

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE DE BLIDA- 1**  
**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**  
**DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIES**



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master**  
**académique**

**Spécialité : Biotechnologie végétale**

**Thème :**

**EFFET DE LA COMBINAISON SALINITE - ACIDE SALICYLIQUE**  
**SUR LE COMPORTEMENT MORPHO-PHYSIOLOGIQUE DE LA**  
**TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM* M.)**

**Réalisé par**

**Berkane Leila**

**Bouhaya Soumeya**

**Devant le jury composé de :**

**M<sup>me</sup> BRADEA M.S.**

**M .C.A**

**U.B 1 Présidente**

**M<sup>me</sup> BOUCHENAK F.**

**M. C.B**

**U.B 1 Examinatrice**

**Mr. ABBAD M.**

**M .A.A**

**U.B 1 Promoteur**

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2016-2017**

## **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.

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

Nos sincères remerciements aux membres de jury : Mme. BRADEA 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 Dr Zouaoui chef département de biotechnologie végétale.

Mes amis de promotion : Mahdi Roumaissa, Balaiche Zahira, Benhafid Chourouk, Benameur Asma et Sbaa Atika.

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.

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire :*

*À mon très cher père Abdelskader, qui a toujours garni mes chemins avec force et lumière et à ma tendre mère Zehra, la plus belle perle du monde. Puisse dieu vous prêter bonne santé et longue vie afin que je puisse à mon tour, vous combler.*

*À mes très chers frères HANJ & MOHAMMED, je vous dédie ce travail avec tout mon amour et mon respect.*

*À ma très chère unique sœur HASSNA et ton enfant AYLA qui a toujours été présente à mes coté, qui a su être patiente avec moi et qui m'a supporté et aider. Ce travail est le fruit de tes sacrifices je te le dédie avec toute ma gratitude et mon amour.*

*À tous la famille BERKANE et ASSANI.*

*À mes amis WALIDE et MOHAMMED.*

*À tous mes enseignants et mes encadreur qui tout au long du chemin m'ont encouragé et remis sur la bonne voie.*

*À tous mes collègues de la promotion 2017 À toute personne philanthropique qui de près ou de loin m'est venue en aide en m'encourageant pour arriver à mon but fixé.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à :*

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études*

*À mes chers frères, Mohamed et Zakaria pour leur appui et leur encouragement,*

*À mon fiancé Abd elkader qui n'a jamais cessé d'être un exemple de persévérance, de courage et de générosité*

*À mes chères sœurs Nour el houda et Louliha besma pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral*

*À toute ma famille, Ma grande mère Mes tantes Mes oncles pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire*

*À tous les enseignants qui ont contribué à ma formation*

## Résumé

Notre travail a pour but d'étudier d'une part l'effet du stress salin par l'application de deux doses en sulfate de sodium (10 et 20 mM) et d'autre part par une correction de ces traitements salins par une addition d'acide salicylique à 1 et 2 mM comparé à un témoin (solution nutritive standard).

Les résultats enregistrés montrent que l'application de stress par le sulfate de sodium un effet nocif sur les paramètres étudiés. La concentration 10 mM a exercé des chutes plus importantes de l'ordre de 12,47% pour la hauteur et 66,43% pour la biomasse fraîche des feuilles. Par contre, une dose de 20 mM du sulfate de sodium présente une forte dépression sur les paramètres diamètre des tiges (17,37%), la surface foliaire (70,45%), biomasse fraîches des tiges et des racines (53,12 et 50,32%) respectivement et la biomasse sèche des feuilles et des racines (55,23 et 59,27%) respectivement. En revanche, une augmentation significative a été signalée pour la teneur en eau (54,90%).

La réaction physiologique de la culture de tomate traduit par une mesure de la proline révèle une forte diminution de 69,24 et 73,08% face à une légère diminution dans la teneur des feuilles en chlorophylle (a) de 5,98 et 1,94% pour le 10 et 20mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  respectivement.

En revanche, la combinaison sulfate de sodium + acide salicylique permet d'améliorer quelques paramètres dont les hausses les plus remarquables étaient 22,57% pour la surface foliaire, 18,44 et 5,11% pour les biomasses fraîche des tiges et des racines respectivement, 11,31 et 23,77% pour les biomasses sèche des feuilles et des racines et pour les paramètres physiologique 27,82 et 85,71% pour la teneur en eau et en proline respectivement.

**Mots clés :** stress salin, sulfate de sodium, acide salicylique, tomate, proline.

## Abstract

The purpose of our work is to study the one hand the effect of the saline stress by the application of two amounts out of sodium sulfate (10 and 20 mM) and on the other hand by a correction of these saline treatments by addition of salicylic acid to 1 and 2 mM compared to witness (standard nutritive solution).

The recorded results show that the application of stress by sodium sulfate has an adverse effect on the parameters studied. The concentration 10 mM exerted more important falls of about 12,47% for the height and 66,43% for the fresh biomass of the sheets. On the other hand, an amount of 20 mM of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  presents a strong depression on the parameters diameter of the stems (17,3 %), the leaf area (70,45%), biomass fresh of the stems and the roots (53,12 and 50,32%) respectively. On the other hand a significant increase is announced for water content (54,90%).

The physiological reaction of the tomato culture translates by a measurement of the proline reveals a strong reduction of 69,24 and 73,08% respectively. There is a light reduction in water content of the sheet out of chlorophyll (a) of 5,98 and 1,94% for the 10 and 20 mM of sodium sulfate respectively.

On the other hand, salicylic acid combination sodium sulfate makes it possible to improve some parameters whose most remarkable rises were 22,57% for the leaf area, 18,44 and 5,11% for the biomasses fresh of the stems and the roots respectively, 11,31 and 23,77% for the biomasses dry of the sheets and the roots and for the physiological parameter 27,82 and 85,71 % for water content out of proline respectively.

**Key words:** Saline stress, sodium sulfate, salicylic acid, tomato, proline.

الهدف من دراستنا هو دراسة تأثير الإجهاد الملحي على تطبيق جرعتين من سولفات الصوديوم (10 و 20 ملم) ومن ناحية أخرى عن طريق تصحيح هذه المعاملات المألحة بإضافة 1 و 2 ملي حمض الساليسيليك مقارنة مع السيطرة حل المغذيات القياسية.

أظهرت النتائج المسجلة أن تطبيق الإجهاد بواسطة سولفات الصوديوم له تأثير ضار على دراسات المعلمات. تركيز 10ملم يمارس أكبر السقوط في ترتيب 12,47% للارتفاع و 66,43% للكتلة الحيوية الطازجة من الأوراق. من ناحية أخرى، أظهرت جرعة 20 ملم من سولفات الصوديوم انخفاض قويا على معلمات قطر السيقان (17,37%)، مساحة الورقة (70,45%)، الكتلة الحيوية الطازجة للساق والجذر (53,12 و 50,32%)، والكتلة الحيوية الجافة للأوراق و الجذور (55,23 و 59,27%) على التوالي. من ناحية أخرى، تم الإبلاغ عن زيادة كبيرة لكمية المياه (54,90%).

وقد أظهرت الاستجابة الفيزيولوجية لتقافة الطماطم إلى قياس البرولين انخفاضا حادا قدره 69,24 و 73,08% في مقابل انخفاض طفيف في أوراق الكلوروفيل (أ) من 5,98 و 1,94 لي 10 و 20 ملم سولفات الصوديوم على التوالي. من ناحية أخرى، فإن الجمع بين بواسطة سولفات الصوديوم وحمض الساليسيليك يحسن بعض المعلمات، مع الزيادات الأكثر وضوحا هي 22,57% لمنطقة الورقة، 18,44 و 5,11% للكتلة الحيوية الطازجة من الجذوع والجذور على التوالي، 11,31 و 23,77% للكتلة الحيوية الجافة والجذور وللمعلمات الفسيولوجية 27,82 و 85,71% للمياه والبرولين على التوالي.

**الكلمات الدالة:** الإجهاد الملحي، سولفات الصوديوم، حمض الساليسيليك، الطماطم، البرولين .

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Classification de la tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L).....	<b>07</b>
<b>Tableau 02</b> : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.....	<b>09</b>
<b>Tableau 03</b> : Solubilité de l'acide salicylique dans les différents solvants (g.l <sup>-1</sup> ).....	<b>13</b>
<b>Tableau 04</b> : Doses et fréquences nécessaires pour la culture de la tomate.....	<b>25</b>



## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : La source de la salicine ( <i>Salix alba</i> ).....	12
<b>Figure 02</b> : Représentation simplifiée des voies de biosynthèse de l'acide salicylique.....	14
<b>Figure 03</b> : Représente les différents substrats d'origine minérale.....	18
<b>Figure 04</b> : Représente les différents substrats d'origine organique.....	18
<b>Figure 05</b> : Situation du site expérimental.....	22
<b>Figure 06</b> : Aspect général de conteneur utilisé durant notre expérience.....	22
<b>Figure 07</b> : Schéma de dispositif expérimental mené dans notre expérience.....	23
<b>Figure 08</b> : Aspect général des jeunes plantules de tomate au moment et après le repiquage en pot.....	24
<b>Figure 09</b> : Aspect général des plantules de tomate dans leur place définitive (A) avant de débuter l'irrigation par la solution nutritives standard, (B) après l'application de la solution nutritive standard.....	25
<b>Figure 10</b> : Balance de précision utilisée pour réaliser les pesé.....	26
<b>Figure 11</b> : Hauteur finale des tiges (cm).....	29
<b>Figure 12</b> : Diamètre finale des tiges (mm).....	30
<b>Figure 13</b> : La surface foliaire (cm <sup>2</sup> ).....	31
<b>Figure 14</b> : Biomasse fraîche des feuilles (g).....	32
<b>Figure 15</b> : Biomasse fraîche des tiges (g).....	32
<b>Figure 16</b> : Biomasse fraîche des racines (g).....	33
<b>Figure 17</b> : Biomasse sèche des feuilles (g).....	34
<b>Figure 18</b> : Biomasse sèche des tiges (g).....	35
<b>Figure 19</b> : Biomasse sèche des racines (g).....	36
<b>Figure 20</b> : Matière sèche des feuilles (%).....	37
<b>Figure 21</b> : Matière sèche des tiges (%).....	38
<b>Figure 22</b> : Matière sèche des racines (%).....	39
<b>Figure 23</b> : Teneur relative en eau (%).....	40
<b>Figure 24</b> : La teneur des feuilles en chlorophylle (a) (mg/ml).....	41
<b>Figure 25</b> : La teneur des feuilles en proline (µg/g MF).....	42

## Liste des abréviations

**AS** : Acide salicylique.

**CE** : Conductivité Electrique.

**C<sub>7</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>** : Acide o- hydroxybenzoïque.

**C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O** : Benzaldehyde.

**DO** : Densité optique.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène.

**HO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-COOH**: Ou C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub> Methoxybenzoquinone.

**MADR** : Ministère d'agriculture et de développement rural.

**NFT** : Nutrient Film Technique.

**OHCA** : L'acide-o-hydroxy-cinnamic.

**PAL** : Phénylalanine ammonia lyase.

**pKa** : Protéine kinase A.

**PVC** : Polychlorure de vinyle.

**ROS** : Radicaux libre d'oxygène

**SAR** : Résistance systémique acquise.

**T** : Traitement.

**UV** : Ultraviolet.

## Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>01</b>
<b>Partie 01: Etude bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Salinité et le stress salin</b>	
<b>I. la salinité.....</b>	<b>02</b>
<b>I.1. Définition de la salinité.....</b>	<b>02</b>
<b>I.2. Origine de la salinité.....</b>	<b>02</b>
<b>I.2.1. La salinité primaire.....</b>	<b>02</b>
<b>I.2.2. La salinité secondaire.....</b>	<b>02</b>
<b>II. Salinité et la plante.....</b>	<b>02</b>
<b>II.1. Définition du stress.....</b>	<b>02</b>
<b>II.2. Définition de Stress salin.....</b>	<b>02</b>
<b>II.2.1. Stress osmotique.....</b>	<b>03</b>
<b>II.2.2. Le stress ionique.....</b>	<b>03</b>
<b>II.2.3. Stress oxydatif.....</b>	<b>03</b>
<b>III. Effets de stress salin sur les plantes.....</b>	<b>03</b>
<b>III.1. Effet de la salinité sur la germination.....</b>	<b>04</b>
<b>III.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement.....</b>	<b>04</b>
<b>III.3. Effet de la salinité sur l'eau dans la plante.....</b>	<b>04</b>
<b>VI. Mécanismes de résistance à la salinité.....</b>	<b>05</b>
<b>IV. Stratèges d'adaptation.....</b>	<b>05</b>
<b>IV.1. Ajustement osmotique (osmo-régulation).....</b>	<b>05</b>
<b>IV.2. L'accumulation des solutés organiques.....</b>	<b>05</b>
<b>IV.2.1. Accumulation de proline.....</b>	<b>05</b>
<b>IV.2.2. Accumulation de sucres solubles.....</b>	<b>06</b>
<b>Chapitre II : La culture de la tomate</b>	
<b>Généralité sur la tomate.....</b>	<b>07</b>
<b>I. Classification botanique.....</b>	<b>07</b>
<b>II. Classification variétale.....</b>	<b>07</b>
<b>II.1. Les variétés à port indéterminé.....</b>	<b>08</b>
<b>II.1.1. Les variétés fixées.....</b>	<b>08</b>
<b>II.1.2. Les variétés hybrides.....</b>	<b>08</b>
<b>II.2. Les variétés à port déterminé.....</b>	<b>08</b>
<b>III. Importance de la tomate.....</b>	<b>08</b>
<b>III.1. La culture de la tomate dans le monde.....</b>	<b>09</b>

III.2. La culture de la tomate en Algérie.....	09
VI. Effet de la salinité sur la tomate.....	10
VI.1. Effet de la salinité sur la germination.....	10
VI.2. Effet de la salinité sur la partie racinaire de la plante de tomate.....	10
VI.3. Effet de la salinité sur la partie aérienne.....	10
VI.3.1. Effet de la salinité sur les feuilles.....	10

### Chapitre III : L'acide salicylique

I. Historique.....	12
II. Définition.....	12
III. Propriétés physico-chimiques.....	13
VI. Biosynthèse de l'acide salicylique.....	13
V. Rôle de l'acide salicylique.....	14
IV. L'acide salicylique et le stress salin.....	14
IIV. Mode d'action d'acide salicylique.....	15

### Chapitre VI : La culture hors sol

I. Généralité sur la culture hydroponique ou hors sol.....	16
I.1. Historique.....	16
I.2. Définition.....	16
II. Les exigences de culture hors-sol.....	16
III. Les avantages de culture hors-sol.....	17
VI. Les composantes de culture hors-sol.....	17
VI.1. Le substrat.....	17
VI.2. Les différents substrats.....	18
VI.2.1. Origine minérale.....	18
VI.2.2. Origine organique.....	18
VI.3. Les conteneurs.....	18
V. La solution nutritive.....	19
V.1. Potentiel hydrogène (pH).....	19
V.2. La conductivité électrique (CE).....	19
V.3. Equilibre ionique.....	20
IV. Différents systèmes de culture hors sol.....	20
IV.1. Culture aéropnique.....	20
IV.2. Culture hydroponique.....	20

## Partie 02 : Expérimentation et résultats

### Matériels et méthodes

I. Objectif de l'expérimentation.....	21
II. Matériel végétal utilise.....	21
III. Conditions expérimentales.....	21
III.1. Lieu de l'expérimentation.....	21
III.2. Conteneurs.....	22
III.3. Substrat utilisé.....	22
VI. Dispositif expérimental.....	23
VI.1. Composition de la solution nutritive stender .....	24
V. Essai de germination et de repiquage.....	24
V.1. Pré-germination des graines.....	24
V.2. Repiquage des germes.....	24
V.3. Entretien de la culture.....	25
V.3.1. Irrigation.....	25
IV. Paramètres mesurés.....	25
IV.1. Paramètres biométriques.....	25
IV.1.1. Hauteur finale des plantes.....	25
IV.1.2. Diamètre finale des tiges.....	26
IV.1.3 La surface foliaire.....	26
IV.1.4. Biomasse fraîche produite.....	26
IV.1.5. Biomasse sèche produite.....	26
IV.1.6. Taux de matière sèche.....	26
IV.2. Paramètres physiologiques.....	27
IV.2.1. Teneur relative en eau (TRE).....	27
IV.2.2. Extraction et dosage de chlorophylle.....	27
IV.2.3. Dosage de la proline.....	27
IIIV. Analyse statistique.....	28

### Résultats et discussion

I. Paramètres biométriques.....	29
I.1. Hauteur finale des tiges (cm).....	29
I.2. Diamètre finale des tiges (mm).....	30
I.3. Surface foliaire (cm <sup>2</sup> ).....	30
I.4. Biomasse fraîche des feuilles (g).....	31
I.5. Biomasse fraîche des tiges (g).....	32

<b>I.6. Biomasse fraîche des racines (g)</b> .....	<b>33</b>
<b>I.7. Biomasse sèche de feuilles (g)</b> .....	<b>34</b>
<b>I.8. Biomasse sèche des tiges (g)</b> .....	<b>35</b>
<b>I.9. Biomasse sèche des racines (g)</b> .....	<b>36</b>
<b>I.10. Matière sèche des feuilles (%)</b> .....	<b>37</b>
<b>I.11. Matière sèche des tiges (%)</b> .....	<b>38</b>
<b>I.12. Matière sèche des racines (%)</b> .....	<b>39</b>
<b>II. Paramètres physiologiques</b> .....	<b>40</b>
<b>II.1. Teneurs relative en eau (%)</b> .....	<b>40</b>
<b>II.2. La teneur des feuilles en chlorophylle a (mg/ml)</b> .....	<b>41</b>
<b>II.3. Teneur des feuilles en proline (µg/g MF)</b> .....	<b>41</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>43</b>
<b>Liste des annexes</b>	
<b>Références bibliographiques</b>	

**Introduction**

Dans les régions à climat méditerranéen, le problème de la salinité est accentué par la présence des concentrations élevées des sels dans les eaux d'irrigations et dans les sols (Boumendjel *et al.*, 2012). C'est une contrainte abiotique majeure qui affecte négativement les aspects morpho-physiologie de la plante, en entraînant une réduction de son rendement (Ruiz-Lozono *et al.*, 2012 ; Almeida *et al.*, 2014).

En Algérie la culture de la tomate occupe une place plus importante dans l'économie agricole avec des superficies plus que 22000 ha avec des rendements moyennement de 370 Qx/ha (Snoussi, 2010). Cependant la demande alimentaire en ce produit et simultanément elle est très riche en élément nutritifs notamment en lycopène et caroténoïde prédominant (Rajoria *et al.*, 2010).

Les différents dommages abiotique qui simule négativement sur la culture de la tomate la présence excessive des sels dans la solution d'irrigation (Kaewmanee *et al.*, 2013). Elle est classée parmi les plantes sensibles à la salinité dont elle peut tolère jusqu'à 3g/l. Parmi les sels, le  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  est un sel nocive et toxique qui déprécie le développement morpho-physiologie de cette culture (Yokas *et al.*, 2008).

Pour renforcer la défense des plantes contre les contrainte abiotique nous avons appliqué une phytohormone (l'acide salicylique), il joue un rôle important comme messenger intracellulaire déclenchant l'induction de l'ensemble des mécanismes qui permettent à la plante de se défendre vis-à-vis au les contraintes biotique et abiotique comme la salinité (Kunkel et Brooks, 2002).

L'expérimentation a porté sur des plantes de tomate cultivées en hors sol sous contrainte saline et en présence d'acide salicylique qui est une phytohormone largement utilisée dans le domaine des stress biotiques (Benhamou et Rey, 2012). 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 (Yildirim *et al.*, 2008), 0,25mM utilisé chez le maïs, l'orge, le blé et la pomme de terre (Turan *et al.*, 2009) et la concentration de 0,5mM est utilisé chez le pistache et la tomate (Zahra *et al.*, 2010 ; Bastam *et al.*, 2013).

Dans le cadre de cette approche et afin de mieux comprendre les effets de la salinité, nous avons testées deux doses en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (10 et 20 mM) pour déterminer d'une part leurs effets sur quelques paramètres morpho-physiologiques, et d'autre part déterminer la dose la plus nocive. Une correction de ces solutions saline par l'addition de l'acide salicylique sur (1 et 2mM).

### I. la salinité

#### I.1. Définition de la salinité

La salinité c'est la présence d'une concentration excessive des sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (Mermoud, 2006). C'est une contrainte environnementale qui ne cesse de s'étendre dans les périmètres irrigués et est à l'origine des fortes pertes en rendement des cultures (Parida et Das, 2005).

#### I.2. Origine de la salinité

D'après Cherbuy (2001), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source des sels qui peut être naturelle ; dénommée primaire, et une salinité anthropique, généralement liée à l'irrigation ; que l'on appellera secondaire.

##### I.2.1. La salinité primaire

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle, on qualifie alors la salinisation de primaire (Maillard, 2001). C'est le résultat de l'accumulation des sels dans le sol à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels des mers et océans (Munns et *al.*, 2006) et la nappe phréatique (Slama, 2004).

##### I.2.2. La salinité secondaire

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique (Marlet, 2005). Des activités humaines comme les pratiques agricoles, notamment l'irrigation avec des eaux chargées en sels et l'utilisation des engrais minéraux (Schwabele et *al.*, 2006).

### II. Salinité et la plante

#### II.1. Définition du stress

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante (Hopkins, 2003). Chez les plantes se cause des modifications chimiques ou physiques dommageables. Ces modifications représentent la contrainte qui peut être plastique ou élastique (Gravot, 2008).

Selon Hopkins (2003) On distingue deux grandes catégories de stress:

- ✓ **Biotique:** imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores).
- ✓ **Abiotique:** provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité.

#### II.2. Définition de Stress salin

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, (Hopkins, 2003). Il 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).



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

### **II.2.1. Stress osmotique**

Le stress osmotique est dû à l'excès du sel dans l'environnement et qui réduisent le potentiel osmotique de la solution du sol et donc réduisent l'absorption d'eau par les racines de la plante (Achour et *al.*, 2015)

### **II.2.2. Le stress ionique**

Des concentrations excessives du sel dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Ces ions peuvent être absorbés soit par les racines soit par contact direct avec les feuilles. Les symptômes de toxicités typiques sont des brûlures de feuilles, le dessèchement et la mort des tissus sur les bords externes des feuilles. On peut noter également que la présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (Maillard, 2001).

### **II.2.3. Stress oxydatif**

Le stress salin cause un déficit hydrique comme conséquence à l'effet osmotique. Ce déficit hydrique provoque un stress oxydatif à cause de la formation des espèces réactives de l'oxygène comme les super-oxydes, les radicaux hydroxyles et le peroxyde. Les espèces réactives de l'oxygène qui sont le produit des stress hyper osmotique et ionique causent des dysfonctionnements dans la membrane et la mort de la cellule (Parida et Das, 2005).

## **III. Effets de stress salin sur les plantes**

Globalement, les plantes ont besoin d'une certaine quantité d'ions sous forme des sels pour leur croissance et leur développement mais les concentrations optimales au niveau racinaire sont relativement basses pour la plupart des plantes cultivées (Wang et Nil, 2000).

En effet, selon le degré de stress dans le milieu, les plantes sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique et par voie de conséquence touche les rendements agricoles (Achour et *al.*, 2015). La chute de rendement ne dépend pas uniquement de la quantité des sels présente dans la solution du sol mais aussi du degré de tolérance des plantes mises en culture (Chartzoulakis et Kiapaki, 2000).

Selon Banu Doganlar et *al.*, (2010) les végétaux sont classées en, les glycophytes et halophytes selon leurs capacités à survivre dans des conditions salines. Le développement des glycophytes est négativement affecté par le sel tandis que les halophytes tolèrent des concentrations élevées en sel. 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 énergétiques sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (Parida et Dad, 2005 ; Zhao et *al.*, 2007).

### III.1. Effet 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 présence de sel (Ndour et Danthu, 2000). Les sels agissent sur la germination des graines en réduisant leur faculté et/ou leur énergie germinative (Daroui et *al.*, 2012).

Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces (Boulghalgh et *al.*, 2006 ; Benata et *al.*, 2006). Les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (Lachiheb et *al.*, 2004).

L'effet dépressif de sel 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).

### III.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure (Bouaouina et *al.*, 2000). Son effet se traduit notamment, par une réduction de la croissance (Kadri, 2009). Il est extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Calu, 2006). Selon Chartzoulakis et Kiapaki (2000), ajoutent que le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines.

### III.3. Effet de la salinité sur l'eau dans la plante

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 adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol. Ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique est insuffisant, l'eau a tendance à quitter les

cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence. (Hasegawa et *al.*, 2000).

### VI. Mécanismes de résistance à la salinité

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin (Piri et *al.*, 1994). Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin, qui diffèrent selon la catégorie de la plante (Berthomieu et *al.*, 2003). Chez les plantes sensibles au NaCl, le Na<sup>+</sup> s'accumule dans les racines, puis exclu des feuilles, ces plantes sont dites « exclusive ». A l'inverse, les plantes tolérant le NaCl, sont dites « inclusive » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na<sup>+</sup> que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (Haouala et *al.*, 2007).

### IV. Stratèges d'adaptation

#### IV.1. Ajustement osmotique (osmo-régulation)

Parmi les stratèges d'adaptation, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la tolérance des végétaux à la contrainte saline (Munns, 2002). En effet, les plantes sont capable de supporte le déficit hydrique engendré par le stress salin, en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur (Radhouane, 2013).

L'ajustement osmotique se rapporte spécifiquement à une augmentation nette de la concentration de soluté provoqué par des processus métabolique déclenchés par le stress. Ceci entraine une diminution du potentiel hydrique, permettant ainsi de maintenir le mouvement d'eau vers les feuilles et par conséquent leur turgescence (Hopkins, 2003).

Les solutés qui participent à l'ajustement osmotique comprennent une série de composés organique et des ions inorganiques, principalement le K<sup>+</sup>. Ces composés sont dits osmoprotecteurs ou soluté compatibles, ce sont principalement des acides aminés tels que la proline, des ammoniums quaternaires comme la glycine bétaine et les sucres (Hasegwa et *al.*, 2000).

#### IV.2. L'accumulation des solutés organiques

##### IV.2.1. Accumulation de proline

La proline étant un soluté compatible important, elle joue un rôle crucial dans l'osmorégulation et l'osmotolérance (Hasegawa et *al.*, 2000). Dans les conditions de stress salin, la cellule entraine une accumulation élevée de la proline et pourrait donc constituer une approche efficace pour atténuer les effets néfastes de la dessiccation. En plus de son 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 (Ashraf et Foolad, 2007; Hoque et *al.*, 2007). L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de

l'environnement (Denden et *al.*, 2005). Il serait synthétisé à partir de l'acide glutamique, ou via l'arginine et l'ornithine (Lignowski et Splittstoesser, 1971).

### **IV.2.2. Accumulation de sucres solubles**

L'accumulation des sucres solubles non structuraux et des cyclitols (chiro- et myo-inositol) en réponse à la contrainte saline suggère aussi leur implication dans l'ajustement osmotique ou l'osmoprotection.

Les teneurs en saccharose et en amidon des racines et des feuilles semblent être des indicatrices du degré de résistance des espèces à la salinité. La teneur des racines en saccharose augmente en relation inverse avec la résistance au sel : l'espèce la plus sensible est celle qui présente la plus forte accumulation racinaire de saccharose. Il est possible que ces modifications dans les teneurs en sucres, induites par le sel, constituent un test commode de prédiction de la résistance au sel des espèces.

Il a été démontré que la synthèse des sucres est stimulée par un stress salin chez les procaryotes. Les nombreux cas où sont décelées des accumulations des sucres ou de leur dérivés alcools (mannitol, sorbitol, pinitol, cyclitol ...) s'accompagnent d'une augmentation de proline et ou glycine-bétaine (Levigneron et *al.*, 1995).

## Généralité sur la tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum* L) est originaire de région andine du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud. Elle est domestiquée au Mexique (Blanca et al., 2015).

Ce sont les espagnols qui ont introduit la tomate en Europe au 16<sup>ème</sup> siècle (Bergougnoux, 2014), en 1753 Linné classe pour la première fois les tomates sous l'appellation (*Solanum lycopersicum* L). A cette époque, la tomate est utilisée comme plante ornementale et médicinale le fruit n'est alors pas consommé car considéré comme toxique parce que le fruit de tomate sauvage est très riche en alcaloïdes (Bauchet et al., 2014).

Au 17<sup>ème</sup> siècle les européens ont introduit la tomate à la Chine, au sud et l'Asie orientale, et dans le 18<sup>ème</sup> siècle au Japon et aux Etat-unies et aussi dans les zones méditerranéennes (Atherton, 2005), au même siècle la tomate entré dans la vocation alimentaire (Bauchet et al., 2014), Au cours du 19<sup>ème</sup> siècle elle s'est largement répandue dans le monde (Valimunzigha, 2006).

La tomate est une espace dicotylédone (Peron, 2006), herbacée annelle qui appartient a la famille des solanacées (Naika et al., 2005). C'est une plante allogame mais devenue autogame préférentielle dans ses aires de domestication (Peron, 2006). Cette dernière est rouge, parfois jaune ou orangée, de forme ronde ou plus ou moins allongée, lisse ou creusée de sillons (Snoussi, 2010).

### I. Classification botanique

La tomate est classée comme suivant :

**Tableau n°01** : Classification de la tomate (*Solanum lycopersicum* L).

Rang	Nom scientifique
Embranchement	<i>Phanérogames</i>
Sous/Embranchement	<i>Spermatophytes</i>
Ordre	<i>Polemoniales</i>
Famille	<i>Solanacées</i>
Genre	<i>Lycopersicum</i>
Espèce	<i>Lycopersicum esculentum</i>

(Dominique, 2009).

### II. Classification variétale

Les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères morphologiques et botaniques. Les variétés sont très nombreuses. A cet effet, ces dernières peuvent être classées selon leur croissance qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé (Polese, 2007).

### II.1. Les variétés à port indéterminé

Ces variétés continuent à pousser après la floraison (Naika *et al.*, 2005 ; Polese, 2007), qui nécessitent des interventions de taille pour limiter la croissance et provoquer de nouvelles floraisons et qui demandent souvent un tuteurage (Courchinoux, 2008). Parmi ce type de croissance, il existe:

#### II.1.1. Les variétés fixées

Il existe plus de 500 variétés dont les caractéristiques génotypiques et phénotypiques se transmettent pour les générations descendantes. Elles sont sensibles aux maladies, mais donnent des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007). Les variétés les plus utilisées en Algérie sont la Marmande et la Saint Pierre (Snoussi, 2010).

#### II.1.2. Les variétés hybrides

Elles sont relativement récentes puisqu'elles n'existent que depuis les années 1960, qui, du fait, de l'effet hétérosis, présentent la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêt (bonne précocité, bonne qualité de résistance aux maladies et aux attaques parasitaires et donc bon rendement). Ces hybrides ne peuvent être multipliés vu qu'ils perdent leurs caractéristiques dans les descendance (Polese, 2007).

Les plus utilisés en Algérie sont ACTANA, AGORA, BOND, NEDJMA, TAFNA, TAVIRA, TOUFAN, TYERNO et ZAHRA (Snoussi, 2010).

### II.2. Les variétés à port déterminé

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 et cultivées en plein champ (Polese, 2007). Les variétés à croissance déterminé dont le développement est de type buissonnant qui ne nécessitent ni taille ni bouturage (Courchinoux, 2008).

Pour ce type de croissance également, on retrouve des variétés fixées et des hybrides : Les hybrides suivants sont les plus utilisés en Algérie FAROUNA, JOKER, SUPER RED, TOMALAND, TOP 48, SUZANA et ZIGANA ZERALDA. Tandis que les variétés fixées ; nous pouvons citer la variété AICHA, qui est la plus cultivée en Algérie (Snoussi, 2010).

### III. Importance de la tomate

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine, elle est consommée soit crue, soit cuite, ou comme un produit transformé tels que jus de fruits, sauces, Ketchup et de conserves (Sharoni et Levi, 2006).

On mentionne que la tomate est un aliment diététique, très riche en eau (93 à 95%), en éléments minéraux et en oligo-éléments. Parmi quels, le potassium domine largement, suivi par le chlore, le phosphore et le magnésium. Les vitamines du groupe B sont assez abondantes

et toutes représentées y compris la vitamine B8 et l'acide folique (B9). Par contre, ce fruit ne renferme que de faibles quantités de glucides (3%), de protéines (moins de 1 %) et seulement des traces de lipides (Favier et *al.*, 2003).

### **III.1. La culture de la tomate dans le monde**

Selon El Hadji Djibo et Lei (2014). La tomate est une culture importante de l'économie mondiale. Elle représente l'un des légumes les plus consommés car elle fournit des nutriments essentiels dans l'alimentation humaine.

La production mondiale de tomates était passée de 105 millions de tonnes de fruits frais sur une superficie évaluée à 3,9 millions d'hectares (Naika *et al.*, 2005). Vers 124 millions de tonnes (Blancard et *al.*, 2009). Cependant, cette production est inégalement répartie. L'Asie occupe le premier rang avec 45 % de la production mondiale, l'Europe le 2<sup>ème</sup> rang avec 22 % suivie de l'Amérique 19 % et l'Afrique 12 %, Tandis qu'au niveau mondial le rendement moyen est d'environ 25 T/ha (Soro et *al.*, 2007).

### **III.2. La culture de la tomate en Algérie**

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha. Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autre pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) producteurs de tomate, ou les rendements varient entre 350 Qx/ha à 1500 Qx/ha (Snoussi, 2010).

**Tableau 02 :** Evolution de la tomate maraîchère en Algérie entre 2003 et 2012.

<b>Années</b>	<b>Superficies (Ha)</b>	<b>Productions (Qx)</b>	<b>Rendements (Qx/Ha)</b>
2003	18650	4569330	245.00
2004	19432	5121950	263.60
2005	21089	5137795	243.60
2006	20436	5489336	268.61
2007	20079	5673134	282.50
2008	19655	5592491	284.53
2009	20789	6410343	308.40
2010	21358	7182353	336.28
2011	20575	7716055	375.02
2012	21542	7969630	369.96

(MADR, 2013)

### VI. Effet de la salinité sur la tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum* L) est sensible à des niveaux modérés de sel dans le sol (Bacha et *al.*, 2015). L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit (Skiredj, 2006).

La salinité affecte tous les processus morpho-physiologique de la tomate, dont les principales modifications morphologique sont : une faible ramification, une diminution de la longueur de diamètre, du poids sec des tiges et des racines et physiologique sont : la teneur des feuilles en eau, proline et chlorophylle (Ould Mohamdi et *al.*, 2011).

#### VI.1. Effet da la salinité sur la germination

Chez la tomate, la période la plus sensible à la salinité est le stade de germination des graines (El Hadji Djibo et Lei, 2014). Selon Ould Mohamdi et *al.*, (2011) les sels présents dans les sols et dans les eaux d'irrigation, perturbent la germination des graines des glycophytes.

D' après (Khan et *al.*, 2009) le strass salin peut affecter la germination des graines de la tomate en deux façons :

- ✓ En diminuant la vitesse d'entrée et la quantité d'eau absorbée par les graines.
- ✓ En augmentant la pénétration d'ions de Na<sup>+</sup> qui peuvent s'accumuler dans les graines à des doses qui deviennent toxiques.

La germination des graines de la tomate est inhibée par de concentration de 150 mM de NaCl (Zapata et *al.*, 2004), et peut être retardée de 3 à 7 jours selon le degré de salinité du sol (Levigneron et *al.*, 1995).

#### VI.2. Effet de la salinité sur la partie racinaire de la plante de tomate

La salinité affecte négativement sur la croissance biomasse racinaire (Spooner et *al.*, 2006). L'exposition des plantes au stress salin débute habituellement avec l'exposition des racines à ce stress (Munnus et Testes, 2008). En conséquence, la salinité affecte fortement sur la croissance des racines (Sharp et *al.*, 2004). Ces changements dans le système racinaire vont causer un changement dans le bilan hydrique, ionique et la production des signaux qui communique des informations à la partie aéraient (Munnus et *al.*, 2006).

#### VI.3. Effet de la salinité sur la partie aérienne

La salinité un effet négative sur le développement de la plante notamment en réduisant la croissance de la partie aérienne chez les glycophytes comme la tomate (Zhang et *al.*, 2011).

##### VI.3.1. Effet de la salinité sur les feuilles

L'augmentation de Na<sup>+</sup> dans la solution a diminué la croissance des feuilles la salinité avait un impact plus négatif sur la production de la biomasse fraîche et sèche des feuilles des



plantes des tomates (Bacha, 2015). La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Parida et Das, 2005).

### I. Historique

L'acide salicylique est découvert en 1828 quand Johann Buchner a isolé avec succès une petite quantité de salicyline, le glucoside d'alcool salicylique, à partir de l'écorce de saule. Le nom d'acide salicylique vient du nom latin *Salix* et a été donné à cet ingrédient actif du saule par Raffaele Piria en 1838. La première production commerciale d'AS synthétique a débuté en 1874 en Allemagne. Son dérivé acétyle (acide acétylsalicylique) a été introduit sous le nom commercial d'aspirine par l'entreprise Bayer en 1898 et est rapidement devenu le médicament le plus vendu dans le monde (Raskin, 1992).

L'acide salicylique était utilisé par les indiens d'Amérique, depuis longtemps, pour traiter les migraines. Ils plaçaient pour cela des écorces de saule autour de leur tête (Hopkins, 2003).

Les fleuristes le savaient déjà, mais sans en connaître les bases (Raskin et *al.*, 1987). En effet, ajouter un comprimé d'aspirine à l'eau d'un vase contenant des fleurs permet de les conserver plus longtemps et en meilleur état, action attribuée à une inhibition de la biosynthèse de l'éthylène (Heller et *al.*, 1998).



**Figure 01** : La source de la salicine (*Salix alba*) (Hopkins, 2003).

### II. Définition

L'acide salicylique est naturellement synthétisé par certains végétaux (comme la Reine-des-prés ou le Saule blanc). On le retrouve notamment dans des fruits, sous forme estérifiée de salicylate de méthyle, il est considéré comme une phytohormone d'une nature phénolique impliquée dans la résistance systémique acquise (SAR) lors d'une réaction d'hypersensibilité et participe dans la régulation des processus physiologiques ou en réponse à divers stress (UV, ozone, blessures,...) (Sakhabutdinova et *al.*, 2003), il a été trouvé dans les

feuilles et organes reproducteurs de 34 espèces d'importance agronomique (Pancheva et *al.*, 1996).

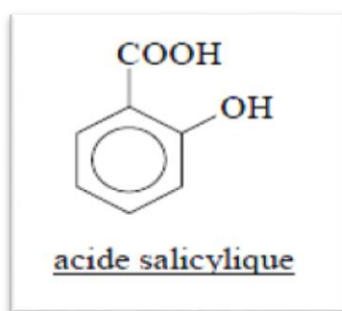
### III. Propriétés physico-chimiques

L'acide salicylique (acide o- hydroxybenzoïque (C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), mM =138,12 g/mol)

- ✓ Point de fusion 195°C.
- ✓ Point d'ébullition 211°C à 2666 Pa.
- ✓ pKa = 3,01.

Acide salicylique présent deux formules :( Vasyukova et Ozeretskovskaya, 2007)

- ✓ Formule brute : C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>.
- ✓ Formule semi-développée : HO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-COOH.



**Tableau 03** : Solubilité de l'acide salicylique dans les différents solvants (g.l<sup>-1</sup>).

Ether éthylique	Alcool	Eau à 20°C	Chloroforme	Benzène	Eau à 100°C
2,1	2,2	14,5	62	118	458

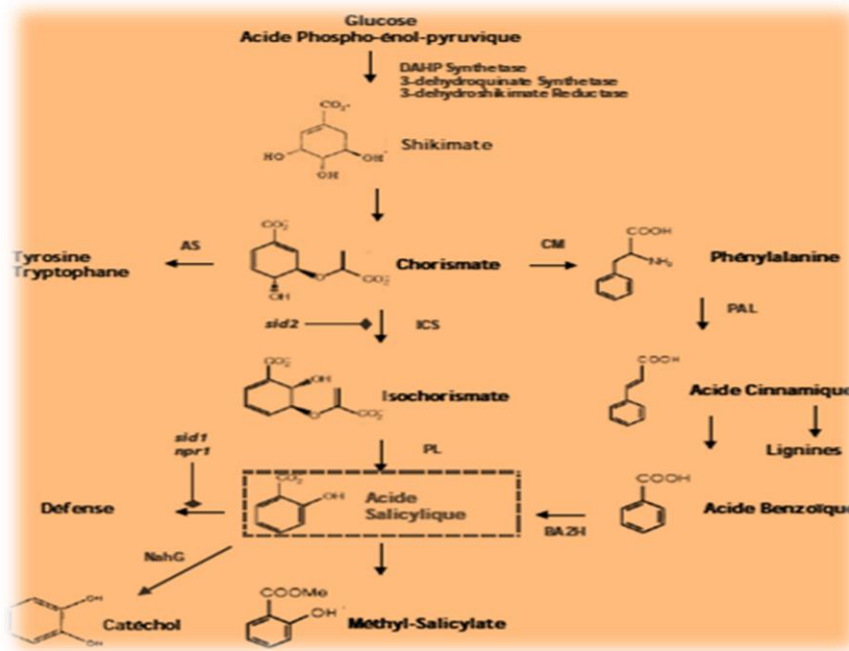
(Yalpani et *al.*, 1991)

### VI. Biosynthèse de l'acide salicylique

L'acide salicylique est un dérivé du métabolisme des phénylpropanoïdes, produit à partir de la phénylalanine (Catinot et *al.*, 2008). Cependant, il apparaît clairement que sa synthèse est majoritairement réalisée à partir de l'isochorismate. Deux voies de biosynthèse 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'acide 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, début avec 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.*, 1999).

Une voie alternative de synthèse existe chez les bactéries et dans les chloroplastes de plantes. Cette voie implique les enzymes isochorismate synthase (EC 5.4.99.6) et isochorismate pyruvate lyase qui catalysent les deux étapes de synthèse à partir de l'acide

chorismique (Vasyukova et Ozeretskovskaya, 2007). La première enzyme catalyse la conversion de chorismate à isochorismate, et la deuxième la conversion de ce dernier en AS.



**Figure 02** : Représentation simplifiée des voies de biosynthèse de l'acide salicylique (Wildermuth et *al.*, 2001).

## V. Rôle de l'acide salicylique

L'acide salicylique a été trouvé jouer un rôle clé dans la régulation de la croissance des plantes, développement, l'interaction avec d'autres organismes et dans les réponses aux divers stress environnementaux (Hayat et *al.*, 2007 ; Raskin, 1992). Il est considéré comme une molécule de signalisation importante impliquée dans la résistance à la maladie locale et endémique dans les plantes en réponse à diverses agressions pathogènes (Alveres, 2000).

## IV. L'acide salicylique et le stress salin

D'après Korkmaz et *al.*, (2007), la corrélation observée entre la concentration d'acide salicylique et la résistance des plantes laisse supposer à l'auteur que l'acide salicylique est une molécule de signalisation commune chez les plantes, et responsable d'inciter sa tolérance à certains nombre de stress biotique et abiotique.

L'application exogène de l'acide salicylique a un effet sur large gamme de processus physiologique en condition défavorable externe, il a été prouvé dans plusieurs recherche que l'acide salicylique participe à la régulation de plusieurs voie métaboliques et physiologiques, mais son mécanisme d'action n'est pas encore bien claire est toujours un sujet d'étude (Shakirova, 2007).

Il a aussi été montré que le NaCl à forte concentrations peut avoir un effet indirect sur le taux de l'acide salicylique en augmentant le taux de l'un de ses précurseurs qui est l'acide-o-hydroxy-cinnamic (OHCA) chez le maïs (Szepesi et *al.*, 2005).

Selon Hara et *al.*, (2012), l'application appropriée de l'acide salicylique peut fournir une protection contre plusieurs contraintes environnementales mais il peut causer un stress oxydatif, partiellement lors de l'accumulation du peroxyde d'hydrogène . 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 abiotiques.

### **IIV. Mode d'action d'acide salicylique**

Les modes d'activation et de régulation du l'acide salicylique dans des plantes infectées par des agents pathogènes sont en cours d'être établis. Il a été suggéré que l'activation des espèces réactives d'oxygène est impliquée dans le mode d'action d'acide salicylique. En effet, invariablement, la production des ROS dans un tissu endommagé accompagne la synthèse d'acide salicylique (Van Loon et *al.*, 2006). Une protéine se liant à l'AS a été caractérisée comme une catalase ; il pourrait inhiber spécifiquement l'activité catalase in vitro et induire une augmentation de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in vivo (Conrath et *al.*, 1995). L'accumulation de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mais aussi du AS pourrait donc activer l'expression de gènes de défense et la SAR (Vranova et *al.*, 2002).

### I. Généralité sur la culture hydroponique ou hors sol

#### I.1. Historique

La culture hors-sol ou l'hydroponie est née au XIX<sup>e</sup> siècle en Allemagne, elle est développée à partir de recherches sur la physiologie de la nutrition minérale pour les végétaux. L'utilisation de la culture hors sol marque une étape significative de progrès. La baisse de productivité et de qualité, due à un ensemble des problèmes agronomiques, physiologiques et pathologiques mal identifiés et regroupés sous le terme de « fatigue des sols », a été le premier moteur initiant l'utilisation de la culture hors sol (Brun, 2003).

#### I.2. Définition

D'après Guillet (2010), la culture hors-sol repose donc sur l'isolement des racines de leur support naturel et la satisfaction des besoins hydriques et minéraux de la plante à l'aide des solutions nutritives préparées à partir des sels. L'adaptation du sans sol, comme système de production est une donnée récente (trente ans) touchant pour l'essentiel les exploitations horticoles, maraîchères ou ornementales. Dans ce système, la plante est affranchie de son support naturel et alimentée par des dispositifs d'irrigation fertilisante.

Le terme (Hydroponie) vient du grec **hydros**=eau et **ponos** =travail, effort, ceci veut dire «travail dans l'eau» et aussi consiste à nourrir les racines des plantes qui se trouvent dans du substrat (laine de roche, sable, perlite, de verre, roche volcanique, tourbe, fibre de coco, billes d'argile, laine de roche), parfois d'origine manufacturé et industriel, parfois d'origine naturelle ou bien dans une solution nutritive. Elle permet à la plante d'avoir un meilleur accès à l'oxygène, à l'eau, ainsi qu'à la nourriture (Morard, 1995).

### II. Les exigences de culture hors-sol

Selon (Simon et Minatchy, 2009), la culture hors-sol exige souvent plus de soins d'entretien que les cultures traditionnelles en terre. Lorsqu'on utilise cette technique sous serre ou sous abri, il faut raisonner par rapport à tout un système et ne pas porter son attention sur un élément ou un paramètre isolé. La culture hydroponique exige une parfaite maîtrise de l'ensemble du système car en cas d'échec, davantage d'éléments peuvent dysfonctionner :

- ✓ Un éclairage adéquat (éclairage artificiel, minuterie, etc.)
- ✓ Un contrôle environnemental (température ambiante et des solutions, hygrométrie, enrichissement en CO<sub>2</sub> ...)
- ✓ Un système de culture et d'irrigation contrôlé et entretenu (contenants, Submersibles ou des pompes à eau ordinaire, régulation, désinfection, substrats appropriés...)
- ✓ Un contrôle des niveaux de concentration des éléments nutritifs par une CE mètre.
- ✓ Tuyaux en PVC peuvent être utilisés comme des canaux dans ces systèmes.
- ✓ Un contrôle du pH de l'eau et la solution nutritive par pH mètre.

### III. Les avantages de culture hors-sol

D'après Taxier (2015), la culture hors-sol a de nombreux avantages, parmi eux on cite les suivants :

- ✓ Un contrôle absolu de la nutrition des plantes.
- ✓ La conservation de l'eau.
- ✓ La totalité de l'engrais utilisé est absorbée par la plante.
- ✓ La réduction de l'utilisation de pesticides, grâce à une meilleure santé et une croissance plus rapide.
- ✓ L'inutilité d'un recours aux herbicides.
- ✓ La vigueur d'une plante dont la culture a été amorcée dans un système hydroponique.
- ✓ L'utilisation optimale du potentiel génétique de la plante.
- ✓ De meilleurs volumes, une meilleure qualité.
- ✓ L'accès aux racines.
- ✓ La production d'une grande quantité de biomasse.

Selon Fogliani (2016), cette technique culturelle présente certains inconvénients :

- ✓ Besoin d'une forte technicité.
- ✓ Maîtrise des déchets.
- ✓ Coût d'installation et d'entretien élevés.
- ✓ Contrôle journalier des solutions nutritives.
- ✓ Risques de pollution par les nitrates.
- ✓ Gestion des effluents.

### VI. Les composantes de culture hors-sol

L'ensemble de système de production qui permet aux plantes de se développer en faisant abstraction du sol en place, conduit sur un milieu isolé par un conteneur et mettant en œuvre un substrat varié :

#### VI.1. Le substrat

En agriculture on applique le terme de substrat à tout matériau, naturel ou artificiel qui permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support.

Selon Letard et *al.*, (1995), Un bon support de culture hors sol doit avoir les qualités suivantes :

- ✓ Facile à désinfecter et à mettre en œuvre et à recycler.
- ✓ Un faible cout.
- ✓ Une absence d'organismes pathogènes et de toute substance toxique. (chimiquement inerte).
- ✓ Avoir une stabilité et une durabilité convenable.

- ✓ Une capacité d'échange cationique aussi faible que possible.
- ✓ Une bonne porosité afin de permettre la circulation de l'air et de la solution nutritive.

## VI.2. Les différents substrats

Selon Fogliani (2016), Les substrats peuvent avoir plusieurs origines :

### VI.2.1. Origine minérale



Figure 04 : Représente les différents substrats d'origine minérale.

### VI.2.2. Origine organique

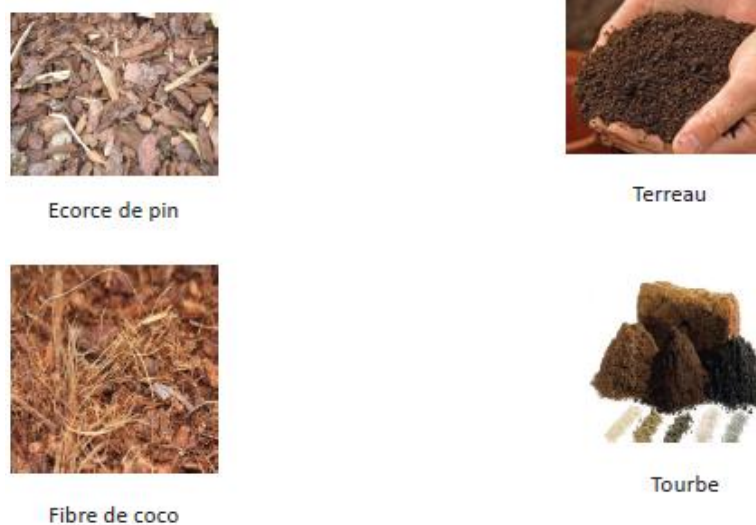


Figure 05 : Représente les différents substrats d'origine organique.

## VI.3. Les conteneurs

D'après Zuang (1982) et Benadel (2005), les récipients qui contiennent le substrat peuvent être choisis en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. En générale, les conteneurs sont en matière plastique, chimiquement inerte, étanches, durables et dont la mise en place doit être facile. On distingue plusieurs types de conteneurs tels que les bacs, les gouttières, les sacs et les enveloppes divers.



## **V. La solution nutritive**

La composition de la solution nutritive joue un rôle déterminant pour la réussite des cultures hors sol car elle doit assurer l'alimentation hydrominérale des plantes en fonction de leur besoins spécifique durant leur cycle de développement (Coïc, 1984).

Lesaint et Coïc (1983), ont ajoutaient que la solution nutritive étant en hydroponique la seule source d'alimentation en eau et ions minéraux de la plante, il est nécessaire que la composition de cette solution soit équilibrée. Il s'agit de l'équilibre entre les besoins en eau et les besoins en ions minéraux de la plante.

Les sels dissous que contient la solution nutritive sont choisis et quantifier de manière à apporter les différents éléments minéraux nutritifs dans des proportions conformes aux besoins de la plante cultivée (Coïc et Coppenet, 1989).

D'après Letard et Patricia (1995), les critères à prendre en compte pour apporter une solution nutritive en culture hors sol sont :

- ✓ Potentiel hydrogène (pH).
- ✓ La conductivité électrique exprimée en milisiemens par centimètre (ms /cm).
- ✓ Equilibre ionique.

### **V.1. Potentiel hydrogène (pH)**

Selon, Hade (2003). Le pH est une unité qui permet de mesurer dans une solution

Les plantes peuvent être réparties en trois catégories en fonction du pH du milieu dans lequel elles poussent :

- ✓ Les plantes acidophiles : le pH du sol est compris entre 4,0 et 6,5.
- ✓ Les plantes neutrophiles : le pH du sol est compris entre 6,5 et 7,5.
- ✓ Les plantes basophiles : le pH du sol est compris entre 7,5 et 9,0 (Dinon et Gerstmans ,2008).

Pour la majorité des espèces cultivées, l'optimum physiologique du pH se situe entre 5,5 et 6,5. De telle valeurs de pH favorisent l'activité racinaire et assurent une solubilisation des sels et évitent ainsi les risques de précipitation du phosphate et des oligo-éléments (Letard et *al.*, 1995).

Il existe différentes méthodes permettant de connaître le pH de l'eau :

- ✓ Le papier pH
- ✓ Les réactifs
- ✓ Les pH mètres

### **V.2. La conductivité électrique (CE)**

D'après Chaux et Foury (1994), la concentration saline de la solution nutritive détermine la pression osmotique au niveau des poils absorbants, pour que l'eau puisse pénétrer

dans les racines. Si la CE est trop forte, les racines se nécrosent et la plante flétrit. Par contre, si elle est faible la végétation risque de s'emballer.

On conduit l'irrigation fertilisante en adoptant une conductivité moyenne, propre à chaque espèce cultivée, et permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritifs au niveau des racines. (Vitre, 2003)

C'est donc la variation dans des limites raisonnable de la salinité qui régulera l'alimentation hydrique et minérale.

### V.3. Equilibre ionique

Pour l'alimentation hydrique et minérale les équilibres ioniques ne sont pas indifférents et pourront être modulés en fonction des stades de développement (Chaux et Foury, 1994).

Il existe, entre les éléments minéraux, des interactions qui font que l'action d'un élément est modifiée par la présence d'un autre (Heller et *al.*, 1998), il peut y avoir :

- ✓ **Synergie** : la pénétration d'un ion amplifiée par la présence d'un autre
- ✓ **Antagonisme**: au contraire la présence d'un ion inhibe l'absorption d'un autre (Heller et *al.*, 1998).

Les quantités de chacun des ions par rapport au totale des anions ou des cations sont exprimées en milliéquivalent par unité des volumes de solution (Le Quillec, 2002).

## IV. Différents systèmes de culture hors sol

Selon Vitre (2003), les systèmes de culture hors sol sont classés en trois groupes :

### IV.1. Culture aéroponique

Le système aéroponique essayé dans les années 80 ne semble pas utilisé en production.

Il consiste à pulvériser la solution nutritive en continu sur les racines suspendues dans une gouttière rigide obscure.

L'inconvénient majeur est la nécessité de pulvériser sous pression et de façon permanente la solution nutritive (coûts, entretien)

### IV.2. Culture hydroponique

Dans cette culture les racines baignent dans un liquide nutritif. On distingue deux autres types :

- ✓ Le NFT (Nutrient Film Technique) est un système de culture sur une solution circulante de Très faible épaisseur.
- ✓ L'aquaculture, dans laquelle les racines sont immergées dans une solution circulante.

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

Notre expérimentation s'intéresse de suivre le comportement morpho-physiologique des plantes de la tomate (*Solanum lycopersicum* L) dans un milieu salin dont le Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est utilisé avec une concentration de 10 et 20 mM. Dans un deuxième volet, nous avons corrigés ces solutions salines par l'addition d'une phytohormone « acide salicylique » qui est utilisé dans notre expérience sous deux doses 1 et 2 mM. Le contrôle utilisé durant notre expérimentation est la solution nutritive standard qui est riche en macro et micro-élément indispensable à la bonne croissance et le développement des plantes.

## **II. Matériel végétal utilise**

Durant notre expérimentation, nous avons choisi la variété Saint-Pierre de la tomate comme un matériel végétal et cela pour son cycle de vie qui est assez courte et surtout sa réaction très rapide aux changements de milieu ainsi sa sensibilité aux sels (Bacha et *al.*, 2015). L'expérience a été réalisée durant date le 24/11/2016 jusqu'à le 06/03/2017.

Cette variété est très cultivée en Algérie, elle possède les caractéristiques suivantes :

- ✓ Nature : variété fixée à croissance indéterminée
- ✓ Demi-hâtive.
- ✓ vigoureuse,
- ✓ 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.
- ✓ Résistance à la salinité : tolérance moyenne aux sels (3 à 4g /l)

## **III. Conditions expérimentales**

### **III.1. Lieu de l'expérimentation**

Notre expérimentation a été menée en hors sol dans des conditions semi contrôlés. Elle a été réalisée au niveau de la serre du laboratoire de recherche en Biotechnologies des Productions Végétales (LBPV) qui se situé au niveau du département de Biotechnologies de l'université de Blida 1

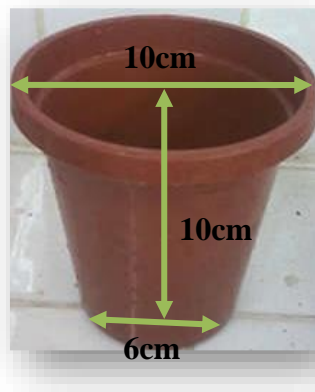
L'Aération est assurée par des fenêtres placée latéralement de part et de l'autre de la serre et de deux portes placées une au nord et l'autre au sud. En période froide, le chauffage est réalisé à l'aide de radiateurs à eau chaude.



**Figure 05** : Situation du site expérimental (Source Google Earth , 2017).

### III.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 06** : Aspect général de conteneur utilisé durant notre expérience (Source personnelle, 2017)

### III.3. Substrat utilisé

Le substrat utilisé dans notre essai est le gravier de diamètre 3 à 8 mm. C'est un milieu dépourvu de micro-organisme et il possède une bonne porosité ce qui assure une meilleure aération racinaires des plantes.

Pour éliminés tous les risques contamination, nous avons procédé à la désinfection du ce substrat de la manière suivante :

- ✓ Nettoyages des pots.
- ✓ Lavage de gravier 12° (Élimination des particules terreuses et des résidus organiques présents dans le gravier par un lavage abondant à l'eau courante.
- ✓ Nettoyage de la paillasse de culture.
- ✓ Remplissage des pots par le gravier lavé.
- ✓ Désinfection du gravier avec eau de javel diluée, durant 24heures.

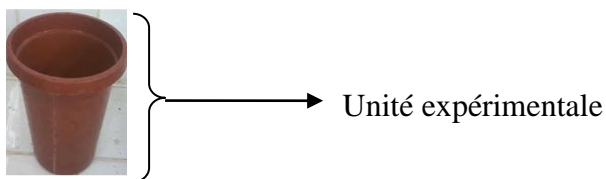
- ✓ Rinçage abondant de tous les pots à l'eau de robinet pour éliminés toutes les traces de l'eau de javel, fortement nocive pour les jeunes plantules de tomate.

## VI. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté pour notre essai est un plan a randomisation totale avec un seul facteur étudié qui est la solution d'irrigation. Cette dernière constituée de six traitements comparés a un témoin (Solution nutritive standard). Les objets utilisés ont été répétés 04 fois soit 28 unités expérimentales au totale.



**Figure 07** : Schéma de dispositif expérimental mené dans notre expérience.



**T0, T1, T2, T3, T4, T5, T6** : Traitements utilisées.

Les différents traitements utilisés :

**T0** : Solution nutritive standard (Témoin).

**T1** : Solution saline chargée en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dont sa concentration est de 10 mM.

**T2** : Solution saline chargée en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dont sa concentration est de 20 mM.

**T3** : **T1** +Acide salicylique à 1 mM.

**T4** : **T1** +Acide salicylique à 2 mM.

**T5** : **T2** +Acide salicylique à 1 mM.

**T6 : T2 +Acide salicylique à 2 mM.**

### **VI.1. Composition de la solution nutritive stender**

HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

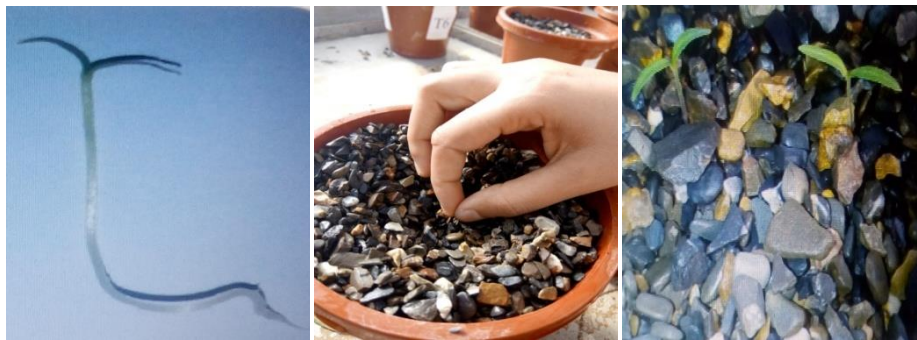
## **V. Essai de germination et de repiquage**

### **V.1. Pré-germination des graines**

Elle a été réalisée le 24/11/2016 dans des boîtes de Pétri contenant 50 graines. Les graines ont été mises sur papier absorbant imbibé au fur et à mesure en cas de besoin pour éviter le séchage des graines germées. Les boîtes ont été placées dans une étuve à une température de 25<sup>0</sup> C.

### **V.2. Repiquage des germes**

Après la germination, un repiquage des jeunes germes de la tomate en place définitive a été réalisé le 30/11/2016 à raison de deux germes par pot à une profondeur convenable (0,5 à 1cm). Une irrigation avec de l'eau de robinet tiède a été débutée le 30/11/2016 jusqu'à l'apparition des feuilles cotylédonaires.



**Figure 08:** Aspect général des jeunes plantules de tomate au moment et après le repiquage en pot (source personnelle, 2017).

En suite nous avons procédé à l'application de la solution nutritive standard (T0) pendant 30 jours (08/01/2017 jusqu'à 08/02/2017). Cette étape permis d'obtenir un matériel végétale vigoureux et homogène de départ. A partir le 09/02/2017 nous avons commencé l'application des différents traitements.





**Figure 09** : Aspect général des plantules de tomate dans leur place définitive (A) avant de débuter l'irrigation par la solution nutritives standard, (B) après l'application de la solution nutritive standard (source personnelle, 2017).

### V.3. Entretien de la culture

#### V.3.1. Irrigation

Puisque notre essai est mené en culture hydroponique, le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert qui permet l'évacuation de la solution d'irrigation en excès par les orifices de drainages existant à la base de chaque pots. Il est important dans cette culture de connaître les besoins journaliers en solution 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 d'irrigation.

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 04** : Doses et fréquences nécessaires pour la culture de la tomate

Date	Type d'irrigation	Dose d'irrigation	Fréquence
Du 30/11/2016 au 07/01/2017	Eau de robinet tiède	20ml	3 fois /jours
Du 08/01/2017 au 08/02/2017	Solution nutritive	20ml	
Du 09/02/2017 au 05/03/2017	Application des traitements	20ml	

### IV. Paramètres mesurés

#### IV.1. Paramètres biométriques

##### IV.1.1. Hauteur finale des plantes

Elle a été mesurée en cm à l'aide d'un mètre ruban, du collet jusqu'à l'apex, ce paramètre a été mesuré au moment de la coupe finale.

#### IV.1.2. Diamètre finale 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.

#### IV.1.3 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) in Abdi et Benrebha, 2016. Cette méthode consiste à peser 1cm<sup>2</sup> de la surface d'une feuille.

#### IV.1.4. 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 12). 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 10 :** Balance de précision utilisée pour réaliser les pesé (source personnelle, 2017).

#### IV.1.5. 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 :

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

#### IV.1.6. Taux de matière sèche

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



## IV.2. Paramètres physiologiques

### IV.2.1. Teneur relative en eau (TRE)

Faire une coupe de 1cm<sup>2</sup> au niveau des feuilles médianes dans chaque plante puis immédiatement les pesées pour déterminer son poids frais (PF). Ces échantillons est placées dans un tube à essai contenant de l'eau distillée puis maintenu à l'obscurité pendant 24 heures.

Les feuilles sont récupérées et essuyées (dessécher) délicatement avec un papier buvard et sont à nouveau pesés pour déterminer le poids en plaine turgescence (PT).

Les échantillons sont ensuite mis dans une étuve pendant 24h à 80°C pour obtenir le poids sec (PS).

La teneur relative en eau (TRE) est calculée selon la formule :

$$\text{TRE}(\%) = (\text{PF}-\text{PS}) / (\text{PT}-\text{PS}) \times 100$$

### IV.2.2. Extraction et dosage de chlorophylle

Les teneurs en chlorophylle (a) est déterminées selon la méthode utilisée par Shabala et *al.*, (1998). Il consiste a pesé 0,1 g de la feuille médiane de chaque trainements puis trempée dans un tube a essai contenant 10 ml d'acétone 95 %. Ces derniers sont traités à l'obscurité dans a 4°C pendant 48 heures.

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.

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

$$\text{Chl a} = 9,78 \text{ DO}_{663} - 0,99 \text{ DO}_{645}.$$

### IV.2.3. 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. Cette méthode consiste à :

- ✓ Mettre 0,1 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. Après refroidissement :
- ✓ 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 à la longueur d'onde de 528 nm.

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

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO (528)} \times 0.62.$$

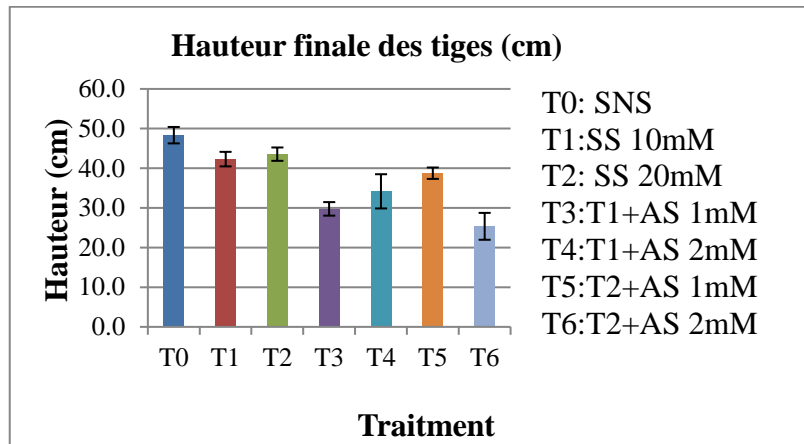
#### **IIV. Analyse statistique**

Nous avons effectuées l'analyse de la variance par le logiciel Excel Stade de Microsoft Office (Version 2007), suite à l'Utilitaire d'analyse offrir par ce logiciel. Leur principe consiste à la comparaison entre les moyens obtenus à un risque d'erreur de 5%. Les résultats sont motionnées sous forme d'histogramme.

## I. Paramètres biométriques

### I.1. Hauteur finale des tiges (cm)

Les données relatives de ce paramètre sont présentées sous forme d'histogramme dans la figure 13. Les résultats d'analyse de la variance (Annexe 01) révèle une différence très hautement significative ( $P=0,000$ ) de facteur étudié sur la hauteur finale des plantes de tomate.



**Figure 11 :** Hauteur finale des tiges (cm).

Nous constatons que l'irrigation avec la solution nutritive standard (T0) révèle la hauteur la plus importante (48,33cm). Ceci est expliqué par la richesse de cette solution en macro et micro-éléments indispensables pour une bonne croissance en longueur.

En effet, la présence de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la solution d'irrigation avec des concentrations de 10 et 20 mM a exercé une dépression significative de 12,47 et 9,89% respectivement par rapport au témoin. D'une façon générale, les travaux Ben Ahmed et *al.*, (2008), de Bouchoukh, (2010) ont montré que la salinité est un facteur défavorable pour la croissance et le développement des plantes. Taware et *al.*, (2009) ont ajouté que ce phénomène a causé une réduction significative de la hauteur de la culture de tomate. Reginato et *al.*, (2014) ont précisé que *Prosopis strombulifera* cultivées en présence de 38 et 50 mM  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ont montré une réduction immédiate de la hauteur des plantes.

En outre, la combinaison de la salinité-acide salicylique n'a aucun effet significatif sur le paramètre étudié par rapport aux traitements salins que le témoin. Il est à noter que la combinaison 10mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  avec 2 mM d'acide salicylique (T4) a révélé une légère augmentation de la hauteur par rapport à la même concentration en sel et 1mM d'acide salicylique (T3). Elle est de l'ordre de 14,89%.

### I.2. Diamètre finale des tiges (mm)

Les résultats relatifs de ce paramètre sont illustrés dans la figure 14. Les résultats d'analyse de la variance (Annexe 02) qui indique une différence très hautement significative ( $P=0.000$ ) de facteur étudié sur le diamètre finale des tiges des plantes.

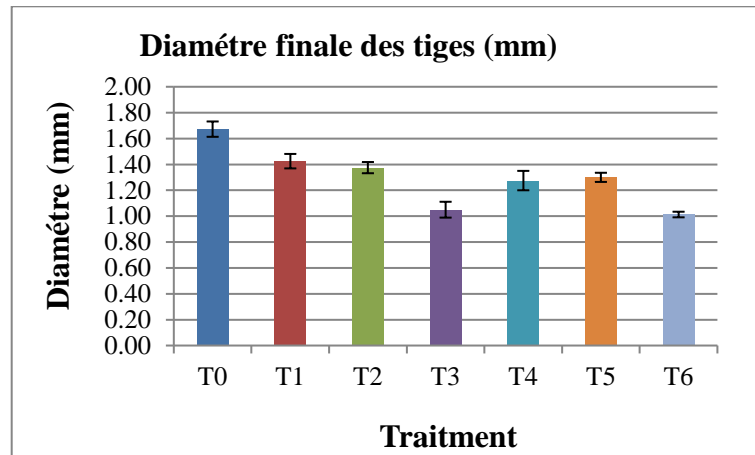


Figure 12 : Diamètre finale des tiges (mm).

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 (1,67mm).

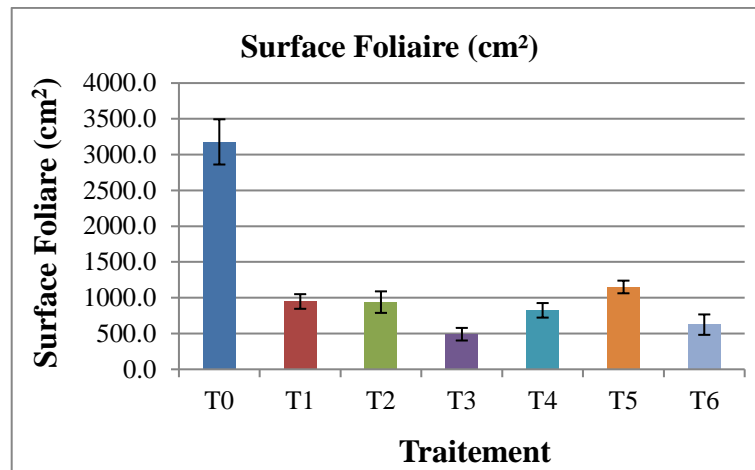
L'irrigation par des solutions composées de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  à des concentrations croissantes 10 et 20 mM montre une réduction significativement du diamètre. Les pourcentages de réduction correspondent à 14,38 et 17,37% respectivement par rapport au contrôle (T0). Ces résultats confirmée les travaux de Yokas et *al.*, (2008) ont montraient que l'accumulation de 30mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la plante réduire en conséquence la croissance. Les diamètres des tiges des différentes espèces diminuent d'une façon important avec l'augmentation de la concentration de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Razzaghi et *al.*, 2012). Zouaoui et Snoussi (2013) ont ajoutaient que la salinité est un facteur qui limite la croissance des plantes.

L'addition de l'acide salicylique au traitement salin permis de pousser l'élongation des plantules de tomate en longueur et largeur. Cette élongation reste non significative par rapport au témoin que pour les trainements salin sans correction par l'acide salicylique. Il est a noter que la combinaison 2 mM d'acide salicylique avec 10 mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  permis d'exercer une légère stimulation de l'ordre de 20,95% chez le T4 par rapport au T3.

### I.3. Surface foliaire ( $\text{cm}^2$ )

Les résultats relatifs de la surface foliaire sont illustrés dans la figure 15. L'étude statistique de la variation de ce paramètre montre qu'il y a une augmentation significative ( $P=0,000$ ) de la surface foliaire (Annexe 03). Nous avons remarqué que les plantes irriguée par la

solution nutritive standard a enregistré les surfaces des feuilles les plus importantes avec des valeurs qui atteindrent 3177,83cm<sup>2</sup>.



**Figure 13 :** La surface foliaire (cm<sup>2</sup>).

La présence de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans la solution d’irrigation avec des concentrations de 10 et 20 mM permis de réduire significativement la surface foliaire avec des pertes de 70,17 et 70,45% pour T1 et T2 respectivement par rapport au témoin. Ces résultats sont confirmés par les travaux de Wasti et *al.*, (2012), ou ils ont trouvé que l’effet négatif du sel sur l’expansion foliaire qui a été signalé dans plusieurs travaux par une réduction du nombre de feuilles et de la surface foliaire.

L’association de salinité- acide salicylique n’a aucun effet significatif sur le paramètre étudié. Pour cela, nous avons remarqué que la combinaison de 1mM d’acide salicylique avec 10 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> n’exerce aucune amélioration de la surface foliaire. Par contre, la combinaison 1 mM de cette phytohormone avec 20 mM de sel testé permis d’améliorer légèrement ce paramètre avec une augmentation de 22,57% par rapport au T2.

#### **I.4. Biomasse fraîche des feuilles (g)**

La figure 16 représente les résultats de l’effet de la salinité et de l’acide salicylique sur la biomasse fraîche des feuilles des plantes de tomate, avec l’analyse de la variance (Annexe 04) marque une différence très hautement significative (P=0,000) de facteur étudié.

Nous remarquons que les plantes irriguées avec la solution nutritive standard (T0) enregistrent les biomasses fraîches des feuilles les plus importants avec (42,41g). 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.

Le stress salin est à l’origine provoque une diminution significative de la biomasse fraîche des feuilles. Pour cela, les taux de réductions sont de l’ordre de 66,43 et 65,13% en présence 10 et 20mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> respectivement par rapport T0. Ces résultats sont en accord

avec les travaux de Hajer et *al.*, (2006) et Dadkhah et Grrifiths, (2006) que la salinité entraine une réduction des poids frais des feuilles. Aussi Rahman et *al.*, (2008) et Benmahioul et *al.*, (2008), qui ont montré que la présence de sel affecte négativement sur la production de la biomasse fraîche des planes.

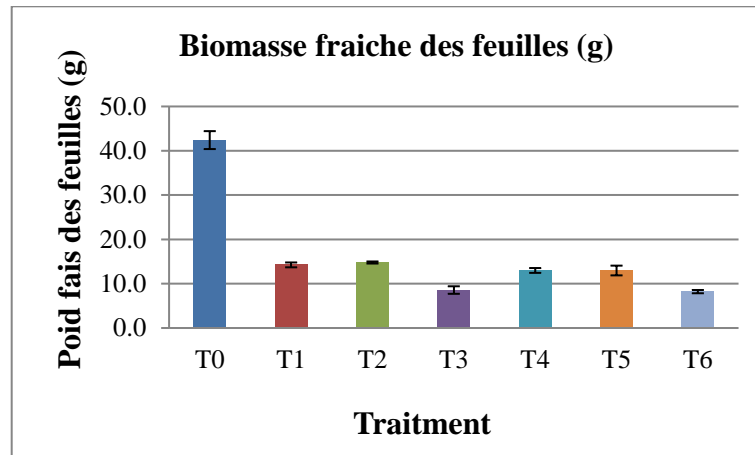


Figure 14 : Biomasse fraîche des feuilles (g).

L'interaction entre les deux facteurs  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et acide salicylique agit efficacement sur la biomasse fraîche des feuilles. Nous avons enregistré un effet léger pour la combine a une concentration de 2mM d'acide salicylique associe avec 10mM de sel a une hausse de 51,57% pour T4 comparé au T3. En plus la dose de 20mM de solution saline assemble avec 1mM de cette phytohormone que représente le traitement T5 exprime une élévation de 58,09% par rapport au T6.

#### I.5. Biomasse fraîche des tiges (g)

L'analyse de la variance des traitements étudiés (Annexe 05) montre qu'il y une déférence très hautement significatif ( $P=0,000$ ) et d'après la figure 17.

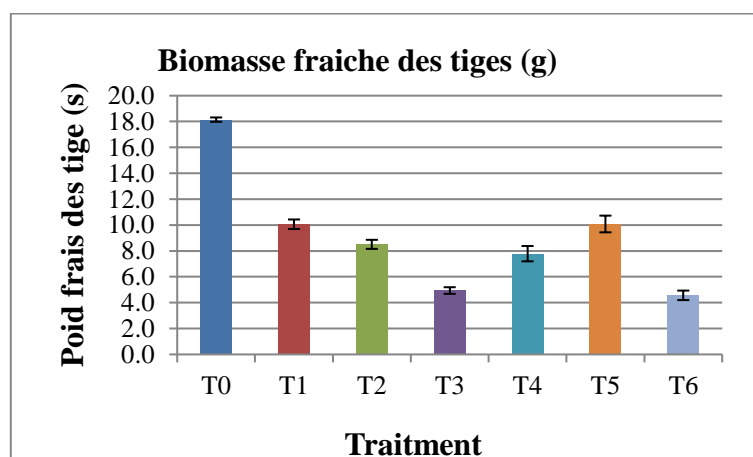


Figure 15 : Biomasse fraîche des tiges (g).

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 plus important qui atteindre (18,15g).

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 des solutions à des contenants de 10 et 20mM énonce une diminution significative dans la biomasse fraîche des tiges valeur de 10,06 et 8,51g respectivement. Ceci correspond à des chutes de 44,58 et 53,12% respectivement. Ces résultats confirment le travail de Zhu, (2001) montré que La croissance de la partie aérienne du végétal est réduite au face à un stress abiotique et Hela (2008), qui confirment que la salinité se manifeste par la réduction de la taille des plantes. Li et *al.*, (2015) indiqué que le stress saline diminue la croissance des plantes de tomates. L'application de 6 et 18 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur l'orge Masmoudi et *al.*, (2014) et sur la tomate Yokas et *al.*, (2008) en conséquence réduire la croissance de la partie aérienne.

La combinaison salinité-acide salicylique permis de changer le comportement morphologique des plantules de tomate dans un milieu salin avec une amélioration dans la biomasse fraîche des tiges pour la dose 1 mM d'acide salicylique combine avec 20 mM de sal (T5) permis d'exprime un taux d'élévation atteindre 18.44% par rapport au (T2). En plus nous avons enregistre un effet légère pour la combine 2 mM de phytohormone couplé avec 10 mM le Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (T4) a une hausse de 57.62% par rapport au (T3). Ces résultat sont en accord avec Senaratna et *al.*, (2002) ont indiqué que l'acide salicylique incite la tolérance aux stress biotique et abiotique. Plusieurs auteurs ont reportés que cette phytohormone est impliqué dans la régulation des paramètres de croissance (Singh et *al.*, 2010 ; Hayat et *al.*, 2010).

### I.6. Biomasse fraîche des racines (g)

Les résultats obtenus pour le poids frais des racines sont illustré dans la figure 18. L'analyse de la variance du traitement étudié (Annexe 06) fait apparaître une différence très hautement significative (P=0,000) pour le facteur étudié.

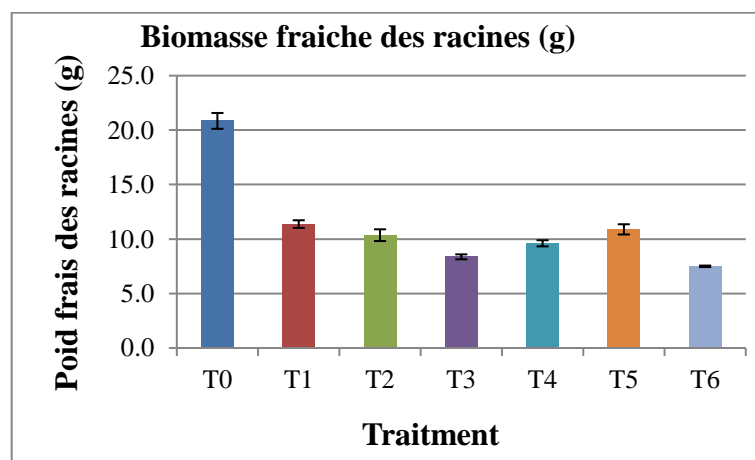


Figure 16 : Biomasse fraîche des racines (g).

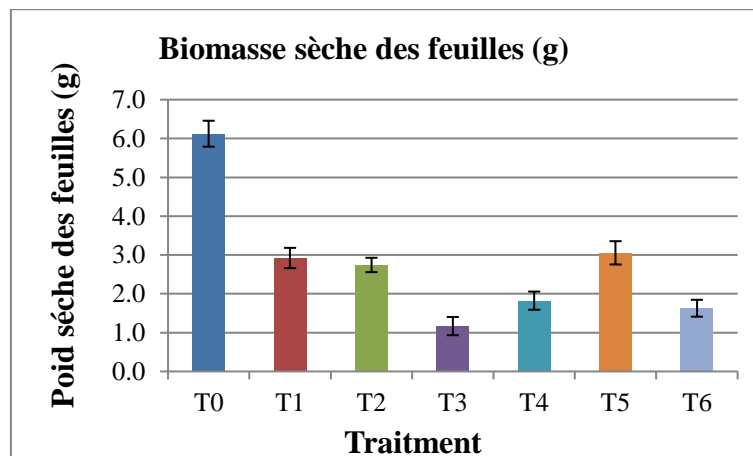
Nous observons que les plantes irriguées par la solution nutritive standard (T0) enregistrent les biomasses fraîches des racines les plus élevés avec (20,85g).

Nous remarquons que le stress salin exerce la biomasse fraîche des racines avec une diminution significatif sur ce paramètre avec des taux de chute 45,42 et 50,32% pour les concentrations 10 et 20 mM respectivement. Ces résultats confirment par Tuteja, (2007) les plantes perçoit alors la présence de forte concentration en sulfate de sodium dans le sol et diminue la croissance des racines. Le système racinaire est le plus sensible à la salinité que la partie aérienne (Radhouane, 2008). Tahir et *al.*, (2010) ont montré une réduction de la masse fraîche des racines et des tiges de sorgho dans le milieu saline, Chaparzadeh et *al.*, (2014) qui ont trouvés que le poids frais des racines du radis diminue avec augmentation de la salinité. Masmoudi et *al.*, (2014) utilise 12 et 18g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans la solution d'irrigation applique sur l'orge montre a diminue la matière fraîche des racines de l'orge avec l'augmentation da la concentration de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

L'interaction acide salicylique-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> agit efficacement sur la biomasse fraîche des racines, se manifeste par une augmentation significative pour la concentration 1 mM d'acide salicylique avec 20 mM de sel (T5) qui rejointre 5.11% par rapport au (T2).Il est a remarque un effet légère de ce phytohormone a compagnie avec la solution saline pour la dose 2 mM plus 10 mM (T4) avec élévation de 14,81% comparé au (T3).

### I.7. Biomasse sèche de feuilles (g)

Les résultats relatifs de ce paramètre sont présentés dans la figure 19. D'après les résultats d'analyse de la variance (Annexe 07) révèle une différence significative (P= 0.000) de facteur étudié sur la biomasse sèche des feuilles.



**Figure 17 :** Biomasse sèche des feuilles (g).

L'irrigation des plantules de tomate avec de la solution nutritive standard a révélée la biomasse sèche des feuilles la plus importante (6,12g). Celle-ci est expliquée par la richesse de cette solution en macros et micro-éléments. Ainsi, la présence d'un potentiel hydrique (pH)



favorable facilitant l'absorption de ces derniers par les plantes de tomate dans ce milieu nutritif.

L'irrigation avec les deux solutions salines permis d'enregistrer des réductions de 52,29 et 55,23% par rapport au témoin en présence de 10 et 20 mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> respectivement. Ces résultats sont assimilable aux des travaux de Reich et *al.*, (2015) ou ils ont indiquaient que l'irrigation de la culture de chou chinois avec des concentrations supérieur a 20 mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a réduire la production de biomasse, l'absorption et l'assimilation du sulfate.

En revanche, la présence de l'acide salicylique dans les solutions salines améliore le poids sec des feuilles. Dans ces conditions nous avons observe une augmentation significative pour le traitement T5 qui représente la concentration 1mM d'acide salicylique combine avec 20mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cette élévation égale 11,31% par rapport au T2. En plus nous remarquons que la solution de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a concentration 10 mM couplé avec 2 mM de phytohormone (T4) enregistre une hausse de l'ordre 55,55% par rapport au T3. Plusieurs études ont montré que les effets de la cytotoxicité induite par le stress salin peuvent être améliorés par l'application exogène de l'acide salicylique sur des semis de blé à la salinité et le déficit de l'eau de la tomate et des plantes de l'haricot à basse et haute température (Simaei et *al.*, 2012).

### I.8. Biomasse sèche des tiges (g)

Les résultats relatifs de ce paramètre sont présentés dans la figure 20. D'après l'analyse de la variance (Annexe 08) qui révèle une différence très hautement significative de facteur étudié (P=0.000).

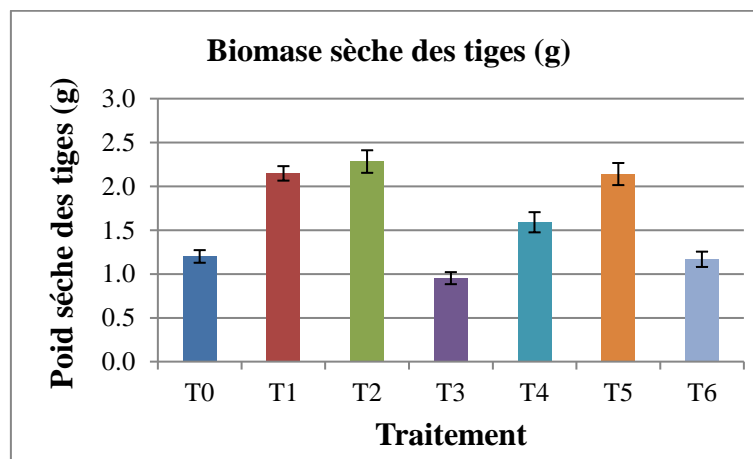


Figure 18 : Biomasse sèche des tiges (g).

Nous remarquons que les plantes irriguées par la solution nutritive standard (T0) révèlent les poids sec des tiges la plus faible (1,20 g), ces résultats indiquent ces plantes sont bien alimentées en eau ce que fait après dessèchement, leurs poids sec devient faible.

En revanche, les solutions salines ont enregistré des biomasses sèches des tiges plus fortes. Les taux d'augmentation des poids sec des tiges par rapport au témoin est de l'ordre

79,16% et 90% (T1 et T2) respectivement. Ces résultats sont confirmées par d’Ahmed el sayed, (2011) qui semble que  $\text{Na}^+$  en combinaison avec  $\text{SO}_4^{2-}$  soit plus toxique qu’avec  $\text{Cl}^-$ .

Nous avons constatés que l’addition de l’acide salicylique avec la solution salin permis de améliorer le pois sec des tiges. Nous remarquons que la dose 1mM de phytohormone associe avec 20mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  permis d’exercer une forte stimulation de l’ordre de 78,33 % par rapport au témoin. Il est a noter qu’une légère réduction été enregistrée chez la combinaison 2mM d’acide salicylique avec 20mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (2,50%).

### I.9. Biomasse sèche des racines (g)

Les résultats relatifs au poids sec des racines sont représentés dans la figure 21. L’analyse de la variance (Annexe 09) révèle une différence très hautement significative ( $P=0.000$ ) entre les différents traitements testés sur la biomasse sèche du système racinaire.

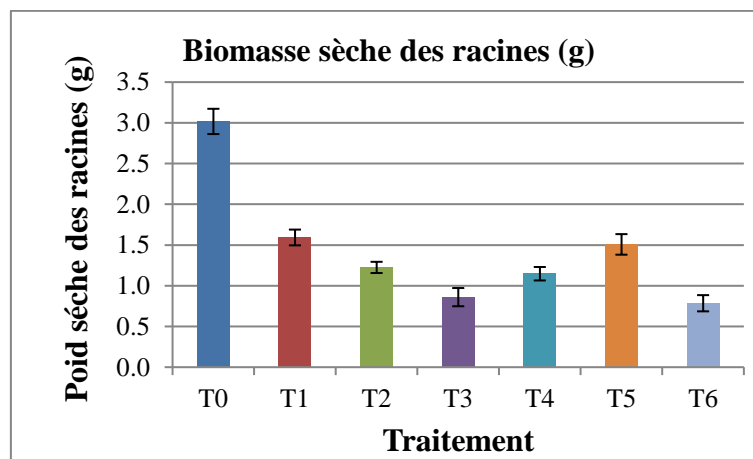


Figure 19 : Biomasse sèche des racines (g).

Les résultats montrent qu’il y a une augmentation significative du poids sec des racines de tomate selon la composition de milieu d’irrigation de l’ordre de 3,02g pour les plantes irriguée par la solution nutritive standard. Il est 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 radiculaire et notamment à l’osmolarité de la solution nutritive standard la plus faibles.

Nous constatons que la présence de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la solution d’irrigation avec des concentrations croissantes 10 et 20 mM permis de réduire significativement la biomasse sèche des racines avec des pertes de 47,35 et 59,27% pour le T1 et T2 respectivement. En accord avec des études antérieures (Zribi et al., 2009 ; Nakaune et al., 2012 ; chinsamy et al., 2013), les symptômes communs du stress salin sur la croissance de la tomate, y compris la sénescence, le développement accéléré et l’inhibition de la croissance. En général, le stress salin entraîne des changements dans la croissance, la morphologie et la physiologie des

racines, qui affectent à leurs tour l'absorption de l'eau et des ions, ainsi que la signalisation et la perception des hormones , en particulier lors tournage.

La présence de l'acide salicylique en combinaison avec  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a un effet important, il permet d'améliore ce paramètre. La combinaison 20 mM de ce sel combine avec 1mM d'acide salicylique manifeste une élévation significative avec une hausse de 23,77 % par rapport au T2. De plus nous marquons un effet léger pour la dose 2 mM d'acide salicylique avec 10 mM  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (T4) révèlent une élévation de 33,72 % par rapport au T3. Selon Mansoor et *al.*, (2015) l'application exogène de l'acide salicylique a amélioré la croissance des plantes stressées par le stress salin. L'acide salicylique agit comme un régulateur de croissance et augmente la longueur de la racine pour minimiser l'effet du stress.

### I.10. Matière sèche des feuilles (%)

Les résultats relatifs de ce paramètre sont présentés dans la figure 22. D'après les résultats d'analyse de la variance (Annexe10) révèle une différence significative ( $P=0.000$ ) de facteur étudié.

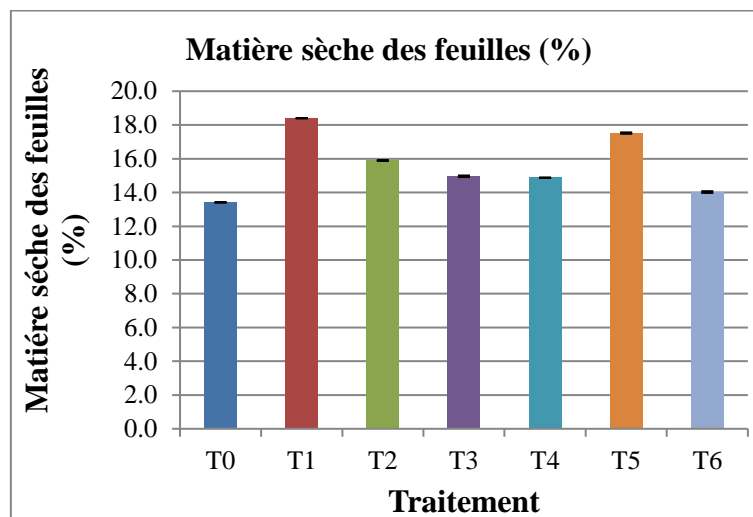


Figure 20 : Matière sèche des feuilles (%).

Nous remarquons que les plantes irriguées par la solution nutritive standard (T0) révèlent de matière sèche des feuilles la plus faible de 13,41%.

La présence de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la solution d'irrigation avec des concentrations croissantes 10 et 20 mM a exercée une augmentation significative de 37,21 et 18,56% respectivement par rapport au témoin. Ces résultats sont confirmées par les travaux de (Kosova et *al.*,2013) qui montrent que le stress salin induit une sénescence précoce des feuilles due à des modifications des relations hormonales et à l'émergence d'un stress oxydatif induit par les composantes osmotiques et ioniques du stress salin.

En revanche, l'addition de l'acide salicylique dans les solutions salines permis de modifier le comportement morphologie des plantules de tomate. Une application de 1mM

combiné avec 20mM de sel a augmentée la matière sèche des feuilles de l'ordre 10,18% par rapport au T2. Une augmentation significative de l'ordre de 30,64% lorsque la combinaison était de 1mM d'acide salicylique et 20mM de sel par rapport au témoin. Ces résultats confirme les travaux de Nazar et *al.*, (2011) ont ajoutaient que l'acide salicylique protège la croissance des plantes et induit le système de défense antioxydant sous l'effort de sel. C'est un composé phénolique de la plante, considéré comme une hormone régulateur endogène dont le rôle est d'établir la tolérance de sel de la plante.

### I.1.1. Matière sèche des tiges (%)

Les résultats relatifs de ce paramètre sont présentés dans la figure 23. D'après les résultats d'analyse de la variance (Annexe11) qui révèle une différence significative ( $P=0.000$ ) de facteur étudié sur la matière sèche des tiges.

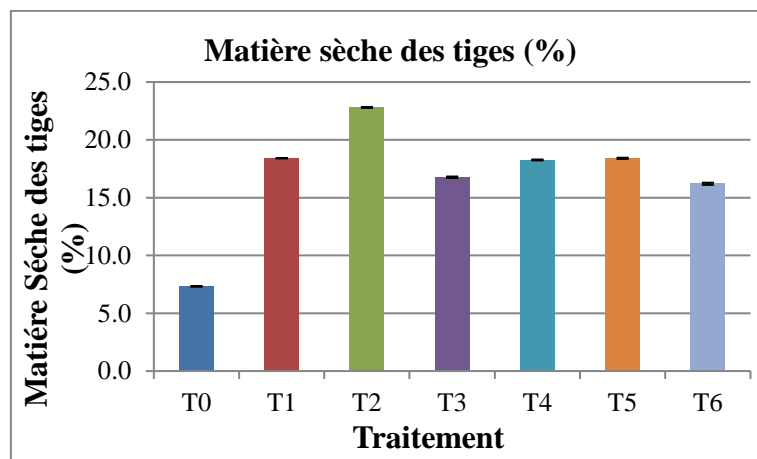


Figure 21 : Matière sèche des tiges (%).

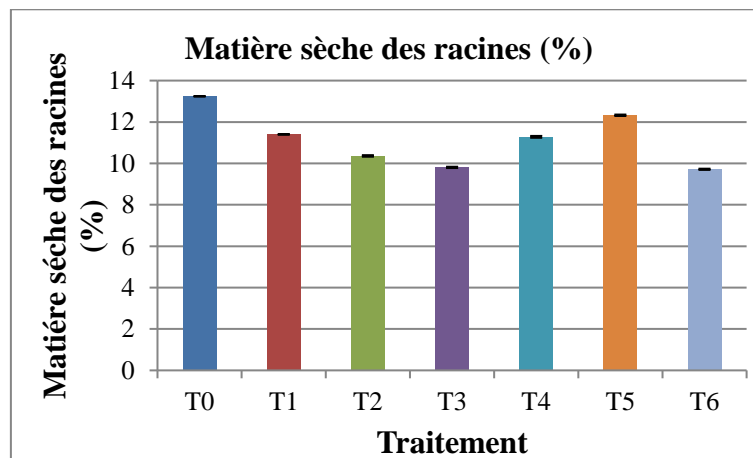
Nous remarquons que les plantes irriguées par la solution nutritive standard (T0) révèlent de matière sèche des tiges de 7,33%.

La présence de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la solution d'irrigation avec des concentrations croissantes (10 et 20 mM) exerce un effet significatif sur ce paramètre avec un taux d'élévation de 151,15 et 211,05% (T1 et T2) par rapport au témoin respectivement. Selon (Rahmoune et *al.*, 2004) les résultats de la composition chimique montrent que les teneurs obtenues de la matière sèche, de matière minérale, matière organique, cellulose brutes et de l'azote total sont variable en fonction des organes (feuilles, tiges) et en fonction de la nature et l'intensité du stress salin.

La combinaison salinité-acide salicylique améliore le comportement morphologique des plantes de tomate en présence de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Nous avons enregistré que la concentration 10mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  avec 2 mM d'acide salicylique (T4) a révélée une légère élévation de la matière sèche des tiges par rapport a la même dose en sel et 1mM d'acide salicylique (T3). Elle est de l'ordre de 8,88%.

### I.12. Matière sèche des racines (%)

Les résultats relatifs au poids sec des racines sont représentés dans la figure 24. L'analyse de la variance (annexe12) révèle une différence très hautement significative ( $P=0.000$ ) entre les différents traitements testés sur la matière sèche des racines.



**Figure 22 :** Matière sèche des racines (%).

Nous observons que les plantes irriguées par la solution nutritive standard (T0) révèlent des matières sèches des racines la plus importante de 13,24%.

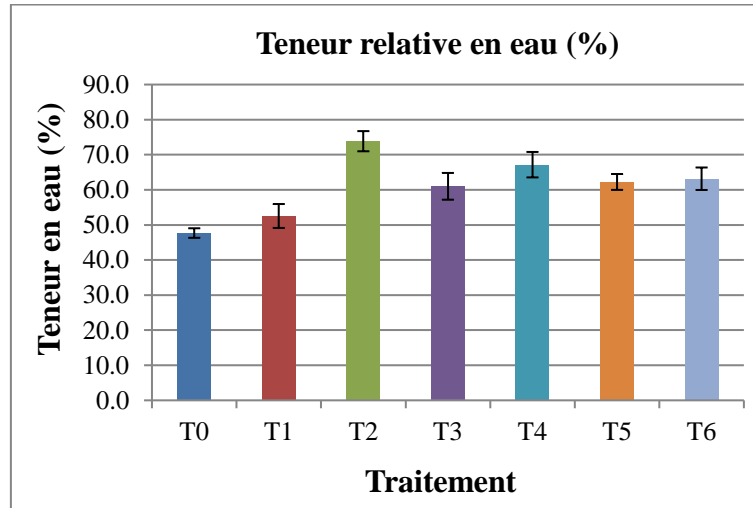
L'irrigation avec des solutions composées de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  des concentrations croissantes 10 et 20 mM atteignent des diminutions de 55,52 et 40,51% respectivement. Celle-ci est expliquée par les travaux de Hamrouni et *al.*, 2011, où ils ont indiqué que l'inhibition par le sel concerne la production de la matière sèche des racines et des parties aériennes.

La combinaison de la salinité-Acide salicylique enregistré des changements sur le comportement morphologique des plantes de tomate en présence de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Ceci exprime que l'acide salicylique améliore la matière sèche des racines dans les conditions saline. Celui-ci traduit par une augmentation significative pour la dose 20 mM de sel combine avec 1 mM d'acide salicylique (T5) comparé par 20 mM de sel (T2) cette élévation de l'ordre 8.07%. En plus nous avons marqué un effet léger pour la concentration 2 mM combine avec 10 mM a une hausse de 15,10% de T4 par rapport au T3. Nos résultats sont en accord avec le travail de (Khodary, 2004 ; Gunes et *al.*, 2007) qui ont montré que l'AS améliore la croissance des plantes en milieu salé, en stimulant la croissance du système racinaire et en favorisant celle des organes aériens. Lee et *al.*, (2010) ont noté que le prétraitement de diverses espèces de plantes avec de faibles concentrations d'AS, améliore la tolérance envers la plupart des types de stress abiotiques en raison de l'amélioration de la capacité d'antioxydante. Ces observations correspondent aux résultats notés chez *Atriplex halimus* L.

## II. Paramètres physiologiques

### II.1. Teneurs relative en eau (%)

Les résultats relatifs de ce paramètre sont présentés dans la figure 25. D'après les résultats d'analyse de la variance (Annexe13) qui révèle une différence très hautement significative ( $P=0.00$ ) de facteur étudié.



**Figure 23 :** Teneur relative en eau (%).

Nous remarquons que les plantes irriguées par la solution nutritive standard (T0) révèlent des teneuses relatives en eau de 47.68%. Celle-ci est expliquée par l'amélioration de l'efficacité de l'eau consommée et la nutrition en micro éléments des feuilles (Fe, Mn, Cu, Zn).

En revanche, La présence de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la solution d'irrigation avec des concentrations croissantes 10 et 20 mM permis de augmenté significativement la teneur relative en eau avec des hausse de 10,21 et 54,90% (T1 et T2) respectivement par rapport au témoin. Ces résultats sont confirmées par les travaux de (Djahra et al., 2015) qui montrent que la teneur relative des feuilles en eau est le meilleur paramètre indiquant l'état hydrique de la plante. Elle augmente légèrement chez les plantes stressées sous l'effet de la salinité. En effet, le stress salin, induit des changements au niveau du statut hydrique de la plante, réduit le contenu relatif en eau des feuilles, diminue la transpiration et l'absorption hydrique par les racines. Ce fait a été établi chez des plantes de résistance différentes comme *Zygophyllum album* et *Atriplex verrucifera* (Bissati et al., 2011).

L'association de salinité-acide salicylique permis de change le comportement physiologie des plantes. Il est à marquer que la combine 1 et 2 mM de sel avec 10mM d'acide salicylique T3 et T4 induit une augmentation significative de l'ordre 16,07 et 27,82% respectivement par rapport au T1. Ces résultat sont prouvées par les travaux de (Shahba et al., 2014) ou ils ont indiquaient que l'acide salicylique joue un rôle dans les réponses adaptative des plantes

au stress osmotique et il intervient dans le mécanisme de défense tel un régulateur contre les contraintes abiotique.

### II.2. La teneur des feuilles en chlorophylle a (mg/ml)

Les résultats de la figure 26 indique une variation de la teneur en chlorophylle a entre les traitements, et l'analyse de la variance au niveaux de (Annexe 14) montre qu'il y a une différence très hautement significative (P=0,000) de facture étudiée.

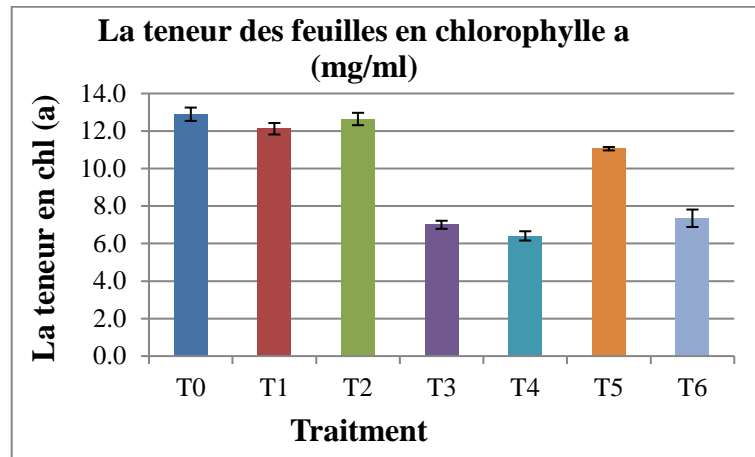


Figure 24 : La teneur des feuilles en chlorophylle a (mg/ml).

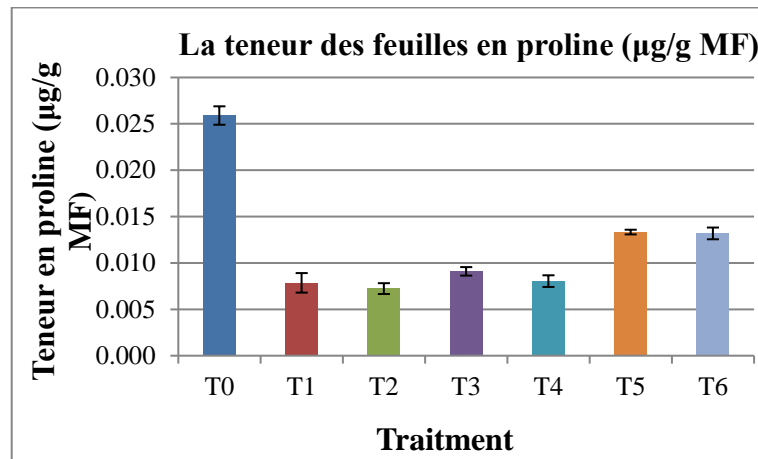
Nous remarquons que leur comportement physiologique des plantules de tomate est modifié. Les plantules arrosées par la solution nutritive standard (T0) synthétisent la quantité de chlorophylle à la plus importante (12,89mg/ml).

Par contre, la présence de 10 et 20 mM du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la solution d'irrigation des plantules de la tomate, ce qui traduit par une réduction significative de la teneur des feuilles en chlorophylle a avec une réduction de 5,98 et 1,94 %. Ces résultats confirment sur trois variétés de tomate cultivée dans trois régions différentes et irriguées par l'eau salée. La teneur en chlorophylle a est diminuée sous l'influence d'un stress salin Bouchouk, 2010 et Cengiz *et al.*, (2009). L'accumulation de la chlorophylle est sensible à la concentration en sel du milieu de culture (Sebane, 2015).

En revanche, nous avons remarqué que la concentration 1 mM de l'acide salicylique avec 20 mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  manifeste par une élévation de 50,47% par rapport à une dose de 2mM d'acide salicylique avec la même dose de sel. De plus l'interaction de 10mM avec 1mM solution saline acide salicylique (T3) enregistre une hausse de 9,20% par rapport à T4.

### II.3. Teneur des feuilles en proline ( $\mu\text{g/g MF}$ )

La teneur des feuilles en proline représente dans la figure 27, avec l'analyse de la variance (Annexe 15) montre qu'il y a une différence très hautement significative (P=0,000) entre les moyennes de la teneur en proline d'un traitement à l'autre.



**Figure 25 :** La teneur des feuilles en proline (µg/g MF).

L'irrigation avec la solution nutritive standard (T0) permis de enregistrer la teneur la plus important en proline dans les feuilles des plantules de tomate. Elle atteindre (0,026µg/g MF).

Nous avons remarqués une diminution significative de la teneur des feuilles en proline pour la dose à 10 et 20 mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> avec une chute de 69,24 et 73,08%. Ces résultats ressemblable les travaux qui montré que les plantes sous stress salin accumulent un certain nombre de métabolite, qualifiées de solutés compatibles. Parmi ces solutés, proline est largement répandu 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 ; Teixeira et Fidalgo, 2009 ; Syed et *al.*, 2011),

En revanche, la combinaison salinité- acide salicylique permis de stimuler la teneur des feuilles en proline. Ceci traduit par une augmentation significative da la teneur en proline pour la dose 1mM d'acide salicylique avec 10mM de sel exprime par une élévation 12,5% pour (T3) par rapport au (T1), et une hausse 85,71% pour la concentration 20mM de sel combine avec 1 et 2mM de phytohormone (T5 et T6) comparé au T2. Ces résultats sont similaire 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.



## Conclusion

Le travail réalisé au cours de cette expérimentation a pour but de déterminer d'une part, l'effet de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  testé sous deux doses (10 et 20mM) sur le comportement morpho-physiologiques du plante juvénile de tomate *Solanum lycopersicum* L. et d'autre part, l'effet de la combinaison de l'acide salicylique a 1 et 2mM avec les mêmes doses en sel testé. Pour cela, nous avons relevé à cet effet :

- ✓ Une diminution de la hauteur et diamètre des tiges dans toutes les plantes stressées par les sels  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  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 avec une 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 à un effet bénéfique sur le plan de l'économie en eau mais accélèrent la sénescence et inhibe la photosynthèse.
- ✓ Une production faible de la biomasse fraîche et sèche des organes de l'appareil végétatif aérienne et souterraine. Les réductions dans la biomasse de *Solanum lycopersicum* L. sous les conditions de salinité étaient indicatives des limitations de la croissance.
- ✓ Une augmentation de la teneur relative en eau pour les différentes doses de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

En revanche, l'addition de l'acide salicylique améliore les paramètres morphologie comme biomasse fraîche des tiges et racines, biomasse sèche des feuilles et racines, matière sèche des feuilles et racines et la surface foliaire par rapport aux plantes traitées seulement par le  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , ce qui indique que l'acide salicylique agit comme la molécule de signal endogène responsable, d'inciter la tolérance aux stress abiotique aux plantes et son application exogène augmente la croissance des plantes.

Concernant les variations notées sur les paramètres physiologiques, à savoir les teneurs en chlorophylles qui sont enregistrés une diminution. Les résultats relatifs à la teneur en proline indiquent que les plantes alimentées par les deux concentrations de sel accumulent moins de ces osmolytes par rapport au témoin qui présente les concentrations en osmolytes les plus élevés.

L'acide salicylique semble jouer un rôle important dans l'accumulation de la teneur en proline par rapport aux plantes soumises au stress salin.

D'après les résultats enregistrés à travers cet essai, il est souhaitable d'approfondir ces recherches à travers d'autres essais similaires ou complémentaires en utilisant d'autres types

de sels avec une variation des concentrations afin de mieux comprendre l'agressivité de ces sels sur les plantes cultivées. Les nouvelles informations permettraient de situer le niveau de tolérance et/ou de résistance de ces espèces aux stress.

## Listes des Annexes

**Analyse de variance** : a un facteur

**Annexe 01** : Hauteur finale des tiges (cm)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	1589,10	6	264,85	30,53	0,000	2,57
Var. Résiduelle	182,15	21	8,67			
Var. Total	1771,26	27				

**Annexe 02** : Diamètres des tiges (mm)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	1,22	6	0,20	54,56	0,000	2,57
Var. Résiduelle	0,07	21	0,003			
Var. Total	1,30	27				

**Annexe 03** : La surface Foliaire (cm<sup>2</sup>)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	20052696,7	6	3342116,11	97,92	0,000	2,57
Var. Résiduelle	716719,31	21	34129,49			
Var. Total	20769416	27				

**Annexe 04** : Biomasse fraîche des feuilles (g)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	3341,29	6	556,88	430,08	0,000	2,57
Var. Résiduelle	27,191	21	1,294			
Var. Total	3368,48	27				

**Annexe 05** : Biomasse fraîche des tiges (g)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	494,68	6	82,44	344,917	0,000	2,57
Var. Résiduelle	5,019	21	0,23			
Var. Total	499,70	27				

**Annexe 06** : Biomasse fraîche des racines (g)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	472,45	6	78,74	318,69	0,000	2,57
Var. Résiduelle	5,18	21	0,24			
Var. Total	477,64	27				

**Annexe 07:** La biomasse sèche des feuilles (g)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	69,64	6	11,60	76,20	0.000	2,57
Var. Résiduelle	3,19	21	0,15			
Var. Total	72,84	27				

**Annexe 08 :** La biomasse sèche des tiges (g)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	6,93	6	1,15	89,09	0,000	2,57
Var. Résiduelle	0,27	21	0,01			
Var. Total	7,21	27				

**Annexe 09 :** La biomasse sèche des racines (g)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	13,65	6	2,27	143,27	0,000	2,57
Var. Résiduelle	0,33	21	0,01			
Var. Total	13,98	27				

**Annexe 10 :** La matière sèche des feuilles (%)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	79,15	6	13,19	9578,01	0,000	2,57
Var. Résiduelle	0,02	21	0,001			
Var. Total	79,18	27				

**Annexe 11 :** La matière sèche des tiges (%)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	533,50	6	88,91	26161,15	0,000	2,57
Var. Résiduelle	0,07	21	0,003			
Var. Total	533,57	27				

**Annexe 12 :** La matière sèche des racines (%)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	41,25	6	6,87	5165,97	0,000	2,57
Var. Résiduelle	0,02	21	0,001			
Var. Total	41,28	27				

**Annexe 13 :** la teneur relative en eau (%)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	1833,70	6	305,61	24,77	0.000	2,57
Var. Résiduelle	259,01	21	12,33			
Var. Total	2092,72	27				

**Annexe 14 : Teneur des feuilles en chlorophylle (a) (mg/ml)**

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	149,56	6	24,92	176,08	0,000	2,84
Var. Résiduelle	1,98	14	0,14			
Var. Total	151,54	20				

**Annexe 15 : Teneur des feuilles en proline ( $\mu\text{g/g}$  MF)**

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Prob	C.V
Var. Factorielle	0,0007	6	0,0001	172,83	0,00	2,84
Var. Résiduelle	0,000	14	0,000			
Var. Total	0,0007	20				

## Références bibliographiques

- Abdi A. et Benrebha N., 2016-** Action combine de la salinite et l'acide salicylique sur le comportement de la plante juvenile de tomate (*Solanum lycopersicum* L) culture en hors sol. Mémoire de Master II, université de Blida1, 145p.
- Achour A., Bidai Y. et Belkhodja M., 2015-** L'impact de la salinité sur le comportement hydrique et métabolique d'une variété de Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.). International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN, Vol, 12 N°: 943-953.
- Ahmed el Sayed H.E., 2011-** Influence of salinity (NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) treatments on growth development of broad bean (*Vicia faba* L) plant. Am. Eur J. Agric. Environ. Sci. 10(4): 600-610.
- Almeida P., Boer G. and Boer A.H., 2014-** Differences in shoot Na<sup>+</sup> accumulation between two tomato species are due to differences in ion affinity of HKT 1:2 J. Plant Physiol, 171: 483-447.
- Alveres A.L., 2000-** Salicylic acid in machinery of hypersensitive cell death and disease resistance. Plant Mol-Biol. 44, pp. 429-442.
- Ashraf M. and Foolad M.R., 2007-** Roles of glycine bêtaïne and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.
- Atherton J., 2005-** *Tomatoes* .Ed. Ep Heuvelink Wageningen University, The Netherlands .USA, 29p.
- Bacha H., Mansouri E., Guamii F., Triki Rikii T. et Ferchichil E.T.A., 2015-** Proline, glycine bêtaïne et composition minérale des plantes de *Solanum lycopersicum* L. (var. *Microtom*) sous stress salin. Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 22(3): 1007-1013.
- Banu Doganlar Z., Demir K., Basak H. and Gul I., 2010-** Effects of salt stress on pigment and total soluble protein contents of three tomato cultivars. Afr. J. Agri. Res, 05 (15): 2056-2065.
- Bastam N, Baninasab B. and Ghobadi C., 2013-** Improving salt tolerance by exogenous application of salicylic acid in seedlings of pistachio. Plant Growth Regulation April. Volum 69, Issue 3: 275-284.
- Bauchet G., Munos S., Sauvage C., Bonnet J., Grivet L. and Causse M., 2014-** Genes involved in floral meristem in tomato exhibit drastically reduced genetic diversity and signature of selection. *BMC Plant Biology* 14:279-280.
- Benadel A., 2005-** Importance de fertiactyl et les fréquences de lessivage dans un milieu salé sur la production du haricot vert variété Contender. Thèse Ing Agro Blida. 85p.

**Ben Ahmed H., Arafet M. et Zid E., 2008-** Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court: la sétaire (*Setaria verticillata* L.). *C.R. Biologies*, 331: 164-170.

**Benata H., Berrichi A.B., Reda Tazi M., Abdelmoumen H. et Misbah El Idrissi M., 2006-** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses : *Acacia tortilis* var. *raddiana*, *Leucaena leucocephala* et *Prosopis juliflora*. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole Settat. Recueil des résumés, pp. 25-103.

**Benhamou N. et Rey P., 2012-** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. I. Principes de la résistance induite. *Phytoprotection*. Vol 92, numéro 1, pp. 1-23.

**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.

**Bergougnoux V., 2014-** The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances* 32: 170–189.

**Berthomieu P., Conejero G., Nublat A., Brachenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Essah P.A., Tester M., Very A.A., Sentenac H. and Casse F., 2003-** Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *EMBO Journal*, Vol. 22: 2004- 2014.

**Bissati S., Djerroudi O., Mehani M. et Belkhodja M., 2011-** Effet du stress salin sur deux paramètres hydriques (Turgescence et transpiration) des jeunes plantes d'*Atriplex halimus* et *Atriplex canescens*. *Revue des BioRessources* 1(1) : 31-38.

**Blanca J., Montero-Pau J., Sauvage C., Bauchet G., Illa E., Díez M.J., Francis D., Causse M., van der Knaap E. and Cañizares J., 2015-** Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics* 16:257-266.

**Blancard D., Laterrot H., Marchoux G et Candresse T., 2009-** *Les maladies de la tomate*. ED. Quae, Paris, 679 p.

**Bouaouina, S., Zid, E. et Hajji, M., 2000-** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) .CIHEAM – Options Méditerranéennes, pp. 239-245.

**Bouchoukh I., 2010-** Comportement écophysiological de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin, pp. 16-35.

**Boulghalagh, J., Berrichi, A., El Halouani, 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, p. 24

**Boumendjel M., Houhamdi, M., Samar, M., Sabeg, H., Boutebba, A. et Soltane, M., 2012-** Effet des traitements thermiques d'appertisation sur la qualité biochimique, nutritionnelle et technologique du simple, double et triple concentré de tomate. *Sciences & Technologie C*, (36) : 51-59.

**Brun R. et Mary L., 2003-** *La rose sous serre pour la fleur coupée*. Ed. INRA. Paris, 7 p.

**Calu G., 2006-** Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. Recherche biotechnologie : du gène à la molécule SpectroSciences, article, pp. 23-10.

**Catinot J., Buchala A., Abou-Mansour E. and Metraux J.P., 2008-** Salicylic acid production in response to biotic and abiotic stress depends on isochorismate in *Nicotiana benthamiana*. *FEBS Lett*, 582: 473-478.

**Cengiz K., Muhammed A., Osman S., Salih A., Atilla L.T. and Mehmet Ali C., 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.

**Chaparzadeh N, Aftabi Y, Dolati M, Mehrnejad F and Pessarakli M., 2014-** Salinity tolerance ranking of various wheat landraces from the west of the Urmia saline lake in Iran by using physiological parameters. *Journal of Plant Nutrition* 37: 1025-1039.

**Chartzoulakis K. and Kiapaki G., 2000-** Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86: 247-260.

**Chaux C. et Foury C., 1994-** *Production Légumière*. Tom 3, Ed. Technique Et Documentation. Lavoisier, Paris, 235p.

**Cherbuy B., 2001-** *Les sols sales et leur réhabilitation étude bibliographique*. Cemagraf, école, Nat.Ed. Renne, 170 p.

**Chinsamy M., Kulkarni M.G. and Van Staden J., 2013-** Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regul* 71: 41–47.

**Clériveret A., Alami I., Breton F., Garcia D. and Sanier C., 1996-** Phenolic compounds and plant resistance to pathogenic microorganisms." *Acta Bot. Gd*, 143(6): 53 1-538.

**Coïc Y., 1984-** *La Culture Sans Sol*, Ed. Science Et Vie N° 146, Paris, 75 p.

**Coïc Y. et Coppenet M., 1989-** Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Ed. INRA. Paris, pp. 73-74.



- Conrath U., Chen Z., Ricigliano J.R. and Klessig D.F., 1995-** Two inducers of plant defense responses, 2,6-dichloroisonicotinic acid and salicylic acid, inhibit catalase activity in tobacco. *Proc.Natl. Acad. Sci. USA.* 92(16): 7143–47.
- Courchinoux J.P., 2008-** La culture de la tomate, fiche technique tomate, 8p.
- Dadkhah A.R. and Grrifiths H., 2006-** The effect of salinity on growth, inorganic ions and dry matter partitioning in sugar beet cultivars. *J. Agri. Sci. Technol*, 8(3): 199-210.
- Daroui E.L.A ., Boukroute A., Kouddane N.D. et Berrichi A., 2012-** Effet de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du *Washingtonia filifera* L. *Nature & Technologie* ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques, n° 08 : 32-38.
- Dempsey D.M.A., Shah J. and Klessig D.F., 1999-** Salicylic acid and disease resistance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci*, 18:547-75.
- Denden M., Bettaieb T., Salhi A. and Mathlouthi M., 2005-** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, *Tropicultura*, Vol. 23, No. 4: 220-225.
- Djahra A.B., Benmakhlouf Z., Benkherara S., Benkaddour M. et Bordjiba O., 2015-** Effet du stress salin sur la teneur en eau et certains osmolytes chez le blé dur *Triticum durum* var kebir pulvérisé par une phytohormone synthétisée : BENZYL-AMINO-PURINE (BAP). ISSN 2170-1318 .vol 5, n° 2: 71-81.
- Dinon E. et Gerstmans A., 2008-** L'influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liège, printemps des sciences, France, pp. 1-4.
- Dominique B., Laterrot H., Marchaux G. et Gondresse I., 2009-** *Les maladies de la tomate* : identifier, connaître, maîtriser. Edition Quae, 690p.
- Dreier W. et Goring M., 1974-** Der einfluss hoher salzkonzentrationen auf verschiedene physiologische parameter von maizweizen. *Win .Z. derH.U. Berlin Nath. Naurrwiss R* ,23: 641-644.
- EL Hadji Djibo H. et Lei J., 2014-** Effet de l'irradiation gamma des semences de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) sur la résistance au NaCl et l'accumulation de la proline dans les feuilles. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 8(4): 1517-1523.
- Favier J., Ireland-Ripert J., Toque C. et Feinberg A., 2003-** *Répertoire générale des aliments*. Ed. Ciqual : 40-48 p.
- Fogliani V., 2016-** Initiation, découverte de la culture hors-sol. Nouvelle-Calédonie, 65p.
- Gravot A., 2008-** Le stress chez les végétaux. Cours de biologie végétale. 20p.
- Guillet P., 2010-** *Baignades biologiques*. Ed. Eyrolles Environnement, Paris, 80 p.

- Gunes A., Inal A., Alpaslan M., Eraslan F., Bagci E.G. et Cicek 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.*, 164 : 728-736.
- Hade A., 2003-** *Nos Lacs, les connaitre pour mieux les protéger*. Ed. Fides, Québec, 230 p.
- Hajer A.S., Malibari A.A., Al-Zahrani H.S. and Almaghrabi O.S., 2006-** Response of three tomato cultivars to sea water salinity 1. Effect of salinity on the seedling growth. *Afr. J. Biotechnol.* 5: 855-861.
- 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.'sejnène') *Bitechnol. agronom. Soc. Environ*, 15 (3), 387-400.
- Haouala F., Ferjani H. et Ben EL-Hadjs., 2007-** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>++</sup>) et du chlore (Cl<sup>-</sup>) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 11, N°3: 235- 244.
- Hara M., Furukawa J., Sato A., Mizoguchi T. and Miura K., 2012-** Abiotique stress and role of salicylic acid in plants, in *Abiotic Stress Responses in plants*. Parvaiza A and Prasad M.N.V ( New York, NY springer),235-251.
- Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K. and Bohnert H.J., 2000-** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology*, 51: 463-499.
- Hayat Q., Hayat S., Irfan M. and Ahmad A., 2010-** Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 14-25
- Hayat S., Ali B. and Ahmad A., 2007-** Salicylic acid: biosynthesis, metabolism physiological role in plants. Hayat A. Ahmad (eds.), *Salicylic Acid – A Plant Hormone*, pp. 1–14.
- Hele B.A., 2008-** *Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court: la sétairie (SetariaverticillataL.)* ; *Compte rendus Biologies*. p. 164–170.
- Heller R., Esnault R. et Lance C., 1998-** *Physiologie Végétale 1- Nutrition* 6eme Ed, Ed. Dunod, Paris, 323p.
- Hopkins W.G., 2003-** *Physiologie végétale*. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles, 476p.
- Hoque M.A., Okuma E., Banu M.N.A., Nakamura Y., Shimoishi Y. and 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.

- Kadri. K., 2009-** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d'orge (*Hordeum vulgare L.*). Sciences & Technologies, N°29: 72–79.
- Kaewmanee K., Krammart P., Sumran Wanich T., Choktoweekara P. and Tongterm Sirikul S., 2013-** Effect of free lime content on properties of cement. Fly ash mixtures. Construction and Building Materials, 38: 829-836.
- Khan M.A., S hirazi M.U., Khan M.A., Mujtab S.M., Islam E., Mumtaz S., Shereen A., Ansarr U., and Ashraf M.Y., 2009-** Role of proline. K/Na Ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum L.*)Pak.J.Bot, 41(2): 633-683.
- Khodary S.E.A., 2004-** Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. International Journal of Agriculture and Biology, 6: 5-8.
- Korkmaz A., Zuzunlu M. and demirkiran A.R., 2007-** Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Franciszed gorski institute of plant physiologie.polish academy of science. Krakaow.tyrkey , 251-263.
- Kosova K., Prášil I.T. and Vítámvás P., 2013-** Protein Contribution to plant salinity response and tolerance acquisition. *Int. J. Mol. Sci.* 14: 6757-6789.
- Kunkel B.N. and Brooks D.M., 2002-** Cross talk between signaling pathways in pathogen defense, *Curr. Opin. Plant Biol*, 5, pp. 325-331.
- Lachiheb K., Neffatim. et Zid E., 2004-** Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. Options Méditerranéennes, 62: 89-93.
- Lee R.W., Glater J., Cohen Y., Martin C., Kovac K., Milobar M.N., Bartel D.W., 2010-** Low pressure RO membrane desalination of agricultural drainage water".Desalination, 155:109-120.
- Lepoivre p., 2003-** *Phytopathologie bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte.* Ed. De boeck, Bruxelles, 432p.
- Le Quillec S., 2002-** Gestion des effluents des cultures maraîchères sur substrat.CTIFL. France.
- Lesaint C., Coïc Y., 1983-** Cultures hydroponiques. Ed. La maison rustique. Paris. 118p.
- Letard M., Erard P. et Jeannequin B., 1995-** *Maitrise De L'irrigation Fertilisante : Tomate Sous Serre Et Abris En Sol Et Hors Sol.* Ed. C. T. I. F. L, Paris, 220p.
- Letard M. et Patricia E., 1995-** *Maitrise de l'irrigation fertilisante de la tomate .CTFL.* Paris, 220p.
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P et Casse-Delbert F., 1995-** Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures, 4: 263-273.

- Lignowski E.M. and Splittstoesser W.E., 1971-** Arginine synthesis, proline synthesis and related process. In John & Thompson (Eds): The Biochemistry of plants, 25: 225-229.
- Li J., Hu L., Zhang L., Pan X and Hu X., 2015-** Exogenous spermidine is enhancing tomato tolerance to salinity–alkalinity stress by regulating chloroplast antioxidant system and chlorophyll metabolism. BMC Plant Biology, 15(303): 1-17.
- MADR., 2013-** Ministère de l’Agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.
- Maillard J., 2001-** *Le point sur l’Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne*. Risques et recommandations. Handicap International, 34 p
- Mansoor K., Noshin I., Bashir A. and Arshad M., 2015-** Effect of salicylic acid on the growth and physiological characteristics of maize under stress conditions. J Chem Soc Pak, Vol. 37, N° (3): 590-599.
- Marlet. S., 2005-** Gestion de l’eau et salinisation des sols dans les systèmes irrigués. Synthèse de l’atelier du PCSI sur : Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l’irrigation n°40. Ed. Cirad & Amis. France, pp, 12- 23.
- Masmoudi A., Hemeir T. et Benaissa M., 2014-** Impacts de la concentration et du type de sel sur le potentiel germinatif et la production de biomasse chez l’orge (*Hordeum vulgare*). Courrier du Savoir. N°18, pp. 95-101.
- Mermoud A., 2006-** *Maîtrise de la salinité des sols*. Cours de physique du sol, école polytechnique fédérale de Lausanne, 15p.
- Monnveux P.H. et Nemmar L., 1986-** Contribution à l’étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum caesium L.*) et chez le blé dur (*Triticum Durum Desf.*): Etude de l’accumulation de la proline au cours du cycle de Développement. Agronomie, 6 (6), pp. 583-590.
- Morard P., 1995-** *Les cultures végétales hors sol*. Publications Agricoles Agen, 304p.
- Munns R., 2002-** Comparative physiology of salt and water stress; Plant, Cell and Environment, pp. 239-250.
- Munns R. and Tester M., 2008-** Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol, 59:651-81.
- Munns R., Ricbard A.J. and Lauchli A., 2006-** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Exp. Bot, 57(5): 1025- 1043.
- Naika S., Van Lidt De Jeude J., De Goffau M., Hilmi M et Van Dam B., 2005-** *La culture de la tomate*. Ed. Fondation Agromisa, Wageningen, 105 p

- Nakaune M., Hanada A., Yin Y.G., Matsukura C., Yamaguchi S. and Ezura H., 2012-** Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato. *Plant Physiol Biochem*, 52:28–37
- Nazar R., Iqbal N., Syeed S. and Khan N.A., 2011-** Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. *J Plant Physiol*, 168:807–815.
- Ndour P. et Danthu, P., 2000-** Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africain. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal*. 11 p.
- Ould Mohamdi M., Bouya D. et Ould Mohamed S.A., 2011-** Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal). *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 5(3): 860-900
- Pancheva T.V., Popova L.P. and Uzunova A.N., 1996-** Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of plant Physiology*, 149:57-63
- Parida A.K. and Das A.B., 2005-** Salt tolerance and salinity effect on plants: Review, *Ecotoxicolgy and environment safety* .vol, 60: 324-349.
- Peron J.Y., 2006-** production légumières. ED. La voisier, Paris, 592p
- Piri K., Anceau C., Jaafaris E.L., Lepoivre P. and Semal J., 1994-** *Sélection in vitro de plantes androgénétiques de blé tendre résistantes à la salinité. L'amélioration des Plantes*. Ed. AUPELF-UREF, Paris, 320p.
- Polese K.M., 2007-** *La culture de tomate*. Ed. Artémis, 95p.
- 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.
- Radhouane L., 2013-** Comparaison de la nutrition minérale du mil (*Pennisetum glaucum* LR Br.) en présence de stress hydrique et de stress salin. *Journal of Applied Biosciences*, 66: 5114-5129.
- Rahman M., Soomro U.A., Zahoor U.M. and Gul S., 2008-** Effect of NaCl salinity on wheat cultivars. *World Jour.of agric. Sci*. 4, (3): 398-403.
- Rahmoune C., Maalem S. et Bennaceur M., 2004-** Effets comparés de la fertilisation phosphatée sur l'Atriplex cultivé en zone semi-aride du Nord-Est algérien. *Plant Physiology*. Vol. 3, n°4, pp. 213-217. rds
- Rajoria A., Kumar J. and Chauhan A.K., 2010-** Anti-oxidative and anti-carcinogenci role of lycopene in hyman health-a areview. *Journal of Dairying Foods & Home sciences*, 29-35.
- Raskin I., 1992-** Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Physiology plant mol.Biol*, 43: 439-463.

- Raskin L.A., Ehrmann W., Melander R. and Meeuse B.J.D., 1987-** Salicylic acid: a natural inducer of heat production in Arum lilies. *Scienc*.237(4822): 1602-1610.
- Razzaghi F., Ahmadi S.H., Jacobsen S.E., Jensen C.R. and Andersen M.N., 2012-** Effects of salinity and soil-drying on root diaionu see efficiency, water productivity and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Agron. Crop Sci.* 198:173–184.
- Reginato M., Sosa L., Llanes A., Hampp E., Vettorazzi N., Reinoso H. and Luna V., 2014-** Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaCl determine different growth responses and ion accumulation in the halophytic legume *Prosopis strombulifera*. *Plant Biology*, 16: 97–106.
- Rejili M., Vadel M.A. et Neffatp M., 2006-** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, Vol. 17, N°. 1: 65- 78
- Reich M., Aghajanzadeh T., Stuiver C.E.E., Koralewska A. and De Kok L.J., 2015-** Impact of Sulfate Salinity on the Uptake and Metabolism of Sulfur in Chinese Cabbage. In: De (eds) *Molecular Physiology and Ecophysiology of Sulfur*, Springer International Publishing, pp. 227–238.
- Ruiz-Lozano J.M., Porcel R., Azcon C. and Aroca R., 2012-** Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany*, 63(11): 4033-4044.
- Sakhabutdinova A.R., Fatkhutdinova D.R., Bezrukova M.V. and Shakirova F.M., 2003-** Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Plant Physiol. Special Issue*, 314-319.
- Schwabele K.A., Iddo K. and Knap K.C., 2006-** Drain water management for salinity mitigation in irrigated agriculture. *Am. J. Agric. Ecol.*, pp. 133-140.
- Sebane R.F., 2015-** Action combinée de la salinité et de l'acide salicylique sur les réponses biochimiques de deux espèces : *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Purch) Nutt. p 37.
- Senaratna T., Touchell D. and Bunn E., 2002-** Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. – *Plant Growth Regul.* 30: 157-161.
- Shabala S.N., Shabala A., Martynenko., Babourina. and Newman I.A., 1998-** Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na<sup>+</sup> accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves; a comparative survey and prospects for screening. *Edit. J. Plant Physiol.* Vol.25, pp. 609-616.
- Shahba Z., Baghizadeh A. and Yosefi M., 2014-** The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Growth and photosynthetic pigment under salinity stress (NaCl). *Journal of stress physiology and Biochemistry* 6, pp. 4-16.

- Shakirova F M., 2007-** Salicylic acid prevent the demaging action of stress factor on wheat plants .BULG.J, plants physiol. Special. Issue, pp. 314-317
- Sharoni Y. et Levi Y., 2006-** *Cancer prevention by dietary tomato lycopene and its molecular mechanisms.* In A. V. Rao. Ed. Tomatoes, lycopene & human health. Barcelona: Caledonian Science Press, 125p.
- Sharp R.E., Poroykov V., Hejlek L.G., Sopllen W.G. and Springer G.K., 2004-** Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomies. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2343-2351.
- Simaei M., Khavari-Nejad R.A. and Bernard F., 2012-** Exogenous application of salicylic acid and nitric oxide on the ionic contents and enzymatic activities in nacl-stressed soybean plants. *American Journal of Plant Sciences*, 3: 1495-1503.
- Simon S et Minatchy J., 2009-** Guide de la tomate hors-sol à La réunion.186 p.
- Singh P., Chaturvedi V. and Kumar B.B., 2010-** Effects of salicylic acid on seedling growth and nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 6(3): 103-113.
- Skiredj A., 2006-** Besoins Des Plantes En Eau Et En Eléments Nutritifs Fustigations Guide Pour Améliorer La Production Des Cultures, Rabat, pp. 1–9.
- Slama. F., 2004-** La salinité et la production végétale. Ed. Centre de Publication Universitaire L'effet de chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale de six espèces de plantes cultivées. *Agronomie tropicale* : 21-26 pp.
- Snoussi S.A., 2010-** Etude De Base Sur La Tomate En Algérie. Rapport De Mission. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture ROME, pp 52.
- Soro S., Dombia M., Dao D., Andres T et Girardin O., 2007-** Performance de six cultivars de tomates *Lycopersicon esculentum* Mills. Contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Sciences & Nature Vol. 4 N°2: 123 –130.*
- Spooner D.M., Peralta I.E. and Knapp S., 2006-** Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes. *Taxon*, 54 (1): 43-61.
- Syed G.A., Abdur R., Nullah K. et Khalid N., 2011-** Enhanced Proline Synthesis May Determine Resistance To Salt Stress in Tomato Cultivars. *Pak. J. Bot.*, 43(6): 2707-2710.
- Szepesi A, Csiszar J, BajkanSz, Gemes K, Horvath F, Erdei L, DeerA, Simon LM, Tari I., 2005-** Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. *Acta BiolSzegediensis* 49:123–125.

- Tahir M., Iqbal N., Raza H., Qasim M. and Ashraf M.Y., 2010-** Growth modulation And Ion Partitioning In Salt Stressed Sorghum (*Sorghum Bicolor* L.) By Exogenous Supply Of Salicylic Acid. *Pak. J. Bot.*, 42(5): 3047-3054.
- Tasgin E., Atici O., Bantoglu N.B. and Popova L.P., 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.
- Taware S.D., Taware A.S., Chavan A.M. and Mukadam D.S., 2009-** Wheat and salinity : Response of different concentrations of NaCl and KCl. *Biosciences biotechnology research Asia*, 1, (6): 313- 316.
- Taxier w., 2015–** *L'hydroponie pour tous*. Ed. Mama, Paris, 31p.
- Teixeira J. and Fidalgo F., 2009-** Salt stress affects glutamine synthetase activity and mRNA accumulation on potato in an organ – dependent manner. *Plant Physiol. Biochem.* 47 : 807–
- Tremblin G., 2000-** Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*, 11 (2): 109-116.
- Troll W. and Lindesly J., 1955-** A photometric method for the determination of proline. *J. Boil. Chem.*, 215: 655-660.
- Turan M.A., El Karim A.H.A., Taban N. and Taban S., 2009-** Effect of salt stress on growth stomatal resistance, proline and chlorophyll concentration on maize plant. *African J. Of Agri. Res.*, 4(9): 893-897.
- Tuteja N., 2007-** Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods Enzymol*, 428 : 419-438.
- Valimunizigha C., 2006-** Étude du comportement physiologique et agronomique de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en réponse à un stress hydrique précoce. *Ed. Press .Univ.de Louvain*, 196 p.
- Van Loon L.C., Rep M. and Pieterse C.M.J., 2006-** Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. *Annu. Rev. Phytopathol*, 244:135-62.
- Vasyukova N.I., Ozeretskoykaya O.L., 2007-** Induced plant resistance and salicylic acid: A Review. *Applied biochemistry and microbiology*, 43:367-373.
- Vitre A., 2003-** Fondements et principes du hors-sol. *HRS*, 3(1) :10-12.
- Vranova E., Inze D. and Van Breusegem F., 2002-** Signal transduction during oxidative stress. *J. Exp. Bot.* 53:1227–36.
- Wang Y. and Nil N., 2000-** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylaseoxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol*, 75: 623-627.



- Wasti S., Mimouni H., Smiti S., Zid E. and 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.
- Wildermuth M.C., Dewdney J., Wu G. and Ausubel F.M., 2001-** Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defence. *Nature*, 414: 562-565.
- Yalpani N., Silverman P., Wilson T.M., Kleier D.A. and Raskin I., 1991-** Salicylic acid is a systemic signal and an inducer of pathogenesis-related proteins in virus-infected tobacco. *Plant Cell*, 3: 809-818.
- Yildirim E., Turan M. and Guvenc I., 2008-** Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll and mineral content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, v.31, pp.593-612.
- Yokas I., Tuna L.A., Burun B., Altunlu H., Altan F. and Kaya C., 2008-** Responses of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant to exposure to different salt forms and rates. *Turk J Agric*, 32: 319- 329.
- Zahra S., Amin B., seid V., Ali M., Ali Y and Mehdi Y., 2010-** The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) sugar, protein and proline contents under salinity stress (NaCl). *Journal of Biophysic and Structural Biology* Vol. 2(3), pp. 35-41.
- Zapata P.J., Serrano M., Pretel M.T., Amoros A. and Botella M.A., 2004-** Polyamines and ethylene changer during germination of different plant species under salinity. *Plant Science*, 167 (4): 781- 788.
- Zhang SI.H. J., Wen G., Du Liu B.L. and Wang D., 2011-** Enhanced drought and salinity tolerance in transgenic potato plants with a badh gene in transpinach. *Plant Biotechnology Reports*, 5 (1): 71-77.
- Zhao M.G., Qiu-Ying Tian Q.Y. and Zhang W.H., 2007-** Nitric oxide synthase dependent nitric oxide production is associated with salt tolerance in Arabidopsis. *Plant Physiology*. Vol.144, pp. 85-90.
- Zhu J.K., 2001-** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, Vol. 6, pp. 66-71.
- Zouaoui A. and Snoussi S.A., 2013-** Valuation of not conventional salt waters in dry culture. *Agriculture - Science and Practice*, n°. 3 (4): 87-88.
- Zribi L., Fatma G., Fatma R., Salwa R., Hassan N. and Nejib R.M., 2009-** Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato “*Solanum lycopersicum* (variety Rio Grande)”. *Sci Hortic* 120:367–372 *Planta* (2014) 240:877–889 889
- Zuang H., 1982-** *La fertilisation des cultures légumières*. ED. ctifl, Paris, 395 p.