaux, les plantes vont quand même s'asphyxier et se noyer. De plus, leur manque provoque l'installation des maladies qui commenceront à infester les racines puis à tuer les plantes, y compris les redoutés champignons pathogènes comme *Pythium*, *Fusarium*. En hydroponique, les plantes souffriront en été. Il faut donc éviter les grandes chaleurs, et recourir à des modes de préventions des maladies, comme les produits silicatés et les mélanges de bactéries bénéfiques (Kehdi., 2005).

4. Les différents systèmes hydroponiques

4.1. Système NFT « *Nutrient film technique* »

C'est une des techniques sans substrat les plus utilisées en horticulture. Comme il est très difficile d'aérer un liquide stagnant, le milieu nutritif circule sur une faible épaisseur (une fine pellicule d'eau de 3mm) sous les racines, ce qui apporte une forte oxygénation du liquide nutritif, d'où le nom de « *Nutrient film technique* ». [Cooper, (1979); Graves, (1983)]

La solution nutritive qui est envoyée dans les rigoles par une pompe située dans un réservoir s'enrichit en oxygène au niveau de la surface du film liquide grâce à son déplacement continu. L'arrosage s'effectue par ruissellement sous les racines des plantes, qui sont disposées dans une sorte de buse ou gouttière légèrement inclinée, de façon que le liquide retourne dans le réservoir après avoir été en contact avec les racines. Ce système fonctionne en circuit fermé, ce qui signifie une évaporation limitée, et donc une grande économie en eau. La solution doit cependant être réajustée en permanence aussi bien en volume qu'en concentration en éléments

minéraux, la solution étant absorbée par les plantes. Cette méthode présente un inconvénient : les plantes qui sont situées en bout de circuit reçoivent une alimentation appauvrie en oxygène, et parfois en éléments nutritifs. (Texier, 2014).

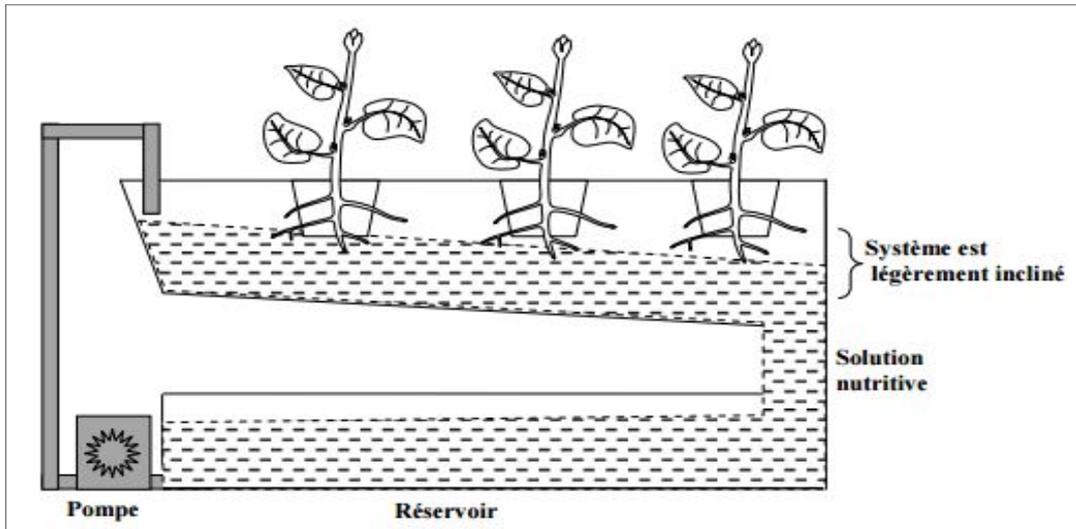


Figure 03: Schéma simplifiée d'un système hydroponique de type NFT. (Boufares, 2012)

4.2. Système a percolation (goutte à goutte)

C'est un système sur substrat qui nécessite des goutteurs ou capillaires, ainsi qu'un tuyau de distribution et une pompe. La solution nutritive est distribuée aux plantes par irrigation discontinue sur la surface supérieure et ruisselle par gravité vers le bas. On utilise au moins un goutteur par plante. Les pots et les enveloppes sont percés dans le fond pour permettre à l'eau de s'écouler (Moshé., 2007).

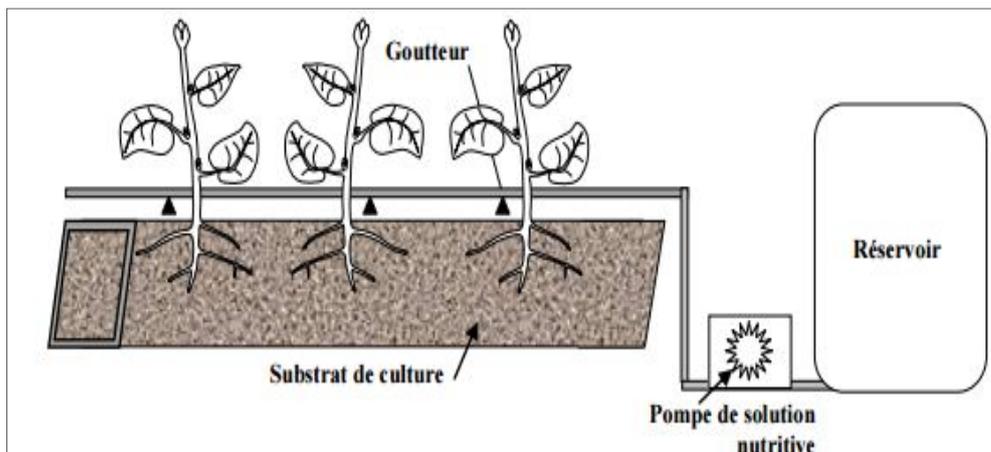


Figure 04 : Schéma d'un système a percolation (goutte à goutte). (Moshé, 2007)

En général, ce système ne recycle pas la solution qui n'est pas réutilisée. Il est l'un des plus répandus actuellement. Cette technique n'est pas très écologique étant donné la possible contamination des sols par les restes des solutions nutritives, et n'est pas très économique vu la grande quantité d'eau utilisée pour faire la culture (Boufares, 2012).

4.3. Système aéroponique

L'aéroponie représente l'une des plus récentes évolutions des techniques de cultures hors sol. En effet, les racines des plantes ne sont en contact ni avec un milieu solide, ni même avec un milieu liquide. Elles sont alimentées par une brume nutritive obtenue par brumisation (via un brumisateur) de la solution nutritive dans un milieu fermé (Ducharme, 2013).

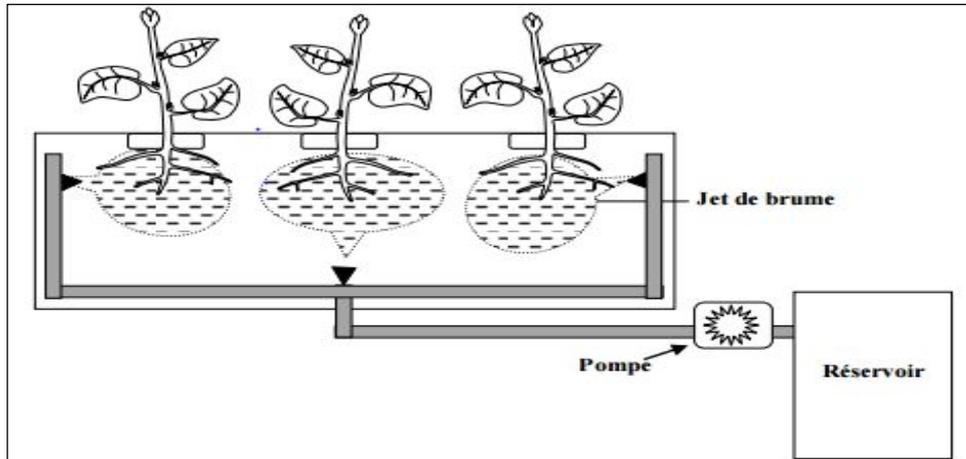


Figure 05: Schéma simplifiée d'un système Aéroponique (Boufares, 2012).

En aéroponie, les fonctions de support et d'approvisionnement en eau et en éléments nutritifs, habituellement remplies par le terrain, sont assurées par des « supports de plantes », généralement en matière plastique, et par des vaporisations permanentes (brouillard) de solutions nutritives à base de sels minéraux tournant en circuit fermé au moyen d'une pompe. On a donc à la fois 95% de disponibilité en eau et 98% de disponibilité en air. Le milieu de culture est saturé d'un brouillard nutritif qui ruisselle en continu sur les racines. Les minéraux sont donc très facilement absorbés. La pulvérisation, qui peut être continue, est en général discontinue, par cycles de 15 à 20 minutes, avec des arrêts de quelques minutes pendant la journée, et de quelques heures durant la nuit (Ducharme, 2013).

4.4. Système « flux-reflux » ou table à marées

Elle consiste à faire pousser des plantes dans des pots placés sur une table de culture. Différents substrats sont possibles pour cette méthode : la tourbe, les billes d'argile ou la laine de roche. Les plantes sont alimentées en solution nutritive par la partie basse par cycle assez courts. La solution hydroponique y reste un certain temps en fonction du substrat utilisé, ensuite la pompe s'arrête et la gravité renvoie l'eau dans le réservoir. La solution nutritive est injectée à l'aide d'une pompe placée dans un réservoir. Le drainage doit être efficace afin d'éviter que l'eau stagne et pourrisse les racines. Les racines sont donc arrosées, puis asséchées, ce qui fournit une oxygénation maximale (Texier, 2014).

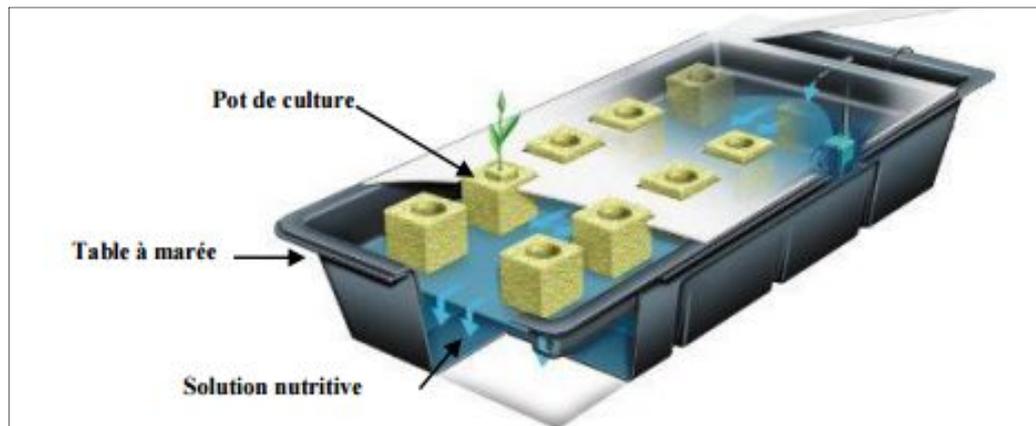


Figure 06: Présentation d'un système table à marées (Goertz, 2011)

5. Les avantages de culture hors sol

Selon Urban (1997), il y a plusieurs causes de succès de la technique du hors sol, cité quelques-unes entre elles qui sont :

- La meilleure performance agronomique de culture hors sol, gain de précocité et augmentation de rendement ;
- La bonne maîtrise de l'alimentation hydrominérale des plantes, avec une meilleure oxygénation des racines ;
- Eviter les stress hydriques, les carences et toxicité minérales et l'asphyxie racinaire ;
- La suppression des travaux de préparation et d'entretien du sol, le labour, le hersage, les binages, les désherbages ;
- Economie d'eau et d'engrais, c'est pour cette raison que les cultures hors sol sont recommandées dans les régions où l'eau est un facteur limitant de production ;
- L'efficacité de l'eau et des engrais est meilleure dans les systèmes de production de culture hors sol.

6. Les inconvénients de culture hors sol

Bien que les avantages de culture hydroponique sont nombreux, mais il y a quelques inconvénients qu'il ne faut pas négliger, ces derniers sont résumés d'après Morard (1995), comme suit :

- Elle nécessite l'utilisation d'une haute technologie et d'un haut niveau de technicité car toute erreur a une répercussion sur la culture.
- la maîtrise des déchets est incomplète, cela induit des rejets polluants de solution nutritive et de certains substrats non recyclables.
- Le coût d'installation et d'entretien demande des investissements assez élevés.

Chapitre III : Généralité sur l'acide salicylique

1. Définition

L'acide salicylique est un composé phénolique produit par la plante commune, qui est régulateur de croissance de ce groupe. Il fonctionne comme un hormones végétales et il est largement utilisé en synthèse organique (Fahad. and *al.*, 2015). Il a été trouvé dans les feuilles et organes reproducteurs de 34 espèces d'importance agronomique (Pancheva. et *al.*, 1996), Il est naturellement synthétisé par certains végétaux comme la Reine-des-prés ou le Saule, on le retrouve notamment dans les fruits, sous forme estérifié de salicylate de méthyle (Mimouni. et *al.*, 2013).

L'acide salicylique joue un rôle important dans l'induction de la défense des plantes contre le stress biotiques et abiotiques grâce à des mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques (War and *al.*, 2011).

2. Historique

Il est connue depuis le V^e siècle avant J-C., quand Hippocrate prescrit la feuille et l'écorce du saule (Voir figure 07) riche en salicylate pour soulager la douleur durant l'accouchement (Rainsford 1984; Weissman 1991). Dans la médecine traditionnelle a été utilisé pour soigner les inflammations, les douleurs et la fièvre (Jack, 1997).

En 1828, le scientifique allemand Johann A. Buchner purifié une petite quantité de la substance jaunâtre appelée salicine (un glucoside d'alcool salicylique), de l'écorce de saule. Plus tard, Raffaele Piria converties salicine en un sucre et un acide, il nomma acide salicylique. Des sources plus naturelles d'acide salicylique et d'autres salicylates ont été identifiées, mais la demande d'acide salicylique comme un analgésique a rapidement dépassé la capacité de production. En 1859, Hermann Kolbe et ses collaborateurs ont synthétisé chimiquement l'acide salicylique (An et Mou, 2011).

Ces mêmes auteurs ajoutent que par la suite, le processus de synthèse a été amélioré, ce qui a conduit à la production à grande échelle de prix à moindre coût pour une plus grande utilisation de médicament.

En 1897, Felix Hoffmann a redécouvert le synthétiques dérivés acétyl salicylique (ASA), un produit chimique à l'origine créé par Charles Frederic Gerhardt en 1853, qui subit une hydrolyse spontanée à l'acide salicylique, mais produit moins irritation gastro-intestinale et a des propriétés thérapeutiques semblables. En 1899, la compagnie pharmaceutique Bayer a enregistré le nom commercial « Aspirine » pour ASA. Aujourd'hui, l'aspirine est devenue un des médicaments plus réussis et largement utilisés dans le monde entier (An et Mou, 2011).

En dépit du fait que le mode d'action médicinale des salicylés est un sujet de débats continus, ils sont utilisés pour traiter des maladies humaines, comme les rhume et les crises cardiaques (Raski, 1992).

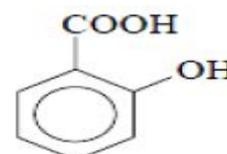


Figure 07 : la source de la salicine, le remède populaire contre la douleur et l'inflammation. A gauche : *Salix babylonica*. A droite: *Salix alba* (Delaney et al., 1994).

3. Les propriétés chimiques et physiques

Selon Heller, (1998) et Yalpani et al., (1991) l'acide salicylique ou acide 2-hydroxybenzoïque est présenté chimiquement par les deux formules :

- Formule brute : $C_7H_6O_3$
- Formule semi-développée : $HO-C_6H_4-COOH$



De plus, Hamsas (2013), indique qu'il possède les propriétés physiques suivantes:

- La masse molaire : 138.12g/mol.
- Température d'ébullition est 211°C.
- Température de fusion est 158 à 161°C.

Tableau 07 : la solubilité de l'acide salicylique dans différents solvants (Hamsas, 2013)

Eau	Ethanol	Acétone	Chloroforme	Ether éthylique
1.8g/l a 20°C, 66.6g/l a 100°C	370.4g/l	333.3g/l	23.8g/l	333.3g/l

4. Biosynthèse

Deux voies de biosynthèse d'AS sont possibles chez les plantes. La première est la voie des phénylpropanoïdes ou de l'acide benzoïque (Lepoivre, 2003). Lors de plusieurs études, des précurseurs de l'acides salicylique marqués avec un isotope radioactif, l'acide benzoïque et de

l'acide cinnamique, ont été mis en contact avec des plantes de tabacs saines et infectées (Clerivet *et al.*, 1996). Les résultats de ces recherches démontrent que la synthèse de l'acide salicylique, débute avec la phénylalanine. Cette dernière est transformée en acide cinnamique par la phénylalanine ammonia lyase (PAL). L'acide cinnamique est ensuite transformé en acide benzoïque, qui est finalement, hydroxylé par l'acide benzoïque-2-hydroxylase en acide salicylique (Dempsey *et al.*, 2011).

Une voie alternative de synthèse existe chez les bactéries et dans les chloroplastes de plante. Cette voie implique les enzymes isochorismate synthase et isochorismate pyruvate lyase qui catalysent les deux étapes de synthèse à partir de l'acide chorismique (Vasyukova., et Ozeretskoyanskaya, 2007).

Plusieurs études ont été effectuées afin de montrer la voie de biosynthèse de l'acide salicylique chez la plante. L'acide salicylique peut s'accumuler dans la cellule à la suite d'une nouvelle synthèse via l'acide cinnamique (Chadha *et al.*, 1974) d'une hydrolyse de la forme glycosylée entreposée dans les parois cellulaires (Enyedi *et al.*, 1992 ; Hennig *et al.*, 1993) ou d'une dégradation des flavones (Clerivet *et al.*, 1996).

Selon Bernard dans Klarzynski et Fritig (2001) les concentrations d'acide salicylique sont de l'ordre de quelques dizaines à centaines de nano-grammes par gramme de tissu frais dans les tissus sains, et de quelques microgrammes à dizaines de microgrammes par gramme de tissu frais dans les tissus atteints. Il faut cependant préciser qu'il s'agit là des concentrations totales d'acide salicylique, dont l'essentiel se trouve sous forme libre ou sous forme conjugués de glycosylates méthyle, glucose-ester ou conjugué avec les aminoacides (Lee *et al.*, 1995)

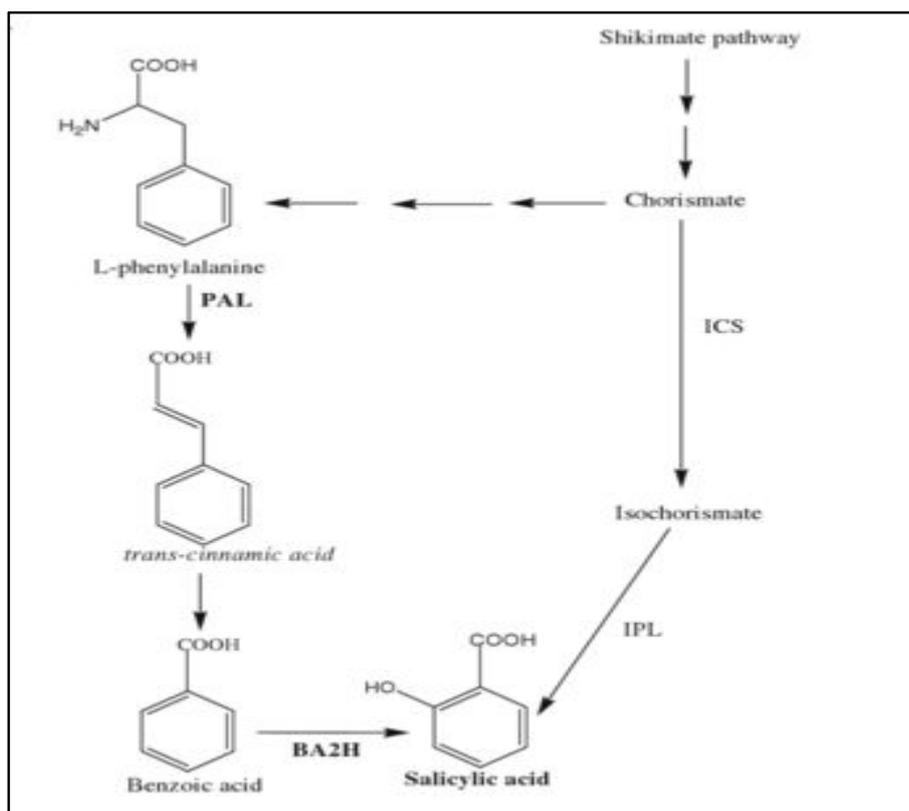


Figure 08 : Schéma de la voie biosynthétique de l'AS (Alyameni, 2013)

5. Rôle de l'acide salicylique

C'est un régulateur important de plusieurs processus physiologiques, y compris la réponse immunitaire des plantes (Vlot et *al.*, 2009), qui entre dans les réactions de stress et de développement et permet l'identification des mécanismes de plante consacrés à maintenir un juste équilibre entre la croissance et de la défense de la plante (Mariana et Javier, 2011), qui contribue dans plusieurs rôles :

5.1. Rôle dans la gestion de stress abiotique

Un intérêt considérable a été suscité par le pouvoir de l'acide salicylique à produire des effets protecteurs sous l'action des facteurs de différentes natures de stress abiotique. Ainsi des données obtenues indiquent que l'induction de l'acide salicylique augmente la résistance des semis de blé à la salinité (Shakirova et Bezrukova, 1997) et le déficit hydrique (Bezrukova et *al.*, 2001). Aussi, il augmente la résistance de la tomate et la fève à la baisse et l'augmentation des températures (Senaratna et *al.*, 2000), ainsi que l'action des métaux lourds sur le riz (Mishra et Choudhuri, 1999). Selon Tari et *al.*, (2002), Szepesi et *al.*, (2005), Une tolérance accrue contre le stress salin a été observée chez les plants de tomates ressuscités les graines trempées dans de l'acide salicylique et était censée être due à la stimulation accrue de certaines enzymes comme

l'aldose réductase et l'ascorbate peroxydase et à l'accumulation de certains osmolytes comme proline

L'application appropriée de l'acide salicylique peut fournir une protection contre plusieurs contraintes environnementales mais il peut causer un stress oxydatifs, partiellement lors de l'accumulation du peroxyde d'hydrogène. Mais une concentration basse de peroxyde d'hydrogène ainsi améliore la capacité anti-oxydative des plantes et stimule la synthèse des composés protecteurs qui mène à accroître la tolérance aux stress abiotique (Hara et *al.*, 2012).

5.2. Rôle dans l'osmo-régulation

L'application exogène d'acide salicylique est censée d'améliorer l'adaptation au stress osmotique et de sel par la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) chez les plantules de l'*Arabidopsis* (Borsani et *al.*, 2001).

Ils ont prouvé leurs résultats par la présence de composés réactifs de l'oxygène pendant la phase de la germination. Meilleure adaptation / acclimatation des plants traités par acide salicylique au stress salin dépend de l'activation des enzymes antioxydants et accumulation d'osmolytes ioniques et non ioniques (Szepesi et *al.*, 2005).

Kouame, et *al.*, (2007) ont signalé une observation similaire qu'accrues trempage des traitements des semences avec l'acide salicylique positivement réglementé le potentiel osmotique, le rapport K^+ / Na^+ et le contenu des pigments photosynthétiques chez les plantules de blé dans des conditions salines et non salines.

Plantules de blé accumulent de grande quantité de proline sous contrainte de NaCl, qui a été encore aggravée lorsque l'acide salicylique a été appliquée de façon exogène, atténuant ainsi les effets délétères de la salinité (Shakirova et *al.*, 2003). Récemment, nous avons également rapporté que le stress salin améliore remarquablement l'accumulation de proline en présence d'acide salicylique, qui implique la participation d'accumulation de proline pendant l'ajustement osmotique dans les plants de maïs (Gerard et Singh, 2009).

5.3. Rôle dans le système antioxydant

Il est affecté sur l'activité des enzymes antioxydants et augmente le niveau de H_2O_2 et il a la capacité de lier et d'inhiber l'activité de la catalase. Si il s'applique pendant une longue période, l'activité de la catalase est réduite comme chez *Arabidopsis* et entraînant la mort cellulaire (Pandey et Chakraborty, 2015).

Récemment, Sakhabutdinova et *al.*, (2004) a fait observer que l'acide salicylique exogène appliqué pourrait être impliqué dans la régulation de ROS dans les racines des plantules de blé jeunes. Ces résultats indiquent que l'activité de ces enzymes antioxydants est réglementée,

directement ou indirectement, par l'acide salicylique, offrant ainsi une protection contre le stress de la salinité.

En plus, il joue un rôle crucial dans la modulation de l'équilibre d'oxydo-réduction cellulaire protégeant les plantes contre les dommages oxydatifs (Yang *et al.*, 2004).

6. Mode d'action

L'acide salicylique pourrait agir en régulant la teneur en eau oxygénée cellulaire et pariétale. Cette hypothèse qui en vogue en milieu des 1990, découlait du fait l'acide salicylique est capable de se lier à la catalase, en inhibant alors l'activité de cette enzyme qui dégrade normalement l'eau oxygénée dans la cellule d'où une activation des mécanismes de défense (induction des gènes, activation des peroxydases permettant la rigidification de la paroi cellulaire par réticulation des protéines de la paroi ou par néoformation de la lignine), à l'inverse d'autre expliquent qu'il semblerait que l'augmentation initial de l'eau oxygénée soit le facteur primaire qui stimule la biosynthèse de l'acide salicylique. Néanmoins, et quel que soit le mécanisme, l'acide salicylique joue donc un rôle de premier plan dans la résistance de plante (Hamsas, 2013).

Chapitre III : Généralité sur la culture de tomate

1. Historique et l'origine de la tomate

La tomate (*lycopersicon esculentum*) de la famille des **Solanacées** est une plante herbacée annuelle originaire des Andes et d'Amérique, très cultivée pour son fruit consommé à l'état frais ou transformé (Chaux et Foury, 1994).

C'est au XVI^{ème} siècle au Mexique actuel que la tomate à gros fruit a été découverte et domestiquée, les indigènes l'appelaient «Tomati» ce nom provient d'un nom Aztèque « Zitomate » où l'ont trouvé les Conquistadors Espagnols lors de la conquête de Tenochtitlan (Mexico) par Hernan Cortés en 1519

Elle fut introduits en Europe au XVI^{ème} siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac, où elle fut accueillie par les gens avec un engouement très gaulois, car ils pensaient qu'elle avait un pouvoir aphrodisiaque et l'appelèrent « pomme d'Amour » (Chaux et Foury, 1994).

Au début les Européens l'exploitèrent pour un usage purement ornemental et évitèrent sa consommation, à cause des liens de parenté botanique très étroits avec certaines espèces végétales connues comme plantes vénéneuses (Kolev, 1976).

Selon Menard (2009), elle a été longtemps considérée comme une plante toxique, au même titre que sa cousine « la mortelle Belladone » ce n'est que vers les années 1920-1930 qu'elle commença à être largement commercialisé.

En Algérie, ce sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduit étant donné les conditions qui lui sont propices, sa consommation a commencée dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois (Latigui, 1984).

2. Classification de la tomate

2.1. Classification botanique (systématique)

C'est un botaniste Suédois Linnaeus qui lui donné le nom *Solanum Lycopersicon* en 1753, mais 15 ans plus tard, Phillip Miller a donné le nom *Lycopersicon esculentum* qui signifie en Grec « pêche du loup comestible » (Benton, 1999, Pitrat et Foury, 2003).

Cronquist (1981), Gaussen et *al.*, (1982) rappellent que la tomate appartient à la classification suivante :

Régné : *Plantae*

Sous règne : *Trachenobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous- classe : *Asteridae*

Ordre : *Solanales*

Famille : *Solanaceae*

Genre : *Solanum ou Lycopersicum*

Espèce : *Lycopersicum esculentum* Mill

2.2. Classification génétique

La tomate cultivée *Lycopersicon esculentum* Mill est une espèce diploïde avec $2n=24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogénétique, dont certains sont très importants pour la sélection, sa carte chromosomique compte actuellement 235 gènes localisés avec précision (Gallais et Bannerot, 1992)

La structure de la fleur de *L. esculentum* assure une cleistogamie (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame, on peut avoir jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature (Publishers, 2004)

Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont :

• Variétés fixées

Il existe plus de cinq cents variétés fixées (conservent les qualités parentales), leur fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007)

• Variétés hybrides

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

2.3. Classification variétale selon le mode de croissance

Plusieurs catégories de tomates qui sont classées selon leurs caractères botaniques, morphologiques et selon le mode de croissance de la plante (la formation de feuilles, inflorescences et bourgeons) qui déterminent l'aspect et le port que revêt de plant, ainsi la plupart des variétés ont un port dit indéterminé , à l'opposé des autres dites à port déterminé et des variétés buissonnantes (Naika et *al.*, 2005)

2.3.1. Variété à croissance indéterminée

Ce sont les variétés qui continuent de pousser et de produire des bouquets floraux, tant que les conditions sont favorables, comme leur développement est exubérant, leur tige doit être attachée à un tuteur, sous peine de s'affaisser au sol, il est également nécessaire de les tailler et de les ébourgeonner régulièrement, elles ont une production plus échelonnée et plus étalée, elles sont plus productives en général que les tomates a port déterminé (Polese, 2007).

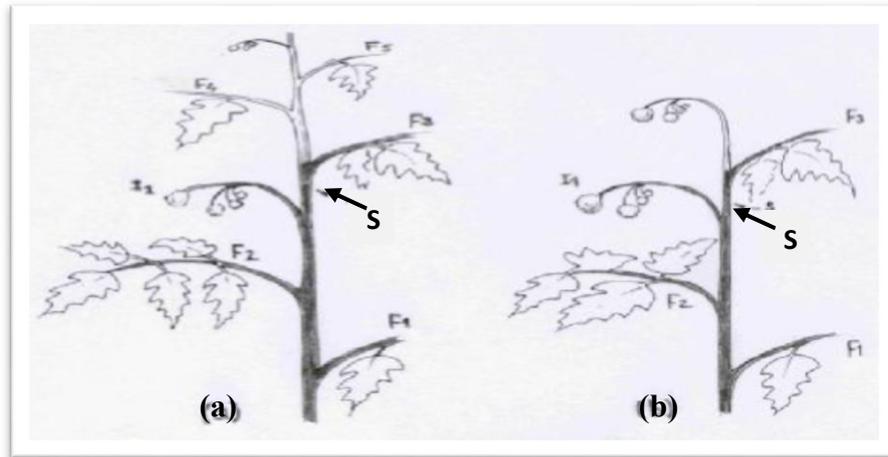


Figure 09 : Deux types de croissances : (a) indéterminée, (b) déterminée (Atherton et Harris, 1986)

Légende : **F1 a F5** : feuilles ; **I1** : inflorescence ; **S** : sympode.

2.3.2. Variété à croissance déterminée

Dans ce groupe et selon la variété, la tige émet 2 à 6 bouquets floraux, puis la croissance s'arrête naturellement, elle est caractérisée par l'absence de la dominance apicale, ce type de variété est destiné à l'industrie agro-alimentaire sous le nom de variété industrielle

2.3.3. Variété buissonnante

Ces variétés se distinguent par des tiges épaisses, solides et avec des inflorescences serrées, les tomates buissonnantes ressemblent aux tomates à croissance déterminée, ces variétés ne sont pas cultivées en Algérie (Laumonier, 1979).

3. Caractéristique morphologique de la tomate

En Amérique du sud, la plante est considérée comme pluriannuelle (Naika et *al.*, 2005), mais le plus souvent, elle est conduite comme annuelle, cultivée pour son fruit comestible (Papadopoulos, 1991).

3.1. Appareil végétatif

3.1.1. Système racinaire

Il est puissant, très ramifié à tendance fasciculée, il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres, en sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à 1 mètre de profondeur (Chaux et Foury, 1994).



Figure 10: Aspect général du système racinaire de la tomate (Source personnelle, 2016)

• **Tige**

Elle est de forme anguleuse, épaisse aux entre nœud pubescent (couvert de poil) de consistance herbacée en début de croissance, se lignifie en vieillissant. (Chaux et Foury, 1994).

La tige porte 2 types de poils, simple ou glanduleux, ces derniers contenant une huile essentielle qui donne son odeur caractéristique de la plante (Kolev, 1976).



Figure 11: Aspect général de la tige de la tomate (Source personnelle, 2016)

- **Feuille**

Elles sont composées de 5 à 7 folioles principales, longues de 10 à 25cm et d'un certain nombre de petites folioles intercalaires ovales, un peu dentés sur les bords roulés en dessus, ces feuilles sont alternées sur la tige (Raemaekers, 2011)



Figure12 : Aspect général des feuilles de la tomate (Source personnelle, 2016).

4. Appareil reproducteur

4.1. Fleur

Ce sont les organes sexuels de la tomate, elles sont regroupées sur le même pédoncule en bouquet lâche en inflorescence formant des grappes plus ou moins bifurquées de 3 à 8 fleurs chez les variétés fixées et au-delà chez les hybrides (Polese, 2007)

Le calice comporte 5 sépales verts, il est persistant après la fécondation et subsiste au sommet du fruit, la corolle comporte 5 pétales d'un jaune vif soudées a la base, réfléchis en arrière en formant une étoile à 5 pointes.

L'androcée comporte 5 étamines à déhiscence latérale, les anthères allongées forment un cône resserré autour du pistil, celui-ci est constitué de deux carpelles soudées formant un ovaire super biloculaire a 2 loges et à placenta central, chez certaines variétés l'ovaire est pluriloculaire (Dore et Varoquaux ,2006).

Rey et Costes (1965), rappellent que la formule florale de la fleur est la suivante :
Sépales + 5 pétales + 5étamines + 2 carpelles.

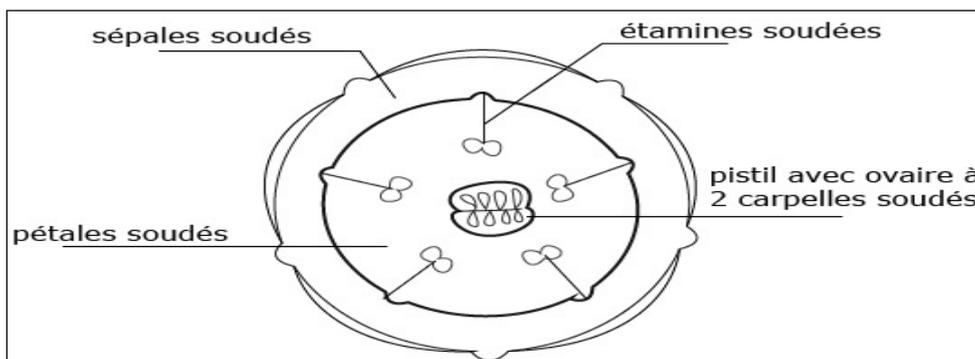


Figure 13 : Diagramme florale de la tomate (Dore et Varoquaux ,2006).

4.2. Fruit

C'est une baie charnue, l'épiderme est lisse brillant et peut présenter sur des fruits mûrs des colorations très diverses, selon la variété. Elle présente en principe 2 loges.

En section méridienne le fruit peut revêtir des formes très variées, ellipsoïdales, plus ou moins aplaties, globuleuses, ovales, plus ou moins allongées, voir cylindriques ou piriformes, la taille est extrêmement variable, allant de 1,5cm de diamètre pour la tomate cerise à plus de 10 cm, on a l'exemple de la tomate cerise qui est *Lycopersicum cerasiforme*, c'est la seule forme sauvage du genre rencontrée aussi en dehors de l'Amérique du sud (Rick, 1986).

La couleur de fruit varie du rouge foncé, rose, bleuâtre, orange, jaune et même blanche (Chaux et Foury, 1994)



Figure 14: Appareil reproducteur de la tomate : fleur de tomate et fruit de tomate (Chaux et Foury, 1994)

4.3. Graine

Selon Chaux et Foury (1994), chaque fruit contient un nombre important de graines qui varie de 80 à 500 graines par fruit, elles sont recouvertes d'un mucilage qui présente à maturité un albumen et embryon à courbe, à germination épigée.

La graine est petite (250 à 350 graines par gramme) et velue après le stade cotylédonaire, la plante produit 7 à 14 feuilles composées avant de fleurir (Dore et Varoqaux, 2006)



Figure 15: Section transversale et longitudinale d'une tomate (Dore et Varoqaux, 2006)

5. Caractéristiques physiologiques de la tomate

De nombreux travaux ont été faits sur la tomate, ce qui nous permet de connaître assez bien son cycle biologique, ses exigences ainsi que ses conditions de milieu, lui permettant un développement optimum et une bonne productivité (Heller, 1978)

5.3. Cycle biologique de la tomate

D'après Gallais et Bannerot (1992), le cycle végétatif complet de la graine à la graine de la tomate varie selon les variétés, l'époque les conditions de culture, mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit), le cycle comprend six phases qui sont les suivantes :

5.3.1. Germination

C'est le stade de levée qui mène la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement (Corbineau et Core, 2006). Elle est épicée, à ce moment une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% sont nécessaires (Chaux et Foury, 1994). Le zéro de germination est de 12°C, l'optimum de la croissance des racines est de 18°C à 25 °C.

5.3.2. Croissance

Laumonier (1979), dit que la croissance est l'augmentation de dimension d'un végétal, elle se déroule en 2 phases et en 2 milieux différents.

En pépinière : de la levée jusqu'au stade 6 feuilles, on remarque l'apparition des racines non fonctionnelles, et des premières feuilles.

En plein champ : après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines fonctionnelles, les plantes continuent leur croissance, la tige s'épaissit et augmente son nombre de feuilles.

5.3.3. Floraison

C'est le développement de des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif, à l'état reproducteur. A un certain moment de la croissance de la plante qui dure environ 1 mois, la tomate entre en parallèle avec la mise à fleur, ces fleurs étaient auparavant des boutons floraux, la floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante, car celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est proposée, en plus d'un apport équilibré sous serre.

5.3.4. Pollinisation

Elle nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui est capable de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen. (Chaux et Foury, 1994). La libération et la fixation de pollen restent sous la dépendance des facteurs chimiques.

Si la température nocturne est inférieure à 13°C la plupart des graines de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates et de cela résulte la difficulté du dépôt du pollen (Pesson et Louveaux, 1984)

6. Nouaison des fleurs

C'est l'ensemble de gamétogenèse, pollinisation, croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules et le développement des fruits « fructification ». La température de nouaison est de 13°C à 15°C, les nuits chaudes à 22°C sont défavorables à la nouaison (Rey et Costes, 1965).

En phase grossissement du fruit, l'optimum de la température ambiante est de 25°C le jour et 15°C la nuit (Anonyme, 2003)

7. Maturation du fruit

Elle se caractérise par grossissement du fruit, changement de couleur du vert ou rouge. La lumière intense permet la synthèse active de matière organique qui est transporté rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour (Rey et Costes, 1965).

8. Exigences édapho-climatiques de la tomate

8.3. Exigences climatiques

La tomate s'adapte à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide (Naika et *al.*, 2005)

8.3.1. Température de l'air

La tomate est une plante des saisons chaudes, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet, les températures optimales pour la plupart des variétés sont de 18°C le jour et 15 à 25°C la nuit, pendant la nuit la fécondation s'arrête à des températures inférieures à 15°C, en dessous de 10°C et en dessous de 38°C, les tissus végétaux sont endommagés (Naika et *al.*, 2005)

L'équilibre et l'écart entre température diurne et nocturne semblent nécessaires pour obtenir une bonne croissance et une bonne nouaison de la tomate (Fury, 2002)

Selon Naika et *al.*, (2005), durant la croissance la température nocturne a une grande importance, puisque la majeure partie de la croissance quotidienne de la tige (70 à 80 %) se produit pratiquement à l'obscurité.

La photosynthèse de la tomate est sensible à la température nocturne, une différence de quelques degrés par rapport à la température appliquée pendant la croissance (14°C), entraîne une réduction d'environ 10% des échanges de la période diurne suivante (Longuenesse, 1982).

8.3.2. Lumière

La tomate n'est pas sensible au photopériodisme, cependant son développement exige de fortes quantités de lumière. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la tomate, le développement reproducteur est fortement influencé par la quantité totale d'énergie que reçoit la plante quotidiennement (Kinet, 1985).

8.3.3. Humidité de l'air

La tomate est très sensible à l'hygrométrie, il semble qu'une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure, l'humidité de l'air joue un rôle important dans la fécondation. Si l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré, par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est lié à des fortes humidités accompagné de la chaleur (Laumonier, 1979).

Selon Benchaalal (1983), l'humidité atmosphérique doit être de 76% lors de la germination, 75-80% lors de développement des fruits.

8.4. Exigences édaphiques

8.4.1. La nature du sol

Selon Khorsi (1993), les recherches effectuées par le centre d'aptitude des sols aux cultures maraichères, ont montré que la production de tomate peut être augmentée de près de 50% en passant des sols sableux légers, à des sols limoneux plus lourds.

Laumonier (1979), atteste que la tomate pousse bien sur la plupart des sols, ayant en général une bonne capacité de rétention d'eau et une bonne aération, elle préfère des terres limoneuses profondes et bien drainées, légères, meubles, riches en humus, s'échauffant rapidement et plus facilement, la couche superficielle du terrain doit être perméable, une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine.

8.4.2. Température du sol

C'est le premier facteur dont dépendent le pourcentage de levée et la vitesse de germination, cette dernière augmente avec la température jusqu'à une valeur optimale de 25°C, et entre 15°C et 20°C on aura un meilleur pourcentage de levée (Rey et Costes, 1965)

Kolev (1976), rappelle qu'à des basses températures (au-dessous de 12°C), la végétation est très faible et les inflorescences sont anormales et portent peu de fleurs.

8.4.3. Potentiel hydrogène du sol (pH)

Sa tolérance vis-à-vis de l'acidité est très élevée, la tomate pousse mieux dans les sols où le pH varie entre 5,5 et 6,8 avec un approvisionnement en éléments nutritifs suffisant (Lacroix, 1998, Naika et al., 2005).

8.4.4. Humidité du sol

La tomate est exigeante en humidité du sol, l'humidité optimale du sol pour des terres argilo-siliceuses est de 75 à 80% de la capacité au champ, et l'abaissement de l'humidité et de la température du sol crée un déficit hydrique, et par conséquent réduit la photosynthèse et la transpiration (Heller, 1981).

8.4.5. La salinité du sol

La tomate est moyennement sensible à la salinité du sol, elle peut supporter des teneurs en sels, allant de 2 à 4g /l, la période pendant laquelle la tomate est plus sensible à la salinité, correspond à la germination et au début du développement de la plante (Bentvelsen, 1980).

Des recherches ont été menées afin de produire des tomates transgéniques régénérées ont montré la faculté de pouvoir croître sur des sols riches en sels, de plus, ces plantes accumulent le sel dans les feuilles et non dans les fruits, qui restent comestibles (Dore et Varoquaux, 2006).

8.4.6. Aération du sol

Un sol bien aérer détermine un pourcentage élevé de levée des plantules, mais exerce par contre un effet défavorable sur les racines durant la période de croissance végétatif. L'aération est indispensable à la maturité des fleurs (Chaux et Foury, 1994).

9. Valeur nutritionnelle des fruits de la tomate

La consommation de la tomate constitue un régime sain et équilibré, Saettel (2000) et Favier et al., (2003) donnent une composition de fruit qui permet d'apprécier le taux des éléments importants, le tableau suivant détermine la valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate :

Tableau 08 : La valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate

Eau		93,80g		
Valeur calorique		19 k cal		
Elément énergétiques	Protides	0,80g		
	Glucides	3,50g		
	Lipides	0,30g		
Vitamines	Vitamine A	0,00mg	Vitamine B6	0,00mg
	Vitamine B1	0,06mg	Vitamine C	18,00mg
	Vitamine B2	0,05mg	Vitamine PP	0,60mg
Minéraux	Fer	0,40mg	Sodium	5,00mg
	Calcium	9,00mg	Soufre	11,00mg
	Magnésium	11,00mg	Zinc	0,24mg
	Phosphore	24,00mg	Chlore	40,00mg

	Potassium	226,00mg		
Fibres		1,20mg		
Cellulose		0,60mg		

(Favier et al., 2003)

10. Production de la tomate

10.1. Dans le monde

La production mondiale annuelle de tomates connaît une progression régulière, et elle est de 152 Mt, dont un tiers en Asie, un tiers en Europe, un tiers en Amérique du Nord. 30 millions sont destinés à la transformation. La plante est cultivée sous serre et en plein champ, sur une superficie d'environ 5.3 millions d'hectares, ce qui présente près d'un tiers (1/3) des surfaces mondiales cultivées consacrées aux légumes (Fao stat, 2012).

Production mondiale de tomate

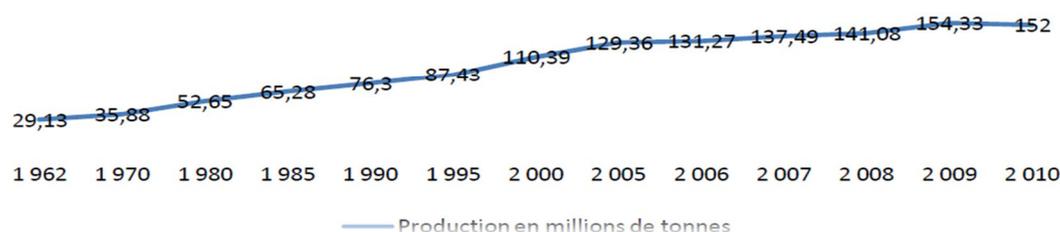


Figure 16 : Production mondiale de la tomate 1962-2010 (Source Fao stat, 2012)

L'essentiel de la production mondiale est concentré dans quelques pays dont la très grande productivité provient des perfectionnements techniques employés ainsi que des quantités importantes de plants en culture. Les dix principaux pays producteurs pour 2010 sont repris par le tableau suivant :

Tableau 09: Principaux pays producteurs de la tomate en 2010 (en tonnes)

Pays	Production (tn)	Pays	Production (tn)
1/ Chine	41 879 684	15/Portugal	1 406 100
2/ Etas Unis	12 902 000	16/Maroc	1 277 750
3/Inde	11 979 900	17/Tunisie	1 100 000
4/Turquie	10 052 000	18/Chili	900 000
5/Égypte	8 544 990	19/ Pays bas	815 000
6/Italie	6 544 990	20/ Roumanie	768 532
7/Iran	5 256 110	21/Jordanie	737 261
8/Espagne	4 312 700	22/Argentine	697 900
9/Brésil	3 691 300	23/Japon	690 700
10/Mexique	2 997 640	24/Pologne	677 700
11/Ouzbékistan	2 347 000	25/France	587 586
12/Russie	2 000 000	26/Algérie	578 700
13/Ukraine	1 824 700	27/Canada	492 650
14/Grèce	1 406 200	28/Arabie S	489 800

Source : (Faostat, 2012)

10.3. En Algérie

La tomate est l'une des productions maraichères les plus cultivées en Algérie, en 1999, sur une superficie de 55210 ha, la production était de 945,8 milles tonnes, entre 2006 et 2007, la production atteint 796,1 milles tonnes, en 2008 on note une réduction qui a ramené les superficies à 19655 ha (Fao stat, 2010).

L'apparition du ravageur invasif de la mineuse de tomate (*Tuta absoluta*) a provoqué des pertes de rendement au niveau des serres mais également sur la culture en plein champ (INPV, 2008).

Les statistiques de l'année 2009 établies par le ministère de l'agriculture Algérienne font état d'une superficie globale de tomate cultivée de 20789 ha dont 18620 ha sont consacrés à la tomate en plein champs (figure), la production totale de la tomate maraichères de 641 milles tonnes, avec 446,03 milles tonnes pour la culture en plein champ, plus élevée par rapport à la culture sous serre (195,95 milles tonnes) (MADR, 2010).

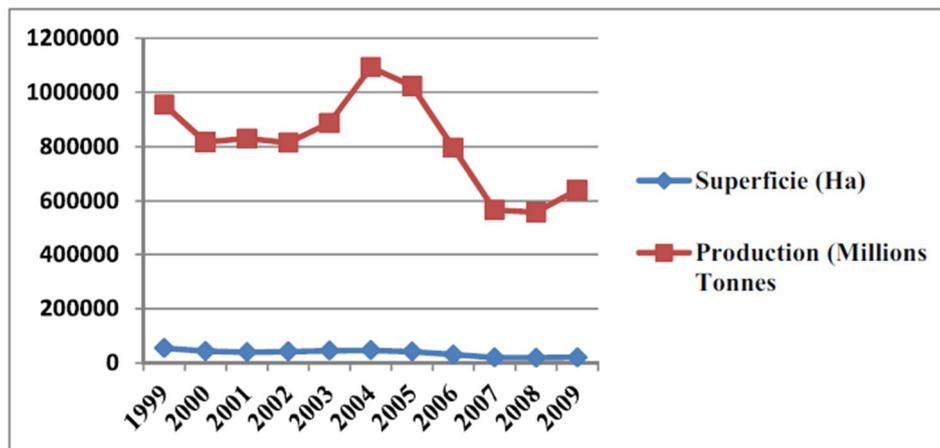


Figure 17 : Evolution des superficies et de la production de la tomate de 1999- 2009 en Algérie (FAO stat, 2010)

11. Pathologie et ravageurs de la tomate

11.1. Pathologies non parasitaires

Elles sont nombreuses et peuvent concerner les racines et le collet, la tige, le feuillage, aussi bien que les fruits (Messiaen *et al.*, 1993). Elles sont généralement provoquées par des carences au niveau des éléments nutritifs et par des conditions climatiques défavorables (Naika, 2005)

11.1.1. Les ravageurs de la tomate

- **Nématodes**

Les nématodes des racines noueuses présentent un problème important. Ils provoquent des galles (des tumeurs cancéreuses) sur les racines des plantes (Naika, 2005).

- **Les insectes**

Tous les insectes qui piquent et qui sucent, ne provoquent des dommages mécaniques que lorsqu'ils surviennent en grands nombres, mais les virus qu'ils peuvent transmettre, provoquent des dommages bien plus importants (Naika, 2005).

- **11.2. Pathologies parasitaires**

- **11.2.1. Pathologies fongiques**

- **Mildiou**

Causé par *Phytophthora infestans*, anciennement classé parmi les mycètes. Cette maladie peut dévaster les cultures de tomates durant les périodes fraîches et pluvieuses. Le mildiou peut s'attaquer à tous les organes aériens de la plante. (Blancard, 1991).

- **Alternariose**

Le mycète responsable est *Alternaria tomatophila*. Il s'attaque à tous les organes aériens de la tomate et à tous les stades de croissances de la plante (Blancard, 2009).

- **Moisissure grise**

Causé par *Botrytis cinerea*, c'est une maladie répandue dans les cultures de tomate sous abris. Les symptômes observables sur fleurs, fruits, tiges, feuilles, se traduisent généralement par un pourrissement des tissus infectés, (Williamson *et al.*, 2007).

- **Septoriose**

Cette maladie causée par *Septoria lycopersici*, se manifeste sous forme de petites taches à contours angulaires, se trouvent à leur surface. Les feuilles atteintes s'enroulent d'abord, puis se dessèchent et tombent (Bovey, 1972).

- **Oïdium**

Causé par *Oidium neolycopersici* qui provoque des taches sur feuilles assez caractéristiques des oïdiums. (Blancard, 2009).

- **Fusariose**

Provoqué par *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*. Ce mycète ne s'attaque qu'à certains cultivars. Les plantes infectées par ce mycète du sol présentent un jaunissement des feuilles (figure) et un flétrissement se propageant à partir de la base de la tige. (Messiaen *et al.*, 1993).

- **Verticilliose**

Causée par *Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahliae*. Tout comme la fusariose, cette maladie se manifeste en premier lieu au niveau des feuilles inférieures et progresse vers la partie supérieure de la plante (Ruocco *et al.*, 2011).

- **Cladosporiose**

Causée par *Pasalora fulva* très spécifique de la tomate est mondialement répandu. Ce mycètes, parasite essentiellement foliaire, provoque des taches vert clair à jaune pâle (Blancard, 2009).

- **Racine liégeuses**

Le responsable de cette maladie est *Pyrenochaeta lycopersici* s'attaque essentiellement au système racinaire de la tomate. (Blancard, 2009).

- **Anthracnose**

Causée par le mycète pathogène *Colletotrichum coccodes*. Les symptômes se manifestent sur les fruits mûrs ou arrivant à maturation sous forme de petites tâches rondes creusées dans la peau. (Ruocco *et al.*, 2011).

11.3. Pathologies virales

- **CMV (*Cucumber Mosaic Virus*):** C'est un virus transmis par pucerons, est présent dans le monde entier (Blancard, 2009).
- **ToCV (*Tomato Chlorosis Virus*):** transmis par plusieurs espèces d'aleurodes selon le mode de semi- persistant (Blancard, 2009).
- **ToMV (*Tomato mosaic virus*):** cause de graves maladies dans la culture de la tomate. (Shankara, 2005).
- **TSWV (*Tomato Spotted Wilt Virus*) :** ou virus de la maladie bronzée de la tomate. Il est à observer des mouchetures en mosaïque avec une décoloration des feuilles. Sur les tiges et pétioles (Messiaen *et al.*, 1993).
- **TYLCV (*Tomato Yellow Leaf Curl Virus*) :** ou maladie des feuilles jaunes en cuillères de la tomate. Les symptômes caractéristiques apparaissent quinze jours à trois semaines après inoculation du virus (Shankara, 2005).
- **PVY (*Potato virus Yellow*) :** il est probablement présent dans toutes les zones de culture de pomme de terre du monde entier. (Blancard, 2009).
- **RepMV (*Pepino mosaic virus*):** Très fréquemment, le virus peut être présent sans induire de symptômes visibles. Le symptôme le plus caractéristique est l'apparition de taches angulaires de couleur jaune vif sur les feuilles (Blancard, 2009).

11.4. Pathologies bactériennes

La tomate a, souvent, fait l'objet d'attaque de plusieurs bactéries qui développent des symptômes multiples, parmi les plus graves.

11.4.1. Tache bactérienne

Elle causée par *Xanthomonas campestris* pv *vesicatoria*. C'est l'une des maladies les plus graves dans de nombreux domaines (Sherf et MacNab, 1986; Scott *et al.*, 1989; Ward et O'Garro, 1992; Uys *et al.*, 1996).

11.4.2. Chancre bactérien

Le chancre bactérien de la tomate causé par le *Clavibacter michiganensis* subsp *michiganensis* (Davis *et al.*, 1984), est une maladie importante et répandue, causant des pertes économiques graves dans les cultures de tomates dans le monde, qu'elles soient en serre ou en plein champ (Gleason *et al.*, 1993; Gartemann *et al.*, 2003).

11.4.3. Moucheture bactérienne

Cette maladie est causée par *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Dye *et al.*, 1980). Elle est aujourd'hui largement répandue dans les zones de production de la tomate et très destructive dans le monde entier (Bazzi *et al.*, 1979; Yunis *et al.*, 1980; Smitley et Carter, 1982; Tamietti et Cugudda, 1987).

Listes des Annexes

Analyse de variance : un facteur

Annexe 01 : Hauteur finale des tiges pour l'essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	473,52	8	59,19	31,56	0.00	3,22
Var. résiduelle	16,875	9	1,875			
Var. Total	490,40	17				

Annexe 02 : Hauteur finale des tiges pour l'essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	193,75	8,00	24,22	56,25	0,00	3,23
Var. résiduelle	3,88	9,00	0,43			
Var. Total	197,63	17,00				

Annexe 03 : Diamètres des tiges finales des plantes pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	0,21	8,00	0,03	34,84	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,01	9,00	0,00			
Var. Total	0,22	17,00				

Annexe 04 : Diamètres des tiges finales des plantes pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	0,23	8,00	0,03	160,25	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,00	9,00	0,00			
Var. Total	0,23	17,00				

Annexe 05 : Nombres finale des feuilles pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	22,44	8,00	2,81	11,88	0,00	3,23
Var. résiduelle	2,13	9,00	0,24			
Var. Total	24,57	17,00				

Annexe 06: Nombres finale des feuilles pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	49,11	8,00	6,14	27,63	0,00	3,23
Var. résiduelle	2,00	9,00	0,22			
Var. Total	51,11	17,00				

Annexe 07 : Longueur des racines finales pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	49,53	8,00	6,19	2,89	0,07	3,23
Var. résiduelle	19,25	9,00	2,14			
Var. Total	68,78	17,00				

Annexe 08 : Longueur des racines finales pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	105,94	8,00	13,24	6,76	0,00	3,23
Var. résiduelle	17,63	9,00	1,96			
Var. Total	123,57	17,00				

Annexe 09: Surface foliaire pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	1762174,04	8,00	220271,75	368,40	0,00	3,23
Var. résiduelle	5381,23	9,00	597,91			
Var. Total	1767555,27	17,00				

Annexe 10: Surface foliaire pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	1708093,28	8,00	213511,66	98,05	0,00	3,23
Var. résiduelle	19598,55	9,00	2177,62			
Var. Total	1727691,83	17,00				

Annexe 11 : Biomasse fraiche des feuilles pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	173,25	8,00	21,66	379,04	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,51	9,00	0,06			
Var. Total	173,76	17,00				

Annexe 12: Biomasse fraiche des feuilles pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	241,23	8,00	30,15	564,31	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,48	9,00	0,05			
Var. Total	241,71	17,00				

Annexe 13 : Biomasse fraiche des tiges pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	75,62	8,00	9,45	22,22	0,00	3,23
Var. résiduelle	3,83	9,00	0,43			
Var. Total	79,45	17,00				

Annexe 14 : Biomasse fraiche des tiges pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	45,55	8,00	5,69	313,24	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,16	9,00	0,02			
Var. Total	45,72	17,00				

Annexe 15 : Biomasse fraiche des racines pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	65,53	8,00	8,19	23,30	0,00	3,23
Var. résiduelle	3,16	9,00	0,35			
Var. Total	68,70	17,00				

Annexe 16: Biomasse fraîche des racines pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	59,75	8,00	7,47	181,75	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,37	9,00	0,04			
Var. Total	60,12	17,00				

Annexe 17 : Biomasse sèche des feuilles pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	5,94	8,00	0,74	85,42	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,08	9,00	0,01			
Var. Total	6,02	17,00				

Annexe 18: Biomasse sèche des feuilles pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	18,12	8,00	2,26	341,14	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,06	9,00	0,01			
Var. Total	18,18	17,00				

Annexe 19: Biomasse sèche des tiges pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	0,42	8,00	0,05	8,44	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,06	9,00	0,01			
Var. Total	0,47	17,00				

Annexe 20 : Biomasse sèche des tiges pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	0,375	8,000	0,047	7,987	0,003	3,230
Var. résiduelle	0,053	9,000	0,006			
Var. Total	0,428	17,000				

Annexe 21: Biomasse sèche des racines pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	3,04	8,00	0,38	33,86	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,10	9,00	0,01			
Var. Total	3,14	17,00				

Annexe 22: Biomasse sèche des racines pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	8,16	8,00	1,02	650,67	0,00	3,23
Var. résiduelle	0,01	9,00	0,00			
Var. Total	8,17	17,00				

Annexe 23: Teneur des feuilles en chlorophylle (a) pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	274,01	8,00	34,25	6,42	0,00	3,07
Var. résiduelle	53,34	10,00	5,33			
Var. Total	327,35	18,00				

Annexe 24: Teneur des feuilles en chlorophylle (a) pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	219,41	8,00	27,43	3,21	0,04	3,07
Var. résiduelle	85,38	10,00	8,54			
Var. Total	304,79	18,00				

Annexe 25: Teneur des feuilles en chlorophylle (b) pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	182,02	8,00	22,75	1,41	0,30	3,07
Var. résiduelle	161,52	10,00	16,15			
Var. Total	343,53	18,00				

Annexe 26: Teneur des feuilles en chlorophylle (b) pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	26,84	8,00	3,36	0,61	0,75	3,07
Var. résiduelle	54,70	10,00	5,47			
Var. Total	81,55	18,00				

Annexe 27: Teneur des feuilles en chlorophylle (c) pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	18,38	8,00	2,30	2,80	0,06	3,07
Var. résiduelle	8,20	10,00	0,82			
Var. Total	26,58	18,00				

Annexe 28: Teneur des feuilles en chlorophylle (c) pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	15,09	8,00	1,89	0,59	0,77	3,07
Var. résiduelle	31,83	10,00	3,18			
Var. Total	46,92	18,00				

Annexe 29: Teneur des feuilles en proline pour essai I

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	0,39	8,00	0,05	1,62	0,23	3,07
Var. résiduelle	0,30	10,00	0,03			
Var. Total	0,68	18,00				

Annexe 30: Teneur des feuilles en proline pour essai II

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Var. factorielle	0,37	8,00	0,05	1,93	0,16	3,07
Var. résiduelle	0,24	10,00	0,02			
Var. Total	0,61	18,00				

Liste des références

- Abbad M., 2011 : Impact des sels nocifs sur le comportement ecophysiologique de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variété Saint_pierre cultivée dans un milieu salin naturel. Mémoire de Magister, université de Blida. 136p. accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proc.*
- Aftab T., Khan M., Teixeira D., Silva G., Idrees M., et Naem M., 2011: Role of salicylic acid in promoting salt stress tolerance and enhanced Artemisinin production in *Artemisia annua* L., 425-435 p-p.
- Afzal, I., M. Shahzad, B.N. Ahmad and M.F. Ahmad., 2005: Optimization of hormonal priming techniques for alleviation of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) .Caderno de Pesquisa Ser. Bio., Santa Cruz do Sul. 17: 95-109.
- Agastian P., Kingsley S.J., Vivekanandan M., 2000: Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287–290.
- Aggarwal M, Sharma S, Kaur N, Pathania D, Bhandhari K, et al., 2011. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimising oxidative stress and improves growth in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Biol Trace Elem Res* 140: 354-367.
- Allakhverdiev et S.L., Nishiyama Y., Suzuki I., Tasaka Y., Sakamoto A., Murata N., 2000: Genetic engineering of the unsaturation of fatty acids in membrane lipids altersthe tolerance of synechocystis to salt stress ,5862 5867 p-p.
- Alyameni Mohamed Nasser, 2013: Salicylic acid, Plant growth and development. Ed: Springer, New York, 389p.
- Amane M. I. V., Vieira C., Novais R. F., Araujo G. A. A., 1999: Nitrogen and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress.
- Arbaoui M., Benkhalifa M., Belkhouja M., 2000 : Réponses physiologiques de quelques variété de blé dur a la salinité au stade juvénile. CIHEAM- option méditerranéenne, p.p : 167-169.
- Ashraf M., Foolad M. R., 2007: Role of glycine betaine and protein in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59. 206- 216 p-p.
- Aspinall D. et Pateg L., 1981 : Proline accumulation. Physiological aspects. *The Physiology and Bio· chemistry of Drought Resistance in Plants*. Acad. Press Sydney, 204·205.

- Atherton D., and Harris G., 1986: Flowering in the tomato crop, a scientific basis for improvement, Ed Atherton J and Rudich J., London, New York, 176-200 p-p.
- Aubert G., 1982 : les sols sodiques en Afrique du nord .Cahier O.R.S.T.O.M .Service Pédologie ,194 p
- Aziz, A., Martin-Tanguy, J., Larher, F., 1999: Salt stress induced proline accumulation and changes in tyramine and polyamine levels are linked to ionic adjustment in tomato leaf discs. *Plant Sci.* 145, 83–91.
- Bouchoukh I, 2010 : Comportement écophysio logique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 164p.
- Bacha H, Mansour E, GUASMI F, Trik T, ET Ferhichi A., 2015. *Proline, glycine bêtaïne et composition minérale des plantes de Solanum lycopersicum L. (var. Microtom) sous stress salin, Journal of new science, Volume 22(3). ISSN 2286-5314.*
- Baize D., 2000 : Guide des analyses en pédologie. 2ème édition. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 206- 207 p-p.
- Baize D., 2004 : Petit lexique de pédologie. INRA, Paris. pp 150-188.
- Bajji M., Kinet J., et Lutts S., 2002: Osmotic and ionic effects of *NaCl* on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (*Chenopodiaceae*). *Can. J. Bot.* 3 (80): 297-304 p-p.
- Bastam N, Baninasab B. et Ghobadi C., 2013: Improving salt tolerance by exogenous application of salicylic acid in seedlings of pistachio. *Plant Growth Regulation* April. Volum 69, Issue 3, pp 275-284.
- Bazzi C., Fantini Pucci M., et Martini M., 1979 : Gravittachi di « macciettatura batteria » del pomodoro in Emilia. *Inf. Tore. Agrario.* 7: 4657-4658.
- Belfakih M., Ibri M., Zouahri A., Hilali S., 2013 : Effet de la salinité sur la croissance des deux variétés de bananier « grande naine » et « petite naine » et leur nutrition minérale au Maroc. *Journal of Applied Biosciences* 63: 4689 – 4702 p-p.
- Belkhodja M. et M.Benkablia.,2000: Proline response of faba bean (*Vicia faba L.*) under salt stress. *Egypt. J.of Agric.Res.*,78, (1),p.185–195.
- Belkhodja M., et Bidai Y., 2004 : Réponse des graines d'*Atriplex halimus L.* à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 4(15) :331-334 p-p.
- Bell d.T., 1999: Australian trees for the rehabilitation of waterlogged and salinity-damaged landscapes. *Aust. J. Bot.* (47): 697-716 p-p.

- Ben Ahmed H, Arafet M, Zid E. 2008: Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court : la sétiaire (*Setaria verticillata* L.). *C.R. Biologies*, 331:164-170.
- Ben Nacer M., Cheikh-M'hamed H., Maalem S., Rahmoune C., 2005 : indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1er Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 Novembre 2005.
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M.L et Selmi M., 2001 - Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sciences et changements planétaires/ sécheresse*, 3(12):74-167 p-p
- Benatah, Berrichi B., Reda Tazi M., Abdelmoumen H et Misbah EL idrissi M., 2006 - Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses : *Acacia tortilis* var. *raddiana*, *Leucaena leucocephala* et *Prosopis juliflora*. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole Settat (*Recueil des résumés*).
- Benchalaal K., 1983 – Généralité sur la tomate, production céréalière et fourragère, Aurès agronome 2-6 p-p.
- Bendarradji R. L, Bouzerzour. H, Ykhlef N, Djekoun. A., 2010 - Etude de mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de de tendre (*Triticum aestivum* L) soumis à un stress salin. *Science& Technologie C-N° 32* décembre (2010) p 23-30
- Benhamou N. et Rey P., 2012- Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. I. Pricipes de la résistance induite. *Phytoprotection*. Vol 92, numéro 1, p. 1-23.
- Benmahioul B., Daguin F., et Kaid-Harche M., 2009 - Effet du stress salin sur la germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.). *C. R. Biologies*, 332 :164- 170.
- Benmahioul *et al* 2009 - ont rapporté que la présence de *NaCl* dans le milieu de culture provoque chez les vitroplants de *Pistacia vera* L. une réduction des poids frais et sec des parties aériennes
- Benmahioul, B., Daguin, F. et Kaid-Harche, M. 2008 - Effet du stress salin sur la germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.). Université « Abou Bekr Bel KAÏD », Tlemcen, Algérie .*Comptes rendus Biologie. Agronomie*. Vol. 331, issue 2, pp. 164-170.
- Benton J., 1999 – Tomato plant culture, in the field, greenhouse and home garden ISBN-8493 By CRC press LLC, 183 p.
- Bentvelsen C., 1980 – Réponse des rendements à l'eau, Ed Dunod, 235p.

- Bezrukova M. V., Sakhabutdinova R., Fatkhutdinova R. A., Kyldiarova I., Shakirova F., 2001- The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedling under water deficit. *Agrochemiya (Russ)*, 2, 51-54.
- Blanc D., 1987- Les cultures hors sol, 2eme, Ed. INRA, Paris. 409p.
- Blanc, D., 1985. Les cultures hors sol. Ouvrage collectif dirigé par Denise Blanc, les a.t.p. de l'INRA, Paris, France, 409p.
- Blancard D., Laterrot H., Marchoux G. et Candresse T. 2009 - Les maladies de la tomate. ed. INRA.
- Bohnert H., Jensen R., 1996, metabolic engineering for increased salt tolerance 661-667pp
- Bois G., 2005 - Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et soclique. Thèse de doctorat. Université de Marseille. France.187p.
- Borel C., Frey A., Marion-Poll A., Tardieu F., Simonneau T., 2001: Does engineering ABA synthesis in *N. plumbaginifolia* modify stomatal response to drough *Plant, Cell and Environment*, 24, 477-489.
- Borsani O, Valpuesta V, Botella MA., 2001- Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* Seedlings. *Plant Physiol* 126: 1024–1030.
- Boufares K., 2012 - Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. Mémoire magister, université Telemcen. 78p.
- Boulghalagh J., Berrichi A., Elhalouani H., et Boukroute A., 2006 - Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsia chinensis* [link] schneider).Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, 24p.
- Bouraoui N, Grignon C, Zid E. 1998 - Effet de NaCl sur la croissance et la respiration racinaire du triticales (X-Triticosecale Wittmack). *Cahiers Agricul.*, 5: 372-376
- Bousba R, Djekoun A, Ykhlef N., 2009- Water use efficiency and flag leaf photosynthesis in response to water deficit of durum wheat *Triticum durum* Desf, *J. World journal of agricultural Science* 5 (5): 609-616.
- Bouzid S., 2010 : Étude 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, Thèse magistère Biologie Végétale. Université Mentouri Constantine. 178p.

- Brack A. et Mathis P., 2000 : La chimie du vivant : de la protéine a la photosynthèse, Editions La Pommier-Fayard, ISBN 2 746 50077 9. Une introduction simple à la compréhension des phénomènes photochimiques.
- Brugnoli E., et Björkman O., 1992 - Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components and dissipation of excess light energy. *Planta*, 187 : 335-347.
- Bruguiera arviflora, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36. Singh S.C., Sinha R.P., Hader D.P., 2002 - Role of lipids and fatty acids in stress tolerance in cyanobacteria. *Acta Protozool.* 41, 297–308.
- Calu G., 2006- Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. *Trends in Plant Science* : 1-8.
- Cassidy J., 1948 - Fresh water from the ocean D, *Science news letter* (È.-UA...), vol. 53, no 21, 326 p.
- Cengiz Kaya, Muhammed Ashraf, Osman Sonmez, Salih Aydemir, Atilla Levent Tuna, Mehmet Ali Cullu, 2009. The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia Horticulturae* 121, 1–6.
- Chandrashekar K.R. and Sandhyarani, S. 1996: Salinity induced chemical changes in *Crotalaria striata* DC. plants. *Indian J. Plant Physiol.* 1: 44-48.
- Chartzoulakis K., Klapaki G., 2000 - Response of two green house pepper hybrids. *Scientia Horticulturae* 86 (2000) 247-260.
- Chaux C., et Foury C., 1994- cultures légumières et maraichères Tomme III, légumineuses potagères légumes fruit, Tec et Doc Lavoisier, paris, 563p.
- Cheikh M'hamed H., Abdellaoui R., Kadri K., Ben Naceur M., Bel Hadj S., 2008 : Evaluation de la Tolerance au Stress Salin de Quelques Accessions D'orge (*Hordium Vulgare* L.) Cultivees En Tunisie: Approche Physiologique Sciences et Technologie ., 28. Pp.30 -37.
- Cherbuy B., 1991 - les sols sales et leur réhabilitation étude bibliographique, cemagraf, école , Nat. Renne , 170 P.
- Cherbuy B., 1991 : les sols salés et leur réhabilitation, étude bibliographique C.E.M.A.G.RE.F 124p
- Chilton, K., Concannon, A. et Devonald, V., 1978. A comparison of the early growth and

- Chuanfu An and Zhonglin Mou., 2011 - Salicylic Acid and its Function in Plant Immunity, *Journal of Integrative Plant Biology, Department of Microbiology and Cell Science, University of Florida, Gainesville, USA, p-p : 412–428.*
- Ciçek N., et Cakırlar H., 2002 - The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulg. J. Plant Physiol.* 28 (1–2): 66–74 p-p.
- Clériveret, A., I. Alami, F. Breton, D. Garcia et C. Sanier (1996). "Phenolic compounds and plant resistance to pathogenic microorganisms." *Acta Bot. Gd.* 143(6): 53 1-538.
- Coic, Y., et Lesaint, C., 1975 :“La nutrition minérale en eau des plantes en horticulture avancée”, Document technique S.C.P.A, n°23, Versailles, 21p.
- Cooper A., 1997. The ABC of NFT Nutrient Film Technique, Grower Books, London, UK.
- Corbineau F., et Core A., 2006 – Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules, Ed, Tec et Doc, Lavoisier, 226p.
- Cramer G., 2002 - Sodium-calcium interactions under salinity stress. In: “Salinity. Environment-Plants-Molecules”. Eds. A. Läuchli and U. Lüttge. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 205-227 p-p.
- Cronquist A., 1881 - an integrated system of classification of following plants Colombia University, 1256p.
- Cruz R., Jordan W., and Drew M., 1992, structural changes and associated reduction of hydraulique conductance in root of *Sorghum bicolor* L. following exposure to water deficit plant physiol, 203-212 p-p
- D.S.A, 2010, Direction des Services Agricoles de la wilaya de Tlemcen, service des statistiques 2010.
- Daoud Y., 1993 - contribution à l’étude des sols des plaines du Cheliff, le phénomène de la salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux, thèse Doct d’Eta INA Alger, 233p
- Davies W.J., Zhang J., 1991- Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, 42,55-76.
- Davis MJ, Gillaspie AG Jr., Vidaver AK. et Harris RW., 1984 - *Clavibacter*: A new genus containing some phytopathogenic coryneform bacteria, including *Clavibacter xyli* subsp. *Xyli* sp. nov., subsp. nov. and *Clavibacter xyli* subsp. *Cynodontis* subsp. nov., pathogens that cause ratoon stunting disease of sugarcane and bermudagrass stunting disease. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 34: 107–117.

- De Boodt, M., Verdonck, O. et De Vleeschchauer, D., 1981. Argex, a valuable growing medium for plants, *Acta Horticulturae*, 126, p.65-68.
- Debez A., Chaibi W., et Bouzid S., 2001 - Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Agriculture*. 2 (10) : 8-135 p-p.
- Delaney TP, Uknes S, Vernooij B, Friedrich L, Weymann K, Negrotto D, Gaffney T, Gut-Rella M, Kessmann H, Ward E, Ryals J., 1994 - A central role of salicylic acid in plant disease resistance. *Science*, p.p : 1247-1250.
- Dempsey DA., Vlot AC., Wildermuth MC., Klessig DF., 2011- Salicylic acid biosynthesis and metabolism. *Arabidopsis Book*9, e0156. Doi : 10.1199/tab.0156.
- Denden M., Bettaib T., Salhi A. et Mathlouthi M. 2005- effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production floral de trois espèces ornementales, *Tropiculture*.
- Desnigh R, Kanagaraj G (2007). "Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidant systems in two cotton varieties". *Gen. Appl. Plant Physiol*. 33 (3-4):221-234.
- Dore C., et Varoqaux F., 2006 – Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, Ed INRA, paris, 698p.
- Downton, W. J. S. and Millhouse, J., 1985- Chlorophyll fluorescence and water relations of salt stressed plant. *Plant Sci. Lett* 37: 205-212.
- Driouich A., Ouhsine M., Ouassou A. et Bengueddour R. 2001- Effet du NaCl sur l'activité du phosphoenol pyruvate carboxylase (PEPC) foliaire et son rôle sur la synthèse du malate et de la proline chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) ; *Science Letters*, Vol. ., N 3 : 1-7.
- Dron, R. et Brivot, F., 1977. Bases minéralogiques de la sélection des pouzzolanes. *Bull.*
- Ducharme J., 2013- Solution hydroponique, Hydrogam, Montreal. p.p. :756-827 *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
- Duchaufour P., 1977 - pédologie, pédogénèse et classification Tome 1, Ed, Masson, Paris 477p
- Dye D., Bradbury J., Goto M., Hayward A., Lelliott R., et Schorth M., 1980 - International standards for naming pathovars of phytopathogenic bacteria and a list of pathovar names and pathotype strains. *Rev. Plant disease*. 66 :993-994
- El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45:215–224.
- Fahad Shah , Lixiao Nie , Yutiao Chen , Chao Wu , Dongliang Xiong , Shah Saud , Liu Hongyan , Kehui Cui , and Jianliang Huang., 2015 - Crop Plant Hormones and

Environmental Stress. *Department of Horticultural , Northeast Agricultural University , China. p.p : 371-400.*

- Favier J., Ireland-Ripert J., Toque C., and Feinberg M., 2003 – Répertoire general des aliments, Ed Ciqual, p.p:40-48.
- Fevrau J., 1987 : Culture en containers. *Revue horticole*.33. pp17-19.
- Flores P., Botella M.A., Martinez V., Cedra A. (2000): Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. *J. Plant Physiol.* 156, 552–557.
- Gallais A., et Bannerot H., 1992 – Amélioration des espèces végétales cultivés objectif et critères de sélection INRA, paris, 765p.
- Garg, J.Kim, T.Owens, A. Ranwala, Y.Choi, V. Kochian and R.J.Wu.2002 - Trehalose
- Garre J.P et Peulon V., 1989 - traitement, entretien et gestion des arbres en villes. *Rev. For. Fr* : 233-245 p-p
- Gartemann K., Kirchner O., Engemann J., Grafen I., Eichenlaub R. et Burger A. 2003 - *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*: first steps in the understanding of virulence of a Gram-positive phytopathogenic bacterium. *Journal of Biotechnology.* 106: 179–191.
- Gausson H., Lefoy J., et Ozenda P., 1982 – précis de botanique, deuxième Ed Masson, paris, 172p.
- Gautheret R, 1981: Effet du chlorure de sodium sur la croissance et l'alimentation minérale de citrus aurentium L. (bigaradier) et de l'hybride Poncirus trifoliata citrusinensis C.R.Acad .Se .Paris ,T .292 .
- Geofray, J.M. et Valladeau, R., 1977. Morphologie et couleur de pouzzolanes. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 92 pp. 91-94.
- Gleason M.L., Gitaitis R.D. et Rickert, M.D., 1993 - Recent progress in understanding and controlling bacterial canker of tomato in Eastern North America. *Plant Dis.*77:1069–1076.
- Gobat J.-M., Aragno M. & Matthey W., 1998 - Le sol vivant. PPUR, Lausanne.
- Goertz M., 2012- Que faut-il, Pour réaliser son projet de production hors sol ?, Hydroponic-conseils & formations, hycoforme. 6p
- Graves C.J., 1983 - The nutrient film technique. *Hortic.Rev.* 5 :1-44.
- Grennan A.K.,2006 - High Impact Abiotic Stress in Rice. An “Omic” *Approach; Plant Physiology*, April 2006, Vol. 140, p 1139–1141

- Gunes, A., A. Inal, F. Eraslan, E.G. Bacci and N. Cicek, 2006. Salicylic acid induced changes of some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays L.*) grown under salinity. *J. plant Physiol.* In press.
- Gunes, Y., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E.G. Bagci and Cicek, G.N., 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays L.*) grown under salinity. *J. Plant Physiol.* (In press)
- Gutierrez C., Trejo L., Larque s., 1998 - effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean, *plant physiology and biochemistry paris*, 563-565
- Hajer MIMOUNI, Salma WASTI, Anissa NSAIRI, Samira SMITI, Hela BEN AHMED., 2013 - Effet de l'application foliaire de l'acide salicylique sur le developpement et la nutrition minerale de la tomate cultivee sous contrainte saline. *Actes du 4eme Meeting International 'Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un developpement durable des zones arides, 17 et 19 decembre 2013, Universite Tunis El Manar, Faculte des Sciences de Tunis, Tunis, Revue des Regions Arides Numéro Spécial - n° 35 (3/2014).*
- Halitima., 1986 - projet du programme de recherche sur l'utilisation du rejet de l'industrie phosphatière en agriculture, polycopies, 35p
- Hamada AM. Et El-Hakimi Ama. 2001- Salicylic acid versus salinity- drought-induced stress on wheat seeding. *Rostlina, Vyroba.* 47: 444-450.
- Hamrouni L, Hanana M, Abdelly C et Ghorbel A., 2011 - Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (var. „Séjène). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(3) : 387-400
- Hamsas Soumya., 2013. Effet combiné de la salinité et de l'acide salicylique sur le comportement des graines et des plantes juvéniles du gombo (*Abelmoschus esculentus L.*). *Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de biologie, Université d'Oran.* 124p.
- Handj et al., 1995 in Sinoussi ,2001 - Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale, 33p.
- Haouala F., 2002. Effets de la salinité sur la croissance et la floraison de deux variétés d'oeillet. *PHM – Revue horticole* 439, 28–32.

- Haouala F., Ferjani H. et Ben el hadj S., 2007- Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{++}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agrom. Soc. Environ.* 11 (3), 235-244.
- Hayashi H., et Mutara M., 1998 - genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants in: stress response of photosynthetic organisms: molecular mechanisms and molecular regulation, 133 184p
- Hellebust J.A., 1976.- Osmoregulation. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 27, 519-570.
- Heller N, 1998- Physiologie vegetale. Tome1 nutrition. Paris. 323p
- Heller R., 1981, physiologie végétale, Tome1, nutrition 2eme Edition Masson.
- Heller, R., 1990 - Abiéégé de physiologie végétale. Tom 2. Développement 4eme edition
- Raskin I., 1992, salicylate, a new plant hormone, plant physiology, 799- 803 p-p
- Henchi B.,1987 - Effets des contraintes hydriques sur l'ecologie et l'ecophysiologie de
- Hernandez J., Jimenez A., Mullineaux P., sevilla F., 2000 - tolerance of pea (*pisum sativum* L) to long term salt stress in associated with induction of anti oxidant defenses, 853-862 p.p.
- Hernandez P., Martin A., Dorado G., 1999 - developement of SAPDCARs by directs sequencing of RAPD products, 245-253 p-p.
- Hewitt, E. J., 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition, CAB n°22, 2ème edition, Maidstone, Kent, 547 p.
- Heymans, P., 1980. The development of the Argex/leca clay pellets, ISOSC Proceeding, p.307-311.
- Heyser J.W., M.J. Chacon et Warren S., 1989.- Characterization of L-[5-13'] proline biosynthetic in halophytic and non halophytic suspension cultures by 13'. *J. Plant. Physiol.*, 135,450-466.
- Heyser JW, D. DeBruin, M.Kincaid, R.Y Johnson, M.M Rodriguez & N.J Robinson.,1989.→ Inhibition of NaCl-induced proline biosynthesis by exogenous proline halophytic *Distichli spicata* suspension cultures. *J.Ep.Bot.*,40: 225-232.
- Hopkins G., 2003 - Physiologie végétale. Livre De Boeck Universite rue des Minimes 39,B-1000 Bruxelles, 452- 464 p-p.
- Hopkins W.G., 2003 - Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles, 476p.
- Hoque MA Okuma E, Banu MNA, Nakamura Y, Shimoishi Y, Murata Y., 2007:Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than the betaine by increasing antioxidant enzyme activities . *J Plant Physiol* 164:553- 561.

- Hullin M., 1983 - cours de drainage, partie consacrée aux sols salés, photocopié, vol, 3, INA , Algérie, 139p
- I.N.P.V, 2005 – Nouveau déprédateur de la tomate, état des lieux et programme d'action note de l'Institut National de la Production des Végétaux, Ministère de l'agriculture, Algérie, juillet. *J. Plant Physiol.* 161. p25–33
- Jack DB., 1997. One hundred years of aspirin. *Lancet*, p.p :437-439.
- Kao R., Jaiswal K., Kolch W., and Landreth G., 2001, identify cation of the mechanisms regulating the differential activation of the mapk cascade by epidermal growth factor and nerve growth factor in PC12 cells .*J.Biol .chem* 18169- 18177 p-p.
- Kara M., Chaoui L., 2011 - Evaluation et diagnostic par l'approche structurale de la population de daurades *Sparus aurata* (L. 1758) dans la lagune du Mellah. *Rev. Ecol.(Terre Vie)*, 66: 135-144 p-p.
- Kaydan D, Yagmur M, Okut N., 2007 - Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tarim Bilimleri Dergisi* 13:114–119.
- Kehdi N., 2005 - LA GESTION DE L'EAU, UNE AVENTURE DIFFICILE?, General Hydroponics Europe. 9p.
- Kenfaoui A., 1997 - la salinité des eaux d'irrigation, synthèse bibliographique réalisé par les élèves ingénieurs de l'école nationale du génie rural des eaux et des forêts de Montpellier, 43p.
- Khadi Mounya., 2006. Effet de la salinité chez la proline et les glucides sur la fève (*Vicia faba* L.). Université d'Oran Senia. Faculté des sciences, département de biologie, laboratoire de physiologie végétale. 42 p.
- Khan M.A., Shirazi M.U., Ali Khan M., Mujtaba S.M., Islam E., Mumtaz S., Shereen A., Yasin Ashraf M., 2009 - Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 41(2): 633- 638
- Khan W., P. Balakrishnan and D.L. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160 (5): 485-492.
- Khattab EA, Afifi MH., 2009. Effect of proline and glycinebetain on canola plants grown under salinity stress condition. *Mod J Appl Biol Sci Crop Sci* 3: 42-51.
- Khodary SEA. 2004- Effect of salicylic acid on growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plant. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6, 5–8.

- Khorsi B., 1993 - Influence de quelques facteurs pédologiques et des équilibres ioniques sur la production et la tomate, thèse de Doctorat d'Etat, université de Tizi-Ouzou, 158p
- Khoshbakht D et Asgharei M.R., 2015- Influence of foliar-applied salicylic acid on growth, gas-exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence in citrus under saline conditions, *PHOTOSYNTHETICA* 53 (3): 410-418.
- Kinet B, 1985 : contrôle du développement de l'inflorescence de la tomate par les facteurs de l'environnement et les régulateurs de croissance, *Rev, Hort*, n°200,30-36 p-p.
- Kingsbury, R.W., Epstein, E. and pearcy, R.W., 1984- Physiological responses to salinity in selected lines of wheat *physiol*, 106: 281-133
- Klarzynski O., Fretig B., 2001- Stimulation des défenses naturelles des plantes. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie/ Life Science* 324 : 953-963.
- Kolev N., 1976 - les cultures maraichères en Algérie, Tome I, légumes fruits, Ed, Ministrede l'agriculture et des reformes agricoles, 52p.
- Korkmaz A., Uzunlu M., Demirkiran AR. 2007- Treatment with acetyl salicylic acid protect muskmelon seeding against drought stress. *Francized Gorski institute of plant physiologie. Polish Academy of science. Krakaow. Tyrkey.*
- Lacroix M., 1998 – système racinaire de la tomate sous serre, champignons, phytopathogènes et environnement, agronomie phytopathogiste, laboratoire de diagnostique et phytoprotection, Direction de l'innovation scientifique des pêcheries et de l'alimentation 17p.
- Lapina, I.P.and popov, B.A.; 984- Effect of sodium chloride on the photosynthetic apparatus of tomatoes. *Fiziol. rast.* 17: 580-585.
- Latigui A., 1984 - effets des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée, thèse Magister, INA Harrach
- Laumonnier R., 1979 – cultures légumières et maraichère, Tome III, Ed Bailliere, paris, 279p.
- Le Quillec, S. et al. 2002 : Gestion des effluents des cultures maraichères sur substrat. CTIFL. France.
- Leclerc J.C., 1999 - Ecophysiologie végétale – publications univ. Saint Etienne 188-235pp.
- Lee G., Carro R.N., Duncan R.R., Eiteman M.A. et Rieger M.W. 2008: Synthesis of organic osmolytes and salt tolerance mechanisms in *Paspalum varginatum*. *Environmental Botany, Vol.63: 19-27.*

- Lee H., Leon J., Raskini I., 1995- Biosynthesis and metabolism of salicylic acid. Proc Natl Acad. Sci. USA 92 : 4076-4079.
- Lemzeri H., 2006 - Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises à un stress salin. Mémoire de magistère, Université de Mentouri Constantine, 180 p + annexe.
- Lépengué AN, Mouaragadja I, M'batchi B, Aké S., 2010 : Effet du Chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et la croissance du maïs (*Zea mays* L. Poaceae) au Gabon. Int. J. Biol. Chem. Sci. 4 (5): 1602-1609.
- Lepoivre p., 2003-*Phytopathologie bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte*. Ed : de boeck, Bruxelles 432p.
- Letard M., Erard P., Jeannequin B., 1995 : Maitrise de l'irrigation fertilisante : tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ed. ctifl, Paris. 220p
- Levigner A, Lopez F, Varisuyt G, Berthomien P et Casse-Delbar T., 1995 - Les plantes face au stress salin. *Cahier d'agriculture*. (4): 263-273 p-p.
- 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.
Liaison. Labo. P. et Ch., 92 pp. 105-112.
- Longstreth D., et Nobel P., 1979 - salinity effects on leaf anatomy ; consequences for photosynthesis, *plan physiol*, 700-703pp.
- Lozet J. & Mathieu C. - 1990 - Dictionnaire de science du sol. - Coll. Tech & Doc, Lavoisier, Paris.
- Luchi, S., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. 2001 - A stressinducible gene for 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase involved in abscisic acid biosynthesis under water stress in drought-tolerant cowpea. *Plant Physiol*. 123, 553–562.
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S., Janardhan Reddy K., 2006 - Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. 41-99 p-p.
- Madhulika Singh, Jitendra Kumar, Vijay Pratap Singh and Sheo Mohan Prasad., 2014. Proline and Salinity Tolerance in Plants, *Biochemistry & Pharmacology*, p.p: 3-6.
- Maggio A., Miyazaki S., Veronese P., Fujita T., Ibeas J I., Damsz B., Narasiman M L., Hasegawa P M., Joly R J. et Bressan R A., (2002); Does proline accumulation play an active role in stress induced growth reduction? *Plant J.*, 31: 699-712.
- Maillard J. 2001 - Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001. 35p

- Malasses L., 1996 - Economie de production et de consommation; Ed *ujas*; p 32-40 Benaceur M, Gharbi MS, Paul R. 1999 - L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse* 1999 ;10 : 27-33.
- Marc L., 2001 - le contrôle de la salinité dans les rizières, Mémento technique de riziculture, 6-12 p-p.
- Mariana Rivas-San Vicente and Javier Plasencia., 2011 - Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany, Vol. 62, No. 10, pp. 3321–3338.*
- Martinez JP., H.Silva, JF.Ledent and M.Pinto. 2007 - Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *European journal of agronomy. Jan.*, Vol. 26,1,p. 30-38.
- Mermoud A., 2006 - cours physique du sol, maîtrise de la salinité des sols 1-14 p-p
- Messiaen C., Blancard D., Rouxel F. et Lfon R. 1993 - les maladies des plantes maraichères. 3ème ed. INRA, Paris.
- Mishra A., Choudhuri M. A., 1999- Effect of salicylic acid on heavy metal induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biol.Plant*, 42, 409-415.
- Mitsuya S., Takeokay Y., and Miyake H., 2000 - effects of sodium chloride on foliar ultrastructure of sweet potato (*Ipomoea batatas Lam*)
- Mohammad M., Shibli R., Ajouni M., Nimri L., 1998 - Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr*, 50p.
- Moinuddin A., R.Fischer, K.Sayre, M.P.Reynolds. 2005 - Osmotic Adjustment+ Wheat in Relation to Grain Yield under Water Deficit Environments. *Agro.J.97:1062-1071.*
- Monnier, G., 1975. Caractérisation physique et mécanique des substrats artificiels de culture, C.R. DGRST, INRA Avignon, 10 p.
- Moore, E., - The desalting of saline waters : a review of the present status, *Journal of the New England Water Works Association (É.-U.A.)*, vol. 65, décembre 1951, , 319p.
- Morant-Manceau A, E. Pradier, G.Tremblin .2004 - Osmotic adjustment, gas exchanges
- Morard P., 1995- Les cultures végétales hors sol. Publications Agricoles, Agen, France. 303pp.
- Morsli B., 2007 - Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est. Acte des JSIRAUF, 50p
- Moshé S., 2007- L'IRRIGATION AU GOUTTE-A-GOUTTE, Conseiller en irrigation et ancien directeur du Service du sol et de l'irrigation, Ed : CINADCO. Québec. 81p.

- Mouellef adra., 2010- Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Université Mentouri, Faculté de biologie, Département de Biologie Végétale et Écologie, Constantine, 84p.
- Mulhling K.H. et Lauchli A., 2002: Effect of salt stress on growth and cation compartmentation in leaves of two plant species differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol.* 159: 137-146.
- Munn, J., M.January et Cutright T., 2008 - Greenhouse evaluation of EDTA effectiveness at enhancing Cd, Cr, and Ni uptake in *Helianthus annuus* and *Thlaspi caerulescens*. *J. Soils Sediments*, 116-122 p-p
- Munns R. 2002 - Comparative physiology of salt and water stress; *Plant, Cell and environment* 25, p239–250
- Munns R., A.J.Richard, A. Lauchli .2006 - Approaches to increasing the salt tolerance of
- Munns R., et Termaat A., 1896, whole plant response to salinity, *Australian journal of plant physiology* 143-160 p-p
- Munns R., Schachtman D.P., and Condon A.G. (1995) -The significance of Atwo-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 22, 561–56 p-p.
- Naika S., Dejeud J., Jeffau M., et Vandam B., 2005 - la culture de tomate, production, transformation et commercialisation, Ed Wageningen, Pays-Bas, 105p.
- Naika S., Jeude J., Goffau M., Hilmi M., et Dam B., 2005 – Agro Doc 17, la culture de la tomate, prodution transfrmation et commercialisation, Editor, Barbara Van Dam , la culture de la tomate, 105p.
- Najafian S, Khoshkhui M, Tavallali V, MJ Sharkhiz. (2009) : Effect of Salicylic Acid and Salinity in Thyme (*Thymus Vulgaris L.*): Investigation on Changes in Gas Exchange, Water Relations, and Membrane Stabilization and Biomass Accumulation. *Australian Journal of Basic Applied Sciences*, 3(3), 2620–2626.
- Nakashima K., Satoh R., Kiyosue T., Yamaguchi-schinozaki K., et Schinozaki k., 1998 - A gene encoding proline deshydrogenase is not only induced by proline and Hypoosmolarity, but is also developmentally regulated in the reproductive organs of *Arabidopsis* . *Plant Physiol.* 118(12): 33-41.
- Nanjo T., Kobayashi M., Yoshiba Y., Sanada Y., Wada K., et al., 1999- Biological functions of proline in morphogenesis and osmo tolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. *The plant Journal: For Cell and Molecular Biology* 18: 185-193 p-p.

- Nathalie Blanc, *«le sable étale sa science»*, sur *Sciences Ouest*, juillet 2011. *Natl. Acad. Sci. USA* 99: p15898-15903.
- Ndour P et Danthu P., 2000 - Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal*. 11 p.
- Nebauer SG, Sanchez M, Martinez L, Lluch Y, Renau-Morata B, Molina RV (2013) : Differences in photosynthetic performance and its correlation with growth among tomato cultivars in response to different salts. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 61–69.
- Nieves M., Riuz D., Cedra A., 1991: Influence of rootstock-scion combination in limon trees salt tolerance. In *Proc. Italy: Int. Soc, Acireale*, pp 387-390.
- Nimbalkar j., Joshi G., 1975 - effect of increasing salinity on germination, growth and mineral metabolism of sugarcane 55-63 p-p
- Nitrogen uptake of tomatoes in peat and park based composts, *Acta Horticulturae*, 82, p. 23-30.
- Nounjana N, Nghiab PT, Theerakulpisut P., 2012. Exogenous proline and trehalose promote recovery of rice seedlings from salt-stress and differentially modulate antioxidant enzymes and expression of related genes. *J Plant Physiol* 169: 596-604.
- Orcutt D.M. & Nilsen E.T. 2000: *Physiology of plants under stress*. John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA.
- Ottow E., M. Brinker, E. Fritz, T. Teichmann, W. Kaiser, M. Brosche, J. Kangasjarvi, sxr(-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623–627 p-p.
- P.N.T.T.A., 1999 Bulletin Mensuel d'information et de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture n°57, juin 1999
- Pancheva TV, Popova LP, Uzunova AN., 1996- Effets of salicylic acid on growth and photosynthesis in brely plants. *Journal of plant physiology* 149 : 57-63.
- Pandey Sonali. And Dipjyoti. Chakraborty., 2015 - Stress Responses in Plants. *Department of Bioscience and Biotechnology, Banasthali Vidyapith, Bansthali, Rajasthan 304 022, India. p.p : 247-265.*
- Papadopoulos A., 1991 – Growing greenhouse tomatoes in soil in soilless media, 3 minster of supply and services Canada 1991, 77p.
- Parida A., Das A.B., Das P., 2002 - NaCl stress causes changes in photosynthetic. *Rev.Ecotocol. nviron. Safety*, 60: 324-349 Navarro A.R, F. Rubio.2006. High-affinity

potassium and sodium transport systems in *plants Journal of Experimental Botany*; 57(5):1149-1160

- Parida A.K. et AB.Das. 2005 - Salt tolerance and salinity effects on plants: *Rev.Ecotoxicol. nviron. Safety*, 60: 324-349 Navarro A.R, F. Rubio.2006. High-affinity potassium and sodium transport systems in *plants Journal of Experimental Botany*; 57(5):1149-1160
- Patel J.A. et Vora A., 1985: Free proline accumulation in drought stressed plants. *Plant and Soil*, 84, 427- 429.
- Pessarakli,M (1991) :Formation of saline and sodic soils and their reclamation, *J.Environ.Sci.Health,A26(7)*: 1303-1320.
- Pesson P., et Louveaux J., 1984 : pollinisations et production végétales, Ed, INRA, 663p.
- Philippe Morard, Edith Caumes, et Jérôme Silvestre., 2003 - Influence de la concentration de la solution nutritive sur la croissance et la nutrition minérale de la tomate, *Laboratoire d'Agronomie Environnement Ecotoxicologie, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, BP 107, 31325 Castanet Tolosan, France Physiology*, April 2006, Vol. 140, p 1139–1141
- Piri K, (1991). Contribution à la sélection in vitro des plantes androgéniques de blé pour leur tolérance à NaCl. Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 168 p.
- Pitrat M., et Foury C., 2003 – Histoires de légumes, des origines à l'orée de XXLe siècle Institut National de la Recherche Agonomique (France) publié par Edition Quae 2003, ISBN, 410p/*Plantago albicans L. Thèse de doctorat d'État, université de Tunis*.
- Polese J., 2007 – la culture de la tomate, Ed Artémis, pp.267-270
- Publishers B., 2004 – ressources végétales de l'Afrique tropicale, Tome 2, légumes Ed, Dunod, 736p.
- Radhouane L., 2008 - Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Autochtones de Tunisie. *C.R. Biologies*, 4(331): 278-28.
- Raemaekers R., 2001 – Agriculture en Afrique tropicale, Direction générale de la coopération internationale (D-2001/02/0218/1).
- Rahman M., Soomro U. A., Zahoor U.M., Gul S., 2008 - Effect of NaCl salinity on wheat cultivars. *World Jour.of agric. Sci.* 4, (3), 398-403.

- Rahmoune C., Maalem S., Kadri K., et Ben Naceur M., 2008 - Etude de l'utilisation des eaux fortement salées pour l'irrigation des plantes du genre *Atriplex* en zones semi arides. *Revue des régions arides*, 21 (2): 924-929 p-p.
- Rahmoune C., Semadi A., Auad H., et Tahar A., 1997 - Air quality and lichenic distribution in the north east Algeria. Proc of Second International Scientific Conference. Science, Development and Environment, *Cairo*, Egypt: 333-344 p-p.
- Rahmoune C., Seridi R., Paul R., et Drez P., 2000 - Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave. *Agricultural Sciences*, 1(27):72-77 p-p.
- Rainsford KD (1984) *Aspirin and the Salicylates*. Butterworth, London.
- Ramade F., 2003 - éléments d'écologie « écologie fondamentale » dunod 3ème édition ,154p
- Rao, G. G. and Rao, G. R., 1981- Figment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*cajanius indicus spreng*) and yingelly (*sesamum indicum L.*) under nacl salinity. *Exp.biol.* 19: 768-770.
- Raskin I, 1992 - Salicylate, A New Plant Hormone, *Plant Physiol*, *AgBiotech Center, Rutgers University, Cook College, P.O. Box 231, New Brunswick, New Jersey 08903-0231*, p.p : 799-803.
- Ravoux, M. et Peter, A., 1973. Caractéristiques physico-chimiques des tourbes, perspectives d'exploitation dans le massif central. Rapport BRGM, SGN 414 MCE, 17p.
- Reddy, M. P. and vora, A.B., 1986). S'alinity induced changes in pigment composition and chlorophyllase activity in wheat.indian J. Plant physiol.29:331-334.
- Rejili M., et Neffatp M., 2006 - Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 1(17): 65-78 p-p.
- Rey Y., Costes C., 1965 – la physiologie de la tomate, étude bibliographique, INRA, 111p.
- Reymond M., Muller B., Leonardi A., Charcosset A., Tardieu F. 2003 : Combining quantitative trait loci analysis and an ecophysiological model to analyse the genetic variability of the responses of leaf growth to temperature and water deficit. *Plant Physiology*, 131, 664-675.
- Richard S., et Susan F., 1984 - *Stress, Appraisal, and Coping*, 2p
- Righi Mohamed., 2006 – La culture aquaponique, PISTES, RSE, Université Laval, Quebec,4p.
- Romiro Aranda R., Soria T., and Cuartero J., 2001 - tomato plant- water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions, 265- 272 p-p

- Ruocco M. L., Massimo G., Oscar A., Bernard B. et Jurgen K., 2010 - Food quality safety. Lutte biologique .Tome2. CNR, Italie, UE.104p
- Rush D., et epstein E., 1981 - Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of wild germplasm into a domestic tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* (106): 699-704
- Sakhabutdinova AR, Fatkhutdinova DR, Shakirova FM., 2004 - Effect of salicylic acid on the activity of antioxidant enzymes in wheat under conditions of salination. *Appl Biochem Microbiol* 40:501–505.
- Sakhabutdinova, A.R., D.R. Fatkhutdinova, M.V. Bezrukova and F.M. Shakirova, 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factor in wheat plants. *Bulg. J. Plant Physiol.*, Special Issue: 314-319.
- Schwabele, K.A., K. Iddo et K.C. Knap 2006 - Drain water management for salinity mitigation in irrigated agriculture. *Am. J. Agric. Ecol.*, 133-140 p-p.
- Scott, J., Somodi, G., et Jones, J., 1989 - Resistance to bacterial spot fruit infection in tomato. *Hort Science*. 24:825–827 p-p.
- Seki M., Umezawat T., Urano K., Shinozaki K., 2007- Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Current Opinion In plant Biology* 10 : 196-302 p-p.
- Senarata T., Touchell D., Bunn E., Dixon K., 2000- Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plant. *Plant Growth Regulation*, 30, 157-161.
- Senaratna T., Touchell D., Bunn E. *et al.* 2000- Acetyl salicylic acid (asprin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. – *Plant Growth Regul.* 30: 157-161.
- Shakirova F.M., Bezrukova M.V., 1997- Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. *Biology Bulletin*, 24, 109-112.
- Shakirova FM, Sakhabutdinova AR, Bezrukova MV, Fatkhutdinova RA, Fatkhutdinova DR., 2003 - Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci* 164:317–322.
- Shakirova, F.M., A.R. Sakhabutdinova, M.V. Bezrukova, R.A. Fatkhutdinova and D.R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci.* 164: 317–322
- Shalhev T., and Yaron B., 1973, Perez-Alfocea *et al.*, 1996, Katerji *et al.*, 1998 effect of soil and water salinity on tomato growth plant and soit 285 292 pp

- Shankara N., Van lidt de jeud J., de Goffau M., Hilmi M., Van Dam B. et Florijin. A., 2005 - La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation. 5eme (ed).foundation agromisa et CTA, Wageningen.
- Sherf, A.F. et MacNab A.A., 1986 - Vegetable Diseases and Their Control. Wiley, New York. Singleton P. (2005). Bactériologie pour la médecine, la biologie et les biotechnologies. 6th ed. DUNOD. Paris.
- Shruti Gautam., 2013 - Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. *Acta Physiol Plant* 35:2345–2353.
- Siakhène, N; 1984 : effet du stress hydrique sur quelques espèces de luzerne annuelle. Thèse Ing Agr, INA, El Harrach, 90 p.
- Sibole JV., Montero E., Cabot Cn., Poschenrieder Ch. and Barcelo J.,2000-Relationship between carbon partitioning and Na⁺, Cl⁻ and ABA allocation in fruits of salt-stressed bean. *Journal of Plant Physiol.*157: 637-642.
- Silini A., 2013 - Effets des molécules osmoprotectrices sur la survie et l'activité d'*Azotobacter* et sur la croissance du blé dur en milieu salin. Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif. 138p
- Singh A, Prasad R. 2009. Salt stress growth and cell bound enzymes in *Archishypogea L.* seedling. *I.J.I.B.*, 7(2): 107-123.
- Sivakumar, P., Sharmila, P., Parthasaradhi, P., 2000. Proline alleviates salt stress induced enhancement in rubulose-1,5-bisphosphate oxygenase activity. *Biochem. Res. Commun.* 279, 500–515.
- Slama A .,2000 - Etude comparative de la contribution des differentes parties du plant du ble dur dans la contribution du rendement en grains en irrigue et en conditions de deficit hydrique. *Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.*
- Slama A .,2002 - Etude comparative de la contribution des differentes parties du plant du ble dur dans la contribution du rendement en grains en irrigue et en conditions de deficit hydrique. *Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.*
- Slama F., 1986 - L'effet de chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale de six espèces de plantes cultivées. *Agronomie tropicale* : 21-26 p-p.
- Smitley D., et Carter S., 1982 - Spread of *Pseudomonas syringae pv. tomato* and the role of epiphytic populations and environmental conditions in disease development. *Plant disease.* 66:713-717.

- Sorrells ME, Diab A, Nachit M., 2000 - Comparative genetics of drought tolerance. Options méditerranéennes serie A (*Séminaires méditerranéens*) 2000 ; 40 : 191-201.
- Syed G A., Abdur R., N Ullah K. et Khalid N., (2011); Enhanced Proline Synthesis May Determine Resistance To Salt Stress in Tomato Cultivars. Pak. J. Bot., 43(6): 2707-2710, 2011.
- Symaraytis S., Neigrotiu I. & Jacobs M (1992), Salt and water resistant mutant isolated from potato plants of *Nicotiana plumbaginifolia* (Viviani). Med. Fac. Landow Univ. Gent 57/4a, Pp1507-1516.
- Symaraytis S., Neigrotiu I. & Jacobs M (1992), Salt and water resistant mutant isolated from potato plants of *Nicotiana plumbaginifolia* (Viviani). Med. Fac. Landow Univ. Gent 57/4a, Pp1507-1516
- Szabados L, Savouré A., 2009. Proline : a multifunctional amino acid. Trends Plant Sci 15: 89-97.
- Szabolcs I., 1989 - Salt-affected Soils CRC Press Inc., Florida, 274 p.
- Szalai G, et Janda T. 2009- Effet du stress salin sur la synthèse de l'acide salicylique dans les jeunes plants de maïs (*Zea mays* L.) Journal Agron. Crop. Sci. 195 : 165-171.
- Szalai G., Paldi E., Janadat. 2005- Effect of salt stress on the endogenous salicylic acid content in maize (*Zea mays* L.) plants. Agricultural Research Institute. Hungarian Academy of Science, Martonvasar, Hungary.i.
- Szepesi A, Csiszar J, Bajkan Sz, Gemes K, Horvath F, Erdei L, Deer A, Simon LM, Tari I., 2005 - Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. *Acta Biol Szegediensis* 49:123–125.
- Szepesi A, Csiszar J, Bajkan Sz, Gemes K, Horvath F, Erdei L, Deer A, Simon LM, Tari I (2005) Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. *Acta Biol Szegediensis* 49:123–125
- Szepesi A, Csiszar J, Bajkan Sz, Gemes K, Horvath F, Erdei L, Deer A, Simon LM, Tari I., 2005 - Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. *Acta Biol Szegediensis* 49:123–125.
- Tahri E., Belabed A. & Sadki K. 1997- Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat.21: 81 - 89 p.
- Taji T., Seki M., Satou M., Sakurai T., Kobayashi M., Ishiyama K., Narusaka Y., Narusaka M., Ishiyama K., Narusaka Y., Narusaka M., Ahy J.K. et Shinozaki K. 2004- Comparative

genomics in salt tolerance between Arabidopsis and Arabidopsis-related halophyte salt cress using Arabidopsis microarray. *Plant Physiology*, Vol. 135 : 1697-1709.

- Tamietti G. et Cugudda L., 1987 - Note sur les épidémies causées en Italie par deux bactéries phytopathogènes dans les cultures de tomates sous abri. *Bulletin reOEPP/EPPO*. 27: 295-297.
- Tardieu F., Davies W.J., 1993- Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. *Plant, Cell and Environment*, 16, 341-349.
- Tari I, Csiszar J, Szalai G, Horvath F, Pecsvaradi A, Kiss G, Szepesi A, Szabo M, Erdei L., 2002 - Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pretreatment. *Acta Biol Szegediensis* 46:55–56.
- Tasgin E, Atici O, Bantoglu NB, Popova LP (2006). “Effects of salicylic acid and cold treatment on protein levels and on the activities of antioxidant enzymes in the apoplast of winter wheat leaves”. *Phyto Chemistry* 67:710-771.
- Teakle NL, TJ Flowers, D Real, TD Colmer.2007 - *Lotus tenuis* tolerates the interactive effects of salinity and waterlogging by ‘excluding’ Na⁺ and Cl⁻ from the xylem. *Journal of Experimental Botany*, published online on May 17, 2007
- Teixeira, J., Fidalgo, F., 2009. Salt stress affects glutamine synthetase activity and mRNA accumulation on potato in an organ – dependent manner. *Plant Physiol. Biochem.* 47, 807–813.
- Thiault J-F., 2004 - Détail fruits et légumes « la maîtrise de la culture hors sol ». Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris. pp 1-4.
- Thornton F.C., Schaedle M., et Raynal D.J., 1988 - Sensitivity of red oak (*Quercus rubra* L.) and american beech (*Fagus grandifolia* Ehrh) seedling to sodium salt in solution culture. *Tree Physiology*, 4: 167-172 germination et la croissance *in vitro* du pistachier (*Pistacia vera* L.). *C. R. Biologies*, 332 :164- 170.
- Tremblin G., 2000 - Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*, 109-116 p-p.
- Trovato Maurizio, Roberto Mattioli, Paolo Costantino., 2008. Multiple Roles of Proline in Plant Stress Tolerance and Development. *Rendiconti Lincei* 19, p.p : 325 – 346.
- Türkyılmaz, B., L.Y. Aktaş and A. Güven. 2005. Salicylic acid induced some biochemical and physiological changes in *Phaseolus vulgaris* L. *Science and Engineering Journal of Firat Univ.* 17(2): 319-326.

- Tuteja N., 2007 - Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods Enzymol.* 428 : 419-438p
- Ünlü H., Altindal N., Ozdamar Ünlü H., Altindal D., et Padem H. 2009- Effect of salicylic acid on salinity stress in Cowpea. In : 1st international Symposium on Sustainable Development, June 9-10, 2009, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- Urban L., 1997- introduction à la production sous serre (l'intégration fertilisante en culture hors sol). Ed. lavoisier Tec & Doc. Paris. 210p.
- Uys M., Thompson A., et Holz G., 1996 - Diseases associated with tomato in the main tomato growing of South Africa. *J. S. Afr. Soc. Hort. Sci.* 6: 78–81. *Dis.* 76:1046–1048 p-p.
- Vanacker H, Lu H, Rate DN, Greenberg JT, 2001- Arole for salicylic acid and NPRI in regulating cell growth in Arabidopsis. *Plant Journal* 28: 209-216.
- Vasyukova., N.I., Ozeretskoykaya O.L., 2007- Induced plant resistance and Salicylic Acid : A Review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 43 : 367-373.
- Vincent, R., 2006 - Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au Stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université De Rennes 1. 237p
- Vlot AC, Dempsey DA, Klessig DF (2009) Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* 47, 177–206.
- Wang Y., Nil N. 2000 - Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75, 623–627.
- War Abdul Rashid ,1 Michael Gabriel Paulraj,1 Mohd Yousf War2 and Savarimuthu Ignacimuthu., 2015 - Role of salicylic acid in induction of plant defense system in chickpea (*Cicer arietinum* L.), *Plant Signaling & Behavior* 6:11, 1787-1792
- Ward H.P. et O'Garro L.W., 1992 - Bacterial spot of pepper and tomato in Barbados. *Plant*
- Wasti S, Mimouni H, Smiti S, Zid E, Ben Ahmed H. (2012) : Enhanced tolerance of tomatoes by exogenous salicylic acid applied through rooting medium. *OMICS- a journal of integrative biology*, 16(4), 200–207.
- Weissman G (1991) Aspirin. *Scient. Amer.* Wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, No. 5, p. 1025–1043.
- William Texier, 2014 : *L'hydroponie pour tous, Tous sur l'horticulture à la maison*, Ed : Mama, Paris, 235p.

- Williamson B., Tudzynski B., Tudzynski P. et Van Kan J., 2007 - Botrytis cinerea: the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*. 8: 561–580.
- Winterborne, J. 2005- Hydroponics: Indoor Horticulture. Pukka Press.
- Wu J.L., Seliskar D.M., Gallagher J.L., 1998 - Stress tolerance in the marsh plane *Spartina patens*: impact of NaCl on growth and root plasma membrane lipid composition. *Physiol. Plant*. 102, 307–317.
- X. Jiang, and A.Polle., 2005 - *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress 1. *Plant Physiology*, Vol. 139, p. 1762–1772.
- Yalpani N, Silverman P, Wilson TM, Kleier DM, Raskin I., 1991- Salicylic acid is systemic signal and an inducer pathogenesis related proteins in virus infected tobacco. *Plant Cell* 3 : 809-818.
- Yang SL, Lan SS, Gong M., 2009. Hydrogen peroxide-induced proline and metabolic pathway of its accumulation in maize seedlings. *J Plant Physiol* 166: 1694-16.
- Yang Y, Qi M, Mei C., 2004: Endogenous salicylic acid protects rice plants from oxidative damage caused by aging as well as biotic and abiotic stress. *Plant J* 40:909–919.
- Yokoi Shuij., Bressan R.A et Hasegawa P.M. 2002- Salt Stress Tolerance of Plants. Center for Environmental Stress Physiology, Purdue University.
- Yunis H., Bashan Y., Okon Y. et Henis Y., 1980 - Weather dependence, yield losses and control of bacterial speck of tomato caused by *Pseudomonas tomato*. *Plant diseases*. 64:937-939
- Yusuf M, Hasan SA, Ali B, Hayat S, Fariduddin Q, Ahmad A, (2008): Effect of salicylic acid on salinity induced changes in *Brassica juncea*. *Journal of Integrative Plant Biology*. 50 (8), 1–4.
- Zahra S., B Amin, V seid M Ali, Y Ali nd Y Mehdi, 2010- The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sugar, protein and proline contents under salinity stress (NaCl). *Journal of Biophysics and Structural Biology* Vol.2(3), pp. 35-41.
- Zhang J., Nguyen H.T., Blum A., 1999: Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, 50, 291-302.
- Zhou X.M, MacKenzie A.F., Madramootoo C.A., 1992- Effects of stem-injected plant growth regulators with or without sucrose on grain production biomass and photosynthetic activity of field-grown corn plants. – *J. Agron. Crop Sci*. 183: 103-110, 1999.

- Zhou X.M., A.F. MacKenzie, C.A. Madramootoo and D.L. Smith. 1999. Effects of stem-injected plant growth regulator, with or without sucrose, on grain production, biomass and photosynthetic activity of field-grown corn plants. *J. Agronomy and Crop Science* 183: 103-110.
- Zhu J-K., 2002. - Salt and drought stress signal transduction in plants. *An. Rev. Of Plant Biol.* 53: 247-73.
- Zörb C., Schmitt S., Neeb, A., Karl, S., Linder, M., Schubert, S., 2004 - The biochemical reaction of maize (*Zea mays* L.) to salt stress is characterized by a mitigation of symptoms and not by a specific adaptation. *Plant Sci.*, 167, 91-100
- Zuang H. et Musard M. 1986: Cultures légumières sur substrats : Installation et conduite. CTIFL, 3e trimestre, Paris, 276 p.

Table des matières

Remerciement

Résumé

Abstract

الملخص

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité sur la salinité des eaux et des sols

1. Notion de stress	16
2. Catégorie de stress	16
2.1. Stress abiotique.....	16
2.2 Stress biotique.....	17
3. La salinité.....	17
3.1. Les principaux sels solubles.....	18
3.2. Types de la salinisation	18
3.2.1. Salinisation primaire	18
3.2.2. Salinisation secondaire	18
3.3. Mesure de la salinité	19
4. Répartition des sols salés.....	19
4.1. Dans le monde.....	19
4.2. Les sols salés en Algérie	20
4.3. Causes et effets de la salinisation.....	21
4.5. Classification des sols	21
4.5.1. Qualité de l'eau d'irrigation	23
4.6. Conséquences de la salinité.....	24
4.6.1. Action de la salinité sur le sol.....	24
4.6.2. Action sur l'absorption.....	25
4.6.3. Action de la salinité sur la germination.....	25

4.6.4. Action de la salinité sur la croissance.....	26
4.6.5. Action de la salinité sur les plantes.....	26
4.6.6. Action de la salinité sur l'état hydrique de la plante.....	26
4.6.7. Action de la salinité sur l'anatomie de la feuille.....	27
4.6.8. Action de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines.....	27
4.6.9. Action de la salinité sur les lipides.....	27
4.6.10. Action de la salinité sur le taux des ions.....	27
4.6.11. Action de la salinité sur les enzymes antioxydants.....	28
4.6.12. Action de la salinité sur le métabolisme de l'azote.....	29
4.6.13. Action de la salinité sur l'ultra structure du chloroplaste.....	29
4.6.14. Action de la salinité sur la photosynthèse.....	29
4.6.15. Action de stress sur la proline.....	30
4.6.16. Action de stress sur chlorophylle.....	31
4.7. Mécanismes d'adaptation aux contraintes abiotiques	32
4.7.1. Adaptations phonologiques	32
4.7.2. Adaptations morphologiques.....	33
4.7.3. Adaptations physiologiques.....	33
4.7.4. Ajustement osmotique.....	34
Chapitre II : généralité sur la culture hydroponique	36
1. Historique.....	36
2. Définition.....	36
3. Les composants de systèmes hors sol.....	36
3.1. Substrat.....	37
3.1.1. Matériaux organiques naturels.....	37
3.1.1.2. Tourbe	37
3.1.1.3. Les écorces.....	37
3.1.2. Matériaux minéraux naturels.....	37
3.2.1.1. Graviers.....	37
3.2.1.2. Sables.....	37
3.2.1.3. Pouzzolanes.....	38
3.1.3. Matériaux minéraux artificiel ou traités	38
3.2.2.1. Perlite.....	38
3.2.2.2. Vermiculite.....	38
3.2.2.3. Argile expansé.....	39

3.2.2.4. Laine de rochet.....	39
3.2 . Conteneur.....	40
3.3. Solution nutritive.....	40
3.3.1. Potentiel hydrogène (pH).....	40
3.3.2. Conductivité électrique (CE).....	41
3.3.3. Température de l'eau.....	41
4. Les différents systèmes hydroponiques.....	41
4.1. Système NFT « <i>Nutrient film technique</i> ».....	41
4.2. Système a percolation (goutte à goutte).....	42
4.3. Système aéroponique.....	43
4.4. Système « flux-reflux » ou table à marées.....	43
5. Les avantages de culture hors sol.....	44
6. Les inconvénients de culture hors sol.....	44
Chapitre III : Généralité sur l'acide salicylique	45
1. Définition.....	45
2. Historique.....	45
3. Les propriétés chimiques et physiques.....	46
4. Biosynthèse.....	46
5. Rôle de l'acide salicylique.....	48
5.1. Rôle dans la gestion de stress abiotique.....	48
5.2. Rôle dans l'osmo-régulation.....	49
5.3. Rôle dans le système antioxydant.....	49
6. Mode d'action.....	50
Chapitre IV : Généralité sur la culture de tomate	51
1. Historique et l'origine de la tomate.....	51
2. Classification de la tomate.....	51
2.1. Classification botanique (systématique).....	51
2.2. Classification génétique.....	52
2.3. Classification variétale selon le mode de croissance.....	52
2.3.1. Variété à croissance indéterminée.....	52
2.3.2. Variété à croissance déterminée.....	53
2.3.3. Variété buissonnante.....	53
3. Caractéristique morphologique de la tomate.....	53

3.1. Appareil végétatif	53
3.1.1. Système racinaire.....	54
4. Appareil reproducteur.....	55
4.1. Fleur.....	55
4.2. Fruit.....	56
4.3. Graine.....	56
5. Caractéristiques physiologiques de la tomate.....	57
5.1. Cycle biologique de la tomate.....	57
5.1.1. Germination.....	57
5.1.2. Croissance.....	57
5.1.3. Pollinisation.....	57
6. Nouaison des fleurs.....	58
7. Maturation du fruit.....	58
8. Exigences édapho-climatiques de la tomate.....	58
8.1. Exigences climatiques.....	58
8.1.1. Température de l'air.....	58
8.1.2. Lumière.....	59
8.1.3. Humidité de l'air.....	59
8.2. Exigences édaphiques.....	59
8.2.1. La nature du sol.....	59
8.2.2. Température du sol	59
8.2.3. Potentiel hydrogène du sol (pH).....	59
8.2.4. Humidité du sol.....	60
8.2.5. La salinité du sol.....	60
8.2.6. Aération du sol.....	60
9. Valeur nutritionnelle des fruits de la tomate.....	60
10. Production de la tomate.....	61
10.1. Dans le monde.....	61
10.2. En Algérie.....	61
11. Pathologie et ravageurs de la tomate.....	62
11.1. Pathologies non parasitaires.....	62
11.1.1. Les ravageurs de la tomate.....	62
11.2. Pathologies parasitaires.....	63
11.2.1. Pathologies fongiques.....	63

11.3. Pathologies virales.....	64
11.4. Pathologies bactériennes	64
11.4.1. Tache bactérienne.....	65
11.4.2. Chancre bactérien.....	65
11.4.3. Moucheture bactérienne.....	65

Partie expérimental

Chapitre V : Matériels et méthodes	66
1. Objectif de l'expérimentation.....	66
2. Matériel végétale testé.....	66
3. Conditions expérimentales.....	67
3.1.Lieu de l'expérience.....	67
3.2.Conteneurs.....	68
3.3.Substrat utilisé.....	69
3.4.Dispositif expérimentale.....	70
3.5. Les différents traitements testés.....	71
3.5.1. Calcule de la concentration des solutions testées.....	72
4. Germination des graines.....	73
4.1.Pré- germination des graines.....	73
4.2.Repiquage des germes.....	74
4.3. Entretien de la culture.....	75
4.3.1. Irrigation.....	75
5. Paramètres mesurés.....	75
5.1. Paramètres Biométriques.....	75
5.1.1. Hauteur finale des plantes.....	75
5.1.2. Diamètre des tiges.....	76
5.1.3. Nombre des feuilles.....	76
5.1.4. La surface foliaire.....	76
5.1.5. Biomasse fraîche produite.....	76
5.1.6. Biomasse sèche produite.....	76
5.1.7. Taux de matière sèche.....	77
5.2. Paramètres physiologiques.....	77
5.2.1. Dosage de la teneur des feuilles en chlorophylle.....	77
5.2.2. Dosage de la proline.....	78

6. Analyse statistique	80
Chapitre VI : Résultats et discussion	81
1. Paramètres biométriques.....	81
1.1. Hauteur finale des tiges	81
1.2. Diamètre des tiges.....	82
1.3. Nombres des feuilles.....	84
1.4. Surface foliaire.....	86
1.5. Longueur des racines.....	87
1.6. Biomasse fraîche produite.....	89
1.6.1. Biomasse fraîche de feuilles.....	89
1.6.2. Biomasse fraîche de tiges.....	90
1.6.3. Biomasse fraîche de racines	92
1.7. Biomasse sèche.....	93
1.7.1. Biomasse sèche de feuilles.....	93
1.7.2. Biomasse sèche des tiges.....	95
1.7.3. Biomasse sèche des racines.....	97
2. Paramètres physiologiques.....	99
2.1. Teneur en proline dans les feuilles.....	99
2.2. Teneur en chlorophylle (a) dans les feuilles.....	101
2.3. Teneur en chlorophylle (b) dans les feuilles.....	103
2.4. Teneur en chlorophylle (c) dans les feuilles.....	104
Conclusion	107
Liste des annexes	109
Références bibliographiques	115
Table des matières	140