

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

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



**IMPACT DE LA CORRECTION DU POTENTIEL  
HYDROGENE D'UNE EAU SALINE SUR LA CROISSANCE  
DE LA TOMATE VARIETE « MARMANDE » CULTIVEE  
EN HORS SOL**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER ACADEMIQUE EN SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**Spécialité : Biotechnologie végétale**

**Présenté par :**

**BOUGUERA AMIRA IKRAM**

Devant le jury composé de :

M <sup>me</sup> BRADEA. M.S	Maître de conférences A	BLIDA1	Présidente
M <sup>r</sup> SNOUSSI. S.A	Professeur	BLIDA 1	Promoteur
M <sup>r</sup> ABBAD.M	maître assistant B	BLIDA 1	Examineur
M <sup>r</sup> SAOU.H	Doctorant	BLIDA 1	Examineur

Année universitaire : 2013/2014

## Remerciement :

A DIEU seul revient ma gratitude en premier et dernier lieu.

Je tiens tout d'abord à remercier Le Professeur SNOUSSI S.A mon directeur de mémoire, pour tout le soutien, l'aide, l'orientation et la guidance qu'il m'a apporté durant les trois années d'études et pour avoir accepté de diriger ce travail sans oublier ses précieux conseils et ses encouragements lors de la réalisation de mon mémoire.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mme BRADEA. M.S. Maître de conférences (A) de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury.

A Monsieur ABBAD.M et SAOU.H pour avoir accepté d'examiner ce travail et qui m'ont énormément aidé au cours de mon expérimentation par le partage de leurs expérience.

A Monsieur ZOUAOUI.A enseignants chercheurs à la faculté d'agronomie dont l'extrême gentillesse, l'aide incessante ainsi que sa présence à mes cotés.

Je témoigne à Monsieur Nacer le technicien du laboratoire un profond respect pour sa grandeur et ses qualités humaines.

J'exprime ma gratitude à toutes les personnes rencontrées lors des recherches que j'ai effectuées et qui ont accepté de répondre à mes interrogations avec gentillesse.

Je remercie tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

### Dédicace :

A vous mes chers parents, je dédie ce modeste travail qui est le fruit de vos interminables conseils ; assistance et soutien moral, en témoignage de ma reconnaissance et mon affection, dans l'espoir que vous en serez fiers.

Je voudrais dédier cet humble travail a :

A mes chers frères AMINE et MOSSAAB et ma petite sœur adorable IBTIHEL.

A ma chère grande mère KHEIRA et a mes chères tentes SAMIA, NAZIHA, GHANIA, WIDAD, MERIEM et NORA, qui m'ont toujours soutenues dans ma vie courante et ont participé à réaliser ce mémoire.

A mes petits cousins et cousines SOHEIB, SIRINE, MONCEF, YACER, ABD EL RAHMANE, MOHAMED, AYOUB, ANES, CHAHD, ABD EL MOIZ et ABD EL SAMAD.

Milles merci à mes amies du labo avec qui j'ai partagé des moments toujours conviviaux durant cette thèse ANISSA et RIMA.

A mes amis AMINE, KHOULOUUD, HALIMA et FADHILA.

A mes frangines IMEN, SALIMA et son petit AYMEN.

A tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

A tous ceux qui m'aiment.

AMIRA IKRAM

## **Résumé :**

La salinité constitue le problème le plus sévère qui affecte l'agriculture dans différentes régions du monde, ce qui engendre une réduction de la croissance et des rendements des variétés sensibles, et où la recherche de plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient un impératif pour la production agricole.

Notre étude a porté sur l'impact du potentiel hydrogène sur la croissance et le développement de la variété Marmande de l'espèce *Lycopersicon esculentum Mill* (plante de tomate moyennement sensible à la salinité) cultivée en hors sol et irriguée par quatre traitements différents dont l'objectif est la valorisation d'une eau salée pour l'irrigation.

La correction du pH de l'eau saline de 7,8 à 5,8 a permis de diminuer l'effet de la salinité sur la croissance et le développement de la plante, sachant que la vitesse de croissance et la hauteur de la plante, le nombre de feuilles, la qualité organoleptique et le nombre de fruits ainsi que la production de la masse fraîche produite sont affectés négativement par la salinité

Les résultats obtenus à travers notre expérimentation ont montré que la correction du pH de la solution saline a amélioré de façon significative les paramètres étudiés. Les variations sont plus importantes chez les plantes irriguées avec la solution (T3) qui est une solution saline à pH corrigé à 5,8 par la combinaison des deux acides (nitrique et phosphorique dont leur rôle est double à savoir acidification du milieu nutritif et apport d'éléments indispensables tel que les nitrates et les phosphates. Aussi le traitement (T1) qui est une solution saline à pH corrigé par l'acide nitrique a présenté des résultats similaires au traitement (T3). A l'inverse la solution (T2) qui est la solution saline naturelle à pH corrigé par l'acide phosphorique a présenté des résultats plus faibles même en comparaison que le milieu nutritif (T4) à savoir la solution saline naturelle à pH 7,8.

**Mots-clés :** Salinité - tomate - potentiel hydrogène – irrigation.

## **Abstrat :**

Salinity constitutes the most severe problem which affects agriculture in various areas of the world, which generates a reduction of the growth and outputs of the significant varieties, and where the search for plants adapted to high thresholds of salinity becomes a requirement for the agricultural production.

Our study is based on the impact of the hydrogen potential on the growth and the development of Marmande of the species *Lycopersicon esculentum* Mill (Tomato plant fairly sensitive to salinity) cultivated except ground and irrigated by four different treatments whose objective is the valorization of salt water for the irrigation.

The correction of hydrogen potential (pH) of water salt works from 7,8 to 5,8 has made it possible to decrease the effect of salinity on the growth of plant; Knowing that the speed of growth and the development of the plant, the height of the plant, many sheets, organoleptic quality, number of fruits and the fresh mass production are negatively affected by salinity.

The results got through our experimentation went up that the correction of the pH of the saline solution improved to a significant degree the studied parameters. The variations are more important at the plants irrigated with the (T3) which is a saline solution with a corrected pH to 5,8 by the combination of two acids (nitric and phosphoric), whose their role is double, acidification of the nutritive solution and contribution of critical components such as nitrates and phosphates. Also the treatment (T1) which is a saline solution with a corrected pH to 5,8 with nitric acid had results similar to treatment (T3). Contrary the solution (T2) which is a saline solution with a corrected pH to 5,8 with phosphoric acid had weaker results even in comparison that the nutritive medium (T4) to knowing the natural saline solution with pH 7,8.

**Keywords :** Salinity – tomato – Hydrogen potential – irrigation

## الملخص:

تعتبر الملوحة المشكل الأخطر الذي يؤثر على الزراعة في مناطق مختلفة من العالم والذي يسبب انخفاضا في النمو وفي إنتاجية الأصناف الحساسة للملح. حيث أصبح البحث عن النباتات التي تتكيف مع مستويات عالية من الملوحة ضروريا للإنتاج الزراعي.

وتتركز دراستنا على التأثير المحتمل للهيدروجين على نمو وتطوير مجموعة متنوعة من الأنواع و بالخصوص نوعية مارماند (Marmande) صنف من أصناف الطماطم (معتدلة الحساسية للملوحة) مزروعة بدون تربة والمروية بأربعة علاجات مختلفة والهدف من ذلك هو تطوير المياه المالحة للري.

تعديل درجة الحموضة في المياه المالحة من 7.8 إلى 5.8 أمكنت من تقليل تأثير الملوحة على نمو النبات، علما أن كل من معدل النمو، ارتفاع علو النبات، عدد الأوراق، جودة وعدد الفواكه والإنتاج الشامل للكتلة الطازجة المنتجة لهم علاقة مباشرة وسلبية مع الملوحة.

النتائج التي توصلنا إليها في دراستنا التجريبية تبدو ايجابية حيث أن تصحيح حموضة المحلول الملحي حسنت بشكل ملحوظ العوامل التي أردنا دراستها. الاختلافات بدت أكبر في النباتات المروية بالمحلول (T3) الى 5.8 عن طريق الجمع بين حمضين (حمض النيتريك وحمض الفوسفوريك) الذي يلعب دورا مزدوجا المتمثل في تحميض الوسط المغذي و اضافة مغذيات مثل النترات و الفوسفات يليها المحلول (T1) وهو عبارة عن محلول ملحي عدلت درجة حموضته الى 5.8 بحمض النيتريك بنتائج مماثلة للمحلول (T3) . في حين حل (T2) وهو عبارة عن محلول ملحي عدلت درجة حموضته الى 5.8 بحمض الفوسفوريك مرتبة أقل من (T4) الذي يمثل نتائج المياه المالحة الطبيعية ذات درجة حموضة 7.8 .

**الكلمات المفتاحية:** الملوحة - الطماطم – درجة الحموضة – الري.

## Table des matières

Page de garde .....	01
Remerciemen.....	02
Dédicace .....	03
Résumé .....	06
Table des matières.....	13
Liste des tableaux.....	15
Liste des figures.....	17
Introduction.....	18
<b><u>Chapitre I</u></b> : la culture hors sol.....	19
1. Généralité.....	20
2. Définition de la culture hors sol.....	20
3. Avantages et inconvénients de la culture hors sol.....	21
3.1 Avantages de la culture hors sol.....	21
3.2 Inconvénients de la culture hors sol.....	21
4. Principales cultures cultivées en hors sol.....	22
5. Composants du système hydroponique.....	22
5.1 Substrat.....	22
5.1.1 Classification des substrats.....	22
a. Classification selon la nature des matériaux.....	22
b. Classification selon les propriétés des matériaux.....	23
5.1.2 Propriétés idéales d'un substrat.....	23
5.2 Conteneur.....	24
5.3 Solution nutritive.....	24
5.3.1 pH.....	25
5.3.2 C.E.....	26
5.3.3 Equilibre ionique.....	26
5.4 Préparation de la solution nutritive.....	27
<b><u>Chapitre II</u></b> : La culture de la tomate.....	29
1. Historique.....	30
2. Classification de la tomate.....	31
3. Caractéristiques morphologiques de la plante.....	31

3.1 Appareil végétatif.....	31
3.1.1 Racine.....	31
3.1.2 Tige.....	31
3.1.3 Feuille.....	32
3.2 Appareil reproducteur.....	33
3.2.1 Fleur.....	33
3.2.2 Fruit.....	33
3.2.3 Graine.....	34
4. Exigences de la plante.....	34
4.1 Exigences climatiques.....	34
4.1.1 Température.....	34
4.1.2 Humidité.....	35
4.1.3 Lumière.....	36
4.2 Exigences hydriques.....	36
4.3 Exigences édaphiques.....	36
4.3.1 Sol.....	36
4.3.2 Aération.....	37
4.3.3 pH.....	37
4.3.4 Salinité.....	37
4.4 Exigences nutritionnelles.....	37
5. Cycle de développement de la tomate.....	38
6. Travaux d'entretien de la tomate.....	39
6.1 Tuteurage.....	39
6.2 Taille.....	39
6.3 Effeuilage.....	39
6.4 Ebourgeonnage.....	40
7. Principales maladies de la tomate.....	40
7.1 Principales insectes et ravageurs.....	40
7.2 Principales maladies physiologiques.....	40
7.3 Principales maladies cryptogamiques.....	41
7.4 Principales maladies bactériennes.....	42
7.5 Principales maladies virales.....	43
8. Evolution de la qualité de la tomate.....	43

<b><u>Chapitre III : Salinité</u></b> .....	45
1. Généralité .....	46
2. Définition de la salinité.....	46
3. Définition du stress salinDéfinition de la salinité des sols.....	46
4. Définition de la salinité des eaux .....	47
5. Types de salinisation.....	47
5.1 Salinité primaire.....	48
5.2 Salinité secondaire.....	48
6. Origine de salinisation .....	48
7. Salinisation en Algérie et au reste du monde.....	48
7.1 En Algérie.....	49
7.2 Au reste du monde.....	49
8. Effets néfastes de la salinisation .....	50
8.1 Effet de la salinisation sur la plante.....	51
8.1.1 Action sur la pression osmotique.....	51
8.1.2 Toxicité des ions particuliers.....	51
8.2 Effet de la salinisation sur les phénomènes physiologique.....	51
8.3 Effet de la salinisation sur la sécrétion de la chlorophylle.....	52
8.4 Effet de la salinisation sur la photosynthèse et les échanges gazeux... ..	52
8.5 Effet de la salinisation sur la croissance et le développement.....	52
8.6 Effet de la salinisation sur le rendement.....	53
8.7 Effet de la salinisation sur l'absorption de l'eau.....	53
8.8 Effet de la salinisation sur la nutrition minérale.....	54
9. Tolérance des plantes à la salinité.....	54
9.1 Plantes sensibles.....	55
9.2 Plantes tolérante.....	55
10. Lutte contre la salinité.....	55
10.1 Drainage profond.....	57
10.2 Lutte contre la remonté capillaire.....	57
10.3 Lutte contre la concentration des sels dans les sols et dans les ea d'irrigation.....	57
10.4 Eviter les apports d'eau excessifs.....	57
10.5 Pré-germination et irrigation continue pendant la levée.....	58

10.6 Utilisation des variétés résistantes .....	58
<b><u>Chapitre IV : potentiel Hydrogène</u></b> .....	58
1. Définition.....	59
2. pH en chimie.....	60
3. pH en Biologie.....	60
4. pH en agriculture.....	61
5. pH de l'eau.....	61
5.1 pH de l'eau pure.....	62
5.2 pH d'une solution aqueuse .....	62
6. pH du sol.....	63
7. Mesure du pH.....	64
7.1 pH mètre.....	66
7.2 Papier indicateur de pH.....	66
8. Variation saisonnière du pH.....	67
9. Rapport entre pH et les autres qualités de l'eau.....	68
9.1 Caractéristiques physiologiques.....	68
9.2 Caractéristiques microbiologiques .....	68
9.3 Caractéristiques chimiques.....	68
10. Influence du pH sur le changement de la couleur de la plante.....	69
11. Effet du pH sur l'assimilation des éléments majeurs et secondaires.....	70
12. Effet du pH sur l'assimilation des oligo-éléments.....	70
12.1 Fer.....	71
12.2 Manganèse.....	71
12.3 Cuivre.....	71
12.4 Zinc.....	71
13. Effet du pH d'un sol sur le nombre de bactéries nitrificatrices présentes.....	71
14. Rôle du pH.....	71
<b><u>Chapitre V : Matériel et méthode</u></b> .....	71
1. Objectif de l'expérience.....	73
2. Matériel végétal.....	74
3. Conditions expérimentales.....	74
3.1 Lieu de l'expérience.....	75
3.2 Substrat utilisé.....	75

3.3	Conteneur.....	76
3.4	Dispositif expérimental.....	76
4.	Pré-germination et le repiquage.....	76
4.1	Pré-germination.....	77
4.2	Repiquage.....	78
5.	Description des différentes solutions nutritives.....	78
5.1	Composition des solutions nutritives et techniques de préparation.....	78
5.2	Elaboration de la solution nutritive standard à partir de l'eau de Blida...	80
5.3	Reconstitution de la solution saline naturelle Gassi TOuil à partir de l'eau de Blida (solution témoin) .....	81
5.4	Préparation de la solution saline naturelle corrigée par l'acide nitrique	
5.5	Préparation de la solution saline naturelle corrigée par l'acide phosphorique.....	83
5.6	Préparation de la solution saline naturelle corrigée par l'acide nitrique et l'acide phosphorique.....	84
6.	Entretien de la culture.....	
6.1	Irrigation .....	86
6.2	Traitements phytosanitaires.....	87
6.3	Palissage.....	88
6.4	Etêtage.....	88
6.5	Lessivage .....	89
7.	Paramètres étudiés .....	89
7.1	Paramètres physiologiques.....	89
7.1.1	Hauteur de la plante.....	89
7.1.2	Nombre de feuilles.....	89
7.1.3	Diamètre des tiges .....	89
7.1.4	Longueur des racines.....	89
7.1.5	Biomasse fraîche produite.....	89
7.1.6	Biomasse sèche produite.....	90
7.1.7	Taux de la matière sèche produite.....	90
7.2	Paramètres de production.....	90
7.2.1	Le taux d'avortement des fleurs.....	90
7.2.2	Le nombre de fleurs et de fruit par plant.....	90
7.2.3	Poids frais et calibre des fruits.....	90

7.3 Paramètres biochimiques.....	90
7.3.1 Dosage de la chlorophylle.....	91
7.3.2 Dosage des sucres solubles.....	91
7.3.3 Dosage de la proline.....	92
7.4 Dosage des paramètres technologiques .....	92
7.4.1 Dosages de la Vitamine « C ».....	92
7.4.2 Acidité titrable.....	93
7.4.3 Dosage des sucres totaux dans les fruits de tomate ...	94
<b><u>Chapitre VI</u> : Résultats et discussions.....</b>	<b>95</b>
1. Paramètres morphologiques .....	96
<b>1.1</b> Paramètres de croissance .....	96
<b>1.1.1</b> Aspect général des plantes .....	96
<b>1.2</b> Paramètres biométriques .....	98
<b>1.2.1</b> Vitesse de croissance .....	98
<b>1.2.2</b> Hauteur de la plante .....	100
<b>1.2.3</b> Poids frais total.....	100
<b>1.2.4</b> Diamètre de la tige .....	101
<b>1.2.5</b> Poids frais de la tige .....	102
<b>1.2.6</b> Nombre de feuilles .....	103
<b>1.2.7</b> Poids frais des feuilles .....	104
<b>1.2.8</b> Longueur des racines.....	105
<b>1.2.9</b> Poids frais des racines .....	106
<b>1.2.10</b> La biomasse sèche des tiges, racines et feuilles .....	107
<b>1.2.11</b> Taux de la matière sèche des tiges, racines et feuilles .....	108
<b>1.3</b> Paramètres biochimiques .....	109
<b>1.3.1</b> Dosage de la chlorophylle.....	109
<b>1.3.1.1</b> Dosage de la chlorophylle (a) .....	109
<b>1.3.1.2</b> Dosage e la chlorophylle (b) .....	110
<b>1.3.2</b> Dosage de la proline .....	110
<b>1.3.3</b> Dosage des sucres solubles.....	111
<b>1.4</b> Paramètres de production .....	112

<b>1.4.1</b> Le nombre de fleurs par plant.....	112
<b>1.4.2</b> Le nombre de fruits par plant .....	113
<b>1.4.3</b> Poids frais et calibre des fruits.....	114
<b>1.4.4</b> Le taux d'avortement des fleurs .....	114
<b>1.5</b> Paramètres technologiques .....	115
<b>1.5.1</b> Dosage de la vitamine « C » .....	115
<b>1.5.2</b> Dosage des sucres totaux dans les fruits de la tomate.....	116
<b>1.5.3</b> Dosage de l'acidité titrable.....	116
<b>Chapitre VII</b> : Discussion générale .....	117
1. Classement des traitements selon les paramètres biométriques .....	118
2. Classement des traitements selon les paramètres biochimiques.....	119
3. Classement des traitements selon les paramètres de production .....	120
4. Classement des traitements selon les paramètres technologiques .....	121
Conclusion.....	122
Références .....	124
Annexes .....	136

## Liste des tableaux :

Tableau n° (01) : Classification de quelques substrats.....	23
Tableau n° (02) : Symptômes provoqués sur la plante par excès ou carence d'éléments.....	27
Tableau n° (03) : Besoins en température de la tomate.....	35
Tableau n° (04) : L'exportation de la tomate selon le système de la culture.....	38
Tableau n° (05) : Principaux ravageurs et insectes.....	40
Tableau n° (06) : Principales maladies physiologiques.....	40
Tableau n° (07) : Principales maladies cryptogamiques.....	41
Tableau n° (08) : Principales maladies bactériennes .....	42
Tableau n°(09) : Principales maladies virales.....	43
Tableau n° (10) : Classification des sols salin .....	47
Tableau n° (11) : Classification des eaux d'irrigation.....	48
Tableau n° (12) : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.....	49
Tableau n° (13) : Evaluation de la quantité des eaux d'irrigation en Algérie.....	50
Tableau n° (14) : Superficie affectées par la salinité dans le monde.....	51
Tableau n° (15) : La tolérance de quelques espèces à la salinité .....	56
Tableau n° (16) : Classement des sols selon le degré d'acidité .....	66
Tableau n° (17) : Effet de l'élévation de pH du sol sur le nombre de bactéries nitrificatrices	71
Tableau n° (18) : Moyennes de températures par 10 jours dans la serre en C°.....	75
Tableau n° (19) : Composition de l'eau de Blida.....	80
Tableau n° (20) : Eau de Blida corrigée, solution standard.....	82
Tableau n° (21) : composition de solutions complémentaire A et B .....	83
Tableau n° (22) : Reconstitution de l'eau d'Oued Gassi Touil par l'eau de Blida.....	84
Tableau n° (23) : Préparation de la solution saline d'Oued Gassi Touil à pH corrigé de 7,8 à 5,8 par l'acide nitrique.....	85
Tableau n° (24) : Préparation de la solution saline d'Oued Gassi Touil à pH corrigé de 7,8 à 5,8 par l'acide phosphorique .....	86
Tableau n° (25) : Préparation de la solution saline d'Oued Gassi Touil à pH corrigé de 7,8 à 5,8 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique.....	87
Tableau n°(26) : doses et fréquences d'irrigation nécessaire pour la culture de la tomate.....	88
Tableau n° (27) : Programme des traitements phytosanitaires appliqués.....	89
Tableau n°(28) : Hauteur de la plante .....	100

Tableau n°(29) : Poids frais total .....	101
Tableau n° (30) : Diamètre de la tige.....	101
Tableau n° (31) : Poids frais de la tige.....	102
Tableau n°(32) : Poids de feuilles .....	104
Tableau n°(33) : Longueur des racines.....	105
Tableau n°(34) : Poids frais des racines.....	106
Tableau (35) : Biomasse sèche des tiges, feuilles et des racines.....	107
Tableau (36) : Taux de la matière sèche des tiges, feuilles et racines.....	108
Tableau n°(37) : Dosage de la chlorophylle (a).....	109
Tableau (38) : Dosage de la chlorophylle (b).....	110
Tableau n°(39) : Dosage de la proline.....	110
Tableau n°(40) : Dosages des sucres solubles.....	112
Tableau (41) : Nombre de fleurs par plant.....	112
Tableau n°(42) : Nombre de fruits par plant.....	113
Tableau n°(43) : Répartition des calibres en % du poids total des fruits récoltés.....	114
Tableau n°(44) : Taux d'avortements des plants (%).....	115
Tableau n°(45) : Dosage de la vitamine « c ».....	115
Tableau n°(46) : Dosage des sucres totaux.....	116
Tableau n°(47) : Dosage de l'acidité titrable .....	116
Tableau n°(48) : Classements des traitements selon les paramètres biométriques.....	118
Tableau n°(49) : Classements des traitements selon les paramètres biochimiques.....	119
Tableau n°(50) : Classements des traitements selon les paramètres de production.....	120
Tableau n°(51) : Classements des traitements selon les paramètres de production.....	121

## Liste des figures :

Figure n° (01) : Historique sur la tomate.....	30
Figure n° (02) : Racine de la tomate.....	31
Figure n° (03) : Feuille de la tomate.....	31
Figure n° (04) : Fleur de la tomate.....	33
Figure n° (05) : Fruit de la tomate.....	34
Figure n° (06) : Cycle de développement de la tomate.....	39
Figure n°(07) : Echelle du pH.....	62
Figure n° (08) : pH mètre.....	67
Figure n° (09) : papier indicateur de pH.....	67
Figure n° (10) : Influence du pH sur le changement de la couleur de la plante.....	70
Figure n° (11) : Localisation de lieu de l'expérience .....	75
Figure n° (12) : Aspect général des conteneurs.....	77
Figure n° (13) : Schéma du dispositif expérimental.....	77
Figure n° (14) : Photo du dispositif expérimental.....	77
Figure n° (15) : La pré-germination.....	79
Figure n° (16) : Le repiquage.....	80
Figure n° (17) : Aspect général du refractomètre .....	94
Figure n°(18) : Aspect général des plants de tomate alimentés par les différents traitements.....	96
Figure n°(19) : Comparaison entre les plantes irriguées par la solution saline naturelle (T4) et la solution saline naturelle à pH corrigé de 7,8 à 5,8 par l'acide nitrique seulement (T1).....	97
Figure n°(20) : Comparaison entre les plantes irriguées par la solution saline naturelle (T4) et la solution saline naturelle à pH corrigé de 7,8 à 5,8 par l'acide phosphorique seulement (T2).....	97
Figure n°(21) : Comparaison entre les plantes irriguées par la solution saline naturelle (T4) et la solution saline naturelle à pH corrigé de 7,8 à 5,8 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique (T3).....	98
Figure n°(22) : Vitesse de croissance des plantes par traitement (cm/jr).....	98
Figure n°(23) : Aspect général des feuilles des différents traitements.....	103
Figure n°(24) : Nombre de feuilles (graphe).....	103

Figure n°(25) : Longueur des racines.....	105
Figure n°(26) : Fruit de tomate (Photo personnelle).....	114

## **Introduction :**

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

Dans les zones arides et semi-arides, la contrainte saline s'associe souvent au déficit hydrique pour limiter la production des espèces végétales. Chez les légumineuses, cet effet est d'autant plus perceptible que la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique est très sensible à la contrainte saline.

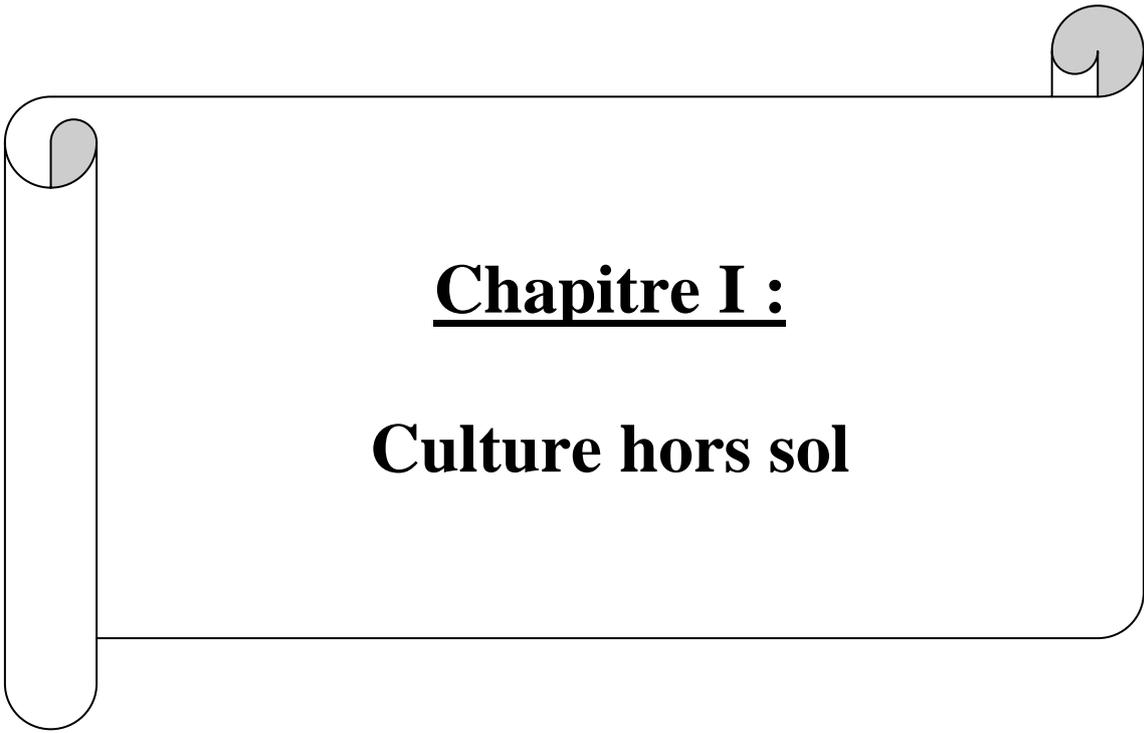
Le développement de l'agriculture entraîne, automatiquement, l'exportation de quantités importantes de différents éléments nutritifs du sol dont la restitution devient impérative surtout dans les sols des régions arides et semi-arides d'Afrique du Nord (RAHMOUNE et *al.*, 2008).

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

Le pH de l'eau d'arrosage a une influence sur l'absorption hydrique et minérale ainsi que sur le comportement des végétaux. En contrôlant le pH final d'une solution du sol, les cultures maraichères utilisent moins d'énergie pour subvenir à leurs besoins (LABORIER, 2000).

La place importance prise par la tomate du point de vue économique et ses caractéristiques biologiques ont induit un intérêt marqué pour ce végétal de la part de nombreux chercheurs qui s'intéressent à diverses disciplines (génétique, agronomie, physiologie, ... (DUFEE, 2003).

Notre travail a pour objectif scientifique de connaître et d'évaluer l'impact de la correction du pH d'une solution saline naturelle sur la croissance et le développement de la tomate (Marmande) et ce sur certains aspects physiologiques, biochimiques et de production.



**Chapitre I :**  
**Culture hors sol**

## **1. Généralités sur la culture hors sol :**

La culture hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le fonctionnement des plantes. (ROBIN, 1998)

Selon RESH in GUIRAA(2006), ce n'est qu'en 1925 que le docteur GUERICKE avait l'idée d'une diffusion commerciale sous le nom Hydroponie pour des cultures ornementales et maraîchères en produisant en Californie des plants de tomates dans une solution nutritive.

Actuellement cette technique est utilisée sur une grande quantité d'espèce cultivées en serre (rose, tomate, concombre, poivron.....) est principalement motivée par le progrès de productivité et l'amélioration des récoltes (BOUGOUL et al, 2000).

En Algérie, l'initiation à la culture hydroponique sur deux solanacées fruits (tomate et poivron) a pu mettre en évidence par les travaux de Djoudi à l'I.T.C.M.I. Le but de ce dernier a été de déterminer le meilleur container qui semble satisfaire la plante (SNOUSSI, 1980).

## **2. Définition de la culture hors sol :**

Les cultures hors sol ou sans sol se définissent comme des cultures de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol (MORARD, 1995).

La culture hydroponique est définie comme la science des plantes en croissance par l'utilisation d'un moyen inerte, comme le gravier, le sable, la tombe, vermiculite, ou la sciure de bois, auquel est ajoutée une solution nutritive contenant tous les éléments nécessaires pour la plante, pour sa croissance normale et son développement (MILANI,1997).

L'Hydroponie est une technique très efficace pour cultiver des plantes et cela est dû au fait de la disponibilité permanente des bonnes proportions d'air, d'eau et d'engrais aux racines (BONTE, 2010).

(MORARD, 1995) Ajoute que dans ce type de système, les racines des végétaux sont alimentés par un milieu liquide minéral appelé solution nutritive, qui apporte l'eau, l'oxygène et les éléments minéraux indispensables au développement de la plante. Cette technologie de production végétale caractérisée par une alimentation minérale des racines, la solution nutritive, ne nécessite pas de support solide. Si, par contre, un support est utilisé, celui ci est qualifié du terme général de « substrat ».

D'après URBAN (1997), les systèmes de culture hors sol sont classés en trois groupes :

- **Cultures aéronique** : dans laquelle les racines sont placées dans un bouillant nutritif.
- **Cultures hydroponique** : dans laquelle les racines baignent dans un liquide nutritif. Dans cette culture on distingue deux autres types :
  - L'aquaculture, dans laquelle les racines sont immergées dans une solution circulante.
  - Le NFT (Nutrient Film Technique) est un système de culture sur une solution circulante de très faible épaisseur.
- **Culture sur substrat inerte ou réactif** : qui désigne les cultures hors sol faisant appel à des supports de cultures placées dans des conteneurs tels que des pots, des sacs, des tranches ou des bacs.

### **3. Avantages et inconvénients de la technique de culture hors sol :**

#### **3.1. Les Avantages de la culture hors sol :**

D'après JEANNEQUIN (1992), les avantages principaux de la culture hors sol et sont :

- Éviter la fatigue du sol des serres causée par les attaques parasitaires avec prolifération de nématodes et des champignons.
- Les techniques offrent la possibilité d'implanter des serres à des endroits où l'énergie est meilleur marché, à proximité d'usines ou sur des sites géothermiques pour profiter des eaux chaudes et de l'énergie solaire.
- Amélioration de nos connaissances sur les besoins de diverses espèces végétales.
- Contrôle précis de l'environnement racinaire assurant une précocité plus grande et une production en qualité et en quantité.
- Gain de précocité.

#### **3.2 Les inconvénients de la culture hors sol :**

- Le coût d'installation et d'entretien demande des investissements assez élevés. (MORARD, 1995).

Selon URBAN (1997), les inconvénients et les contraintes de cette culture sont comme suite :

- Cette technique exige un investissement assez élevé parce que plus le système est perfectionné et automatisé, plus il est rentable mais il est coûteux.

- La culture hors sol utilise un niveau de technique élevé auquel le producteur doit avoir une compétence et des connaissances dans le domaine. Le faible inertie de système de cette culture ne donne pas droit à l'erreur et condamne le producteur à suivre ses cultures de manière très étroite.
- La culture hors sol est à l'origine de rejets polluants de solution nutritive et de résidu de substrat qu'on ne sait pas toujours facilement recyclé.

#### **4 Principales cultures cultivées en hors sol :**

Pratiquement, toutes les plantes peuvent être conduites en hors sol, mais sont principalement concernés les cultures légumières et les petits fruits. L'espèce majeure est la tomate suivie de la fraise, du concombre, du poivron et de l'aubergine. Depuis quelques années, sont développés le melon, la courgette et la framboise. Cette technique est utilisée en culture florale pour la rose, l'œillet et le gerbera. Dans un but expérimental, les arbres fruitiers sont conduits de cette manière pour étudier leurs besoins en éléments nutritifs (THIAULT, 2004).

#### **5 Composante du système hydroponique :**

Les composantes qui régissent cette technique forment un ensemble constitué par la plante, le substrat, le conteneur et la solution nutritive (BLANC, 1987).

##### **5.1 Substrat :**

On applique le terme de substrat à tout matériau, naturel ou artificiel qui permet l'ancrage du système racinaire (BLANC, 1987). Il assure le maintien de la plante par l'intermédiaire de la solution nutritive qu'il contient, son alimentation hydrique, et la respiration du système racinaire (LETARD et al, 1995).

Selon MORARD (1995), les substrats utilisés en culture hors sol n'ont aucun rôle nutritionnel direct et doivent être chimiquement le plus neutre possible.

##### **5.1.1 Classification des substrats :**

Selon ZUANG et MUSARD (1987), les substrats sont classés selon leur nature et leur porosité.

##### **a. Classification selon la nature des matériaux : (MILANI, 1997)**

- Les substrats organiques naturels : tourbes, paille, écorces, marc de raisin, marc de café.
- Les substrats minéraux naturels : gravier, sable, brique concassée.
- Les substrats minéraux de synthèse : polystyrène.

##### **b. Classification selon les propriétés de matériaux : (ZUANG et MUSARD, 1987)**

- Les matériaux chimiquement neutres : matériaux minéraux ou synthétique.
- Les matériaux chimiquement actifs : matériaux d'origine végétale et quelques matériaux minéraux.
- Les matériaux ne se dégradant pas : gravier, sable, brique concassée, argile expansée.
- Matériaux se dégradant lentement : marc de raisin, écorce, tourbe blonde.
- Matériaux se dégradant vite : sciure, tourbe noire, vermiculite.

**Tableau n° 01 :** Classification de quelques substrats

<b>Substrat</b>	<b>Origine</b>	<b>Type</b>	<b>Fréquence d'irrigation</b>	<b>Durabilité</b>	<b>Risque d'asphyxie</b>
<b>Tourbe blonde (fibreuse)</b>	organique	I	Assez faible	moyenne	faible
<b>Tourbe brune</b>	organique	II	élevée	moyenne	Assez élevée
<b>Ecorce de pin grossière</b>	Organique traitée	III	élevée	bonne	faible
<b>Fibre de coco</b>	Organique traitée	IV	élevée	bonne	faible
<b>pouzzolane</b>	minéral	III	élevée	Très bonne	faible
<b>Gravier (&gt;2mm)</b>	minérale	III	élevée	Très bonne	faible
<b>Sable grossier (1à 2 mm)</b>	minérale	II	élevée	Très bonne	Assez élevée
<b>Laine de roche</b>	Minérale traitée	IV	élevée	Bonne pour les pains Pluriannuels	moyen
<b>Perlite</b>	Minérale traitée	III	élevée	variable	faible

Source URBAN (1997)

### 5.2.2 Propriétés idéales d'un substrat :

Selon ZUANG et MUSARD (1984), un substrat idéal :

- Assure une bonne circulation de la solution.
- Assure une bonne répartition de l'eau et de l'air
- Ne se tasse pas.
- Ne se dégrade pas.
- Ne blesse pas les racines.
- Ne contient pas d'élément toxique pour les plantes.
- Doit être facile à désinfecter.
- Ne renferme aucun organisme pathogène.
- Doit être chimiquement inerte.
- Doit avoir une capacité d'échange nulle ou faible.

Selon CHAUX et FOUREY (1994), un bon substrat doit avoir les qualités précédentes mais LEMAIRE et al (2004), mentionnent que le substrat idéal n'existe pas ; Il existe seulement des substrats possédant des avantages et des inconvénients engendrant des contraintes qu'il faut connaître pour optimiser l'utilisation.

D'après les mêmes auteurs, avant d'utiliser le substrat, il est nécessaire d'avoir des connaissances sur les caractéristiques physiques et chimiques du substrat. Il faut que le substrat soit en compatibilité avec les exigences propre du végétal, et du type de culture.

## **5.2 Conteneur :**

Ce sont des récipients qui contiennent la plante et le substrat, et les isolent du sol. On distingue différents types de conteneurs :(ZUANG et MUSARD, 1987)

- Les bacs.
- Les gouttières.
- Les sacs et enveloppes diverses.

En général les conteneurs sont en matière plastique chimiquement inertes, étanches, durables et facile à mettre en place (LEMAIRE et al, 1989)

Selon ZUANG (1982), les formes et les dimensions des conteneurs adoptés, sont en fonction du substrat, de la culture, du groupe de culture mais aussi de la parcelle ou de l'abri.

Selon LEMAIRE et al (1989), les conditions de réussite des cultures en conteneurs sont comme suite :

- Evacuation rapide des eaux en excès.
- Circulation facile dans les cultures.

- Protection contre le vent.
- Protection contre le froid.

### **5.3 Solution nutritive :**

Dans un système de culture hors sol, il n'y a pas d'apport d'éléments minéraux par le substrat. Ces derniers doivent donc être fournis par la solution nutritive en même temps que l'eau (URBAN, 1997).

MORARD (1995), mentionne que la solution nutritive est la composante fondamentale en culture hors sol. Elle doit fournir à la plante en permanence et en quantité suffisante l'eau, les éléments minéraux et l'oxygène.

CHOUARD in GUIRAA (2006), confirme que la solution nutritive doit contenir les éléments nécessaires à la plante à des doses suffisantes et à des proportions relativement convenables.

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

D'après COIC et LESAIN (1983), les solutions nutritives sont composées d'eau et des sels dissous apportant les ions dont la plante se nourrit. Cette solution est caractérisée par trois paramètres principaux : selon BLANC (1987) :

#### **5.3.1 PH :**

Le pH joue un rôle fondamental dans la régulation de l'absorption des différents éléments constitutifs de la solution nutritive (SNOUSSI, 1980)

Le pH de la solution nutritive doit être adapté à la nature des plantes neutrophiles ou acidophiles. Il dépend des sels chimiques utilisés pour la précipitation (MILANI, 1997).

En général, l'accessibilité des minéraux est en fonction du pH et sera maximale entre 5.8 et 6.8 soit dans une solution légèrement acide (LESAIN et COIC, 2002).

BLANC (1987), montre lui aussi en ce qui concerne le contrôle du pH. A l'exception des espèces acidophile ou basophile qui exigent ou supportent des valeurs extrêmes, l'optimum de pH des espèces cultivées se situe entre 5.5 et 5.8.

Vu que la tomate est une espèce légèrement acidophile, le pH dans la solution d'apport et de drainage doit se situer entre 5.5 et 6.2 pour favoriser l'assimilation de l'ensemble des éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes. Si le pH s'écarte de ces valeurs l'absorption de certains éléments sera pénalisée (LETARD et al, 1995)

Selon SNOUSSI (1980), si la valeur du pH varie, on doit faire recours à la correction de sa valeur comme suit :

- Si le PH est alcalin, on l'établira par des apports adéquats d'acide nitrique ou phosphorique.
- En cas d'acidité trop forte, inférieur à 5, on pourra rehausser le PH avec les bases tels que la soude (NAOH) et la potasse (KOH) ou encore avec la chaux (CA(OH)<sub>2</sub>).

### **5.3.2. Conductivité électrique (CE) :**

Selon LETARD (1995), la conductivité électrique représente la concentration totale en éléments minéraux contenus dans la solution (salinité).

LETARD et PATRICIA (1995), montrent que si la concentration est faible les racines prélèvent très facilement l'eau et en quantités insuffisantes les éléments minéraux. Lorsque la concentration augmente, l'eau est moins facilement absorbée et par conséquent le potentiel hydrique diminue.

LETARD et al (1995) ajoutent que la conductivité électrique est exprimée en millisiemens par cm (ms/cm). Pour la tomate, elle varie généralement de 1.8 à 3.0 ms/cm.

### **5.3.3. Equilibre ionique :**

Il est possible de réaliser un équilibre entre les ions minéraux correspondant aux besoins végétatifs de la culture de telle manière qu'il n'y ait pas excès créant salinité résiduelle. (LESAIN, 1974)

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, 1998), il peut y avoir :

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

L'équilibre ionique de la solution demeure constant tout au long de la culture. Pour y parvenir, il faut faire varier la composition minérale de la solution d'apport en fonction du stade de développement des plantes, de leur état végétatif, et des conditions climatiques (URBAN, 1997).

### **5.4 Préparation de la solution nutritive :**

MORARD(1995), montre que dans la pratique, la procédure à suivre pour la préparation de solution nutritive est la suivante :

- Choix de la formulation adaptée à la culture.
- Analyse de la composition minérale de l'eau d'irrigation.
- Adaptation de la formulation choisie aux teneurs en éléments minéraux contenus dans cette eau.
- Choix de la nature des sels minéraux.
- Calcul des pesés de sels correspondant à la fabrication du volume de solution nutritive préparée (éventuellement à la qualité d'acide à apporté).
- Fabrication des solutions mères A et B d'oligo-éléments.
- Contrôles de la composition minérale de la solution fille à la sortie des goutteurs.

La carence ou l'excès d'un des éléments minéraux provoque des malformations ou des perturbations physiologiques dont certaines se traduisent par des symptômes caractéristiques (LAFON et al, 1996). Le tableau n° (02) résume les symptômes provoqués par l'insuffisance ou l'excès des principaux éléments.

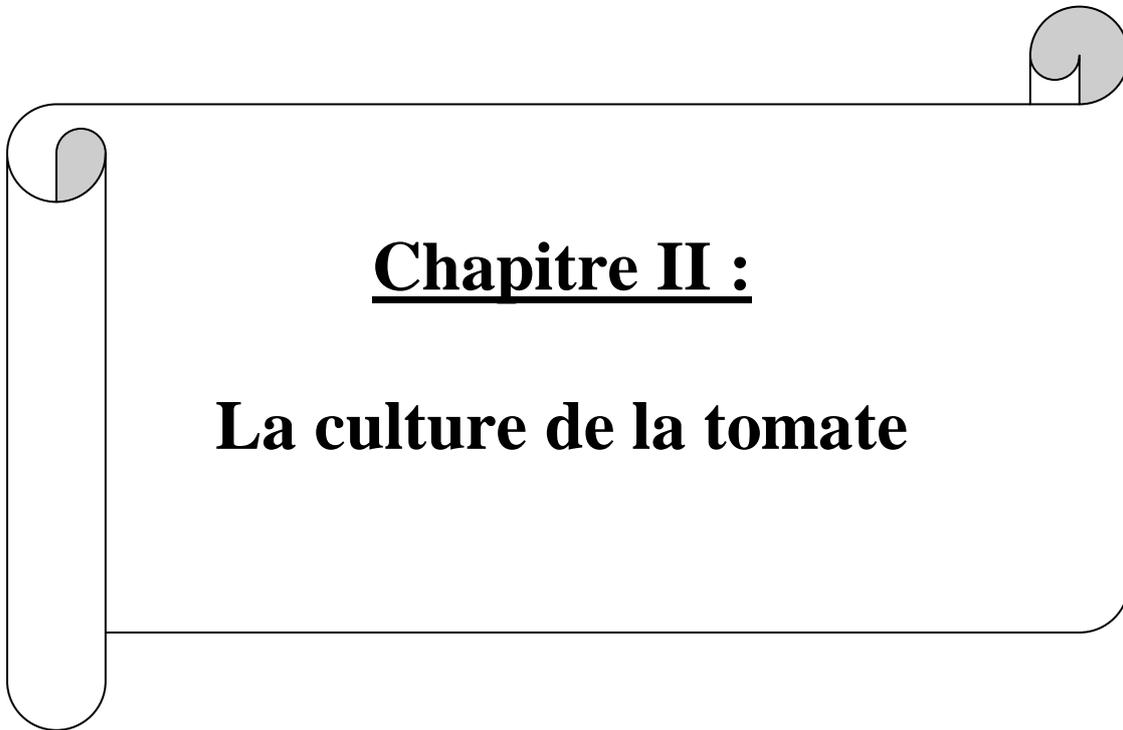
**Tableau n°(02) :** Les symptômes provoqués sur la plante par excès ou carence d'éléments

<b>ELEMENTS</b>	<b>Carence</b>	<b>Excès</b>
<b>Azote</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Feuillage jaunissant de façon uniforme.</li> <li>-Tiges minces</li> <li>-Végétation insuffisante</li> <li>- Racines très longues, peu ramifiées, blanches.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-stimulation de la croissance des feuilles au dépend des fleurs.</li> <li>-Tissus tendres à parois minces, dans le cas grave, chlorose des bouts de feuilles jusque entre nervures, tendant vers nécrose et dessèchement.</li> <li>- excès de pression osmotique : flétrissement.</li> <li>-Nécrose racinaire, faible croissance.</li> </ul>
<b>Phosphore</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rougisement de la tige et du pétiole des feuilles : angle des nervures très aigue,</li> <li>-raccourcissement des entre nœuds</li> <li>-nanisme général de la plante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Jaunissement général</li> <li>-brunissement des extrémités du bord des feuilles suivi de nécrose</li> <li>- -nécrose racinaire, faible croissance.</li> </ul>

<b>Potassium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Chlorose puis brunissement des bords de limbe des feuilles de base, pouvant s'étendre entre les nervures et évoluant vers la nécrose.</li> <li>-Feuilles jaunes plus ou moins roulées.</li> <li>-Croissance diminuée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas de symptômes spécifiques sur la partie aérienne.</li> <li>action indirecte par antagonisme K/Mg ou K/Ca.</li> <li>-Flétrissement provoqué par excès de pression osmotique.</li> <li>-nécrose racinaire, faible croissance.</li> </ul>
<b>Calcium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Feuille vert sombre tendant vers chlorose des pointes et bordures des feuilles jeunes, puis inter nervures ; nécrose possible.</li> <li>- Croissance faible, paroi cellulaires fragiles, malformation des feuilles, bourgeons terminaux brunissement.</li> <li>-Racines courtes, très ramifiées renflées du bout, marrons par la pointe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Effet sur l'utilisation insuffisante du fer et manganèse, chlore.</li> <li>-taches nécrotiques, croissance diminuée, lente molle.</li> </ul>
<b>Magnésium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Elaboration entravée de la chlorophylle.</li> <li>-Chlorose des feuilles du bas principalement taches internervaires irrégulières.</li> <li>-Le reste du limbe reste vert.</li> <li>-Le sommet des feuilles a parfois tendance à s'enrouler.</li> <li>- Racine longue, parfois ramifiée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Provoque un déséquilibre par absorption insuffisante de K<sup>+</sup>.</li> <li>-Croissance de tige exagérée</li> <li>-floraison diminuée.</li> <li>Dans le cas grave, feuilles vertes sombre, plus petites, jeunes feuilles enroulées.</li> <li>-Extrémités de tige se flétrissent.</li> <li>-Forte croissance des racines</li> </ul>
<b>Soufre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Plante entière chlorotique, surtout les jeunes feuilles.</li> <li>-Feuilles épaisses et dures. Tige courte, ligneuse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Feuilles chlorotiques, plus petites se courbant en dedans, pustules sur le bord, brunissement margina.</li> </ul>

	- Nombreuses racines blanches et ramifiées.	- tiges dures, jaunissement de l'extrémité. -Très nombreuses racines blanches et rameuses.
<b>Fer</b>	-Chlorose internervaire évoluant vers jaunissement général du limbe des jeunes feuilles. -Tige mince.	-Excès rare, dans le cas général chlorose générale. -Nécrose racinaire.
<b>Manganèse</b>	-Chlorose internervaire des jeunes feuilles évoluant vers des taches nécrotiques brunes, les nervures restent vertes.	-Dans le cas grave ; l'aspect chlorotique, feuilles bordures et frisolées.
<b>Zinc</b>	-Chlorose mouchetée des feuilles, suivie de nécrose et chute des feuilles. -Raccourcissement entier des entrenœuds.	- Chlorose surtout des jeunes feuilles, y compris nervures. Les vieilles ont des nervures rouges ou noires puis se dessèchent. Les bourgeons terminaux meurent
<b>Cuivre</b>	-chlorose des jeunes feuilles. -Plantes molles, séchant facilement.	-Chlorose des feuilles avec taches brunes. Les nervures restent vertes.
<b>Bore</b>	-Rebécification des feuilles, deviennent vert clair. Souvent taches brunes sur les tiges: l'apex dépérit, les pousses inférieures se développent. - Racines jaunes ou brunes ridées, pourrissant du collet.	-Jaunissement du bord des feuilles gagnant toute la surface laissant de graves taches brunes sur les bords puis chute des feuilles.

(LEMAIRE et al, 1989).



## 1. Historique :

La tomate est originaire de l'Amérique du sud, précisément de la cordillère des Andes, aujourd'hui partagée entre le Pérou, le Chili et l'Equateur. Elle a été longtemps cultivée en tant que plante ornementale parce qu'elle était entourée de réputation d'être toxique. Son utilisation ornementale lui a valu le nom de pomme dorée ou golden apple (du latin Mala aurea) ou pomme d'amour ou love apple (Poma amoris). Le mot « tomate » dérive de l'appellation indienne du Mexique: « tomatl ». Le premier écrit relatant la comestibilité de la tomate reviendrait à l'italien Matthioli (1544) qui avait rapporté que " la tomate est mangée avec de l'huile, du sel et du poivre " (EL FADLI et CHTAINA, 2010)

La tomate arriva d'abord en Espagne, puis très vite, elle parvient en Italie et gagna le reste de l'Europe (EL FADL et CHTAINA, 2010).

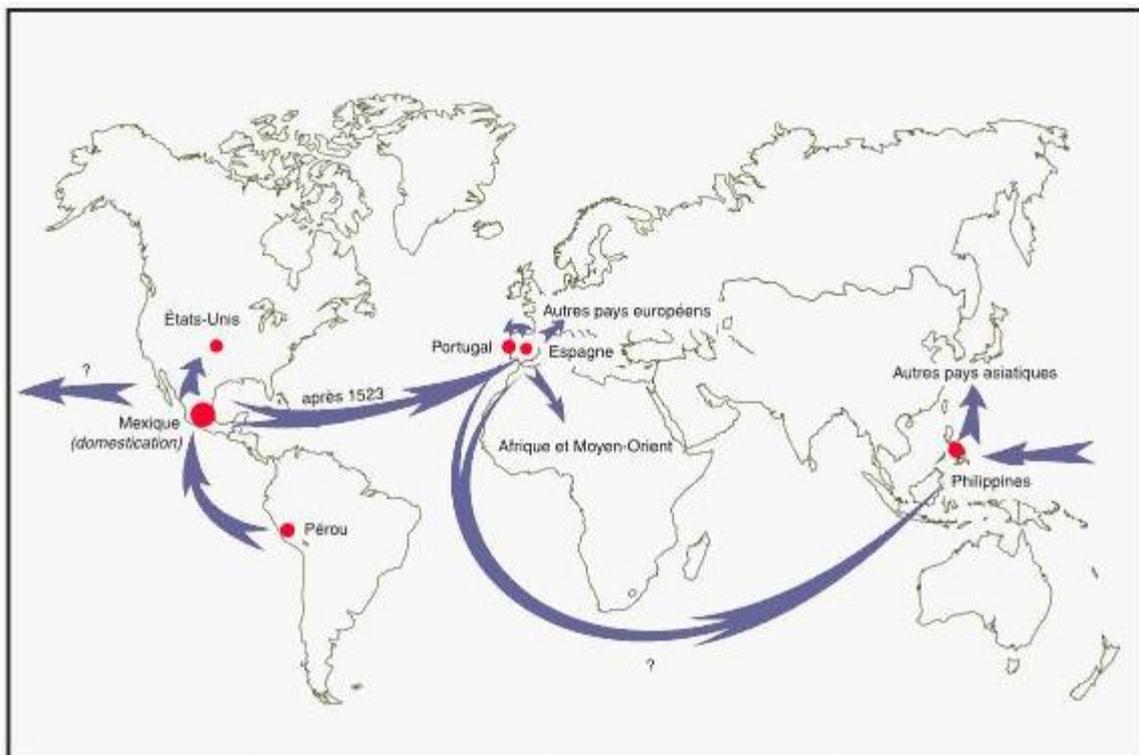


Figure 1 - Carte de l'hypothétique extension de la tomate dans le monde.

**Figure n°01 :** Carte de l'hypothétique extension de la tomate dans le monde. (BLANCARD et al, 2009)

## **2. Classification de la tomate :**

D'après GALLAIS et BANNEROT (1993), la tomate cultivée *Lycopersicon esculentum* Mill appartient à la famille des Solanacées. C'est une espèce diploïde  $2n = 24$  chromosomes, chez laquelle ils existent de très nombreux mutants monogéniques dont certains sont très importants pour la sélection. Il s'agit de mutants morphologiques, de résistances aux maladies ou de marqueurs isoenzymatiques

Selon le même auteur, la tomate est classée botaniquement comme suite :

- Embranchement : phanérogames.
- S / E : spermaphytes.
- Ordre : polemoniales.
- Famille : solanacées.
- Genre : *Lycopersicum*.
- Espèce : *esculentum*.

## **3. Caractéristiques morphologiques de la plante :**

### **3.1 Appareil végétatif :**

#### **3.1.1 Racine :**

Le système racinaire de la tomate est puissant (DUFFE P., 2003). Il est bien développé pivotant avec de nombreuses racines secondaires (BOLLINGER, 1970).

Selon (KOLEV, 1976), la plupart des racines secondaires sont situées à une profondeur de 30 à 40cm et la racine centrale se développe à une profondeur de 100 à 150cm.



**Figure n°02 :** Racine de la tomate (PERSONNELLE, 2014)

#### **3.1.2 Tige :**

La tige de la tomate, comme celle des autres solanacées est vigoureuse et ramifiée. (Elle est épaisse, presque ligneuse est fortement bifurquée et atteint une longueur de 0.30 jusqu'à 200cm (KOLEV, 1976)

Elle porte les différents organes aériens feuilles, fleurs et fruits. (TAHI, 2008).

D'après (MESSAIEN ,1975) la tige de la tomate est herbacée, naturellement rompant si elle n'est pas soutenue par un tuteur.

Selon EL DADL et CHTAIN (2010) les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères morphologiques et botaniques : ils déterminent l'aspect et le port que revêt le plant de tomate. Ainsi la plupart des variétés ont un port dit indéterminé (ou non déterminé) à l'opposé des autres, dites à port déterminé.

- a. **Variétés à port déterminé** : sont des variétés naines. Leur croissance s'arrête une fois que la plante produit 2 à 5 inflorescences (BLANCARD et al, 2009). Elles ne nécessitent ni tuteurage ni taille. Ce sont des variétés précoces, mais dont la production est peu échelonnée. C'est dans ce type de tomates que l'on trouve le plus souvent les variétés industrielles de conserverie, cultivées en plein champs (EL FADL et CHTAINA, 2010).
- b. **Variétés à port indéterminé** : sont plus nombreuses. Elles continuent de pousser et de produire des bouquets de fleurs tant que les conditions leur conviennent. Comme leur développement est exubérant, elles nécessitent un tuteurage, une taille et même un ébourgeonnement régulier. Elles ont une production plus étalée et sont plus productives que les tomates à port déterminé (EL FADL et CHTAINA, 2010).

### 3.1.3 Feuille :

Les feuilles de la tomate sont odorantes composées (EL FADL et CHTAINA, 2010). Elles répandent une odeur spécifique lorsqu'on froisse, grâce à une sécrétion dégagée par les petits poils qui recouvrent la plante. (KOLEV, 1976)



**Figure n°03** : Feuille de la tomate (PERSONNELLE, 2014)

Les feuilles sont imparipennées avec des folioles les plus ou moins dentées (BLANCARD et al, 2009).

### 3.2 Appareil reproducteur :

#### 3.2.1 Fleur :



**Figure n°04 :** Fleur de la tomate (Personnelle, 2014)

Les fleurs des variétés cultivées sont groupées en inflorescences simples ou ramifiées (BLANCARD et al, 2009). Elles sont petites ; jaunes en forme d'étoile sont groupés sur un même pédoncule en bouquet lâche de trois à huit fleurs. Ces bouquets apparaissent en général régulièrement sur la tige chaque fois que la plante a émis trois feuilles (en conditions favorables, la plante pousse continuellement en émettant des feuilles et des bouquets de fleurs) (EL FADL et CHTAINA, 2010).

Selon TAHI (2008), les fleurs sont hermaphrodites avec des parties mâles et femelles fonctionnelles et sont principalement auto-pollinisées par le vent.

La structure de la fleur assure une autogamie stricte, cependant elle peut se comporter comme une plante allogame présentant ainsi deux types de fécondation qui divisent la tomate en deux variétés ; variété fixée et variété hybride (PUBLISHERS, 2004).

- a. **Les variétés fixées :** sont anciennes, leurs fruits sont plus ou moins réguliers, elles sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (EL FADL et CHTAINA, 2010).
- b. **Les hybrides :** les hybrides F1 sont issus de l'hybridation de deux lignées homozygotes. Ses caractères résultent de la conjonction de l'information génétique fournie par chacun des deux parents (TANKSLEY et al, 1992).

#### 3.2.2 Fruit :

Les fruits de tomates, charnues et tendres, sont en fait des baies. Selon la variété, leur taille, leur couleur, et leur consistance sont très différentes. Il est de même pour leur forme et leur poids qui peut varier de quelques dizaines de grammes à plus d'un kilogramme (BLANCARD et al, 2009).



**Figure n°05:** Fruit de la tomate (Personnelle, 2014)

MESSIAEN (2009), ajoute que les fruits peuvent être de forme très diverse selon les variétés, aplatis lisses ou côtelés, arrondis, en forme de cœur, ovoïdes ou allongés.

Leur couleur, vert plus ou moins foncé avant maturité, évolue durant cette dernière vers diverses teintes en fonction des cultivars : crème, jaune, orange, rose, rouge ou brun. Quelques rares variétés sont zébrées (BLANCARD et al, 2009).

### **3.2.3 La graine :**

D'après CHAUX et FOURY (1994), Les graines sont présentes en grand nombre dans chaque fruit, environ 80 à 350 graines selon les variétés.

Elles sont petites, rondes, d'une couleur jaunâtre ou grisâtre. Elles sont pourvues d'un duvet lisse. (KOLEV., 1976). Le poids de 1000 graines est d'environ 3 à 4 grammes, selon la variété (PNTTA., 1999).

## **4 Exigences de la plante:**

### **4.1 . Exigences climatiques :**

Il existe trois facteurs climatiques essentiels qui interviennent aux différents stades de développement de la plante : température, lumière et humidité :

#### **4.1.1 La température :**

L'optimum de température diurne se situe à 25 C°. il est à moduler en fonction du niveau d'ensoleillement 18-20 C° par temps couvert. Un thermopériodisme journalier optimum de 10 C° doit être respecté mais cet écart jour-nuit est à moduler en fonction du stade de la plante (PERON, 2004).

Pour obtenir une bonne production, un écart de 6 à 7°C entre les températures diurnes et les températures nocturnes est nécessaire au moment de la floraison (NYABYENDA, 2006).

CHIBANE (1999), ajoute qu'au dessus de 30 Co, le lycopène responsable de la couleur rouge du fruit ne se forme plus. C'est le pigment B carotène qui se forme donnant ainsi une coloration jaune orange au fruit.

D'après CHAUX (1972), les températures moyennes de l'air et du sol pour un bon développement des différents stades de la tomate peuvent être résumées dans le tableau suivant :

**Tableau n° 3 :** Besoin en température de la tomate.

Stade de développement	Température de l'air (C°)		Température du sol (C°)
	Jour	Nuit	
<b>Germination</b>	18 - 20	18 - 20	25
<b>Croissance</b>	18 - 20	15	15 - 20
<b>Floraison</b>	22 - 25	13 - 17	15 - 20
<b>Fructification</b>	25	18	20 - 25

(CHAUX, 1972)

Les interactions qui peuvent exister entre la température de l'air et du substrat influent de manière directe sur l'absorption minérale (CHAUX ET FOURY 1994) par exemple :

Des températures élevées au niveau des racines (25-30°C) conjuguées à des basses températures de l'air (15-18 °C) provoquent un excès d'azote dans le système végétatif, se traduisant par des risques importants de coulures des fleurs.

L'effet néfaste des basses températures de l'air (12-15 °C) sur l'alimentation en potasse est accentué par des températures du même ordre au niveau des racines, réduisant fortement la perméabilité membranaire.

#### **4.1.2 Humidité :**

L'humidité atmosphérique présente une certaine importance. COTTER et WALKER ont mis en relief l'importance d'une humidité atmosphérique sur la grosseur des fruits, mais ils ont constaté aussi que cette mesure conduisait à une expansion des maladies cryptogamique, notamment du Mildiou, du Botrytis, et à une mauvaise fécondation parce qu'elle cause le gonflement des étamines et le pollen ne peut pas sortir et effectuer la pollinisation.

Pour ces motifs il semble qu'une hygrométrie relative ambiante de 60 à 65% soit la meilleure. Malheureusement, il est difficile d'agir sur ce facteur (EL FADL et CHTAINA, 2010).

#### **4.1.3 Lumière :**

La tomate est peu sensible au photopériodisme, mais est exigeante en énergie lumineuse. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (CIRA-GRET, 2002).

Selon (CHAUX, 1972) une forte quantité de lumière est nécessaire à la croissance et à la fructification de la plante. Afin de remédier à l'insuffisance saisonnière, on peut avoir recours à l'éclairage artificiel pour la production des plants de printemps.

#### **4.2 . Exigences hydriques :**

La tomate paraît la culture la plus exigeante en eau en particulier après sa transplantation, pendant la floraison et enfin lors du développement des fruits (Naika et al, 2005).

La plante consomme de l'eau pour constituer sa matière végétale, contient 90 à 95% d'eau et 5 à 10 % de matière sèche (LETARD, 1995).

Selon le même auteur les besoins annuels de la tomate d'eau varient entre 7000 et 8000m<sup>3</sup>/ ha/an, soit 15 à 20 fois plus que le poids d'eau dans la matière fraîche.

Les besoins sont liés au climat, au stade des plantes et à leur état végétatif. Il faut maintenir la plante à la limite de ses besoins toute irrégularité entraîne au moment de la maturation des éclatements de fruits (CHAUX, 1972).

#### **4.3 Exigences édaphiques :**

##### **4.3.1 Sol :**

Selon LAUMONNIER et al (1995), la tomate peut être cultivée presque dans tous les sols. Cependant, les sols légers, meubles et riches en matières organiques lui conviennent mieux.

Il convient d'éviter les sols trop battants et mal structurés en profondeur, du fait des risques d'asphyxie racinaire de leur conséquence néfaste sur l'alimentation hydrique peuvent conduire à la nécrose apicale du fruit. (CHAUX et FOURY, 1994)

La température du sol est le premier facteur dont dépendent le pourcentage de levée et la vitesse de germination. Cette dernière augmente avec la température jusqu'à une valeur optimale de 25°C, et entre 15°C et 20°C on aura un meilleur pourcentage de levée (REY et COSTES, 1965).

### **4.3.2 Aération :**

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

### **4.3.3 pH:**

La culture de la tomate tolère une large gamme de pH (Elattir et *al.*, 2003. Utilisation de l'eau). Néanmoins, sur des sols à pH basique, certains micro-éléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles à la plante.

ITCMI propose un intervalle de 4.5 à 8.2 pour le pH de la tomate mais celle-ci a une préférence de 5.5 à 6.5 (ITDAS, 2006).

### **4.3.4 Salinité :**

La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis-à-vis de la salinité. Le taux moyen de sensibilité se situe entre 1.5 à 03g /l. les risques de carence apparaissent lorsque le taux de sel est inférieur à 01 g/l tandis qu'il devient toxique quand il est supérieur à 04g/l. La période de sensibilité la plus importante au sel correspond à la germination et à la levée des plantes. (LAUMONNIER, 1979).

La culture de la tomate tolère une conductivité électrique (CE) de l'ordre de 3 à 4,5 mmohs/cm). L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit. Donc elle doit être maintenue entre 1 et 2 mmohs/cm à 25°C en fonction du stade de la culture et de la saison (SKIREJ, 2006).

## **4.4 Exigences nutritionnelles :**

Selon CHAUX (1972), la tomate se classe parmi les espèces exigeantes en éléments fertilisants. Les doses d'engrais minéraux doivent être déterminées en fonction de la richesse du sol et le stade de développement. Le démarrage de la croissance de la plante est meilleur lorsqu'elle trouve des matières nutritives dans la rhizosphère (SKIREDJ et *al.*, 2005).

Les éléments minéraux majeurs : N - P - K et les oligoéléments Ca – Mg – S – Na - Cl sont indispensable à la plante pour fabriquer la matière végétale. Ils sont prélevés dans la solution du sol ou substrat (LETARD et al, 1995)

Le carbone, l'oxygène et l'hydrogène, qui représentent la part la plus importante plus que 90% de la matière végétale, sont prélevés dans l'air et dans l'eau (MUSARD, 1988).

La tomate est exigeante en azote, potassium, magnésium et soufre. Ses besoins en éléments fertilisants sont importants (PÉRON, 2006 et LE CLECH, 1993).

Les exportations dépendent du rendement. Elles sont aussi très variables selon le système de culture (JACOB et JANSSON, 1978).

**Tableau n°04 :** l'exportation de la tomate selon le système de culture

	<b>Rendement t/ha</b>	<b>N Kg/ha</b>	<b>P2O5 Kg/ha</b>	<b>K2O Kg/ha</b>	<b>CaO Kg/ha</b>	<b>MgO Kg/ha</b>
<b>Tomate pour conserve</b>						
<b>Totale</b>	<b>70.7</b>	<b>179</b>	<b>40</b>	<b>161</b>	<b>225</b>	<b>18</b>
<b>Tomate pour la conservation en frais (plein champs)</b>						
<b>Feuille+ tige</b>	<b>20</b>	<b>55</b>	<b>22</b>	<b>57</b>	<b>180</b>	<b>18</b>
<b>Fruits</b>	<b>60</b>	<b>79</b>	<b>32</b>	<b>172</b>	<b>153</b>	<b>10</b>
<b>Racines</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>0.8</b>	<b>23</b>	<b>06</b>	<b>08</b>
<b>Totale</b>	<b>81</b>	<b>136</b>	<b>54.8</b>	<b>232</b>	<b>339</b>	<b>36</b>
<b>Tomate pour la consommation fraîche (sous serre)</b>						
<b>Plante</b>	<b>67</b>	<b>210</b>	<b>62</b>	<b>469</b>	<b>359</b>	<b>82</b>
<b>Fruits</b>	<b>150</b>	<b>190</b>	<b>75</b>	<b>459</b>	<b>22</b>	<b>36</b>
<b>Totale</b>	<b>217</b>	<b>400</b>	<b>136</b>	<b>928</b>	<b>381</b>	<b>118</b>
<b>Tomate sur substrat</b>						
<b>Totale</b>	<b>a.</b>	<b>48</b>	<b>6.2</b>	<b>23.5</b>	<b>29.5</b>	<b>9.1</b>

Source : (ODET, 1989)

## **5 Cycle de développement de la tomate :**

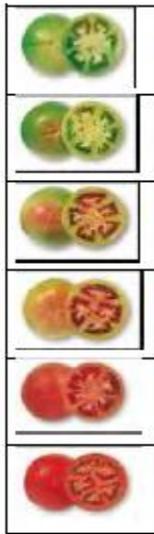
Le cycle de développement d'un plant de tomate peut être décrit schématiquement par trois grandes phases biologiques :

- la « phase végétative » qui correspond à la production phénologique exclusive d'organes végétatifs (feuilles et tiges) et comprise entre la levée et l'apparition de la première inflorescence (DUMAS, 1992).
- la « phase reproductive » qui correspond à la période de production des fleurs et des fruits et qui démarre à la floraison pour s'achever en fin de culture ;
- la « phase de maturation » des fruits qui démarre sept à dix jours avant la récolte des premiers fruits et se termine à la récolte (ATHERTON and RUDICH, 1986)

Selon (El FADL et CHTAINA, 2010) Les changements opérés dans le fruit de la tomate en vue de sa maturation sont les suivants :

- Dégradation de l'amidon et production de glucose et de fructose
- Perte de chlorophylle;
- Synthèse de pigments tels que  $\beta$ -carotène et lycopène;
- Accroissement des pectines solubles provenant de la dégradation des parois cellulaires
- Accroissement de l'acide citrique et malique
- Accroissement de l'acide glutamique

- Dégradation des alcaloïdes toxiques ( $\alpha$ -tomatine).



**Vert mûre:** le fruit est physiologiquement prêt au mûrissement. La couleur verte tend vers le clair

**Pointé :** début de changement de la coloration (10% ou moins devient jaune à rose).

**Tournant :** entre 10 à 30% de la surface devient rose ou rouge

**Rose :** cette coloration concerne 30% à 90% de la surface du fruit

**Rouge léger :** Rouge-rose à rouge sur plus de 60% de la surface

**Figure n°06 :** cycle de développement du fruit de tomate (El FADL et CHTAINA, 2010)

## **6 Travaux d'entretien :**

### **6.1 Tuteurage :**

Il permet de soutenir les tiges et d'éviter le contact des fruits et des feuilles avec le sol. Il a lieu généralement vers la floraison. Les agriculteurs utilisent pour cela des piquets en bois qu'ils vont cueillir en forêt (HUAT, 2008).

### **6.2 Taille :**

La taille a pour objectif de limiter la hauteur des plantes et le nombre de ses ramifications. On a plusieurs types de taille (LAUMONNIER, 1979).

Les plants sont taillés en laissant deux à trois tiges vigoureuses. L'intervention a lieu au moment du tuteurage. Cette opération vise surtout à obtenir de gros fruits (HUAT, 2008).

### **6.3 Effeillage :**

Il a plusieurs objectifs dont le principal est de limiter la progression des maladies fongiques ou autres parasites sur les feuilles (sénescences ou vertes). Il vise aussi, pour certains producteurs, à faciliter la pénétration des produits phytosanitaires au milieu des plantes, à réduire le volume de bouillie phytosanitaire, à faciliter la récolte ou encore à améliorer l'alimentation des fruits. Il démarre généralement tôt, avant la floraison, puis se répète après l'opération de taille au cours de la phase de grossissement des fruits et pendant la période des récoltes (HUAT, 2008).

#### 6.4 Ebourgeonnage :

Il est important de pincer les gourmands. L'on élimine les petites pousses latérales pour ne laisser qu'une tige principale. Les grappes de fruits pousseront le long de cette tige principale. Le fait de tailler les gourmands améliore la qualité et la taille des fruits. (SKIREDJ, 2006).

### 7 principales maladies et ennemis de la tomate :

La prévention des maladies et des ravageurs est extrêmement importante pour la culture de la tomate. Selon (HUAT, 2008), les principaux facteurs limitant la production de la tomate en plein champ sont l'alimentation hydrique, minérale, les maladies et les ravageurs.

#### 7.1 principales insectes et ravageurs :

**Tableau n°05 :** Les principaux ravageurs de la tomate.

Ravageurs	Symptômes	Lutte
<b>Acariens</b> ( <i>Tetranychus spp</i> )	- Jaunissement et brunissement des feuilles suivi par leur dessèchement et leur chute. - Avortement des fleurs. - immaturité des fruits.	- Application d'acaricide à base de soufre, d'acrinathrine ou d'abamectin. - Elimination des plants contaminés et aération des lieux. - Utilisation d'auxiliaires tels que les acariens prédateurs.
<b>Pucerons</b> ( <i>Macrosiphum euphorbiae</i> )	- Ralentissement de la croissance des plantes. - Apparition de feuilles recroquevillées et souillées. - Transmission de virus.	- Traitement à base de méthomyl, de deltaméthrine ou de pyméthrozine. - Bien aérer et éviter les excès d'arrosage - choisir des variétés résistantes.
<b>Mineuse de feuille de tomate</b> ( <i>Tuta absoluta</i> )	-Mines sur feuille cause par la larve, pouvant évoluer jusqu'à une destruction complète du limbe. -Attaque les jeunes fruits verts.	-Installation des filets insectproof sur les ouvrants des multi chapelles, entre les bâches plastiques des tunnels. -Détruire les mauvaises herbes, les broussailles. -Utilisation des insectes auxiliaires.

(BAIRE et al, 2010)

#### 7.2 Maladies physiologiques :

**Tableau n°06.** Les principales maladies physiologiques de la tomate.

Maladies physiologiques	Symptômes	Lutte
<b>Nécrose apicale</b>	-Sur fruit, on observe une tache brunâtre qui se nécrose par la suite et provoque le dessèchement pistalaire du fruit qui devient sujette aux	- Apport d'engrais azoté à base de nitrates et de calcium. - Irrigation régulière. - ébourgeonnage et effeuillage à temps,

	attaques des champignons. Les 2 ou 3 premiers bouquets sont les plus touchés par cette anomalie.	- éviter l'irrigation avec des eaux saumâtres, traitement chimique avec les nitrates de chaux ou le chlorure de calcium.
<b>Tomate creuse</b>	- Le fruit prend une forme triangulaire ou cordiforme. Les loges sont vides, présentant parfois peu de graines. La chair est moins épaisse.	- Fertilisation potassique fractionnée. - éviter l'apport excessif d'azote et de phosphore. - Irrigation régulière - Bonne fermeture des abris pendant la nuit au cours des mois les plus froids.
<b>Eclatement</b>	- Au cours du grossissement du fruit, on observe des gerçures au niveau du collet qui peuvent évoluer, si les conditions deviennent favorables, en éclatement circulaire ou radial.	- Irrigation régulière. aération judicieuse des abris - Fertilisation rationnelle. - Utilisation de variétés tolérantes

(PNTTA., 1999).

### 7.3 Maladies cryptogamiques :

**Tableau n°07 :** Les principales maladies cryptogamiques de la tomate.

<b>Maladies cryptogamiques</b>	<b>Symptômes</b>	<b>Lutte</b>
<b>Mildiou</b>	-Grandes tâches brunes sur les feuilles et les tiges	-Contrôle du climat de la serre. -Destruction des plants lorsque plus de 25% du feuillage ou des fruits est atteint afin d'éliminer les foyers d'infection, -Destruction des résidus de récolte, -Dès qu'il ya apparition de température et humidité favorables, pulvériser chaque semaine du peroxyde d'hydrogène dilué ou du sulfate de cuivre en prévention sous les feuilles.
<b>Fusariose</b>	-Flétrissement des feuilles -Brunissement des vaisseaux -Pourriture des racines	-Utilisation des substrats et les plants sains, -Elimination des plants malades en cours de culture, -Pratique d'un buttage des plants pour l'obtention de l'émission de nouvelles racines qui remplaceront les racines nécrosées.
<b>Oïdium</b>	-Feutrage blanc sur feuilles.	-Utilisation des variétés résistantes ou tolérantes,

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nettoyage des outils de travail,</li> <li>-Supprimer rapidement les parties ou sujets atteints afin que la maladie ne se propage pas trop vite</li> </ul>
--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(SNOUSSI, 2010)

#### 7.4 Maladies bactériennes :

**Tableau n°08** : Les principales maladies bactériennes de la tomate.

Maladies cryptogamiques	Symptômes	Lutte
<b>Chancre bactérien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Flétrissement unilatéral sur feuille, suivi d'un dessèchement total. Des coupes longitudinales sur tige et pétioles montrent des stries brunâtres.</li> <li>-En cas de forte chaleur et HR élevée, on observe des chancres ouverts sur tiges et pétioles.</li> <li>-Sur fruit, se forment des taches blanchâtres, dont le centre brunit et s'entoure d'un halo jaune clair, d'où le nom de "œil d'oiseau"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Eviter les terrains infestés</li> <li>-Aération convenable des serres</li> <li>-Eviter l'apport excessif d'azote</li> <li>-Eviter les excès d'eau</li> <li>-Eliminer les plants malades</li> <li>-Appliquer des fongicides à base de cuivre qui ont un effet bactériostatique</li> <li>-Désinfection des abris-serre avant plantation</li> <li>-Utilisation de semences certifiées</li> <li>-Traitement de semences</li> <li>-Variétés résistantes</li> </ul>
<b>Moucheture de la tomate</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sur feuillage: Apparition des taches noires de contour irrégulier entourées d'un halo jaune. Ces taches peuvent se joindre et forment une plage nécrotique brune-sombre.</li> <li>-Les folioles se dessèchent et tombent. Si l'attaque est précoce, on assiste à une coulure importante des fleurs.</li> <li>-Sur fruit, on observe des taches brunes nécrotiques.</li> </ul>	
<b>Nématodes à galles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apparition de galles sur les racines des plants attaqués.</li> <li>-La tige rabougrit</li> <li>- les feuilles jaunissent, puis la plante dépérit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Eviter le sol infesté.</li> <li>-Désinfection avant plantation à l'aide de nématicides.</li> <li>-Utilisation de variétés résistantes.</li> <li>-Recours aux portes greffes résistants.</li> </ul>

(PNTTA., 1999).

## 7.5 Principales maladies virales :

**Tableau n°09 :** Principales maladies virales

Maladie	Symptômes et dégâts	Lutte
<b>Filiformisme mosaïque et nécrose de tomate</b> <i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV)	-Folioles filiformes, crispées. -Jaunissement et nécrose à la base des folioles. -Anneau et arabesques blanchâtre à jaunes sur fruits (aspect boursoufflé)	-Lutte soignée contre les pucerons. -Ne pas cultiver de tomates aux abords des cultures de concombre, pomme de terre, et tabac. -Pas de traitements efficaces.
<b>Maladies des feuilles jaunes en cuillère</b> <i>Tomato yellow leaf curl virus</i> (TYLCV)	-Jaunissement et enroulement des feuilles. -Folioles plus au moins incurvées. -Folioles de taille réduite conférant à la plante un aspect chétif.	-Arracher et brûler les plants atteints
<b>Mosaïque de la tomate</b> <i>Tobacco mosaic virus</i> (TMV)	-Plage jaune vif sur foliole. -Folioles filiformes, légèrement enroulées. -Brunissement de fruits.	
<b>Mosaïque et tache nécrotique de la tomate</b> Virus Y de la pomme de terre (PVY)	-Foliole très discrètement marbrées. -Jaunissement internervaire en tache et début de nécrose sur foliole. -Refllet métallique, des taches nécrotiques sur la face inférieure d'une foliole.	

(DOMINIQUE et al 2009)

## 8. Evaluation de la qualité de la tomate :

Selon (DUFEE, 2003), la place importante prise par la tomate du point de vue économique a suscité un intérêt marqué pour ce végétal de la part des sélectionneurs. Cependant, on a trop longtemps privilégié l'adaptation aux conditions de culture et les résistances aux maladies et donc la productivité au détriment de la qualité organoleptique. Les principaux critères de qualités de la tomate sont :

**La forme du fruit, son calibre, son homogénéité et l'absence de défaut,** la forme du fruit et son calibre est une des qualités essentielles de la tomate ; la Marmande avec la régularité de forme et de calibre de la variété Saint Pierre. Une grosseur moyenne

du fruit étant le garant d'une tendance à une forme et un calibre plus réguliers et à l'élimination d'un défaut récurrent chez les Marmande : la sensibilité à l'éclatement.

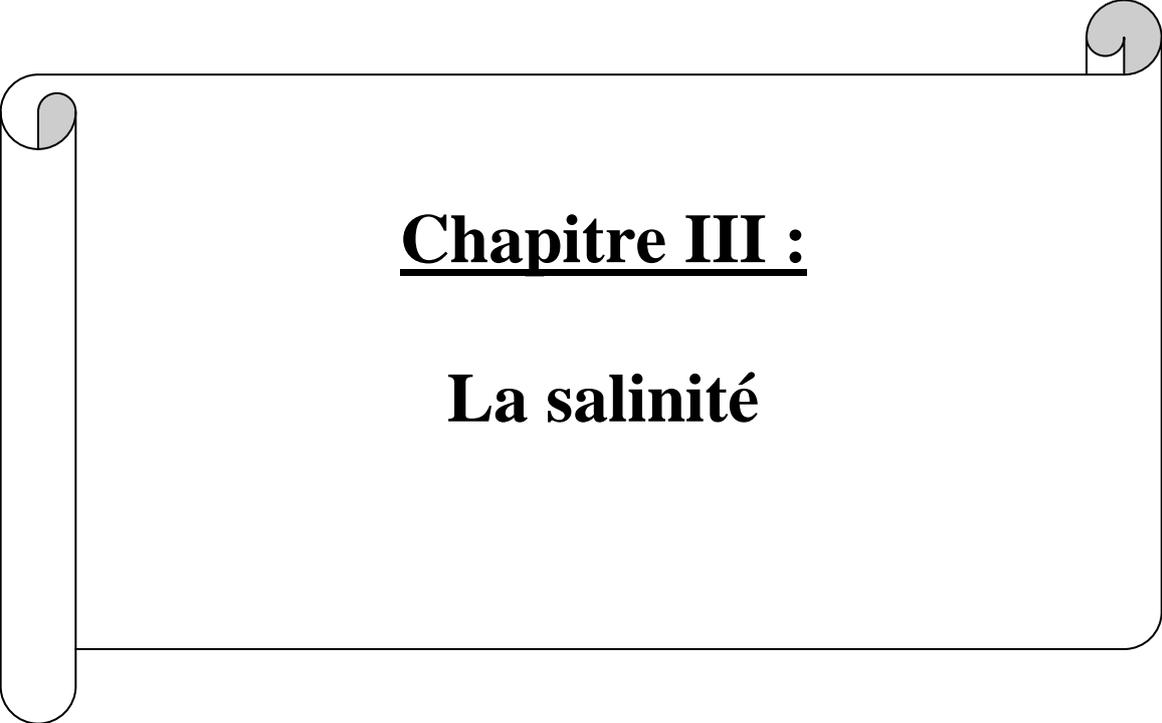
**La couleur externe**, la couleur du fruit dépend de la teneur en caroténoïdes totaux en particulier du lycopène et du carotène. Plusieurs mutations monogéniques agissent sur ces teneurs donc sur la couleur externe et interne du fruit. L'obtention de fruits avec une couleur externe rouge intense associée à un épiderme brillant est le but des sélectionneurs.

**La fermeté du fruit**, les sélectionneurs de tomate ont intégré la fermeté du fruit comme objectif à leurs programmes de sélection. Ils ont réussi à améliorer la fermeté d'un fruit qui naturellement est plutôt mou. Ils y ont d'ailleurs tellement bien réussi qu'on reproche parfois aux variétés apparues depuis ces dix dernières années d'être trop fermes!

**L'aspect interne (couleur, texture)**, ce paramètre de la qualité reste actuellement un problème pour les sélectionneurs qui ont quelques difficultés à allier une présentation externe attractive avec un aspect interne de bon niveau. Ainsi les variétés proposées actuellement au consommateur présentent souvent des zones blanchâtres au niveau du mésocarpe ou encore des fibres dures et claires à l'intérieur du péricarpe.

**La qualité organoleptique** : la qualité organoleptique est devenue un paramètre important de la qualité globale de la tomate

**La qualité nutritionnelle** : les deux principaux composés contribuant à la qualité nutritionnelle de la tomate sont le lycopène (pigment rouge au pouvoir antioxydant) et la vitamine C.



**Chapitre III :**

**La salinité**

## **1. Généralité :**

La salinité des sols et des eaux d'irrigation compte parmi les principaux facteurs qui limitent la productivité végétale (FLOWERS, 2004).

Elle est définie comme étant la concentration de la solution nutritive s'exprimant en gramme de sels par litre d'eau (BRUN et MONTARONE, 1987).

Selon (SNOUSSI, 2001), le problème de la salinité est important. Le développement de l'agriculture s'y trouve confronté dans l'ensemble des pays touchés. Pourtant de part le monde, nombreux sont les actions de récupération de sols salins et saliques, de mise en valeur des sols salés et d'utilisation des eaux salines qui ont connu un développement rapide durant la dernière décennie (Tunisie, Inde, France, Egypte...).

## **2. Définition de la salinité :**

La salinisation correspond à l'accumulation des sels solubles dans les zones racinaire et perturbe le fonctionnement de la plante (CHEVRY, 1995).

La salinité se détermine par la mesure de la conductivité électrique d'extrait de patte saturée du sol (CE). Elle s'exprime soit par unité de siemens par mètre (ds/m) à 25°C, soit en Millimhos par centimètre (mmhos/cm) (KOTUBY et al, 1997).

La salinité constitue un problème sérieux qui affecte la croissance des cultures. Chez la tomate l'effet de la salinité se manifeste par des pertes en matières sèches des pousses et une chute du rendement en fruit (HASSAN et al. 1989; SOLIMAN et DOSS, 1992).

## **3. Définition de stress salin :**

Le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>. Malheureusement la plupart des espèces cultivées, importantes sur le plan économique, sont très sensibles aux conditions de salinité du sol (HOPKINS, 2003).

MONNEVEUX et THIS (1997), ajoutent que le stress salin est du à des effets indésirables liés aux excès de sels. De plus, ce stress est souvent associé à des stress thermiques, le cas de la sécheresse, et peut induire une sécheresse physiologique comparable à un stress hydrique (SCHWARZ, 1985). Donc le stress salin est simultanément :

- **Un stress hydrique** : C'est la diminution du potentiel hydrique dans la zone racinaire qui se traduit par une diminution de la disponibilité en eau pour la plante, ce qui provoque un déficit hydrique et une perte de la turgescence au niveau des tissus;
- **Un stress ionique** : En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation des sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique;
- **Un stress nutritionnel** : Le stress salin provoque une altération de la nutrition minérale, en particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires.

#### **4. Définition de la salinité des sols :**

Les sols salés sont caractérisés par des propriétés physique, chimique et biologique défavorables à la croissance des végétaux en raison de la présence de sels solubles, et /ou de sodium échangeable en quantité élevée. L'accumulation du sodium peut avoir une action néfaste sur la structure de sol (SNOUSSI, 2001).

Selon LACHARME (2001), Ils existent plusieurs types de sols salins :

**Tableau n°(10) :** Classification des sols salinisés

<b>Classification</b>	<b>CE (dS m-1)</b>	<b>pH du sol</b>	<b>Condition physique du sol</b>
Salin	>4.0	<8.5	Normale
Salin-sodique	>4.0	<8.5	Normale
sodique	<4.0	>8.5	pauvre

(BRADY, 2002)

#### **5. Définition de la salinité des eaux :**

Les eaux salées sont ses eaux chargées en sels, les principaux éléments qui ont un effet déterminant sur la qualité de l'eau sont : (JAMES, 1982)

- La concentration totale de sels solubles.
- La proportion relative de Sodium, du bicarbonate, du Calcium et du Magnésium.
- La quantité de bore dans l'eau.

Selon LACHARME (2001), la classification de l'eau d'irrigation la plus couramment utilisée est celle fournie par l'US salinity laboratory, la conductivité électrique de l'eau donne des limites pour les usages agricoles et humains. (Tableau n°09). La conductivité de l'eau peut être rapidement convertie en mg de sel par litre par la formule :

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mS/cm} = 640 \text{ mg/l de sels}$$

**Tableau n° (11) :** Classification des eaux d'irrigation

Utilisation	Conductivité mmhos/cm	Commentaires
<b>Pour les usages agricoles</b>	0 – 0.5	Bonne
	0.5 – 2.2	Moyenne
	> 2.2	nuisible
<b>Pour les usages domestiques</b>	0 – 0.4	Bonne
	0.4 – 0.75	moyenne
	0.75 – 1.5	Mauvaise
	> 1.5	Impropre

(LACHARME, 2001)

## **6. Types de salinisation :**

Ils existent deux types de salinité primaire et secondaire :

### **6.1 Salinité primaire :**

La majorité des terres salinisées ont une origine naturelle (Près de 80 %). La salinisation primaire résulte du fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux (SERVANT ,1975).

### **6.2 Salinisation secondaire :**

La salinisation secondaire, résultat d'activités agricoles sur un sol déjà formé, est corollaire de l'irrigation est conséquence de la quantité d'eau apportée aux sols agricoles déjà formé, de sa qualité (nature et concentration des sels) de la texture des sols et du climat. Dans les aires de grande irrigation s'ajoute l'inadéquation du réseau de drainage des eaux usées souvent insuffisant par sa densité, par la profondeur des drains, par sa pente et son mauvais état (MANIGUET, 2003).

L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable (MARLET, 2005).

## **7. Origine et causes principales de la salinisation :**

La salinisation des sols n'est pas seulement liée aux conditions climatiques, mais également à l'activité de l'homme qui, pour des raisons économiques, a développé une agriculture intensive souvent mal contrôlée. En outre, le fort ensoleillement et la faible pluviométrie ont obligé les agriculteurs à irriguer (DUVIGNEAU, 1980).

Les sels sont un composant commun et essentiel du sol et plusieurs sels sont nécessaires en nutrition des plantes (SARIDI, 2002).

Le sel dans la nature a principalement trois origines : (MONGI, 1982)

- La mer qui peut contaminer les régions côtières par les infiltrations d'eau salée pouvant atteindre la nappe phréatique.
- La dissolution des roches sédimentaires par les eaux de ruissellements. Ces roches riches en chlorures, sulfates, carbonates ou bicarbonates contribuent à l'augmentation de la salinité des sols et des nappes souterraines.
- La concentration par évaporation des eaux de surfaces qui sont généralement utilisées pour l'irrigation.

## **8. Salinité en Algérie et au reste du monde :**

### **8.1 En Algérie :**

Le problème de la salinité en Algérie devient de plus en plus crucial et difficile à résoudre. En effet, on assiste actuellement à une dévalorisation des terres en culture car le salant gagne un terrain de façon alarmante (CHEBALLAH, 1994).

Les sols salés en Algérie se sont étendus et occupent de vastes surfaces. Ils sont rencontrés dans la région qui présente des climats arides et semi-arides et peuvent englober, certaines régions désertiques. (LESSAAD, 1982). En par conséquent près de 95 % des sols sont potentiellement affectés par le sel (HALITIM, 1988).

Selon HALITIM (1988), la source des sels en zone aride algérienne est essentiellement constituée par les roches mères sous-jacentes.

Selon SIMONNEAU in MOUSTEFAOUI (2003), ajoute qu'on Algérie deux types de saleur peuvent être reconnus :

- La salure de la région tellienne (plaines sublittoral) et des hautes plaines steppique ou l'élément toxique et constitué essentiellement par le chlorure de sodium (NaCl) ou de chlorure de magnésium (MgCl<sub>2</sub>) ou l'association de ses deux composants.
- La salure des vallées et des dépressions ou le climat est chaud favorisant l'apparition du carbonate soude et dont la toxicité est redoutable.

**Tableau n°12 :** Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.

Wilaya	S.A.U (ha)	Superficie affectée par salinité de la S.A.U en (ha)	Pourcentage de la S.A.U affecté par la salinité
Tamanrasset	2510	1445	57.57
Ouargla	17390	9850	56.64
Ghardaïa	7930	3284	41.41
Bechar	13250	2249	16.97
Illizi	570	60	10.53
Djelfa	67760	6250	9.22
Relizane	241670	20000	8.28
Ain Temouchent	18350	15000	8.14
Tébessa	231750	13000	5.61
Adrar	14990	780	5.20
Biskra	151530	7272	4.80
Khanchela	177900	4480	2.52
Mascara	328740	6475	1.97
Alger	7940	150	1.89
Mostaganem	131730	1977	1.50
Naama	4150	62	1.49
Laghouat	53880	800	1.48
Batna	487740	5100	1.05
Oran	85860	850	0.99
Cheliff	188620	1490	0.79
Guelma	183860	1283	0.70
Mila	22150	100	0.45
Boumerdes	72090	192	0.27
Saida	306480	700	0.23
Tipaza	615340	472	0.08

(MDAR ,1998).

Selon DAOUD et HALITIM (1994), en Algérie la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées. Dans dix pays de la méditerranée, le

pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation est en effet significatif. Ce pourcentage se situe entre 10 et 15% pour l'Algérie (CHEVERRY et ROBERT, 1998)

**Tableau n°(13) :** Evaluation de la quantité des eaux d'irrigation en Algérie

<b>Conductivité électrique (ds/m)</b>	<b>Concentration (g/l)</b>	<b>Evaluation de Durand pour l'Algérie</b>
<b>CE &lt; 0.25</b>	< 0.25	Non saline
<b>0.25 &lt; CE &lt; 0.75</b>	0.2 – 0.5	Salinité moyenne
<b>0.75 &lt; CE &lt; 2.25</b>	0.5 – 1.5	Forte salinité
<b>2.25 &lt; CE &lt; 5</b>	1.5 - 3	Très forte salinité
<b>5 &lt; CE &lt; 20</b>	3 – 7	Salinité excessive

(DAOUD et HALITIM, 1994)

## **8.2 Au reste du monde :**

Actuellement dans le monde, sur les 28 millions d'hectares irrigués, 27% sont affectés par la salinisation secondaire soit un tiers des terres agricoles, et 50% sont menacés (CHEUVERRY et BOBERT, 1998).

La salinité constitue un facteur limitant dans la production des cultures irriguées elle intéresse principalement les régions arides et semis arides (LASSRAM, 1995).

**Tableau n° (14) :** Superficies affectées par la salinité dans le monde

<b>Région</b>	<b>Millions d'hectares</b>	<b>Région</b>	<b>Millions d'hectares</b>
<b>Afrique</b>	80.50	<b>Asie centrale et du nord</b>	211.70
<b>Europe</b>	50.80	<b>Asie du sud-est</b>	20.00
<b>Amérique du sud</b>	15.70	<b>Australie</b>	357.30
<b>Amérique du nord</b>	129.20	<b>Amérique central et Mexique</b>	2.00
<b>Asie du sud</b>	87.60	<b>Total</b>	945.8

(LASSRAM, 1995)

## **9. Effets néfastes de la salinisation :**

### **9.1 Effet de la salinisation sur les plantes :**

Selon MAILLARD (2001), l'irrigation avec de l'eau salée (ou culture sur terre salée) peut affecter la croissance des plantes de 2 façons par effet osmotique et à cause de certains ions :

### 9.1.1 Action sur la pression osmotique :

Irrigation avec de l'eau chargée en sels réduit la faculté des racines des plantes à puiser l'eau du sol. Entre deux irrigations, alors que l'humidité du sol diminue, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines d'extraire l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique.

Les croissances médiocres dues à l'irrigation avec des eaux salées sont généralement provoquées par ce phénomène de stress osmotique causé par la concentration totale des sels plutôt qu'à cause d'ions particuliers.

### 9.1.2 Toxicité des ions particuliers :

La salinité s'exprime principalement par une concentration élevée des trois cations (Ca, Mg et Na), et plus la présence des sulfates et des chlorures qui peuvent provoquer une toxicité. Le déséquilibre nutritionnel est souvent le premier effet de la salinité, accompagné des perturbations qui sont dues à l'effet de basicité du milieu, qui entraînent des carences en certains micro-éléments, plus spécialement la carence en fer (SCHWARZ, 1985).

La toxicité est généralement liée pour sa plus grande part à la substitution par certains radicaux (comme le  $\text{Na}^+$  qui remplace le  $\text{K}^+$ ). (MARTIN-PREVEL et al, 1984)

Selon HADJ ARAB (1977) in MOSTEFAOUI (2003), le classement de la toxicité des sels et comme suite :

- **1<sup>er</sup> degrés de toxicité :** NaCl, il se manifeste le maximum de toxicité les plantes.
- **2<sup>ème</sup> degrés de toxicité :** MgCl<sub>2</sub>, il paraît selon les symptômes visuels être moins toxique que le NaCl.
- **3<sup>ème</sup> degrés de toxicité :** Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, il est moins toxique que les deux chlorures précédents, mais il est plus nuisible que MgSO<sub>4</sub>.
- **4<sup>ème</sup> degrés de toxicité :** MgSO<sub>4</sub>, il est moins nuisible que le sulfate de sodium.

### 9.2 Effet de la salinité sur les phénomènes physiologiques :

La croissance des plantes en sols salins est limitée par la capacité des racines à extraire l'eau à partir du sol et la transporter vers la pousse ; En effet l'absorption de l'eau est relativement réduite avec l'augmentation de la salinité (PRODRIGUEZ, 1997). La réponse la plus immédiate à la salinité est une lésion des racines, suivie de flétrissement de la plante (RENGEL, 1992)

URBAN (1997), lui aussi confirme que lorsque les racines sont soumises à un choc salin, il y'a fermeture des stomates au niveau des feuilles, il ajoute que la première conséquence d'un apport excessif d'éléments minéraux est une diminution de la taille des organes produits.

### **9.3 Effet de la salinité sur la sécrétion de la chlorophylle :**

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

### **9.4 Effet de la salinité sur la photosynthèse et les échanges gazeux :**

La principale cause de la diminution de la croissance sous les conditions salines est la réduction de la photosynthèse (SCHWARZ, 1985), en raison de la réduction de la surface foliaire (KATERJI, 1995) et au changement dans la conductance du CO<sub>2</sub> à travers les stomates (BEGG et TURNER, 1976).

D'autre part, (SCHWARZ, 1985; LEVIGNERON et al, 1995) indiquent que le maintien d'une respiration élevée est le résultat d'une incapacité de la plante à utiliser les assimilats pour la croissance.

WAIZEL (1972) ; GALE (1975) ; JENNINGS (1976) in GUIRAA (2006), ajoutent que cette énergie respiratoire est dériver vers le processus de maintenance (accumulation vacuolaire d'ions, réparation des structures endommagées par les sels) au détriment de processus de croissance.

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, il ya une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (ASLOUM, 1990).

### **9.5 Effet de la salinité sur la croissance et le développement :**

Selon GOUNY et CORNILLON (1973), l'augmentation de la concentration saline entraîne une dépense supplémentaire et une dégradation des produits internes provoquant un arrêt de la croissance et des accidents végétatives variés:

- Arrêt de l'allongement des organes et leur ramification.
- Raccourcissement des entre- nœuds des tiges.
- Diminution de la surface foliaire avec symptômes de brûlures

BINET (1982), ajoute qu'une salinité prolongée provoque la chute des feuilles et la mort totale.

D'après IMALET (1979), une augmentation au dessus d'un certain seuil de salinité provoque au niveau des plantes une difficulté d'absorption de l'eau. Si les besoins en eau s'accroissent, la plante risque de flétrir de plus, tout au moins d'avoir un développement insuffisant.

#### **9.6 Effet de la salinité sur le rendement :**

Beaucoup de recherche ont prouvé que la salinité est la principale raison de la réduction du rendement (KONING, 2000).

(FAUSTINO et AGTARAP, 1996; BALIBREA et al, 1996), ajoutent que lorsque la salinité est modérée, le rendement est surtout affecté par le poids des fruits que par leur nombre. Par contre, une salinité élevée affecte en même temps les deux composantes du rendement.

Chez la tomate, il est bien connu que la salinité élevée se traduit par une réduction du calibre et le nombre des fruits (SATTI, 1994).

La saveur des tomates est affectée par la concentration saline. L'augmentation de la concentration permet de renforcer le caractère salé et l'acidité des fruits, les deux composants de la saveur (KAREN et al, 1998).

#### **9.7 Effet de la salinité sur l'absorption de l'eau :**

L'absorption de l'eau dépend du potentiel hydrique dans le milieu et dans la plante. La teneur en eau et le potentiel hydrique foliaire diminuent avec l'augmentation de la salinité (KATERJI et al, 1988; KATERJI et al, 1998).

Le stress salin affecte la conductivité hydraulique au niveau des racines. En conséquence, le flux d'eau qui les traverse sera limité, ainsi que le transfert des substances vers les parties aériennes (RODRIGUEZ et al, 1997).

Selon les mêmes auteurs, le maintien d'un potentiel hydrique élevé chez certaines variétés de tomate malgré l'augmentation de la salinité est probablement le résultat d'une capacité d'absorption élevée par les racines

#### **9.8 Effet de la salinité sur la nutrition minérale :**

Selon HELLER (1997), la concentration totale en ions minéraux influe de diverses manières, sur l'intensité globale de l'absorption.

D'après les travaux de AL-RAWHAY et al (1992), l'irrigation avec des eaux qui contiennent des grandes quantités de NaCl, provoquent des effets d'antagonisme sur les éléments nutritifs sous l'effets des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$ , soit les deux au même temps, ils supposent que la réduction de rendement provoqué par la salinité croissante n'est pas due

uniquement à la toxicité de  $\text{Cl}^-$ , mais elle peut être due partiellement à une déficience en  $\text{NO}_3^-$  causée par la concentration externe de  $\text{Cl}^-$ .

LEVIGNERON et al (1995), ajoutent qu'une concentration saline trop forte provoque une altération de la nutrition minérale. L'accumulation des ions sodium (Na) dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). Na va entrer en compétition avec Ca pour les mêmes sites de fixation apoplasmique ce qui peut affecter la croissance des organes (HAOUALA et al, 2007). L'accumulation de Na en faible concentration peut augmenter l'absorption de K tandis qu'une concentration élevée en Na diminue l'absorption de K. (Hajji, 1980). La présence de chlorure dans le milieu inhibe également l'absorption de certains ions tel que l'azote (N) et le phosphore (P) dans les feuilles (PIRI, 1991 ; HAOUALA et al, 2007).

### **10. Tolérance des plantes à la salinité :**

Les mécanismes de tolérances des plantes à la salinité ont été étudiés par plusieurs auteurs. Ces recherches ont permis de distinguer deux grands groupes de végétaux:

#### **10.1 Plantes sensibles ou « excluders » :**

Appelées aussi glycophytes sont incapables de débarrasser leurs cytoplasmes de Na. Il s'ensuit que cet ion est continuellement ramené vers le bas de la plante par le phloème (Touraine et Ammar, 1985).

Beaucoup d'espèces cultivées importantes sont des glycophytes ne peuvent tolérer que des faibles quantités de sel et peuvent subir des dommages irréparables par des concentrations par des concentrations de NaCl (HOPKINS, 2003) :

- **Glycophytes sensibles**, à la présence de faibles concentrations de sels (0.2 à 2 g/l de la solution nutritive).
- **Glycophytes résistants**, à une certaine salinité puisque la concentration optimale semble se située entre 2 et 4g/l (PENNINGSFELD in SNOUSSI, 2001).

#### **10.2 Plantes tolérantes ou « includers » :**

Appelées aussi halophytes, sont résistantes à des concentrations élevées en sels (5 et 7g/l) (PENNINGSFELD in MORARD, 1995).

- Les **Halophytes vraies**, dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions.
- Les **Halophytes facultatives**, montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sel (HAGEMEYER, 1996).

Selon SLAMA (1986) ; ZID et GRIGNON (1991), les includers associent la résistance à la salinité à l'aptitude à transporter de grandes quantités de NaCl dans leurs feuilles. Il s'agit d'une bonne compartimentation vacuolaire de Na, et par voie de conséquence d'une protection du cytoplasme contre l'effet toxique du sodium (BEN AHMED et al, 2008).

La compartimentation vacuolaire de Na protège le cytoplasme des effets nocifs des ions absorbés massivement et permet le maintien des activités enzymatiques et de la synthèse des protéines. Mais si l'arrivée du sel est plus rapide que sa séquestration dans les vacuoles, son accumulation dans les espaces extra-cellulaires et même dans le cytoplasme peut provoquer un déséquilibre osmotique et une toxicité fatale (GREENWAY et MUNNS, 1980).

Le stress salin inhibe la photosynthèse par la réduction du potentiel hydrique. Donc le but principal de la tolérance à la salinité est d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau en conditions de la salinité. Pour cette fin, les halophytes facultatives changent leur mode de photosynthèse de C3 en CAM (CUSHMAN et al, 1989 in PARIDA et DAS, 2005).

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme solutés compatibles qui remplacent l'eau dans les réactions chimiques. (ZHIFANG et LOESCHER, 2003 in PARIDA et DAS, 2005). Ces solutés compatibles comprennent principalement la proline, la glycine bêtaïne (WANG et NIL, 2000 in PARIDA et DAS, 2005), les sucres (PILON et al, 1995 in PARIDA et DAS, 2005) et les polyols (BOHNERT et al, 1995 in PARIDA et DAS, 2005).

Dans les feuilles de la tomate, le taux des sucres solubles et des saccharides solubles augmente significativement mais le taux de l'amidon n'est pas affecté par le traitement du NaCl (KHAVARI and MOSTAFI, 1998 in PARIDA et DAS, 2005).

La proline et les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les feuilles sous l'effet du sel. Ils participeraient aux phénomènes d'ajustement osmotique (BEN KHALED et al, 2003).

Les facultés de résistance des plantes aux sels sont nombreuses et mal comprises mais sont apparemment liées aux :

- **Stade de développement** : d'après RHOADES et al (1992), la tolérance à la salinité pendant la germination des semences, l'émergence des plantules et les stades ultérieurs peut être différente.
- **L'espèce et la variété** : selon URBAN (1997), la sensibilité des plante à la salinité varie non seulement en fonction l'espèce mais aussi selon les cultivons et l'âge des plantes.

- **L'environnement** : les problèmes des sels sont plus sévères sous les conditions de chaleur et de sécheresse que sous les conditions de froid et d'humidité (KOTUBY- AMACHE et al, 1997).

Le tableau ci-dessus cite la tolérance de quelques espèces à la salinité.

**Tableau n° 15** : la tolérance de quelques espèces à la salinité

cultures maraîchère (mm hos/cm)		cultures en plein champs (mm hos/cm)		cultures arbustives (mm hos/cm)	
Fraisier	5	Arachide	6.5	Avocatier	6
Haricot	6.5	Mais grain	10	Amandier	7
Oignon	7.5	Soja	10	Agrume	8
Carotte	8	Riz	11.5	Pommier	8
Poivron	8.5	Carthame	14.5	Poirier	8
Laitue	9	Sorgho	18	Vigne	12
Concombre	10	Blé	20	Figuier	14
Pomme de terre	10	Betterave à sucre	24	Grenadier	14
Tomate	12.5	Coton	27	Olivier	14
Melon	16	Orge	28	Palmier dattier	32

(ANONYME, 1997)

D'après le tableau on remarque que la tolérance à la salinité est en fonction de l'espèce et les facteurs du milieu, les fruits et les légumes sont les plus sensibles que les plantes fourragères et les grandes cultures.

## **11.Lutte contre la salinité**

Selon LACHARME (2001), voici quelques méthodes de lutte contre la salinité :

### **11.1 Drainage profond :**

La principale méthode et la plus adaptée pour lutter contre la salinité est la réalisation de systèmes de drainage adaptés pour permettre:

- un rabattement de la nappe phréatique en dessous d'une cote telle que les remontées capillaires soient très limitées.
- la création de flux souterrain permettant d'évacuer les sels en excès hors de la parcelle.
- de couper les flux souterrains d'eau chargée en sels d'une parcelle à un autre.

### **11.2 La lutte contre les remontées capillaires**

Il est conseillé rapidement après la récolte de faire un léger travail du sol superficiel pour créer en surface du sol une couche de terre pulvérisée. Cela coupe les remontées capillaires en brisant les capillaires du sol.

### **11.3 La lutte contre la concentration des sels dans les sols et dans les eaux d'irrigation :**

Cette lutte peut être réalisée à plusieurs stades de la culture :

- avant la mise en culture : l'opération consistera à nettoyer le sol de ses sels en excès avant de débiter les semis.
- Pendant la culture : Cela consistera en un renouvellement régulier de l'eau d'irrigation.

### **11.4 Eviter les apports d'eau excessifs :**

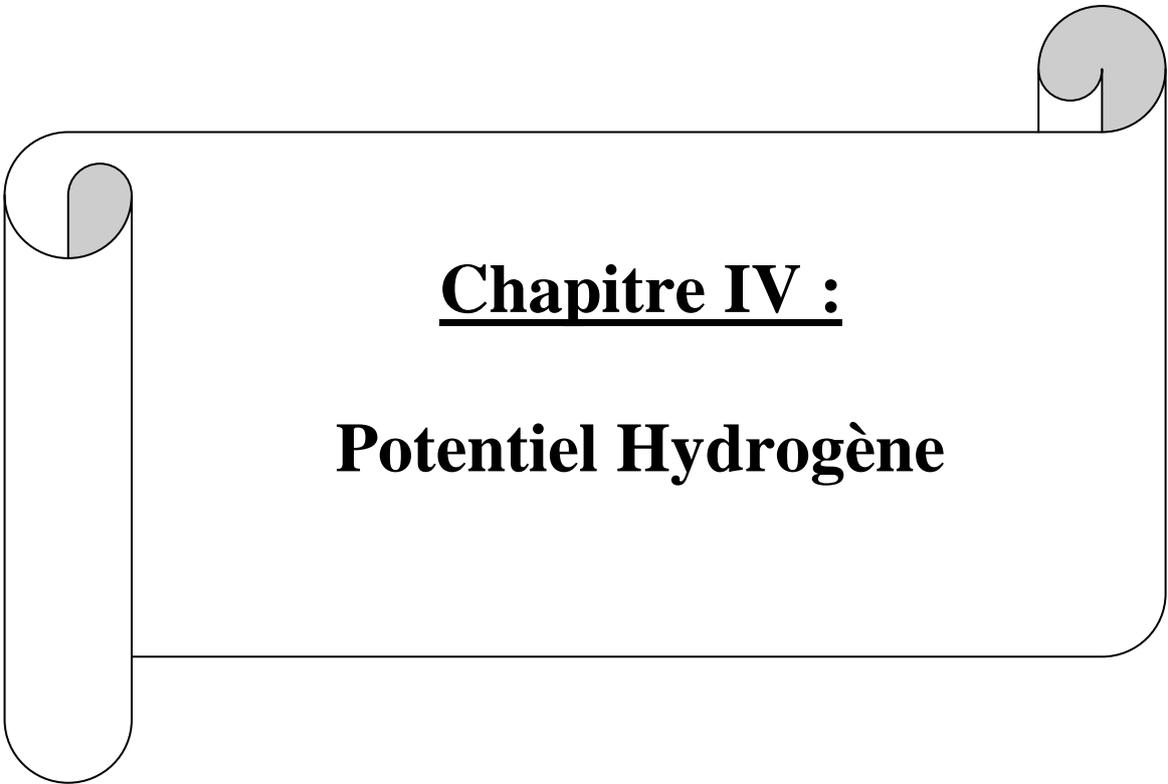
Il faut essayer de trouver un équilibre entre les besoins de la culture et les apports en eau. Tout apport supplémentaire correspondra à un apport de sels supplémentaire, surtout si la culture ne bénéficie pas de systèmes de drainage.

### **11.5 Pré germination et irrigations continues pendant la levée :**

Dans les zones à risques de salinité moyens et importants, la méthode de pré germination des semences limitera fortement la mortalité due aux sels dans la phase de germination. Il conviendra pendant la phase de levée (période de forte sensibilité du plant) d'éviter tout à sec prolongé de la parcelle.

### **11.6 L'utilisation de variétés tolérantes à la salinité :**

Les problèmes de salinité peuvent être contre balancés par l'utilisation de variétés tolérantes.



## **1. Définition :**

Le pH est une notion chimique assez importante dans divers domaines de la science. Son importance est liée au rôle qu'il joue dans les réactions que l'on rencontre dans ces domaines. Il est, en effet, clé dans l'obtention d'un comportement précis ou dans la survie des organismes vivants tant sur le plan de leur fonctionnement interne que sur celui de leur survie dans un milieu de vie donné (MBEY, 2007).

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution ( $H^+$ ). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en  $H^+$ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide (COUTURE, 2006).

pH vient du potentiel Hydrogène, c'est la mesure du niveau d'acidité ou d'alcalinité de l'eau.

Le pH a des effets surtout indirects sur la croissance des plantes. Une saine gestion du sol commence par la correction des problèmes de pH. De façon générale, les plantes absorbent les nutriments du sol si ces derniers sont dissous dans l'eau. De façon générale, les plantes absorbent les nutriments du sol si ces derniers sont dissous dans l'eau. Le pH du sol, quant à lui, influe sur la solubilité des nutriments et sur l'activité des organismes qui sont responsables de la transformation de la matière organique et de la fixation de l'azote (ANONYME, 2003)

Le pH varie sous l'influence de différents facteurs : les pluies, l'irrigation, l'utilisation d'engrais, les techniques d'entretien du sol, l'activité racinaire ... (HUNTZ et ROQUES-CARMES, 1980).

## **2. pH en Chimie :**

Le nombre de réactions chimiques qui ont lieu à des pH précis est incommensurable. En chimie de synthèse par exemple, le pH peut influencer la nature du produit obtenu ; il conviendra donc de choisir le pH de façon spécifique en fonction du produit que l'on désire.

En chimie analytique, la précipitation des solides tient compte du pH; en électrophorèse, le pH permet de modifier le type de charge des particules et donc d'isoler de façon spécifique certaines espèces. Dans la chimie des suspensions, le pH permet d'améliorer la qualité de la dispersion. En effet, il concourt à accroître ou à diminuer la charge des particules agissant ainsi sur les forces de répulsion inter colloïdales qui sont un

facteur de stabilité du système colloïdal. Le pH est aussi un facteur d'influence sur la vitesse de certaines réactions car il influence la structure des réactifs et donc leur réactivité relative. (MBEY, 2007).

### **3. pH en Biologie :**

Les réactions biologiques sont nombreuses et très particulièrement dépendantes du pH. En effet, le pH doit généralement être maintenu entre certaines bornes pour que les réactions soient possibles.

En biochimie spécifiquement, les enzymes, principaux catalyseurs, vivent dans des intervalles de pH précis. En effet, les enzymes sont des protéines qui du fait de la coexistence des fonctions acide (acides carboxyliques) et basique (fonctions amines), sont très sensibles au pH.

En considérant, le métabolisme cellulaire par exemple, on peut noter qu'au niveau cytosolique, le pH est d'environ 7,4 et à l'intérieure, au niveau des lysosomes, le pH est inférieur à 4. Ce milieu plus acide que le cytosol est plus favorable à l'activité enzymatique.

Dans les plantes, l'énergie solaire par la modification du pH des chloroplastes, favorise la synthèse de l'ATP (Adénosine Triphosphate) nécessaire à l'activité de photosynthèse (MBEY, 2007).

### **4. pH en agriculture :**

Le pH du sol est un facteur important pour la survie de la plante qui y vit. Comme l'on contrôle la température d'un animal, il faut contrôler le pH du sol pour la plante. En d'autres termes, contrôler le pH du sol c'est contrôler l'état de santé de la plante qui y pousse. Lorsque le pH est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. Le pH idéal dépend de l'espèce végétale. C'est pourquoi l'on regroupe les plantes en diverses catégories :

- Plantes acidophiles : se développent mieux sur des sols acides ;
- Plantes alcalinophiles : s'adaptent mieux sur des sols basiques ;
- Plantes neutrophiles : ont une prédilection pour les sols neutres.

Les plantes acidophiles croissent de manière optimale sur un sol acide, c'est-à-dire sur un sol dont le pH est compris entre 4,0 et 6,5. En effet, à ces valeurs de pH, certains champignons et certaines bactéries nuisibles à la croissance de ces plantes ne peuvent croître et les mauvaises herbes ne peuvent s'installer en milieu acide, ce qui laisse toute la place aux plantes acidophiles. De plus, les plantes acidophiles ont besoin d'une quantité

importante de certains éléments nutritifs, comme le manganèse, l'aluminium et le fer qui sont fortement absorbés pour de faibles valeurs de pH. A l'inverse, les plantes basophiles consomment une quantité importante d'éléments nutritifs comme le calcium et le magnésium qui sont fortement absorbés à des valeurs de pH plus élevées et supérieures à 7. (DINON et GERSTMANS, 2008)

Connaître le pH devient donc important pour l'agriculteur. Il peut alors choisir avec convenance quel type de culture il va effectuer ou procéder à la modification de pH nécessaire pour l'adaptation de la plante qu'il désire produire. (MBEY, 2007).

### **5. pH de l'eau :**

L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C.

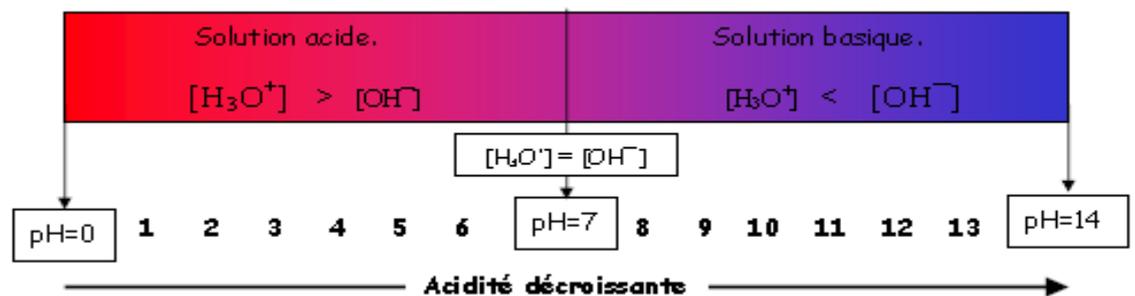
Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons. (LI, 2004)

Selon MBEY (2007), le caractère acide ou basique d'une solution aqueuse est liée à sa concentration en  $H_3O^+$  ; comme celle-ci est toujours faible, on utilise l'échelle du logarithme décimale pour l'exprimer. Ainsi, on a :  $pH = - \log [H^+]$  où  $[H^+] =$  concentration des ions  $H^+$ . Le pH prend des valeurs de 0 à 14 unités. Ainsi on a :

- $pH < 7$ , le milieu est acide.
- $pH > 7$ , le milieu est basique.
- $pH = 7$ , le milieu est neutre.

pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. (COUTURE, 2006)

### **Echelle de pH :**



**Figure n°(07) :** Echelle du pH (DINON et GERSTMANS, 2008)

### 5.1 Le pH de l'eau pure :

L'eau pure est composée de molécule comprenant deux atomes d'hydrogène pour un atome d'oxygène (LAHMAR et al, 1986).

Elles sont représentées par formule brute  $H_2O$ . Certaines de ces molécules en très petit nombre, se trouvent à tout instant dissociées en deux parties ; l'une appelée ions hydroxyle le  $OH^-$  chargée négativement, l'autre appelée proton  $H^+$  chargée positivement. Celui-ci en fait donne un ion hydronium  $H_3O^+$  avec une autre molécule d'eau. On représente l'équilibre qui s'établies de la façon suivante (LAHMAR et al, 1986)



Le produit de la concentration en  $H_3O^+$  et  $OH^-$  est déterminé par la température de l'eau  $25^\circ C$  ( $OH^-$ ). ( $H_3O^+$ ) :  $10^{-14}$

D'après l'équilibre précédent, il y'a autant d'ion  $OH^-$  que d'ion  $H_3O^+$  : leurs concentrations respectivement sont donc égale à  $10^{-7}$  mol par litre c'est-à-dire qu'il y'a 0.0000001 mol d'eau dissociée par un litre d'eau pure. (LAHMAR et al, 1986)

La concentration en ions  $H_3O^+$  ou  $OH^-$  est très souvent prise en compte sans l'étude des systèmes aqueux purement chimiques ou biologiques et la manipulation des puissances négatives de 10 apparait vite fastidieuse. (LAHMAR et al, 1986).

Dès lors on préfère considérer le cologarithme décimal de la concentration en  $H_3O^+$ , exprimée en moles par litre plutôt que cette concentration elle-même. Ainsi, dans l'eau pure, on obtient (LAHMAR et al, 1986) :

$$pH = \text{colog}(H_3O^+) = -\log 10^{-7} = 7$$

Le pH de l'eau pure est donc de 7

Selon ma même manière on peut considérer le pOH de l'eau pure c'est-à-dire :

$$pOH = \text{Colog}(OH^-) = -\log 10^{-7} = 7$$

### 5.2 pH d'une solution aqueuse :

Ajoutons à de l'eau pure une substance qui par dissolution modifie la concentration en ions hydronium et en ion hydroxyle (LAHMAR et al, 1986).

Dans une solution aqueuse, la somme du pH et du pOH est toujours égales à 14, mais généralement le pH est différent du pOH sauf dans les cas des solutions neutres.

On peut avoir, par exemple,  $pH = 4$  et  $pOH = 10$ , il s'agira d'une solution acide. Si, inversement,  $pH = 10$  et  $pOH = 4$ , il s'agira d'une solution alcaline.

La somme du pH et du pOH étant constante, il suffit de connaitre l'un pour en déduire l'autre. On ne considère en général que le pH (LAHMAR et al, 1986).

### **En résumé :**

La solution est acide lorsque :

$$\text{Le pH} < \text{pOH} \quad \longleftrightarrow \quad \text{pH} < 7 \text{ et } \text{pOH} > 7$$

La solution est neutre lorsque :

$$\text{Le pH} = \text{pOH} = 7$$

La solution est basique lorsque :

$$\text{Le pH} > \text{pOH} \quad \longleftrightarrow \quad \text{pH} > 7 \text{ et } \text{pOH} < 7$$

Quand le pH diminue (respectivement augmente) d'un point l'acidité est multipliée (respectivement divisée) par 10.

### **6. Le pH du sol :**

Le pH des sols est une caractéristique très importante et facilement mesurable. Le pH du sol, quant à lui, influe sur la solubilité des nutriments et sur l'activité des organismes qui sont responsables de la transformation de la matière organique et de la fixation de l'azote (VINSON, 2003)

Le pH des sols est très variable mais il est habituellement situé entre 4 et 8. Il convient de rappeler que les sols à pH inférieur à 7 sont acides, ceux à pH supérieur à 7 sont alcalins et la neutralité est atteinte lorsque le pH est égal à 7. Le meilleur pH se situe souvent entre 5,5 et 6,5 ce qui est équivalent à un sol légèrement acide. Ce pH est donc considéré comme le pH dans lequel le plus grand nombre de nutriments sont avantageusement accessibles aux plantes. (ANONYME, 2003).

Le pH d'un sol est un indicateur de la quantité d'ions hydronium ( $\text{H}^+$ ) présents dans l'eau de ce sol. Plus l'eau du sol est chargée en ions  $\text{H}^+$ , plus elle est dite acide et plus son pH est bas. A l'inverse, un sol pauvre en ions  $\text{H}^+$  est dit alcalin. Ce pH est un facteur très important pour le bon développement des végétaux : lorsqu'il est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. De plus, à chaque plante correspond un pH optimum, même si en moyenne les plantes préfèrent un pH compris entre 6,5 et 7,5 (VINSON, 2003)

Le pH optimal du sol varie selon l'espèce cultivée. Il convient donc de mesurer le pH du sol avant de se procurer les plantes. Si le sol est trop acide, le pH peut être augmenté à l'aide d'amendements à base de chaux ou de magnésium. Ces amendements s'utilisent de préférence de la fin de l'automne jusqu'au début du printemps. Par contre, si le sol est trop basique, le pH peut être diminué en ajoutant à la terre de la tourbe ou de l'humus. Ces amendements peuvent se pratiquer toute l'année avec une préférence pour la période

estivale. L'idéal est d'épandre la quantité nécessaire de l'amendement en l'intégrant de manière uniforme dans les 25 premiers centimètres du sol, au moment de la préparation du sol pour les plantes. (DINON et GERSTMANS, 2008)

### **pH acide :**

En milieu très acide, certains éléments chimiques deviennent toxiques. C'est le cas de l'aluminium par exemple qui se trouve sous une forme qui bloque le métabolisme de la plante et la fait dépérir. La vie du sol est également ralentie : les bactéries du sol se développent mal et disparaissent quand le pH est trop acide. Il y a alors augmentation du taux de matière organique et surtout pénurie de nutriments absorbables par les plantes car la minéralisation est limitée. Enfin, la nutrition se fait mal : le pH perturbe l'équilibre électrochimique et empêche l'absorption des éléments nutritifs par la plante. L'efficacité des engrais est alors réduite puisque les éléments apportés restent bloqués dans le sol. (VINSON, 2003)

Pour lutter contre cette acidité, les agriculteurs épandent des amendements calcaires (substances au pH alcalin) qui augmentent le pH et le ramène au niveau optimum pour la culture souhaitée. Ces amendements calcaires réagissent avec les ions  $H^+$ , responsables de l'acidité du sol, et les transforment : le pH devient donc moins acide. (Vinson, 2003)

La mesure du pH d'une suspension du sol dans l'eau rend compte de la concentration en ion  $H_3O^+$ , ces ions sont en équilibre avec ceux présents à l'état non dissociés fixés sur certains complexes dans lesquels l'aluminium est associé à des molécules d'eau et des hydroxydes (LAHMAR et al, 1986).

Ces mêmes solides peuvent fixer d'autres cations dont les principaux sont le calcium, le potassium, le magnésium et le sodium (LAHMAR et al, 1986).

La quantité totale de cations qui peuvent être ainsi adsorbés détermine la capacité d'échange.

Du fait de l'équilibre entre les ions  $H_3O^+$  en solution et les ions  $H^+$  adsorbés sur les solides, le pH est d'autant plus faible que le taux de saturation en cations autres que  $H^+$  de la capacité d'échange est lui-même bas (LAHMAR et al, 1986).

Bien que la courbe reliant le pH au taux de saturation soit propre à chaque sol, les données suivantes peuvent être considérées comme générales (LAHMAR et al, 1986) :

- Taux de saturation inférieur à 10% : pH inférieur ou égal à 4.
- Taux de saturation de 60 à 90% : pH voisin de 7.
- Taux de saturation proche à 100% : pH supérieur ou égal à 7.5.

Les composants solides du sol, par leur aptitude à fixer les ions  $H^+$  ou  $OH^-$ , tempèrent les variations du pH du sol. La résistance qu'offre celui-ci au changement s'appelle le pouvoir tampon. Des travaux récents ont montré que les ions et les molécules présents dans la solution contribuent également à tamponner le milieu sol soit en consommant des hydroxydes, soit en cédant des protons (LAHMAR et al, 1986). On appelle pouvoir tampon d'un sol la faculté de résister aux variations de son pH.

Les sols cultivés peuvent être classés selon leur degré d'acidité décroissant.

**Tableau n°(16) :** classement des sols selon leurs degrés d'acidité

	Sols très acides	Sols acides	Sols au voisinage de la neutralité	Sols calcaires
pH eau	5.5	5.6 à 6.7	6.8 à 7.2	7.3 à 8.5
Al+++ échangeable	Présence	0	0	0
Calcaire (CaCO <sub>3</sub> )%	0	0	0 ou trace	8 à 80
Chaux échangeable	0.5	3	6	6 et plus
		10.5	21	21 et plus
Taux de saturation 100 = V	10	10- 60	80- 100	90- 100

(LAHMAR et al, 1986)

## 7. Mesure du PH :

Il existe différentes méthodes permettant de connaître le pH :

### 7.1 Le pH mètre :

Le pH-mètre est un appareil de mesure qui permet de déterminer avec précision (une ou deux décimales) le pH d'une solution. Il est constitué d'un millivoltmètre électronique qui mesure une différence de potentiel entre deux électrodes : une électrode de référence dont le potentiel est constant et indépendant du pH de la solution (à température constante) et une électrode de mesure dont le potentiel est fonction de la concentration des ions  $H_3O^+$  et donc du pH de la solution. On utilise habituellement une électrode combinée en verre qui contient à la fois les deux électrodes. L'appareil affiche les résultats en millivolts ou, après conversion, en unités pH (DINON et GERSTMANS, 2008)



**Figure n°(08) :** pH mètre (LAHMAR et al, 1986)

**Etalonnage DU pH-mètre :**

- Vérifier la condition de l'électrode et dégager l'orifice de l'électrode.
- Calibrer le pH-mètre en l'ajustant à pH 7,00 avec la solution tampon à pH 7,00
- Vérifier si l'instrument donne une lecture de 4,00 pour la solution tampon à pH 4,00

S'il est impossible d'obtenir une lecture correcte du pH des deux tampons, un problème d'électrode ou de pH-mètre est fortement probable. (ANONYME, 2003)

**7.2 Papier indicateur de pH :** (DINON et GERSTMANS, 2008)

Le papier pH permet de déterminer approximativement le pH d'une solution, de manière simple et rapide. Il se présente sous la forme de bandelettes de papier imprègnées d'indicateurs colorés qui changent de couleur selon le pH de la solution. Lorsque le papier pH est en contact avec une goutte de solution aqueuse, il prend une certaine couleur en fonction de son pH. Ainsi, par comparaison de la coloration du papier avec l'échelle des couleurs fournie, on peut ainsi déterminer le pH de cette solution. Cette méthode est cependant peu précise, vu la difficulté d'appréciation des couleurs par l'utilisateur.



**Figure n°(09) :** Papier indicateur de pH (LAHMAR et al, 1986)

## **8. Variation saisonnière du pH :**

Sous climat tempéré, le pH a tendance à baisser en été et à augmenter en hiver. Ces fluctuations que l'on observe assez régulièrement chaque année s'expliquent (LAHMAR et al, 1986):

En hiver : par la dilution des ions H<sup>+</sup> dans la solution du sol sous l'effet des pluies

En été : par la production d'acides (nitrique, humique, carbonique..) due à l'activité biologique qui est maximale à cette période

L'écart atteint, en général, quelques dixièmes d'unités pH, mais peut atteindre 0.5 ou même l'unité pH dans les sols calcaires.

Il est préférable d'éviter les périodes estivales très sèches pour effectuer des prélèvements d'échantillons de terre.

## **9. Rapports entre le pH et les autres paramètres de la qualité de l'eau**

Comme l'équilibre chimique d'une solution aqueuse fait invariablement intervenir des ions hydrogène (et hydroxyle), le pH sera lié, d'une ou de plusieurs façons différentes, à presque tous les autres paramètres de la qualité de l'eau.

### **9.1 Caractéristiques physiques :**

Le goût et l'odeur de l'eau potable proviennent d'une grande diversité de causes; aucune généralisation n'est possible en ce qui concerne l'effet du pH sur ces paramètres.

Dans l'eau exposée à la contamination par le soufre, la formation de sulfure d'hydrogène gazeux (odeurs d'oeufs pourris) est thermodynamiquement favorisée lorsque le pH est inférieur à 7 environ (POURBAIX, 1974).

Le trichlorure d'azote, qui a une odeur piquante désagréable a tendance à se former en plus grandes concentrations à des pH faibles (<pH 7) au cours du procédé de chloration (MORRIS, 1971). On prétend également qu'une eau dont le pH est élevé acquiert un goût amer (MORRIS, 1971). Dans un échantillon d'eau donnée, l'intensité de la coloration augmente avec l'élévation du pH (BLACK, 1963). Cet effet indicateur a amené à imaginer que toutes les mesures à effectuer dans la perspective du contrôle de la qualité devraient se faire à un pH normalisé de 8,3 (SINGLY et al, 1966).

### **9.2 Caractéristiques microbiologiques :**

Même si la plupart des microorganismes tolèrent la gamme des pH que l'on trouve habituellement dans les sources d'eau, la plage qui favorise leur croissance rapide se limite ordinairement à une unité de pH ou moins (SHAIR, 1976).

En ce qui concerne la qualité microbiologique de l'eau, l'influence du pH sur l'efficacité de la désinfection par le chlore revêt une grande importance. Le pouvoir germicide du chlore dans l'eau diminue à mesure que le pH augmente; on attribue ce fait à la diminution de la concentration d'acide hypochloreux lorsque le pH augmente (DAVIS et al, 1973).

L'acide hypochloreux a un pouvoir germicide 100 fois plus grand environ que celui de l'ion hypochlorite (CRAUN et al, 1975). La plupart des eaux naturelles, cependant, contiennent de l'azote ammoniacal qui réagit avec le chlore et l'acide hypochloreux pour former des monochloramines, des dichloramines et des trichloramines (chlore combiné disponible) dont la quantité relative dépend du pH. Dans de nombreuses usines de traitement ayant recours à la désinfection par le chlore, sinon dans la plupart, on ajoute suffisamment de chlore pour oxyder tout l'ammoniac et maintenir un excès de chlore libre (chloration au point critique). Dans ces conditions, la concentration d'acide hypochloreux est maximale à un pH d'environ 7,5 et elle est plus faible à des pH plus bas et plus élevés (MORRIS, 1971).

La chloration de l'eau vise deux buts. Elle sert d'abord à rendre inactifs les organismes pathogènes présents dans l'eau avant que celle-ci ne pénètre dans le réseau de distribution. Elle a aussi pour but de faire en sorte que le chlore résiduel libre subsiste jusqu'au robinet du consommateur. On peut soutenir qu'un pH élevé, avec la réduction du pouvoir germicide qu'il provoque, nuit à l'efficacité du chlore libre dans le réseau de distribution. Cependant, il faut se rappeler que le système acide hypochloreux/ion hypochlorite forme un équilibre chimique et que l'élimination de l'acide hypochloreux au cours de la réaction avec les microorganismes entraînera, s'il y a du chlore résiduel libre, la formation d'acide hypochloreux additionnel. L'acide hypochloreux réagit moins vite comme désinfectant à des pH moins élevés, mais ce ralentissement peut être compensé par une durée de contact plus longue (MORRIS, 1971).

### **9.3 Caractéristiques chimiques :**

La corrosion dans le système d'aqueduc est une source importante de contamination de l'eau par le métal (CRAUN et al, 1975). Deux des métaux les plus susceptibles de causer des problèmes sont le plomb et le cadmium. Le plomb est réfractaire à la corrosion à des pH supérieurs à 6 dans l'eau pure; en présence de carbonates et de bicarbonates, le plomb est passif à des pH compris entre 4 et 12 environ, mais il peut être attaqué par la corrosion à des pH supérieurs à 12 (POURBAIX, 1974). Une étude portant sur une eau potable peu alcaline au pH passablement bas a révélé de fortes concentrations de plomb dans l'eau

potable circulant dans des tuyaux en plomb (MCFARREN et al, 1977). Le cadmium, dans l'eau pure, est passif à des pH compris entre 9 et 13,5 environ, mais des données expérimentales indiquent qu'il ne se corrode véritablement qu'à des pH inférieurs à 6 (POURBAIX, 1974).

### **10. Influence du pH sur le changement de couleur de la plante :**

Certaines molécules responsables de la coloration des plantes, des légumes ou des fruits (autres que la chlorophylle) sont sensibles à leur environnement chimique et notamment au pH du sol. C'est le cas des anthocyanes, famille de colorants naturels dont la couleur varie en fonction de l'acidité ou de la basicité d'une solution. Citons comme exemple les hortensias dont les fleurs sont bleues lorsque le pH est inférieur à 6, et roses lorsque le pH est compris entre 6 et 7 (DINON et GERSTMANS, 2008).



**Figure n°(10) :** influence du pH sur la variation de la couleur de la plante  
(DINON et GERSTMANS, 2008)

### **11. Effet du pH sur l'assimilation des éléments majeurs et secondaires :**

A pH inférieur à 6, deviennent moins assimilables avec risque de carence : Azote, Phosphore, Potassium, Soufre, Magnésium. En particulier, en sol très acide, la présence de fer et l'aluminium à l'état ionique conduit au phosphate pratiquement insoluble (LAHMAR et al, 1986).

A pH supérieur à 7 et essentiellement en terrain calcaire, se forment des phosphates de moins en moins solubles jusqu'au type apatitique insoluble. Cette rétrogradation s'effectue d'autant plus rapidement que le sol est plus riche en calcaire actif (LAHMAR et al, 1986).

Entre pH 6 et 7, la plupart des éléments sont à leur maximum d'assimilabilité, sauf le magnésium.

## **12. Effet du pH sur l'assimilation des oligo-éléments :**

### **12.1 Fer :**

La solubilité des oxydes de fer, très bonne en milieu acide, diminue au-dessus de pH 6 et peut devenir si faible vers pH 8 des chloroses apparaissent chez les plantes. Ce danger n'existe qu'en sol naturellement calcaire (LAHMAR et al, 1986).

### **12.2 Manganèse :**

Le phénomène va dans le même sens pour le manganèse mais il est beaucoup plus accentué puisque des carences graves peuvent survenir sur céréales après relèvement du pH de sols acides jusqu'à 6.2 \_ 6.3 seulement (LAHMAR et al, 1986).

### **12.3 Cuivre :**

La solubilité de tous les éléments métalliques, d'une façon générale, décroît avec l'élévation du pH, donc avec la quantité de chaux apportée. Le cuivre n'échappe pas à cette règle (LAHMAR et al, 1986).

### **12.4 Zinc:**

L'assimilation dans le sol peut atteindre un point critique pour des pH supérieur à 6.5 (LAHMAR et al, 1986).

## **13. Effet de l'élévation du pH d'un sol sur le nombre de bactéries nitrificatrices présentes :**

**Tableau n° 17:** Effet de l'élévation du pH d'un sol sur le nombre de bactéries nitrificatrices

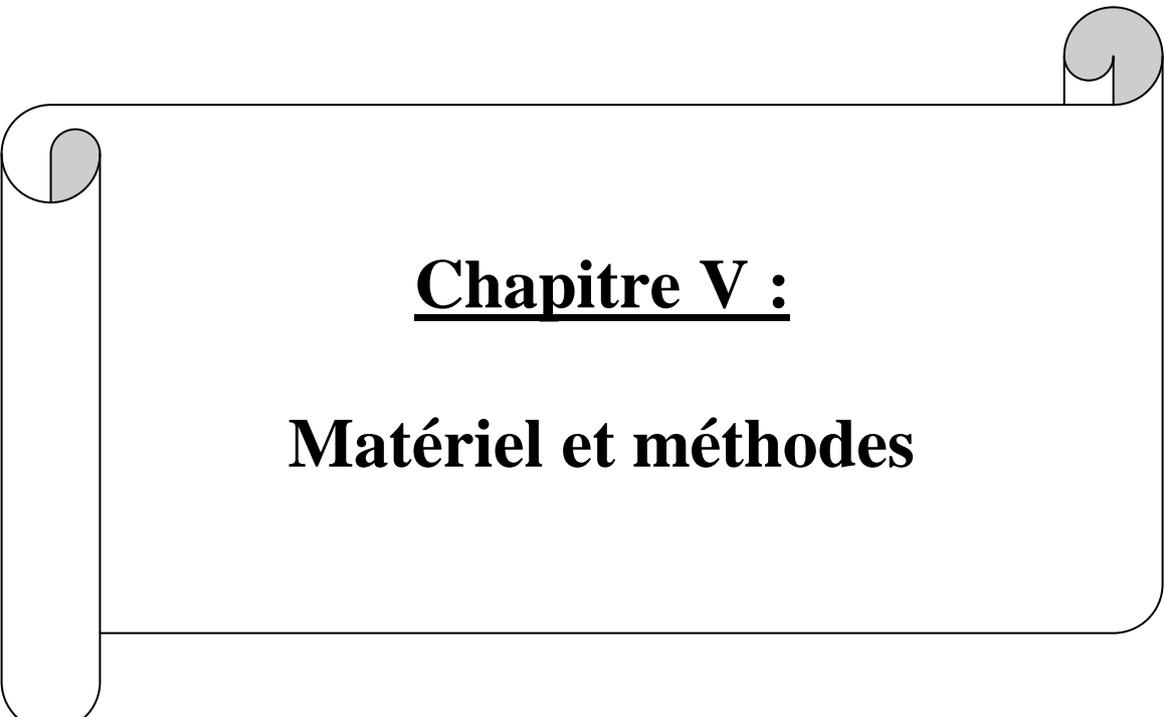
PH	Nombre de Bactéries nitrificatrices/g de terre
6.2	1000
6.4	3500
6.6	6000
6.8	25000
7.0	55000

LAHMAR et al, (1986)

## **14. Rôle du pH :**

- Le pH est considéré comme une variable de ressource puisqu'il détermine l'assimilation des plantes en minéraux (DUCHAUFOR, 1989)
- Mais il peut aussi être considéré comme variable directe puisqu'il a un effet physiologique sur la croissance des plantes (AUSTIN, 1980). Une saine gestion du sol commence par la correction des problèmes de pH. (ANONYME, 2003)

- Le pH détermine également la concentration du sol en métaux lourds, l'activité des microorganismes et de la faune du sol ainsi que la forme d'humus (CASYTIGNAO et al, 2011).
- Par conséquent, certaines espèces végétales étant plutôt calcicoles ou acidophiles, la teneur en protons mesurée par le pH du sol semble un déterminant important de la distribution de ces espèces. (DUCHAUFOR, 1989)



**Chapitre V :**

**Matériel et méthodes**

## **1. Objectif de l'expérience :**

Le problème de la salinité prend de plus en plus d'ampleur dans la plupart des pays en voie de développement, où les terres fertiles et les eaux de bonne qualité sont devenues nettement insuffisantes pour une population sans cesse croissante. A cet effet, nous serons obligés de nous tourner vers les eaux non conventionnelles pour l'irrigation en agriculture. Ces eaux d'irrigation présentent un pH alcalin et beaucoup de sels qu'il apparaît indispensable de valoriser en agriculture. Notre essai consiste donc d'étudier les moyens qui permettront l'utilisation de ces eaux en irrigation. Pour cela la correction du potentiel hydrogène serait un moyen efficace qui permettra à la plante d'assurer une meilleure utilisation de ces sels pour sa croissance et on développement.

Notre expérience est réalisée en pot sur une seule variété de tomate Marmande, cultivée en hors sol dans des conditions expérimentales semi contrôlées afin d'évaluer l'effet de la correction du potentiel hydrogène d'une eau saline sur la croissance de la tomate.

## **2. Matériel végétal :**

Des graines de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), variété Marmande sont utilisées dans notre expérience, ces semences proviennent de l'institut technique de cultures maraichères et industrielles (ITCMI) de Staouali.

La tomate est un matériel de qualité pour ses réactions rapides aux changements du milieu, sa rapidité de croissance et surtout sa tolérance moyenne aux sels (LEMAIRE et al in TORCHIT, 2002).

D'après KOLEV (1976), la Marmande est une variété fixée vigoureuse à feuillage moyen à croissance indéterminée.

- Nature : variété fixée à croissance indéterminée.
- Culture : Printemps
- Précocité : Variété précoce
- Vigueur : Bonne vigueur
- Feuillage : moyen
- Fleurs : jaunes ; 1<sup>ère</sup> fleur déformée
- Poids des fruits : gros fruits aplatis peau très côtelée ; le fruit issu de la 1<sup>ère</sup> fleur est déformé
- Poids moyen d'un fruit : 130 à 140g
- Destination : marché frais et industrielle.
- Résistance aux maladies : Verticilliose – fusariose

- Résistance à la salinité : tolérance moyenne aux sels (3 à 4g/l).

### **3. Conditions expérimentales :**

#### **3.1 Lieu de l'expérience :**

L'expérimentation a été réalisée à la station expérimentale du département d'agronomie de Blida, dans une serre en polycarbonate dont :

- L'orientation est nord sud.
- L'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre.
- Le chauffage est assuré par des radiateurs à eau chaudes.



**Figure n°(11) :** Localisation du lieu de l'expérience. (PERSONNELLE, 2014)

En vue de suivre l'évolution de la température ambiante tout au long du cycle de développement de notre espèce étudiée, un thermomètre a été installé au milieu de la serre. Les relevés quotidiens de la température ont été effectués à 3 moments de la journée : 9h, 12h et 15h. Le tableau n° 02 indique les moyennes des températures par semaine.

**Tableau n°18:** moyennes des températures par semaine de la serre en (C°)

Périodes	Températures		
	09h	12h	15h
05/12/ 2013 au 14/122013	10.9	23.2	24.8
15/12/2013 au 24/12/2013	12.2	21.5	21.7
25/12/2013 au 03/01/2014	12.6	20.4	20.5
04/01/2014 au 13/01/20014	15.3	26.5	27.6
14/01/2014 au 23/01/2014	16.6	24.4	22.8
24/01/2014 au 02/02/2014	18.1	24.2	23.9
03/02/2014 au 12/02/2014	20.2	28.5	27.2
13/12/2014 au 22/02/2014	22.5	29.5	29.0
23/02/2014 au 03/03/2014	18.1	24.8	25.7
04/03/2014 au 13/03/2014	20.4	26.3	27.4
14/03/2014 au 23/03/2014	21.5	26.2	27.4

24/03/2014 au 02/04/2014	22.8	27.3	29.1
03/04/2014 au 12/04/2014	26.0	31.0	31.6
13/04/2014 au 18/04/2014	29.6	33.4	36.0

Le tableau précédent montre que les températures matinales moyennes ne répondaient pas aux besoins nécessaires à la croissance de la tomate, et ce par rapport aux données préconisées par CHAUX (1972), qui se situent entre 18 et 25C°. Par contre, à partir de 12h les températures moyennes étaient plus favorables à la croissance et au développement de l'espèce étudiée.

Les basses températures enregistrées au début de l'expérience sont dues à la panne de chauffage dans la serre qui a été ensuite réparé.

### **3.2 substrat utilisé :**

On a utilisé pour l'expérimentation, du gravier roulé de rivière d'un diamètre de 3 à 8 mm, provenant de la carrière de Chebli qui se situe à 25 Km d'Alger.

Ce substrat constitue un milieu développement des micro-organismes et grâce à sa porosité, il assure une meilleure aération pour les racines des plantes

Pour éliminer tous les risques de contamination par les maladies, nous avons jugé utile de désinfecter le substrat avant son utilisation de la manière suivante :

- Nettoyage des pots.
- Elimination des particules terreuses et des résidus organiques présents dans le gravier par un lavage abondant à l'eau courante.
- Remplissage des pots par le gravier lavé.
- Désinfection du gravier avec l'hypochlorite de sodium dilué.
- Rinçage abondant à l'eau afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium qui est très nuisible pour les jeunes plantules.

### **3.3 Conteneurs :**

Les conteneurs utilisés sont des pots en plastique de couleur sombre, ayant une capacité de 3,5 litres et présentant des orifices de drainage à leur base pour permettre l'évacuation de la solution nutritive se trouvant excédentaire.



**Figure n° 12 :** Aspect général des conteneurs

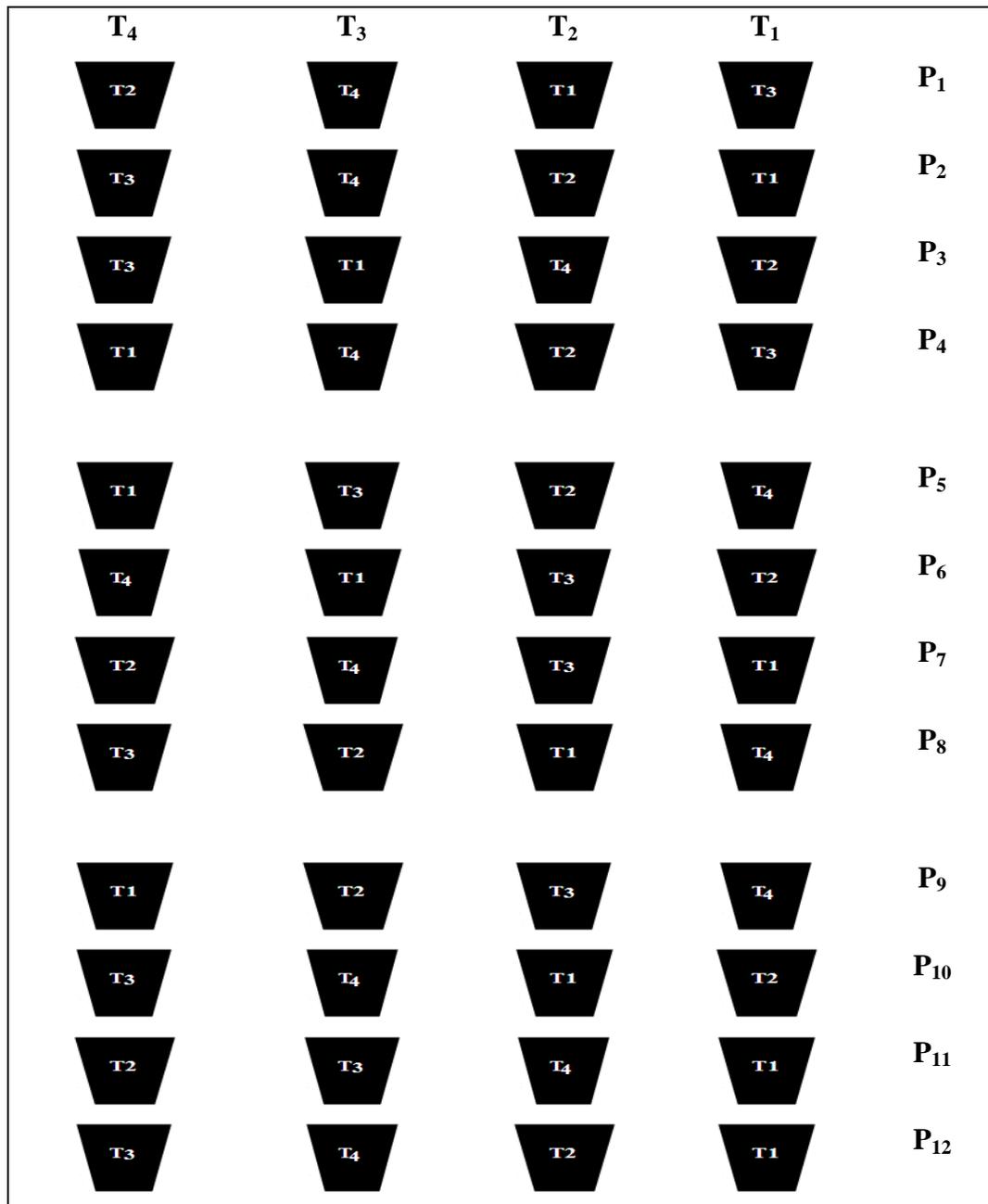
### **3.4 Dispositif expérimental :**

L'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoire de 1 à 10. Nous avons un dispositif expérimental sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale).

Le dispositif expérimental est un dispositif à un seul facteur étudié (facteur solution à 4 niveaux). Comportant quatre (4) traitements, et pour chaque traitement, nous avons douze (12) observations, soit 48 pots au total.

Notre dispositif expérimental est schématisé dans la figure suivante (figure n°04), sachant que :

- T1, T2, T3 et T4 sont les différents traitements
- P1, P2 ... P12 sont les plantes ou observations



**Figure n°13** : schéma du dispositif expérimental adapté



**Figure n°14** : le dispositif expérimental utilisé (PERSONNELLE, 2014)

Les traitements utilisés sont les suivants:

- T1 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil à qui on a corrigé le pH de 7.8 à 5,5-5,8 par l'acide nitrique seulement.
- T2 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil à qui on a corrigé le pH de 7.8 à 5,5-5,8 par l'acide phosphorique seulement.
- T3 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil à qui on a corrigé le pH de 7.8 à 5,5-5,8 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique.
- T4 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida avec un pH= 7,8.

#### **4. La pré-germination et repiquage :**

##### **4.1 Pré-germination :**

La pré-germination a été réalisée au laboratoire le 26/11/2013 dans des boîtes de pétri à raison de 45 graines par boîtes sur du papier buvard imbibé d'eau. Elles ont été mises dans une étuve à une température de 25 C°, pendant 10 jours. La faculté germinative était de 85% après 06 jours de germination.



**Figure n°15 :** la pré-germination dans l'étuve à 25C° (PERSONNELLE, 2014)

##### **4.2 Repiquage :**

Après 10 jours, les graines de tomate mises dans l'étuve ont germé. Un repiquage en place définitive a été réalisé le 05/12/2013 à raison de trois germes par pot.



**Figure n° (16):** le repiquage (PERSONNELLE, 2014)

Les jeunes germes en pots ont été arrosés de manière homogène avec de l'eau de robinet de Blida tiède pour favoriser leur reprise et pour que leurs racines ne soient pas agressées avec de l'eau froide jusqu'à l'apparition de la première feuille et ce pour une durée comprise entre le 05/12/2013 et 18/02/2013 en raison de 2 fois par jour.

A partir du 19/12/2013 les jeunes plantules ont été irriguées avec une solution nutritive standard équilibrée afin d'obtenir un matériel végétal résistant et homogène et ceci jusqu'au 11/01/2014 à raison de deux doses de 20ml/jour.

Un éclaircissage a été effectué le 08/01/2014 pour laisser qu'une seule plantule et la plus vigoureuse par pot.

Nous avons commencé l'application des quatre traitements le 12/01/2014 soit 40 jours après le semis.

### **5. Description des différentes solutions nutritives :**

Pour des raisons uniquement pratiques pour sa disponibilité sur le site expérimental et compte tenu des besoins en eau croissants des plantes ; On a décidé de préparer tous les traitements avec de l'eau courante de Blida à pH égale à 7.3 et dont la concentration en sels totaux égale à 0.49g/l. Les analyses chimiques sont indispensables puisque sa concentration globale en sels a dépassé 0.2g/l (norme indiquée par PENNEINGSFELD et KURZMAN (1969) in MALLIN (1997)).

**Tableau n°19:** Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux (meq/l).

Elément	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Total
Teneur en mg/l	00	56,00	29,90	21,60	21,70	38,40	21	248,88	433,90
Teneur en meq/l	00	2,80	1,30	1,80	0,35	0,80	0,60	4,08	11,73

(SNOUSSI, 2001)

La correction de l'eau consiste donc à utiliser des acides pour détruire partiellement les bicarbonates et ramener le pH au voisinage de 5.5 à 5.8 jugé le plus favorable pour le développement et la croissance des plantes.

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) et l'acide phosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et les phosphates.

La quantité d'acide à apporter est calculée selon la formule suivante:

$$Q \text{ (meq/l)} = (\text{quantité d'HCO}_3 \text{ dans l'eau en meq/l}) \times 0.833$$

$$Q = 4.08 \times 0.833 = 3.39 \text{ meq / l d'eau}$$

Cette quantité d'acide sera partagée entre:

$\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.1 \text{ meq / l}$  (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de  $3.3 \text{ meq / l}$  de phosphore) compte tenu que  $\text{H}_3\text{PO}_4$  est trivalent.

$$\text{HNO}_3 = 3.3 - 1.1 = 2.2 \text{ meq / l (besoin partiel en nitrates).}$$

### **5.1 Composition des solutions nutritives et techniques de préparation des différents traitements :**

Durant notre expérimentation, nous avons utilisé cinq solutions nutritives composées comme suite :

- Solution nutritive standard : eau de Blida transformée en solution nutritive. Elle a été utilisée afin d'obtenir un matériel végétal résistant et homogène pendant un mois
- T1 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil à qui on a corrigé le pH de 7.8 à 5,5-5,8 par l'acide nitrique seulement.
- T2 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil à qui on a corrigé le pH de 7.8 à 5,5-5,8 par l'acide phosphorique seulement.
- T3 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil à qui on a corrigé le pH de 7.8 à 5,5-5,8 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique.
- T4 : Solution saline naturelle de l'Oued Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida avec un pH= 7,8.

Il est à noter que les eaux salines naturelles sont caractérisées par une teneur élevée d'éléments non indispensables à la plante tel que le sodium, les sulfates.

Les différents traitements sont préparés à base des solutions mères de macro éléments puis dilués au moment de la préparation des solutions prêtes à l'utilisation.

Un certain ordre de dissolution est respecté afin d'éviter toute précipitation. On a commencé par les produits à fonction acide, car ils sont les plus solubles puis on a ajouté au fur et à mesure les autres produits.

Pour la préparation des traitements il est important de savoir la composition de l'eau de Blida et de compléter la différence pour les apports des sels minéraux.

Ces apports doivent être fournis selon les normes de base de LESAINTE et COIC (1983) :

- Azote total  $\begin{matrix} \longrightarrow & 12\text{meq/l NO}_3^- \text{ soit } 85\% \\ \searrow & 1.8\text{meq/l NH}_4^+ \text{ soit } 15\% \end{matrix}$
- Sulfate: 1.5meq
- Les phosphates: 3.3meq/l (1.1meq du  $\text{PO}_4$ )

En dernier lieu, nous ajoutons les solutions complémentaires d'oligoéléments préconisés par COIC et LESAINTE (1974).

### 5.2 Elaboration de la solution nutritive standard à partir de l'eau de Blida :

**Tableau N° 20:** Eau de Blida corrigée (Solution nutritive standard)

**Composition de l'eau de Blida pH =7.8**

Eau de Blida	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{Cl}^-$	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
$\text{K}^+$					0
0					
$\text{Na}^+$					1.3
1.3					
$\text{Ca}^{2+}$					2.8
2.8					
$\text{Mg}^{2+}$					1.8
1.8					
$\text{NH}_4^+$					4.08
4.08					
$\text{H}^+$					0
0					
<b>Total</b>	<b>0.35</b>	<b>00</b>	<b>0.80</b>	<b>0.60</b>	

**Composition de l'eau de Blida corrigée (solution nutritive standard pH = 5.8)**

Eau de Blida	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{Cl}^-$	Total
	0.35	00	0.80	0.60	
$\text{K}^+$	3.55		0.70		4.25
0					
$\text{Na}^+$					1.30
1.3					
$\text{Ca}^{2+}$	2.30				5.10
2.8					
$\text{Mg}^{2+}$					1.8
1.8					
$\text{NH}_4^+$	1.80				1.80
4.08					
$\text{H}^+$	2.20	1.10			3.30
0					
<b>Total</b>	<b>10.20</b>	<b>3.30</b>	<b>1.50</b>	<b>0.60</b>	

### Quantité et ordre de dissolution des sels :

La solution nutritive standard renferme des oligoéléments, le fer est apporté sous à raison à raison de 5ml/l de solution de concentration 2g/l de séquestrène d de fer.

- $\text{HNO}_3 = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 2.30 \times 118 = 271.4 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 3.55 \times 101.10 = 358.90 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80.04 = 144.07 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.7 \times 87 = 60.9 \text{ mg/l}$
- Teneur de sel d'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total des sels = 1515.67 mg/l = 1.51 g/l

Les autres oligoéléments sont apportés à raison de 0.1ml/l, il s'agit de molybdate d'ammonium (0.5g/l) + l'acide borique (15g/l) + sulfate de manganèse (20g/l) + sulfate de cuivre (2.5g/l) + sulfate de Zinc (10g).

**Tableau N°20:** Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B

Solution « A »			Solution « B »		
Eléments	Dose g/l	Prélèvement (ml)	Eléments	Dose g/l	Prélèvement (ml)
Molybdate d'ammonium ( $\text{NH}_4$ ) <sub>6</sub> ( $\text{MO}_7\text{O}_{24}$ ) 4H <sub>2</sub> O	0.5	0.1	Séquestrène de fer	2	5
Acide borique ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )	15.0				
Sulfate de manganèse ( $\text{MnSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$ )	20.0				
Sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$ )	2.5				
Sulfate de zinc ( $\text{ZnSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ )	10				

### 5.3 Reconstitution de l'eau de Gassi Touil, solution saline naturelle (T4) à partir de l'eau de Blida (Témoin) :

L'eau de l'Oued Guassi Touil est naturellement saline et renferme des teneurs supérieures aux besoins de certaines espèces végétales.

Pour sa reconstitution avec l'eau de Blida, on a pris en compte les éléments minéraux déjà présents dans cette dernière et on a apporté les éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le plus proche possible de l'analyse initiale.

**Tableau n°(22):** solution Témoin (l'eau d'Oued Gassi Tuil reconstituée par l'eau de Blida)  
pH = 7.8

Eau de Blida	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Total
	0.35	00	0.50	0.60	
K <sup>+</sup> 00			1.95		1.95
Na <sup>+</sup> 1.30			12.42	16.73	30.45
Ca <sup>2+</sup> 2.80				14.10	16.90
Mg <sup>2+</sup> 1.80				5.45	7.25
<b>Total</b>	<b>0.35</b>		<b>14.87</b>	<b>36.88</b>	

**Quantité des sels dans cette solution (mg/l):**

- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1.95 × 87 = 169.65 mg/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 12.42 × 71.02 = 888.06 mg/l
- NaCl = 16.73 × 58.45 = 977.86 mg/l
- CaCl<sub>2</sub> = 14.10 × 73.51 = 1036.49 mg/l
- MgCl<sub>2</sub> = 5.45 × 101.65 = 553.99 mg/l
- Teneur de sel d'eau de Blida = 433.9 mg/l



Total des sels = 4039.77 mg/l = **4.03 g/l**

**Remarque :** aucun oligo-élément n'est ajouté.

**5.4 Préparation de la solution saline naturelle corrigée par l'acide nitrique (HNO<sup>3</sup>) :**

**Préparation de la solution mère (g/l):**

- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 169.65 × 200 = 33.93 g/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 888.06 × 200 = 888.06 g/l
- NaCl = 977.86 × 200 = 195.57 g/l
- CaCl<sub>2</sub> = 1036.49 × 200 = 207.89 g/l
- MgCl<sub>2</sub> = 553.99 × 200 = 553.99 g/l

**Tableau n°(23) : Solution saline naturelle corrigée par l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>)  
pH= 5.8**

Eau de Blida	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Total
	0.35	00	0.50	0.60	
K <sup>+</sup> 00			1.95		1.95
Na <sup>+</sup> 1.30			12.42	16.73	30.45
Ca <sup>2+</sup> 2.80				14.10	16.90
Mg <sup>2+</sup> 1.80				5.45	7.25
H <sup>+</sup>	3.30				3.30
<b>Total</b>	<b>3.65</b>		<b>14.87</b>	<b>36.88</b>	

**Quantité des sels dans cette solution (mg/l):**

- HNO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 3.30 × 67 = 138.6 mg/l
- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1.95 × 87 = 169.65 mg/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1242 × 71.02 = 888.06 mg/l
- NaCl = 16.73 × 58.45 = 977.86 mg/l
- CaCl<sub>2</sub> = 14.10 × 73.51 = 1036.49 mg/l
- MgCl<sub>2</sub> = 05.45 × 101.65 = 553.99 mg/l
- Teneur de sel d'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total des sels = 4178.37 mg/l = **4.17 g/l**

**Préparation de la solution mère (g/l):**

- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 169.65 × 200 = 33.93 g/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 888.06 × 200 = 888.06 g/l
- NaCl = 997.86 × 200 = 195.57 g/l
- CaCl<sub>2</sub> = 1036.49 × 200 = 207.89 g/l
- MgCl<sub>2</sub> = 553.99 × 200 = 553.99 g/l

**Calcul de la quantité d'acide nitrique à apporter :**

$$N = d \times \% \times 0.1587$$

$$N = 1.40 \times 20 \times 0.1587$$

$$N = 4.44 \text{ meq}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ ml (HNO}_3\text{)} \longrightarrow 4.4 \text{ meq} \\ X \longrightarrow 3.3 \text{ meq} \end{array}$$

X = 0.74 ml/l
---------------

**5.5 Préparation de la solution saline naturelle corrigée par l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) :**

**Tableau n° (25):** Solution saline naturelle corrigée par l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)  
pH= 5.8

Eau de Blida	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0.35	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> 00	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> 0.50	Cl <sup>-</sup> 0.60	Total
K <sup>+</sup> 00			1.95		1.95
Na <sup>+</sup> 1.30			12.42	16.73	30.45
Ca <sup>2+</sup> 2.80				14.10	16.90
Mg <sup>2+</sup> 1.80				5.45	7.25
H <sup>+</sup>		3.30			3.30
<b>Total</b>	<b>0.35</b>	<b>3.30</b>	<b>14.87</b>	<b>36.88</b>	

**Quantité des sels dans cette solution (mg/l):**

- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = 3.30 × 98 = 323.40 mg/l
- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1.95 × 87 = 169.65 mg/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 12.42 × 71.02 = 888.06 mg/l
- NaCl = 16.73 × 58.45 = 977.86 mg/l
- CaCl<sub>2</sub> = 14.10 × 73.51 = 1036.49 mg/l
- MgCl<sub>2</sub> = 5.45 × 95.21 = 518.89 mg/l
- Teneur de sel d'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total des sels = 4363.17 mg/l = **4,36 g/l**

**Préparation de la solution mère (g/l):**

- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 169.65 × 200 = 33.93 g/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 888.06 × 200 = 888.06 g/l
- NaCl = 977.86 × 200 = 195.57 g/l
- CaCl<sub>2</sub> = 1036.49 × 200 = 207.89 g/l
- MgCl<sub>2</sub> = 553.99 × 200 = 553.99 g/l

**Calcul de la quantité d'acide phosphorique à apporter :**

$$N = d \times \% \times 0.1020$$

$$N = 1.7 \times 20 \times 0.1020$$

$$N = 3.47 \text{ meq}$$

$$1 \text{ ml (H}_3\text{PO}_4) \longrightarrow 3.47 \text{ meq}$$

$$X \longrightarrow 3.3 \text{ meq}$$

X = 0.95 ml/l
---------------

## 5.6 Préparation de la solution saline naturelle corrigée par l'acide nitrique

(HNO<sub>3</sub>) et l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) :

**Tableau n°(26) :** Solution saline naturelle corrigée par l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) et l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

pH= 5.8

Eau de Blida	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl	Total
	0.35	00	0.50	0.60	
K <sup>+</sup> 00			1.95		1.95
Na <sup>+</sup> 1.30			12.42	16.73	30.45
Ca <sup>2+</sup> 2.80				14.10	16.90
Mg <sup>2+</sup> 1.80				5.45	7.25
H <sup>+</sup>	2.20	1.10			3.30
<b>Total</b>	<b>2.55</b>	<b>1.10</b>	<b>14.87</b>	<b>36.88</b>	

### Quantité des sels dans cette solution (mg/l):

- HNO<sub>3</sub> = 2.20 × 63 = 138,6 mg/l
- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = 1.10 × 98 = 107.8 mg/l
- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = 3.30 × 98 = 323.40 mg/l
- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1.95 × 87 = 169.65 mg/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 12.42 × 71.02 = 888.06 mg/l
- NaCl = 16.73 × 58.45 = 977.86 mg/l
- CaCl<sub>2</sub> = 14.10 × 73.51 = 1036.49 mg/l
- MgCl<sub>2</sub> = 5.45 × 95.21 = 518.89 mg/l

### Préparation de la solution mère (g/l):

- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 169.65 × 200 = 33.93 g/l
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 888.06 × 200 = 888.06 g/l
- NaCl = 977.86 × 200 = 195.57 g/l
- CaCl<sub>2</sub> = 1036.49 × 200 = 207.89 g/l
- MgCl<sub>2</sub> = 553.99 × 200 = 553.99 g/l

Total des sels = 4268.17mg/l = **4,26g/l**

**Calcul de la quantité d'acide nitrique et l'acide phosphorique à apporter :**

**Calcul de la quantité d'acide nitrique :**

$$N = d \times \% \times 0.1587$$

$$N = 1.40 \times 20 \times 0.1587$$

$$N = 4.44 \text{ meq}$$

$$1 \text{ ml (HNO}_3\text{)} \rightarrow 4.4 \text{ meq}$$

$$X \rightarrow 2.2 \text{ meq}$$

$$X = 0.5 \text{ ml/l}$$

### Calcul de la quantité d'acide phosphorique :

$$\begin{array}{l} N = d \times \% \times 0.1020 \\ N = 1.7 \times 20 \times 0.1020 \\ N = 3.47 \text{meq} \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} 1 \text{ml (H}_3\text{PO}_4) \longrightarrow 3.47 \\ X \longrightarrow 1.1 \text{meq} \end{array} \longrightarrow \boxed{X = 0.31 \text{ ml/l}}$$

## 6. Entretien de la culture :

### 6.1 Irrigation :

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de l'eau en excès.

Il est important de noter qu'en hors-sol, il est recommandé de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, afin de pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les déficits et les éventuels excès de solution nutritive. La dose et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les conditions microclimatiques telle que la température.

Le tableau ci-dessous (tableau n°26) montre les doses et les fréquences apportées pendant la période d'expérimentation.

**Tableau n°(26) :** doses et fréquences d'irrigation nécessaire pour la culture de la tomate

Dates	Stade végétatif	Dose d'irrigation	Fréquence	Apports journaliers
Du 05/12/2013 au 12/01/2014	Germination au stade quatre feuilles	20ml	3fois / jour	60 ml /jour
Du 13/01/2014 au 11/02/2014	Stade quatre feuilles au début floraison	50ml	3fois / jour	150ml / jour
Du 12/02/2014 au 26/02/2014	Début floraison au début nouaison	100ml	3fois / jour	300ml / jour
Du 27/02/2014 au 18/04/2014	Formation des fruits à la récolte	150ml	4fois / jour	600ml / jour

### 6.2 Traitements phytosanitaires :

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs et curatifs pour écarter toute attaque cryptogamique ou celle d'insectes nuisibles contre les plantes selon le modèle suivant :

**Tableau n°(27):** Programme des traitements phytosanitaires appliqués.

Dates	Produit	Matière active	Désignation	Dose	Fréquence du traitement
27/01/2014	Polo	Diofenthion	Traitement préventif contre les insectes et les acariens.	3 g/l	1 fois /semaine

### **6.3 Palissage :**

La variété de tomate utilisée dans notre expérimentation est une variété à croissance indéterminée. De ce fait, on a remarqué à un moment donné, que les plantes avaient tendance à se courber ce qui nous a menés à placer des ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées.

### **6.4 Étêtage :**

L'étêtage consiste à éliminer le bourgeon terminal (apex), afin d'arrêter la croissance de la plante. Dans notre expérimentation, l'étêtage a été effectué au 1<sup>er</sup> bouquet en laissant deux feuilles au dessus de ce dernier.

### **6.5 Lessivage :**

L'opération consiste à éliminer les sels non absorbés par les plantes par un arrosage tout les week-ends avec l'eau de robinet afin d'éviter leur accumulation dans les Conteneurs.

## **7. Paramètres étudiés :**

Afin d'évaluer le comportement et l'évolution de notre espèce, différents paramètres ont été mesurés :

### **7.1 Paramètres physiologiques :**

#### **7.1.1 Hauteur des plantes :**

Pour déterminer la vitesse de croissance des plantes, nous avons mesuré périodiquement la hauteur des plantes du collet jusqu'à l'apex à l'aide d'une règle graduée. Les hauteurs finales ont été mesurées au moment de la coupe.

#### **7.1.2 Nombre de feuilles :**

Le nombre de feuilles a été comptabilisé chaque semaine et au moment de la coupe, pour chaque plant.

#### **7.1.3 Diamètre des tiges :**

La mesure du diamètre final des tiges a été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse au moment de l'arrachage des plants

#### **7.1.4 Longueur des racines :**

Nous avons mesuré la longueur des racines l'aide d'une règle graduée au moment de la coupe.

#### **7.1.5 Biomasse fraîche produite :**

Lors de la coupe, nous avons pesé les différents organes de la plante (feuilles, tiges, racines) à l'aide d'une balance, afin d'avoir pour chaque plante le poids frais :

- ✓ Des feuilles.
- ✓ De la tige.
- ✓ Des racines.
- ✓ D'un échantillon moyen des feuilles.
- ✓ D'un échantillon moyen des tiges.
- ✓ D'un échantillon moyen des racines.

#### **7.1.6 Biomasse sèche produite :**

Après le séchage de la matière fraîche dans une étuve à 70°C jusqu'à stabilité du poids sec, on a mesuré la matière sèche pour avoir le :

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

#### **7.1.7 Taux de la matière sèche produite :**

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%] et calculé comme suit : %  
 $MS = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100.$

Nous avons calculé le taux de la matière sèche totale (feuilles + tiges+ racines).

### **7.2 Paramètres de production :**

#### **7.2.1 Taux d'avortement des fleurs :**

Le taux d'avortement est exprimé par la différence entre le nombre total des fleurs apparues et le nombre total des fleurs nouées ou transformées en fruit.

#### **7.2.2 Nombre de fleur et nombre de fruit par plant :**

Le nombre de fleur et de fruit a été comptabilisé chaque semaine depuis leur apparition et au moment de la coupe, pour chaque plant.

#### **7.2.3 Poids frais et le calibre des fruits :**

Le poids a été mesuré grâce à une balance.

### 7.3 Paramètres biochimiques

#### 7.3.1 Dosage de la chlorophylle :

La chlorophylle a et b est dosés durant le stade végétatif et après la coupe sur les feuilles médianes de la tomate, on utilisant 3 répétitions pour chaque traitement.

L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisé selon la méthode de FRANCIS *et al* (1970).

La méthode d'extraction consiste à :

- ✓ Une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration.
- ✓ Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière),
- ✓ 48h plus tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm).
- ✓ La détermination des teneurs réalisée selon les formules :
  - $\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W)$ .
  - $\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W)$ .
  - $\text{Chl(c)} (\mu\text{g/g MF}) = 1000 \text{DO}_{(470)} - [1.82 \text{Chl a} - 85.02 \text{Chl b}] / 100$

V : volume solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon

#### 7.3.2 Dosage des sucres solubles :

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de DUBOIS et GILLET(1965). Pour l'extraction des sucres solubles :

- ✓ Mètre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- ✓ Ajouter 2 ml d'éthanol à 80%.
- ✓ Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h.
- ✓ Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°C.

Après refroidissement :

- ✓ Ajoute 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai.
- ✓ Prendre 1 ml de la solution
- ✓ Ajouter 1 ml de phénol à 5 % et bien agiter.
- ✓ Ajouté 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai
- ✓ Passer au vortex.
- ✓ Laisser au repos pendant 10mn.
- ✓ Passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C.
- ✓ Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.
- ✓ La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule:

$$\text{Sucres solubles } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{490} \times 1.657$$

### 7.3.3 Dosage de la proline :

La proline est dosée selon la technique utilisée 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.

On a dosé la proline dans les tiges, racines et dans les feuilles.

La méthode consiste à :

- ✓ Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- ✓ Ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min.

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 orthophosphorique
- ✓ 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:

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

### 7.4 Dosage des paramètres technologiques :

#### 7.4.1 Dosage de la vitamine « c » :

La teneur en vitamine « C » dans les fruits de tomate est calculée selon la méthode de (B.A et al, 2008) comme suite :

- ✓ Une quantité de 10g de fruits frais est réduite en pâte mise en présence de 50ml d'acide chlorhydrique (HCl 2%) puis laisser en repos pendant 10 minutes. Faire filtrer
- ✓ Le mélange dans un bicher de 100 ml.

La détermination de la vitamine « c » est passée par deux étapes :

**1<sup>ère</sup> étape :**

- ✓ Prélever 10ml d'extrais filtrée et mettre dans un erlenmayer, ajouter 30ml d'eau distillé
- ✓ On ajoute aussi 1ml de solution d'iodure de potassium (KI 1%)
- ✓ On additionne 2ml de solution d'amidon 5%.
- ✓ La solution préparée est titrée à l'iodate de potassium (KINO3 N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu
- ✓ Enregistrer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage

**2<sup>ème</sup> étape :**

- ✓ On réalise un témoin dans les mêmes conditions, les 10 ml d'extrais sont remplacées par une quantité égale d'acide chlorhydrique 2%

**Les calculs :**

La teneur en vitamine « C » est calculée selon la méthode de [128]

$$X = \frac{N.V1-0.88}{G.V2} \times 100$$

- ⊗ X : mg d'acide ascorbique /g de produit a l'analyse
- ⊗ N : nombre d'iodate de potassium résultant de la différence entre le 1er titrage et le titrage témoin
- ⊗ V1 : volume total d'extrait obtenu par l'analyse
- ⊗ V2 : volume initial d'extrait soumis à l'analyse
- ⊗ G : quantité de produit analysé

**7.4.2 Acidité titrable :**

- ✓ Moudre de la tomate
- ✓ Prendre 5 à 30g de jus
- ✓ Ajouter 100ml d'eau distillée bouillante
- ✓ Filtrer et compléter à 200ml
- ✓ Centrifuger la solution finale obtenue

- ✓ Prélever 100ml du surnagent
- ✓ Ajouter 3 à 4 gouttes de phénolphtaléine
- ✓ Titrer à la soude (NaOH) N/10

**Les calculs :**

$$N_1V_1 = N_2V_2 \quad \rightarrow \quad N_1 = \frac{N_2V_2}{V_1}$$

- ⊗ N<sub>2</sub> : la normalité de la soude utilisée pour le titrage = 0.1
- ⊗ Volume de soude versé en [ml] pendant le titrage
- ⊗ Volume de surnagent prélevée = 100 ml

**Expression des résultats :**

En g d'acide citrique / 100g de jus

En g d'acide citrique / kg de fruit frais

En g d'acide malique / 100g de jus

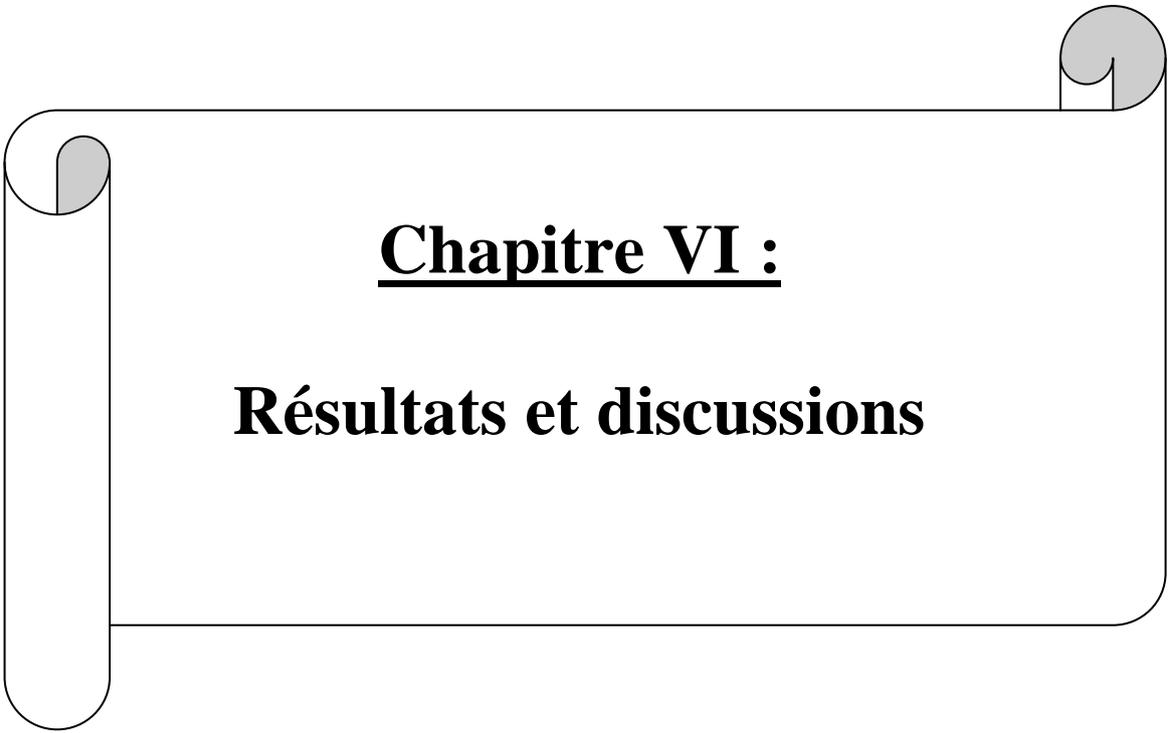
En g d'acide malique / kg de fruit frais

#### **7.4.3 Dosage des sucres totaux dans les fruits de tomate :**

La détermination de ce paramètre est réalisée à l'aide d'un réfractomètre. Le principe de cette opération est basé sur la mise d'une gouttelette de jus de tomate dans l'appareil puis passer à la lecture directe.



**Figure n°17:** Aspect général d'un réfractomètre (PERSONNELLE, 2014)



## 1. Paramètres morphologiques :

### 1.1. Paramètres de croissance :

#### 1.1.1. Aspect général des plantes :

Les traitements testés lors de notre expérimentation ont eu un effet remarquable sur les plantes de tomates testées.



**Figure n°(18) :** Aspect général de plants de tomate alimentés par les différents traitements

Les plantes irriguées par les solutions salines naturelles (T4) sont chétives, de couleur verte jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles, de fleurs et de fruits de petite taille ; Aussi les plantes irriguées par le traitement (T2) à savoir la solution saline à pH corrigé à 5,8 avec de l'acide phosphorique, présentent une croissance réduite.

Les plantes irriguées par les solutions salines à pH corrigée à 5,8 (T1- T3), sont vigoureuses, de couleur verte foncé avec un nombre élevé de feuilles, de fleurs et de fruits.



**Figure n°(19) :** Comparaison entre les plantes irriguées par la solution (T4) et (T1).



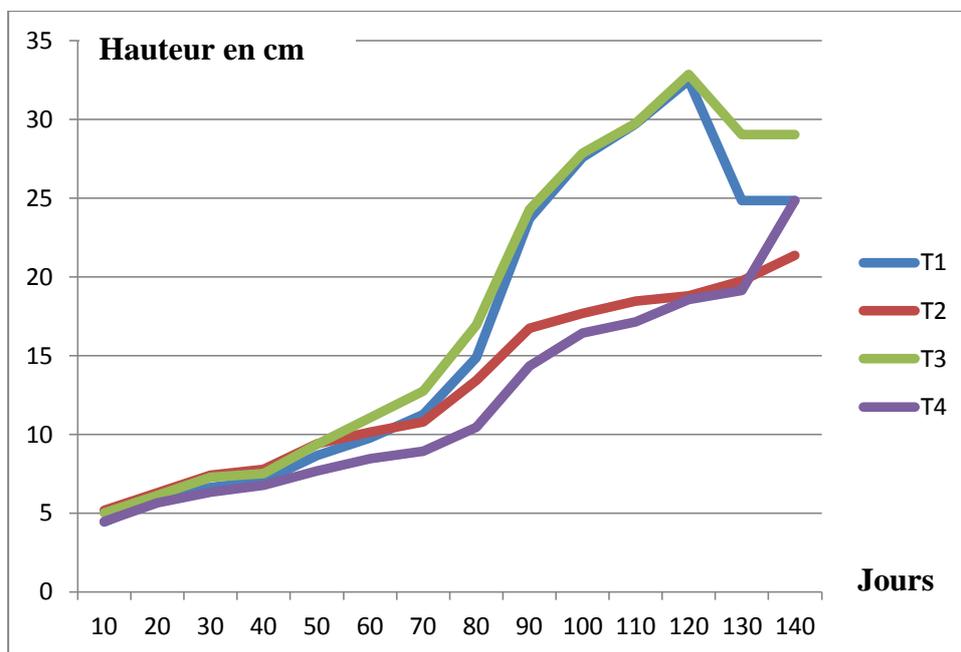
**Figure n°(20) :** Comparaison entre les plantes irriguées par la solution (T4) et (T2).



**Figure n°(21) :** Comparaison entre les plantes irriguées par la solution (T4) et (T3).

## 1.2 Paramètres biométriques :

### 1.2.1 Vitesse de croissance :



**Figure n°(22) :** Vitesse de croissance des plantes par traitement (cm/jr)

D'après la figure n°(22), la croissance des plantes a commencé assez lentement. Elle était presque homogène dans la première période de mesure qui va du 05/12/2013 au 12/01/2014 et ceci pour tous les traitements.

La longueur de la tige varie de 5 à 7 cm, il n'y avait donc pas de différence significative entre les traitements. C'est à partir du 11/02/2014 que des différences de comportement commençaient à apparaître.

Dès le 12/02/2014 soit un mois après l'application des traitements, la vitesse de croissance devenait rapide en particulier pour les plantes issues des deux traitements corrigés (T1) et (T3). Tandis que pour les plantes alimentées par le traitement (T2) on observe des moyennes de vitesse de croissance plus lentes. Ces moyennes sont encore plus faibles en ce qui concerne le traitement salin naturel (T4). Il semblerait que c'est durant cette période que le facteur salinité a commencé à inhiber la croissance.

Au-delà du 26/02/2014, la vitesse de croissance est observée plus clairement entre les traitements. Cependant cette rapidité a diminué pendant la dernière phase de mesure malgré l'accroissement des hauteurs des tiges qui va jusqu'à plus de 30 cm pour le traitement (T3) et (T1). Cela est dû à l'étêtage des plants qui a débuté à cette période.

La croissance la plus rapide et les hauteurs des tiges les plus élevées sont donc observées chez les traitements (T1) et (T3) de (30 à 35 cm) respectivement suivi par les solutions (T4) et (T2) avec (21 et 25 cm environ).

Cette observation peut être expliquée par l'équilibre ionique parfait des solutions salines corrigées (T1) et (T3) et leur richesse en éléments nutritifs appropriés à la croissance des plantes notamment l'azote, le phosphore, le potassium. Par contre le traitement (T2) qui est très salin et pauvre en azote manifeste une croissance ralentie. Aussi le traitement salin non corrigé (T4) présente un déséquilibre ionique et une carence nutritionnelle ce qui se traduit inévitablement par une croissance très faible.

On remarque que la correction du pH au niveau des traitements salins naturels manifeste un effet notable sur l'évolution de la croissance. Effectivement, le pH d'une solution nutritive est un facteur déterminant dans l'absorption hydrominérale des plantes dans un milieu salin.

Selon SCHLEIFF (1979), l'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique dans le milieu de culture ce qui provoque une réduction de la disponibilité en eau pour les cultures. Cela justifie la vitesse de croissance ralentit du traitement salin naturel (T1).

Les travaux de (SKIREDJ, 2006) ont montré que la salinité provoque une réduction de la taille de tous les organes de la plante tels que :

- Le faible allongement des organes et leurs ramifications.
- La diminution de la surface foliaire.

- Le raccourcissement des entre nœuds des tiges.

Il est nécessaire d'ajouter que l'azote est un élément indispensable à la multiplication cellulaire puisqu'il intervient dans la composition du noyau.

### 1.2.2 Hauteur de la plante :

La hauteur finale des tiges a été mesurée au moment de la réalisation de la coupe finale. Les résultats sont présentés dans le Tableau (28) :

**Tableau n°(28) :** Hauteur de la plante (cm)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
<b>Hauteur finale des plantes (cm)</b>	28,25 ± 0,76 (b)	21,35 ± 0,44 (d)	29,04 ± 0,31 (a)	24,84 ± 0,34 (c)

D'après les résultats de l'analyse de la variance, nous remarquons l'existence d'une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les traitements testés. Le test de Newman-Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) classe les traitements testés en quatre groupes : (a), (b), (c) et (d).

Les résultats obtenus indiquent que la hauteur la plus élevée a été enregistrée au niveau du traitement (T3), suivi par le traitement (T1) en comparaison avec la solution saline naturelle (T4) qui a marqué une hauteur finale plus élevée le traitement (T2).

On justifie la vigueur et la bonne croissance des traitements corrigés (T1) et (T3) par la richesse de ces solutions en éléments fertilisants notamment l'azote et le phosphore. La correction de ces milieux à un pH qui se situe entre (5.5 et 5.8) joue un grand rôle dans l'assimilation des nutriments dans ces milieux alimentaires.

Les plantes arrosées par la solution saline naturelle (T4) ont données les hauteurs finales de plants faibles par rapport, cela peut être expliqué par le pH alcalin défavorable à une absorption hydrominérale des plantes dans ce milieu fortement salé.

Les plantes arrosées par la solution (T2) ont donné les hauteurs finales de plantes les plus faible bien que le pH soit corrigé à 5,8 avec de l'acide phosphorique et ce en raison à l'absence de l'azote et la teneur élevée du sel dans la solution.

### 1.2.3 Poids frais total :

**Tableau n°(29) :** Poids frais total (g)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Poids frais total des plantes (g)	52,52	19,01	48,58	26,87
	±	±	±	±
	0,53 (a)	0,73 (d)	0,68 (b)	0,45 (c)

D'après les résultats de l'analyse de la variance, nous remarquons l'existence d'une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les traitements testés. Le test de Newman-Keuls ( $\alpha = 5\%$ ) classe les traitements testés en quatre groupes : (a), (b), (c) et (d).

Le poids frais total le plus élevé est enregistré au niveau des plantes alimentées par les traitements salins à pH corrigé dont la biomasse fraîche totale la plus élevée est celle de (T1) correspondant à 52,52g suivie par (T3) avec une moyenne de 48,58g.

Le groupe (c) correspondant aux traitements salins naturels (T4) avec 26,87g.

La solution saline naturelle à pH corrigé (T2) a donné aussi les plantes les moins vigoureuses avec une valeur de 19,01g parce qu'elle contient une grande quantité de sel et une carence en azote.

En effet, la correction des solutions salines à un effet bénéfique sur la croissance de l'espèce étudiée, parce qu'elle fournit tous les éléments nécessaires aux besoins des plantes à des proportions convenables.

LEVITT et al (2006), confirment que dans un milieu salin, la vigueur du plant est réduite et la biomasse fraîche des organes est insuffisante.

### 1.2.4 Diamètre de la tige :

**Tableau n° (30) :** Diamètre de la tige (cm)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Diamètre de la tige (cm)	7,66	6,03	7.26	6.25
	±	±	±	±
	0,29 (a)	0,45 (d)	0,34 (b)	0,21 (c)

L'analyse de la variance nous annonce qu'il y'a une différence très hautement significative entre les traitements ( $P < 0,001$ ). Le classement des valeurs moyennes effectué par le test de Newman-Keuls au seuil ( $\alpha = 5\%$ ) pour ce paramètre, montre la présence de quatre groupes homogènes.

En comparant les différents résultats cités dans le tableau n°(30), nous pouvons constater que c'est le traitement (T1) qui offre aux plantes le plus gros diamètre, vient ensuite le traitement (T3) avec une moyenne assez proche de celle du traitement (T1) et qui appartiennent respectivement aux groupes (a) et (b) avec des moyennes de (7.76 et 7.26 mm). Les traitements (T4) et(T2) appartiennent aux groupes homogènes (c) et (d) et présentent des moyennes pas très éloignées (6,25 et 6,03 mm), cela est dû aux déficiences en éléments essentiels qui entraînent l'arrêt de la croissance des tissus juvéniles et provoquent par la suite des troubles fonctionnels chez la plante. Ces troubles amènent à un ralentissement et un retard de croissance, à une inhibition de l'activité des méristèmes primaires et secondaires et à l'apparition du phénomène de plasmolyse qui aboutit à la formation de tiges moins rigides et donc peu développées.

MOURAVINE *et al* (1977), montrent que l'amincissement des tiges observé chez les plants alimentés par les solutions salines peut être justifié par le manque d'azote et de soufre dans ces milieux.

### 1.2.5 Poids frais de la tige :

**Tableau n° (31) :** Poids frais de la tige (g)

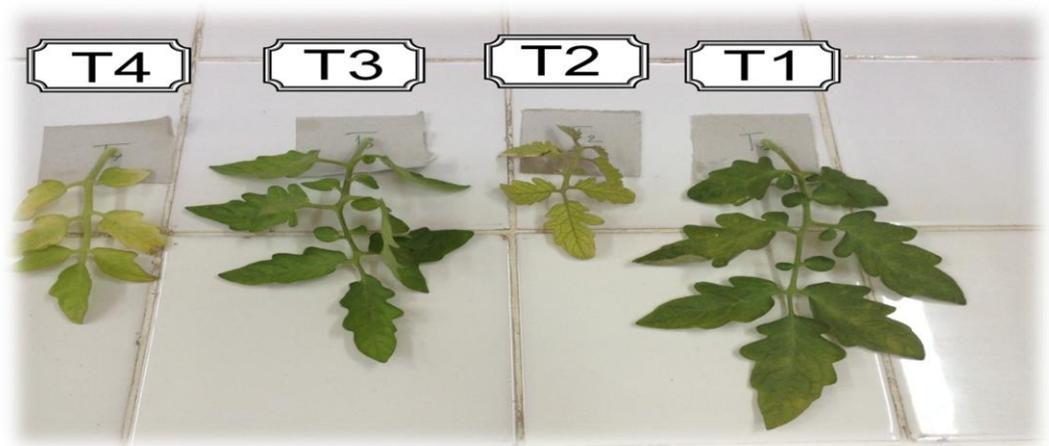
Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
<b>Poids frais de la tige (g)</b>	13,35 ± 0,42 (a)	6,36 ± 0,63 (d)	12,27 ± 0,49 (b)	8,86 ± 0,62 (c)

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements testés. En effet, le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir quatre groupes homogènes.

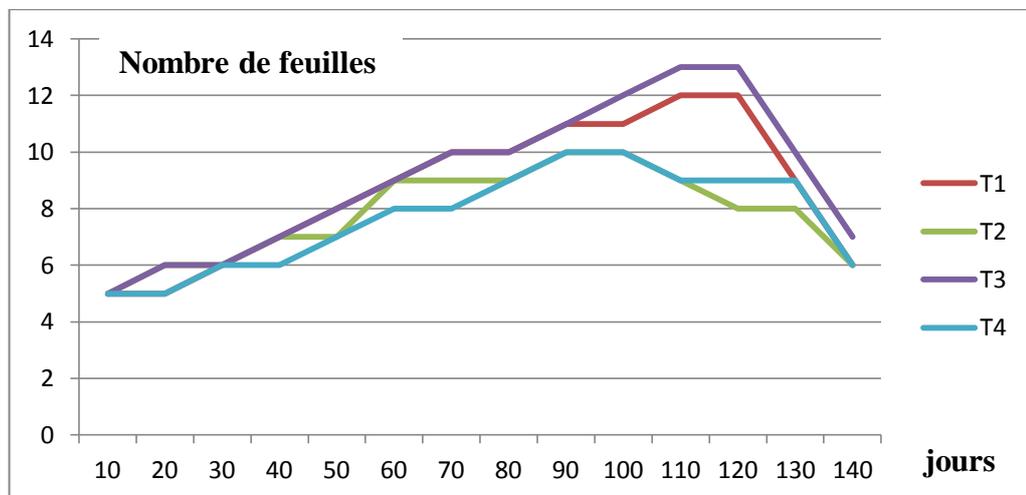
Le groupe (a) est représenté par le traitement (T1) qui donne la valeur la plus élevée (13,25g) suivi par le traitement (T3) qui donne la valeur de (12,27g) et qui est représenté par le groupe (b). En effet, la correction du pH de 7,8 à 5,8 de l'eau saline naturelle a un effet bénéfique sur la croissance de la tomate, parce qu'elle fournit tous les éléments nécessaires aux besoins des plantes à des proportions convenables.

Ce même test classe le traitement salin naturel (T4) et (T2) dans le groupe (c) et (d) avec une valeur du poids frais la plus faible (8.86 et 6.36) en raison de la déshydratation cellulaire ou "la sécheresse physiologique" qui est marquée par un arrêt de la croissance des tissus et une diminution de la transpiration (BINET, 1967).

### 1.2.6 Nombre de feuilles :



. **Figure n°(23) :** Aspect général des feuilles des différents traitements



. **Figure n°(24) :** Nombre de feuilles (graphe)

Le facteur traitement à une répercussion sur la production des feuilles, le nombre le plus élevé est localisé chez les plantes traitées par la solution nutritive (T3). Derrière viennent les traitements (T1) et (T2).

Les résultats sont peu satisfaisant au niveau du traitement (T2) par rapport aux traitements corrigés et ce malgré la correction de son pH, mais reste tout de même meilleur devant le traitement (T4) qui donne le nombre de feuilles le plus faible.

Ceci est peut être dû à la présence de certains éléments nocifs tels que le sodium et les chlorures en grande quantité d'une part et aux carences en éléments essentiels d'autre part. Cette perturbation dans la balance ionique provoque l'inhibition du développement des feuilles et leur dessèchement (MAZLIAK, 1981).

La présence marquée du sodium ( $\text{Na}^+$ ) que ce soit en combinaison avec les chlorures ou les sulfates dans les traitements salins naturels exerce une nocivité accrue en

bloquant le transfert de certains éléments vers la partie aérienne des plantes. Par conséquent, il en résulte des difficultés d'ajustement osmotique rendant les plantes très sensibles au déficit hydrominéral, induisant par la même une diminution de la croissance végétative, soit une réduction du nombre de feuilles.

La première réponse des plantes de la tomate face à la concentration élevée est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, et du nombre de feuilles suivi par l'arrêt de l'extension.

La chute des feuilles peut être aussi liée à des perturbations du taux de régulateurs de croissance (cytokinines et l'acide abscissique) induites par les sels.

En revanche, l'effet de la correction des solutions salines naturelles améliore la production de biomasse des feuilles. Ceci permet d'affirmer que la formation de nouvelles feuilles est dépendante du milieu de culture et tout particulièrement de sa composition ionique

Ce résultat confirme le travail de (SNOUSSI et HALITIM, 2001), qui ont montré que la salinité provoque la réduction du nombre des feuilles de la tomate.

### 1.2.7 Poids frais des feuilles :

**Tableau n°(31) :** Poids de feuilles (g)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
<b>Poids frais des feuilles (g)</b>	38,51 ± 0,70 (a)	13,45 ± 0,45 (d)	37,74 ± 0,61 (b)	18,61 ± 0,28 (c)

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements testés. En effet, le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir quatre groupes homogènes.

Pour ce qui est de la biomasse fraîche des feuilles, on peut noter que selon les résultats obtenus dans le tableau, on remarque une différence très hautement significative de l'effet du traitement sur la biomasse fraîche des feuilles. Les plantes irriguées par la solution saline naturelle (T4), présentent une biomasse fraîche faible des feuilles, quelque soit le type de combinaison des sels dans ces trois traitements correspondant à un abaissement de 85% par rapport à la biomasse produite au niveau des solutions corrigées (T1 et T3). Ceci peut être expliqué par le manque des éléments essentiels pour le développement et la croissance des plantes tels que : N, P, K, Mg, Fe,...

Des résultats similaires ont été trouvés par les travaux de (MAZELIAK, 174), où il a montré que les ions de sodium et de chlorite peuvent être absorbés par les racines et s'accumuler dans les feuilles. Dès lors, ces ions peuvent provoquer les brûlures et le jaunissement prématuré des feuilles.

### 1.2.8 Longueur des racines :

La longueur des racines a été mesurée lors de l'arrachage des plants, après avoir dégagé toutes les particules de gravier à l'aide d'un jet d'eau.



**Figure n°(25) :** Longueur des racines (Personnelle, 2014)

**Tableau n°(33) :** Longueur des racines (cm)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Longueur des racines (cm)	36,05 ± 0,26 (b)	37,37 ± 0,48 (a)	36,12 ± 0,68 (b)	34,75 ± 0,40 (c)

L'analyse de la variance met en évidence une différence hautement significative entre les différents traitements. Le test de Newman et Keuls donne quatre groupes homogènes.

Les meilleures performances sont données par les traitements corrigés (T2) et (T3), suivi près par le traitement (T1). On observe également que les racines des plantes irriguées par le traitement salin (T4) sont les plus courtes. Cela est expliqué par la présence de sels dans le milieu de culture qui limite l'alimentation des plantes en calcium, ce qui conduit à une inhibition de la croissance des racines et des poils absorbants.

C'est donc l'équilibre ionique parfait dans les solutions salines à pH corrigé et leurs richesses en éléments fertilisants qui est à l'origine de leur dominance.

Les racines sont l'emplacement primaire de la perception et des dommages pour plusieurs stress, entre autres la salinité (JILANG et DEYHOLOS, 2006). Autrement dit les racines constituent le premier site de contact entre la plante et la forte concentration en sel du milieu externe.

La carence en phosphore se manifeste sur les végétaux par des symptômes extrêmement grave, la réduction du développement des racines avec peu de ramification, l'alimentation est donc plus limitée (BRAHIMI, 1991).

#### 1.2.9 Poids frais des racines :

**Tableau n°(34) :** Poids frais des racines (g)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
<b>Poids frais des racines (g)</b>	13,7 ± 0,44 (a)	2,70 ± 0,41 (c)	5,99 ± 0,26 (b)	2,26 ± 0,29 (d)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de quatre groupes homogènes.

Les paramètres mesurés les plus élevés sont enregistrés par les solutions salines corrigées (T1, T3, T2).

La biomasse fraîche des racines est influencée par le stress salin. En effet, les plantes issues de la solution saline naturelle (T4), donnent un chevelu racinaire chétif. Ceci peut être expliqué par l'accumulation des sels nocifs au niveau des racines de la plante tels que le HCO<sub>3</sub> et le NaCl.

A l'inverse, les plantes issues des solutions salines corrigées produisent une biomasse racinaire bien développée et dense.

L'effet de correction du pH des solutions salines naturelles améliore le développement du chevelu racinaire par rapport au témoin (T4). A cet effet (DUTHIL et al, 1996), notent également que la concentration élevée du sel dans le sol peut augmenter la pression osmotique qui devient égale ou dépasse celle du suc cellulaire des racines. Dans ce cas, le végétal subit un flétrissement temporaire qui peut devenir permanent en cas de déficit hydrique durable.

### 1.2.10 La biomasse sèche des tiges, racines et feuilles :

**Tableau (35) :** Biomasse sèche des tiges, feuilles et des racines (g)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
<b>Biomasse sèche des tiges (g)</b>	1,21 ± 0,04 (a)	1,01 ± 0,03 (b)	1,19 ± 0,03 (a)	0,88 ± 0,08 (c)
<b>Biomasse sèche des feuilles (g)</b>	1,33 ± 0,02 (b)	1,2 ± 0,02 (c)	1,45 ± 0,02 (a)	0,33 ± 0,02 (d)
<b>Biomasse sèche des racines (g)</b>	2,55 ± 0,08 (b)	2,05 ± 0,19 (c)	3,23 ± 0,06 (a)	1,45 ± 0,11 (d)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de trois groupes homogènes pour les tiges et quatre groupes homogènes pour les feuilles et les racines.

Pour ce qui est de la biomasse sèche des tiges, la meilleure valeur enregistrée est celle des traitements à pH corrigé (T1) et (T3).

La solution saline naturelle (T4) révèle des biomasses sèches des tiges les plus faibles, et où le traitement (T4) enregistre une faible valeur (0.72g) puis le traitement (T2) qui présente un taux élevé de sels et un manque de l'azote.

Vu la présence de sels de différentes formes (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub> et MgSO<sub>4</sub>) dans les solutions d'irrigation testées, une conductivité électrique et une pression osmotique élevées, sont engendrés, causant un déséquilibre ionique et une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes de tomates dans ce milieu, ce qui se traduit par une faible production de matière sèche des tiges.

On peut constater d'après les résultats recueillis dans le tableau n°(35) que les traitements corrigés (T3) et (T1) enregistrent les meilleures performances. Cela est lié à son équilibre ionique, à sa richesse en éléments nutritifs et à son pH favorable.

En revanche le traitement salin naturel (T4) et le traitement corrigé (T2) représentent les poids sec les plus faibles au niveau des feuilles. La présence d'une forte concentration en sels dans ces traitements engendre une pression osmotique élevée qui se

traduit par un déséquilibre ionique et une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes de tomates ce qui les ramène à une faible production de matière sèche.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus dans les travaux de MUSTARD et RENAULT (2006), où il a été démontré que le stress salin provoque l'inhibition de la croissance pondérale de la matière sèche.

Les plantes issues des solutions salines corrigées révèlent un poids sec des racines élevé par rapport à celui des plantes alimentées par les eaux salines naturelles. Ceci peut être expliqué par la meilleure répartition spatiale des racines suite à l'équilibre ionique des milieux et surtout leur richesse en éléments minéraux indispensables à la croissance radriculaire.

Aussi, on peut noter que l'effet de sel empêche le développement des racines, et donc la réduction de la surface d'exploration au niveau des plantes alimentées par les eaux salines naturelles.

A ce sujet HELLER (1981), affirme que la salinité a une action négative sur la production de biomasse sèche car elle influe sur la physiologie de la plante et inhibe la photosynthèse.

### 1.2.11 Taux de la matière sèche des tiges, racines et feuilles :

**Tableau (36) :** Taux de la matière sèche des tiges, feuilles et racines (%)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
<b>Taux de la matière sèche des tiges (%)</b>	7,59 ± 0,23 (c)	13,96 ± 1,36 (a)	9,90 ± 0,40 (b)	11,21 ± 0,42 (a)
<b>Taux de la matière sèche des feuilles (%)</b>	3,12 ± 0,05 (d)	7,74 ± 0,11 (a)	3,51 ± 0,05 (c)	5,68 ± 0,19 (b)
<b>Taux de la matière sèche des racines (%)</b>	14,95 ± 0,48 (d)	54,50 ± 1,04 (a)	35,24 ± 0,90 (c)	52,63 ± 0,71 (b)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de trois groupes homogènes pour les tiges et quatre groupes homogènes pour les feuilles et les racines.

Les plantes irriguées par les traitements salins à pH corrigé (T1, T3) présentent un taux de matière sèche totale moins élevé, par contre, le traitement salin naturel (T4) et le traitement salin à pH corrigé par l'acide phosphorique (T2) manifeste les taux de matière sèche les plus importants.

Des résultats similaires sont observés par HOPKINS (2003), où il note que les concentrations salines élevées provoquent une sécheresse physiologique précoce, ce qui rend de plus en plus difficiles l'absorption d'eau et de nutriments par les plantes stressées.

### 1.3 Paramètres biochimiques :

#### 1.3.1 Dosage de la chlorophylle :

##### 1.3.1.1 Dosage de la chlorophylle (a) :

**Tableau n°(37) :** Dosage de la chlorophylle (a) ( $\mu\text{g/gMF}$ )

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Dosage de la chlorophylle (a) ( $\mu\text{g/gMF}$ )	1,11 ± 0,25 (b)	0,93 ± 0,13 (c)	1,46 ± 0,03 (a)	1,02 ± 0,20 (c)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de trois groupes homogènes.

Les moyennes obtenues montrent que les traitements corrigés (T3, T1) produisent plus de chlorophylle (a) que les traitements salins naturels (T4) et le traitement (T2) Cela est lié à l'effet du sel qui limite la croissance foliaire car lors d'un stress salin, tout le métabolisme de la plante est affecté.

En revanche les plantes irriguées par le traitement (T1) synthétisent une faible quantité des pigments chlorophylliens, en raison du déficit énorme de l'élément azote.

D'après les travaux de (AGASTIAN et *al.*, 2000) le taux de chlorophylle (a) dans les feuilles diminue en présence d'un stress salin. Cela est de même pour notre expérimentation.

D'après les travaux réalisés par KINGSLEY et *al* (2000), la teneur de la chlorophylle (a) dans les feuilles diminue en présence d'un stress salin. Cela est de même pour notre expérimentation.

### 1.3.1.2 Dosage e la chlorophylle (b) :

**Tableau (38) :** Dosage de la chlorophylle (b) ( $\mu\text{g/gMF}$ )

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Dosage de la chlorophylle (b) ( $\mu\text{g/gMF}$ )	2,55 ± 0,01 (a)	0,91 ± 0,17 (d)	2,60 ± 0,03 (b)	1,23 ± 0,31 (c)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de quatre groupes homogènes.

Les traitements corrigés (T1) et (T3) sont ceux qui synthétisent la plus importante quantité de chlorophylle (b). Ces résultats sont expliqués par le fait que les traitements corrigés ont un équilibre ionique ainsi qu'une richesse en éléments minéraux et plus particulièrement l'azote qui donne au feuillage cette couleur verdâtre signe de la chlorophylle surtout au niveau du traitement (T1) qui est corrigé seulement par l'acide nitrique. SOLTNER (2000), ajoute que la présence de l'azote en quantité suffisante dans le milieu de culture favorise la multiplication des chloroplastes et rentre dans la composition de la chlorophylle.

Le traitement (T2) corrigé par l'acide phosphorique synthétise la plus faible quantité de chlorophylle (b) à cause de sa carence en azote.

Dans la solution saline naturelle (T4) on remarque que les quantités de chlorophylle (b) sont faibles. Ceci peut être expliqué par l'oxydation des pigments chlorophylliens à cause de la salinité des eaux d'irrigation.

### 1.3.2 Dosage de la proline :

**Tableau n°(39) :** Dosage de la proline ( $\mu\text{g/gMF}$ )

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Dosage de la proline ( $\mu\text{g/gMF}$ )	0,007 ± 0,00 (c)	0,012 ± 0,00 (b)	0,023 ± 0,00 (a)	0,004 ± 0,00 (d)

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les traitements testés. Le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir quatre groupes homogènes. Le premier groupe (a) correspond au traitement salin

corrigé (T3) qui présente la quantité de proline la plus élevée. Au contraire, le groupe (d) correspond au traitement (T4) où la quantité de proline est la moins élevée.

La proline augmente de teneur avec l'augmentation de la concentration en sel. En effet, l'élévation des teneurs de la solution d'irrigation en sel est accompagnée parallèlement par un accroissement relativement régulier de proline (BETTAIEB et *al.*, 2005).

La correction de l'eau saline naturelle (T4) améliore considérablement l'absorption hydrominérale des plantes ce qui signifie que le milieu nutritif est convenable pour la plante. Cependant, le traitement salin corrigé (T3) renferme une concentration en sel plus forte que le traitement salin naturel (T4), et ceci explique sa teneur élevée en proline.

On constate donc que les plantes alimentées par les traitements corrigés accumulent plus de proline que les plantes irriguées par les traitements salins naturels. Cela est dû au fait que la concentration de ces traitements en osmolytes est plus forte. La concentration du milieu externe devient alors plus importante que celle du milieu interne et poussent les plantes à se défendre en produisant des quantités accrues de proline afin de réajuster l'osmolarité interne et permettre à l'eau de passer du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré.

Des résultats similaires ont été trouvés par BELKHOUDJA et *al* (2010), où il est indiqué que l'augmentation de la teneur en proline dans les feuilles est en fonction de l'augmentation de la salinité.

Les travaux d'EL MIDAOUÏ et *al* (2007), ont mis en évidence que l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmo-régulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

### 1.3.3 Dosage des sucres solubles :

**Tableau n°(40) :** Dosages des sucres solubles ( $\mu\text{g/g MF}$ )

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Dosage des sucres solubles ( $\mu\text{g/g MF}$ )	0,35 ± 0,08 (b)	0,62 ± 0,08 (a)	0,65 ± 0,09 (a)	0,15 ± 0,03 (c)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de trois groupes homogènes.

L'irrigation des plantes par la solution saline corrigée (T3) et (T2) manifeste le taux de sucres solubles le plus élevé avec (0,65 et 0,62 µg/g MF) suivie par (T1) avec (0,35 µg/g MF). Ces constatations mettent en évidence l'existence d'une corrélation positive entre la quantité des sucres solubles produite au niveau des feuilles et la correction des eaux salines.

Les travaux de BEN KHALED et al (2003) confirment ces résultats en notant que le contenu foliaire en sucres solubles est significatif lorsque la salinité des eaux d'irrigation devient très importante.

En ce qui concerne le traitement salin naturel (T4), l'accumulation des sucres solubles dans les tissus foliaires est classée dans le dernier groupe homogène (c) avec une valeur qui ne dépasse pas les 0,15 µg/g MF. Ceci peut être expliqué par une faible activité photosynthétique qui nécessite une grande quantité d'énergie sous forme d'ATP.

## 1.4 Paramètres de production :

### 1.4.1 Le nombre de fleurs par plant :

**Tableau (41) :** Nombre de fleurs par plant

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
<b>Nombre de fleurs par plant</b>	7,08 ± 0,79 (b)	3,08 ± 0,79 (d)	8,08 ± 0,90 (a)	4,00 ± 0,60 (c)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de quatre groupes homogènes.

Selon les résultats recueillis dans le tableau plus haut, on constate que le nombre de fleurs est plus élevé au niveau des plantes alimentées par le traitement salin corrigé (T3) suivie par (T1). Tandis qu'il est très faible au niveau du traitement salin non corrigé (T4) et le traitement corrigée (T2) étant donné qu'il est plus salin et qu'il est pauvre en azote, les plantes issues de ce traitement font face au stress salin en raccourcissant leur cycle de développement par une production réduite du nombre de fleurs.

Des résultats identiques ont été trouvés par BETTAIEB et *al* (2005), où il a été démontré que le nombre des fleurs diminue avec l'augmentation de la salinité du milieu.

#### 1.4.2 Le nombre de fruits par plant :

**Tableau n°(42) :** Nombre de fruits par plant

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Nombre de fruits par plant	3,00 ± 0,74 (a)	1,16 ± 0,72 (c)	3,08 ± 0,67 (a)	1,66 ± 0,4 (b)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de trois groupes homogènes.

Les traitements salins corrigés (T3) et (T1) sont les plus dominants, ces résultats ont pour origine un équilibre ionique, et un pH favorable à l'absorption hydrominérale, ces derniers sont concordés avec ceux de SATTI et *al.*,(1994) ; où ils montrèrent que le nombre de fruit dépend de l'alimentation hydrominérale et notamment de la présence de l'équilibre parfait de K<sup>+</sup>et de Ca<sup>2+</sup>.

Selon les résultats recueillis dans le tableau plus haut, on constate que le nombre de fleurs est plus élevé au niveau des plantes alimentées par le traitement salin corrigé (T3). Tandis qu'il est très faible au niveau du traitement salin non corrigé (T4), les plantes issues de ce traitement font face au stress salin en raccourcissant leur cycle de développement par une production réduite du nombre de fleurs.

Ce résultat est similaire à celui trouvé par (DENDEN et *al*, 2005), qui a montré que le nombre des fleurs diminuent avec l'augmentation de la salinité du milieu quelque soit le type de sels testé.

#### 1.4.3 Poids frais et calibre des fruits :

**Tableau n°(43) :** Répartition des calibres en % du poids total des fruits récoltés

Traitement Calibres	T1	T2	T3	T4
Ø < 47 mm	44%	75%	43,33%	71,43%
47mm < Ø < 57 mm	28%	25%	20%	28,57%
57mm < Ø < 67 mm	16%	/	23,33%	/
67 mm < Ø < 77 mm	12%	/	10%	/

$\varnothing > 77 \text{ mm}$	/	/	3,33%	/
Total	100%	100%	100%	100%

D'après le tableau n° (43), on peut remarquer que la salinité des eaux d'irrigation affecte négativement le calibre des fruits de tomate. On remarque que la présence des deux sels nocifs (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dans la solution saline naturelle (T4) a permis d'obtenir la totalité des fruits ayant un calibre inférieur à ( $\varnothing < 47 \text{ mm}$ ).

En revanche, la solution saline corrigée et le témoin (T1 et T3) ont permis de produire des fruits ayant un calibre compris entre 57 et 67 mm.

Des observations similaires ont été notées par (SATTI et al, 1994) où ils rapportèrent que la taille des fruits diminue avec la salinité car l'accumulation de matière sèche dans les fruits est réduite.



**Figure n°(26) :** Fruit de tomate (Photo personnelle)

#### 1.4.4 Le taux d'avortement des fleurs :

**Tableau n°(44) :** Taux d'avortements des plants (%)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Taux d'avortement des fleurs (%)	14,88	33,33	25,00	75

Selon les résultats obtenu du tableau ci-dessus, nous remarquons que le traitement salin naturel (T4), ou on n'a pas corrigé le pH présentent le taux d'avortement le plus élevé, ceci est l'une des conséquences de la salinité. En effet, Les plantes alimentées par ce

traitement faisant face au stress salin, accélèrent leur cycle biologique ce qui se traduit par un faible taux de floraison et de nouaison accompagné par un taux d'avortement élevé.

A l'inverse les plantes alimentées par les traitements salins corrigés (T1, T2, T3) présentent un taux d'avortement faible, car les milieux présentent un équilibre parfait entre les éléments nutritifs indispensables et surtout l'inhibition des sels nocifs par l'effet d'antagonisme d'autres ions bien choisis.

## 1.5 Paramètres technologiques :

### 1.5.1 Dosage de la vitamine « C » :

**Tableau n°(45) :** Dosage de la vitamine « c » (%)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Dosages de la vitamine « C » (%)	7,27 ± 0.25 (a)	6,70 ± 0.00 (ab)	6,27 ± 0.86 (bc)	5,70 ± 0.47 (c)

Les fruits récoltés à partir des plants qui sont arrosées par le traitement salin corrigé (T1) sont les plus riches en acide ascorbique suivie par le traitement (T2) et (T3) alors que le traitement salin naturel (T4), donne un taux de vitamine « C » classé en quatrième groupe homogène (c).

Les résultats obtenus peuvent être justifiés par un déclenchement de l'activité enzymatique qui dégrade l'amidon en sucre et vitamine en quantité très importante surtout chez les plantes qui ont reçus des solutions salines corrigées suite à une meilleure alimentation hydrominérale et a l'équilibres ioniques parfait du milieu alimentaires.

### 1.5.2 Dosage des sucres totaux dans les fruits de la tomate :

**Tableau n°(46) :** Dosage des sucres totaux (%)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Dosages des sucres totaux (%)	5,13 ± 0.76 (a)	4,10 ± 0.10 (b)	5,06 ± 0.15 (a)	3,10 ± 0.10 (c)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié, le test de Newman et Keuls montre l'existence de trois groupes homogènes.

Les fruits récoltés à partir des plantes traitées par les solutions salines corrigées (T1, T3) ont permis d'améliorer la teneur en sucres totaux au niveau des fruits et ce par rapport aux mêmes eaux salines naturelles. Cette amélioration de la teneur en sucres totaux des fruits est due selon BALIBREA et al, (1996) ; à une baisse d'utilisation des sucres pour la croissance, et donc dépend de l'aptitude de la plante à croître dans un milieu salin.

Concernant le taux de sucre dans les fruits de tomate traités par les solutions salines naturelles, on constate une baisse du taux vue que d'une part ces plantes produisent des petites gousses et de l'autre le déséquilibre ionique des milieux nutritifs.

Dans ce contexte, HOPKINS (2003) montre que l'excès de sel peut provoquer des problèmes au niveau membranaire, des inhibitions enzymatiques ou un dysfonctionnement métabolique général, d'où une photosynthèse réduite induisant une réduction de la synthèse glucidique.

### 1.5.3 Dosage de l'acidité titrable :

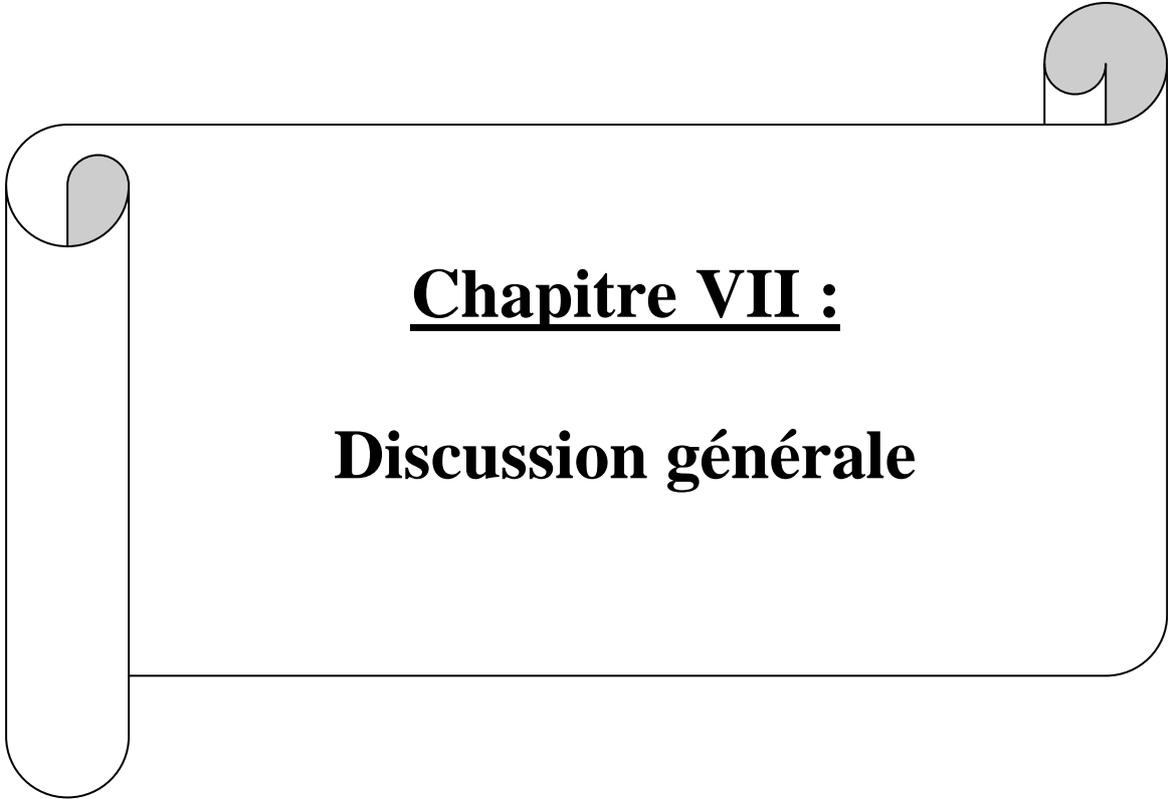
**Tableau n°(46) :** Dosage de l'acidité titrable (g d'acide citrique/100g de jus)

Traitements paramètre	T1	T2	T3	T4
Dosages de l'acidité titrable (g d'acide citrique/100g de jus)	3,00 ± 0.19 (b)	1,94 ± 0.04 (c)	4,42 ± 0.30 (a)	1,89 ± 0.03 (d)

L'analyse statistique montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls montre l'existence de quatre groupes homogènes.

Les fruits récoltés à partir des plantes alimentées par la solution saline à pH corrigée (T3) présentent l'acidité la plus élevée, suivie par (T1) et (T2). Le traitement salin naturel (T4) présente l'acidité la plus faible.

QIAN et al (2001), où ils ont montré qu'une salinité associée à une meilleure alimentation des plantes, notamment en potassium, améliore l'accumulation des acides organiques tout en diminuant la teneur en eau des cellules et c'est ce qui confirme nos résultats.



**Chapitre VII :**

**Discussion générale**

L'expérimentation réalisée dans ce travail, a pour but de tester l'impact du potentiel hydrique de quatre milieux nutritifs sur les paramètres biométriques, de production et biochimiques de la tomate, et ce avec la technique hydroponique.

Nous avons classé les résultats obtenus selon les potentialités de chaque traitements afin d'identifier le ou les traitements les plus performants.

### **1. Classement des traitements selon les paramètres biométriques :**

Le classement des paramètres biométriques est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau n°(48) :** Classements des traitements selon les paramètres biométriques

<b>Paramètres biométriques</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>Hauteur finale</b>	1	4	2	3
<b>Diamètre tiges</b>	1	4	2	3
<b>Poids frais des feuilles</b>	1	4	2	3
<b>Longueur des racines</b>	2	1	2	3
<b>Poids frais des racines</b>	1	4	2	3
<b>Biomasse fraîche totale</b>	1	4	2	3
<b>Biomasse sèche totale</b>	1	3	2	4
<b>Biomasse sèche des feuilles, tiges et racines</b>	1	3	2	4
<b>Taux de la matière sèche totale</b>	4	1	3	2
<b>Classement final</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Nous constatons selon les résultats présentés dans le tableau n° (48), que le traitement salin à pH corrigé (T1), manifeste les meilleures performances biométriques et se classe en première position par rapport aux autres traitements suivi par le (T3). Ce dernier, grâce à son équilibre ionique et à sa richesse en éléments nutritifs a permis aux plantes de tomates de se développer et de croître convenablement. Cependant, on remarque

qu'il est classé en dernière position pour le taux de matière sèche totale, ce qui signifie la une bonne absorption hydrominérale au niveau de ses plantes.

A l'inverse, nous remarquons que le traitement salin naturel à pH corrigé par l'acide phosphorique (T2), se classe en dernière position pour tous les paramètres biométriques sauf pour le taux de matière sèche totale où il est en première position, et ce compte tenu du dessèchement précoce des plantes dû à une mauvaise croissance et à l'inhibition de la photosynthèse au niveau des chloroplastes à cause de sa composition insuffisante en éléments minéraux déséquilibrés et sa carence en azote qui joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale. L'azote est l'un des principaux constituants de la chlorophylle et des protéines.

On remarque aussi selon le tableau que le traitement (T2) présente la meilleure performance et cela grâce à sa richesse en éléments fertilisants essentiellement le phosphore qui est à l'origine de leur dominance.

L'irrigation des plants de tomate par le traitement salin naturel (T4) fortement salé ce qui a provoqué un retard de la vitesse de croissance et une limitation du développement des plantes. En effet, le déséquilibre ionique de ce traitement accentue l'effet de la salinité dans le milieu de culture et cela réduit la consommation hydrique et minérale.

## **2. Classement des traitements selon les paramètres biochimiques :**

Le classement des paramètres biochimiques est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau n°(49) :** Classements des traitements selon les paramètres biochimiques

<b>Paramètres biochimiques</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>Proline</b>	3	2	1	4
<b>Chlorophylle (a)</b>	2	3	1	3
<b>Chlorophylle (b)</b>	1	4	2	3
<b>Sucres solubles</b>	2	1	1	3
<b>Classement final</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

On remarque d'après le tableau ci dessus que le traitement à pH corrigé par l'acide nitrique et l'acide phosphorique (T3) prend la première place du classement en donnant les meilleurs exploits en ce qui concerne les paramètres biochimiques. A l'inverse le

traitement (T2) prend la dernière place. Nous constatons alors que le sel affecte significativement les différents paramètres biochimiques chez la tomate.

La correction du pH du traitement salin naturel augmente sa teneur en osmolytes qui devient plus forte dans le milieu externe de la plante, ce qui nécessite un ajustement osmotique interne par une production accrue de proline et cela afin de permettre le passage de l'eau du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré. A cette effet, la concentration de la proline est plus élevée chez les plantes irriguées par les traitements à pH corrigé que chez les plantes irriguées par le traitement salin naturel (T4).

Le dosage de la chlorophylle montre que les plantes issues des traitements à pH corrigé (T1, T3) sont très riches en chlorophylle, alors que le traitement salin naturel (T4) est pauvre en éléments dosés.

L'accumulation des sucres solubles dans les feuilles est plus faible chez les plantes irriguées par la solution saline naturelle (T4), et cela due à l'effet inhibiteur des sels nocifs sur la réaction de dégradation de l'amidon en sucres simples dans le cytosol, et aussi à une inhibition intra chloroplastique des enzymes impliquées dans la dégradation de l'amidon suite à un changement dans la composition ionique des chloroplastes.

### **3. Classement des traitements selon les paramètres de production :**

Le classement des paramètres de production est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau n°(50) :** Classements des traitements selon les paramètres de production

<b>Paramètres de production</b>	T1	T2	T3	T4
<b>Nombre de fleurs par plant</b>	2	4	1	3
<b>Nombre de fruit par plant</b>	1	3	1	2
<b>Taux d'avortement</b>	4	2	3	1
<b>Classement finale</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

Les paramètres de production cités dans le tableau n°(50) ont montré que l'effet de la correction du pH des solutions salines naturelles a conduit à une augmentation significative de la croissance des plantes.

On remarque que le déséquilibre ionique de traitement salin naturel (T4) et le taux de sels élevé dans la solution saline à pH corrigé (T2) avec une pauvreté en azote réduit significativement les principales composantes du rendement.

On note que le traitement salin naturel à pH corrigé par les deux acides nitrique et phosphorique (T3) présente les meilleurs résultats en termes de nombre de fleurs, ainsi que le nombre des fleurs nouées. Le traitement (T1) vient juste après. Cette amélioration au niveau des résultats s'explique par l'équilibre ionique parfait des milieux nutritifs mais aussi un pH favorable, indispensables à la croissance et au développement des plantes de la tomate.

#### **4. Classement des traitements selon les paramètres technologiques :**

Le classement des paramètres technologiques est représenté dans le tableau suivant

**Tableau n°(51) :** Classements des traitements selon les paramètres technologiques

<b>Paramètres technologiques</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>Vitamine « C »</b>	1	2	1	3
<b>Acidité titrable</b>	2	3	1	3
<b>Sucres totaux</b>	1	2	1	4
<b>Classement final</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

Les teneurs en sucres totaux, en vitamine C et en acidité des fruits sont significativement augmentées au niveau des traitements salins corrigés (T3) suivie par (T1). A l'inverse, ces paramètres technologiques sont plus faibles dans le milieu salin naturel (T4).

A l'inverse les résultats du traitement (T2), relatifs aux paramètres technologiques par sont améliorés par rapport aux paramètres étudiés précédents (biométriques, biochimiques et de production) et ceci est dû à la présence du phosphore reste un élément important dans la formation des fruits et des graines.

## **Conclusion :**

Notre expérimentation a été réalisée dans le but de déterminer l'effet du potentiel hydrogène d'une eau non conventionnelle pour l'irrigation de la tomate variété « Marmande ».

Les résultats obtenus durant notre expérimentation démontre que l'utilisation de la solution saline naturelle d'Oued Gassi Touil (T4) a limité :

- ✓ Les paramètres biométriques (hauteur finale, diamètre des tiges, nombre de feuilles, biomasse sèche ...),
- ✓ Les paramètres biochimiques (production de proline et de chlorophylle, sucres solubles)
- ✓ Les paramètres organoleptiques (sucres totaux, vitamine « C », acidité titrable...)

Ceci est dû au degré de salinité élevé, au pH alcalin et au déséquilibre ionique dans ce milieu alimentaire, et notamment aux carences en éléments nutritifs indispensables aux plantes.

La solution (T2) qui est une solution saline à pH corrigé à 5,8 a montré des résultats similaires à la solution (T4) malgré la correction du pH et ce en raison de sa forte composition en sels (4,36g/l de sel) et ce part apport à la (T4) (4.03g/l de sels) et surtout sa carence en azote.

A l'inverse le taux de la matière sèche obtenu chez les plantes stressés est plus important que chez les plantes irriguées par les solutions salines corrigées. Cela résulte du dessèchement précoce qui a eu lieu suite à une mauvaise alimentation hydrominérale.

Les traitements salins naturels ont une action directe sur le taux moindre de la chlorophylle. Par ailleurs, il faut signaler que la teneur en chlorophylle (A) et (B) est plus sensible à l'effet du stress salin et de ce fait leurs teneurs sont faibles.

En revanche, La correction du pH des eaux salines naturelles (T1) et (T3) améliore significativement la plupart des paramètres de croissance précédemment signalés et ce durant tous les stades du développement étudiés.

Nous avons obtenu des plantes vigoureuses avec

- ✓ Des hauteurs finales plus élevées.
- ✓ Un nombre de feuilles élevé.
- ✓ Chevelu racinaire développé.
- ✓ Une production plus importante.

On conclut que le pH du milieu est un facteur important pour le survi de la plante. Lorsque le pH est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. Le pH idéal dépend de chaque espèce végétale. On remarque que la correction du pH au niveau des traitements salins naturels semble avoir un effet notable sur l'évolution de la croissance. Effectivement, le pH d'une solution nutritive est un facteur déterminant dans l'absorption hydrominérale des plantes dans un milieu salin.

Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite de la culture de la tomate dans les zones arides où la qualité des eaux fournie pour l'irrigation est impropre ou non conventionnelle à l'irrigation.

## References:

- Agastian et al (2000)., Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, pp287–290
- AL. RAWAVY et AL. 1992: Dry material and nitrogen K,NaA,Cl- and KK content of tomatoes, sodium chlorides stress and journal of plant nutrition 15 (3): 314-358.
- ANONYME ., 1997 Evaluation des qualités d'eau nécessaire aux irrigations par le ministère de l'agriculture pp 103-144.
- Anonyme,2003, Détermination du pH à l'eau dans les sols agricoles CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC et MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC, Ministère de l'Environnement du Québec, 2003, 8 p.
- Arbaoui M., Benkhelifa M., Belkhodja M. (2000): Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. Option méditerranéenne. Pp.267-270.
- ASLOUM H., 1990 : Elaboration d'un système de production maraichère (Tomate *lycopersicum esculentum* L) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtre. Thèse de Doctorat, développement et amélioration des végétaux, université de Nice Sophia. Antipolis pp: 24-32.
- Atherton J.G. and G.P. Harris, 1986. Flowering. *In* : Atherton J.G. and G. Rudich (Eds). *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London, New York, pp. 167-200.
- Austin, M.P. (1980). Searching for a model for use in vegetation analysis. *Vegetatio*, 42, pp 11-21.
- B.A .Hela, A. Manaa, E. Zid, 2008 : Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la sétairie (*Setaria verticillata* L.) ; *Compte rendus Biologies* 331 pp 164–170.
- Baire. S., Amirouche. F., et Kestali. T., 2010 : Principaux désordres physiologiques, maladies et ravageurs présents en Algérie. Ed. ITCMI. 64p.
- BALIBREA M.E, PEREZ-ALFOCEA F., CRUZ A.S et ASTAN M.T., 1996: Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in commercial tomato hybrid. *Plant and Soil*. 180(2). pp 251-257.

- Begg J. E. and Turner N. C., 1976. Crop water deficit. *Advances in Agronomy*, 28, pp 161-217.
- Belkhouidja. M., Djerroudi. Z.O., Bissati. S., Hadjadj. S., 2010 : Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline Chez Deux Espèces d'Atriplex Halimus L. et Atriplex Canescens (Pursh) Nutt. *EuroJournals Publishing*. Algérie. 12p.
- Ben Ahmed, H., Manaa, A. and Zid, E, 2008. Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la sétaire (*Setaria verticillata* L.). *Comptes Rendus Biologies* 331(2), pp. 164-170
- Ben Khaled, L., Morte Gomez, A., Honrubia, M. et Oihaba, A. (2003) Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie*. Vol. 23, no7, pp. 553-560.
- Bettaieb. T., Denden. M., Salhi. A., et Mathlouthi. M., 2005 : Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*, N°24. pp : 220 - 225.
- BINET. P., *Adaptation physiologique à la salinité des végétaux supérieurs en environnements naturels*", *Bull.Soc. Ecophysiol*, V.7, n°2, p(1982), 139-168.
- Black, A.P. et Christman, R.F. *Characteristics of coloured surface waters*. *J. Am. Water Works Assoc.*, 55 : 753 (1963).
- Blanc, D. 1987. *Les cultures hors sol*. Ed. INRA. Paris. 409p.
- Blancard. D., Laterrot. H., Marchoux. G., et Candresse. T., 2009 : *Les maladies de la tomate (identifier, connaître, maîtriser)*. Ed. Quae. Paris. 679p.
- Bonte. L.H., 2010 *Réaliser et entretenir un mur végétal*. Ed. Eyrolles. Paris. pp 79-81
- Bougoul, S., Brun, R. and JAFFRIN, A., " *Modèle pour la conduite en temps réel des besoins hydriques et minéraux du Rosier en hors sol* ", *Cahier option méditerranéenne*, n°31, France, (2000),220p.
- Brady. N.C., 2002 : *The nature and Properties of Soils*. New Jersey, USA. Prentice Hall. 2p.
- Brun, R. et Montarone, C., " *Influence de la concentration saline sur la réaction de la plante* ", Ed.INRA, Paris, (1987), 60 p.
- Castrignano, A. et al. (2011). *Using Digital Elevation Model to Improve Soil pH Prediction in an Alpine Doline*. *Pedosphere*, 21(2), pp 259-270.
- CHAUX C., FOURY C., 1994 : *Production légumières*. Ed. Lavoisier TEC et DOC. Paris. 235p.

- Chaux. C., 1972 Production légumières. Ed. J.-B. Baillière. Paris. 414p
- Chaux. C., et Foury. C., 1994 : Productions légumières, tome 3 (Légumineuses potagères Légumes fruits). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Pp : 145 - 230.
- CHEBALLAH H, 1994 : - Valorisation des eaux salines. Influence des eaux naturelles brutes et corrigées sur la production du haricot (*Phaseolus vulgaris L*) variété Contender en hors sol. Thèse Ing. Agro. INES. Blida. 70p.
- CHEVERRY C., 1995 Extension et diversité des phénomènes mettant en jeu les sels solubles. Comptes rendus. Académie d'agriculture de France, 81, 2. 42 –46.
- CHEVERRY, C et ROBERT, M., « La dégradation des sols irrigués et la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranéen », Etude et gestion des sols 5, 1998, pp 217-226.
- Chibane. A., 1999 : Transfert de technologie en agriculture, fiche technique « tomate sous serre ». MADRPM. Bulletin mensuel N°57. 4p.
- Coïc, Y., et Coppenet. M., 1989 : Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Ed. INRA. Paris. Pp : 73-74.
- COUTURE Isabelle, 2006, .L'eau, source de qualité et de rendement. Conseillère en production maraîchère Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation Direction régionale de la Montérégie, secteur est Saint-Hyacinthe, Hôtel Mortagne, Boucherville Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation pp 1-13
- Craun, G.E. et McCabe, L.J. (1975) Problems associated with metals in drinking water. J. Am. Water Works Assoc., 67 : 593p.
- DAOUD Y et HALITIM A., 1994 : Irrigation et salinisation au Sahara algérienne, Sécheresse n03 vol 5. Pp 151-160.
- Davis, B.D., Dulbeco, R., Eisen, H.N., Ginsberg, H.S. et Wood, W.B., Jr. (1973) Microbiology. 2e édition. Harper and Row, New York, NY. 92p
- DENDEN et al., 2005: Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. Ed. Tropicultura. pp 220-225.
- 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. 4p.

- DOMINIQUE B., LATERROT H., MARCHAUX G., GONDRESSE I., 2009 : Les maladies de la tomate : identifier, connaître, maîtriser. Edition Quae, 690p.
- Dubois M., Gillet K.A. (1965): Dosage des sucres totaux à l'ortho toluidine, *J.Agr.Food Chem.* 13 : 137
- Duchaufour, P. (1989). Pédologie et groupes écologiques. I. Rôle du type d'humus et du pH. *Bulletin d'écologie*, 20, pp 1-6.
- Dumas, Y., 1992. Crop management for processing tomatoes in the year 2000. *Acta Horticulturae*, 301 : 117-134.
- DUTHIL D., 1973 : « Eléments d'écologie et d'agronomie, tome III. Exploitation et amélioration du milieu, emploi des facteurs de la production végétal », Ed J.B Baillièrre, Paris, 392p.
- DUVIGNEAUD. P, "La synthèse écologique". Ed. Masson et C, paris, (1980),578 P.
- EL FADL A., CHTAINA N., 2010 : Etude de base sur la culture de la tomate au Maroc. Programme Régional de lutte intégrée contre les organismes nuisibles (Integrated Pest Management) au Proche Orient (Projet GTFS/REM/070/ITA). FAO.ONSSA.108p.
- El Midaoui, M., Benbella, M., Aït Houssa, A., Ibriz, M. Talouizte, A. 2007. Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus L.*) *Revue THE*, mars 2007, n.136, p. 29-34.
- Faustino C. F. and Agtarap M. L., 1996. Preliminary results on the amelioration of salt effects by nitrogen management in tomato. *Philippine-Journal-of-Crop-Science*, volume 21 ( n° 1), 72 p.
- Flowers T. J. 2004 Improving crop salt tolerance. *J. Exp. Bot.* 55,307–319.
- FRANCIS et al., 1970: Cooper enzymes in isolated chloroplastes. *Plant Physiol.*, 24 (1949), pp.1-15.
- GALLAIS A., et BANNEROT H., 1992 : Amélioration des espèces végétales cultivés. objectif et critères de sélection. INRA, Paris. 765p.
- Gallais. A., et Bannerot. H. 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA. France. Pp : 369 – 391.
- GOUNY .P et CORNILLON. P, 1973 : La salinité. Aspect théorique et pratique mode de contrôle. *Revu PHM* 42. pp25-28.
- GREENWAY H et MUNNS R., 1980: Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 3. pp 149-190.

- Hagemeyer. J., 1996 : Salt. In Plant Ecophysiology. New York. pp : 176 - 181.
- Hajji, M., 1980. La responsabilité de la racine dans la sensibilité du Laurier-rose au chlorure de sodium. *Physiology Plant* 18 (3), pp. 505-515.
- HALITIM. A; 1988: Sols des regions arides d'Algerie Ed. OPV Alger.p 384.
- HAOUALA F., FERJANI H., BEN EL-HADJ S., 2007: Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les partie aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie. Agronomie Société et environnement*, Vol-11, N0.3 P : 235 -244.
- Hassan A. A., Al-Afifi M. A., Matsuda K., Koto A. and Itani S., 1989. Source of salinity tolerance in *Lycopersicon* species. *Bull. Fac. of Agric., Univ. of Cairo*, 40 (3), pp 605-622.
- HELLER R., 1981 : Physiologie végétale. Tome I : nutrition. 2<sup>ème</sup> Edition Masson. Paris, 1981, 244p.
- HELLER. R., Abrégé de physiologie végétale, tome 1 nutrition. Ed Masson, Paris, (1977), 155p.
- HELLER. R; ESNAULT.R; et LANCE. C., Physiologie végétale 1- nutrition 6eme Ed, Ed DUNOD, Paris, (1998), 323p.
- HOPKINS W; 2003: « Physiologie vegetale » 2ieme edition, Ed de boeck et Larcier s.a,Bruxelle. 514 p.
- Huat. J., 2008 : Diagnostic sur la variabilité des modes de conduite d'une culture et de leurs conséquences agronomiques dans une agriculture fortement soumise aux incertitudes : cas de la tomate de plein champ à Mayotte. Thèse de doctorat. Paris. 265p.
- HUNTZ A.M et ROQUES-CARMES., 1980 : Equilibre acido-basiques en solution aqueuse, pH. Ed. Massou. Paris. pp 15.
- Imalet. R., 1979 : Influence de différentes concentrations de sels ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ) des eaux d'irrigation sur le rendement du haricot. Mémoire. Ing. INA. El harrach. 43p.)
- JAMES B., 1982 : Turf management for golf courses.. Ed. Publishing. Macmillan. 642p.
- JEANNEQUIN B., 1992: Les plastiques en agriculture. Ed. C.A.P. Revue horticole. pp 153-161.

- Jiang. Y.Q., Deyholos. M.K., 2006 : Comprehensive transcriptional profiling of NaCl stressed Arabidopsis roots reveals novel classes of responsive genes. *BMC Plant Biology* vol 6, Article N°25.
- KAREN; PETERSEN. K; WILLUMSEN. J; KAACK.K, " Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources". *Journal of horticultur science and biotechnology* 73(2), (1998), 205-215
- KATERJI M., 1995 : Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine Saline .C.R.A Cod.Agric.Fr, 81, N02-Pp.73-86.
- Katerji N., Bernard I. et Ferreira I., 1988. Etude de quelques critères indicateurs de l'état hydrique de la tomate en région semi-aride. *Agronomie*, 8 (5), pp 425-433.
- Katerji N., Van Hoorn J. W., Hamdy A. andMastrorilli M., 1998. Response of tomatoes, a 70. crop of indeterminate growth, to soil salinity. *Agricultural Water Management*, 38, pp 59-68.
- Kingsley. S.J., Agastian. P., et Vivekanandan M., 2000 : Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes.Photosynthetica N°38. pp : 287 - 290.
- Kolev N., 1976 - Les culture maraichères en Algérie : Légumes fruits. Ed. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, T.1, 207 p.
- Konning A. N. M. de, 2000. The effect of temperature, fruit load and salinity on development rate of tomato fruit. *Acta-Hort.*, 519, pp 85-93.
- KOTUBY., AMACHER J., KOENIG R., KICHEN B., 1997: Salinity and plant tolerance. Ed. USDA. 15p..
- Lacharme. M. 2001. Le contrôle de la salinité dans les rizières. Mémento Technique de riziculture, fascicule 9. France. 20p.
- LAFON J.P., Tharaud-Prayer, C., 1996: Biologie des plantes cultivées•h,Ed.2, Ed.Lavoisier Tec. Et Doc., Paris, 233p.
- LAHMAR.R; MESLEM.M; MAIZA.A et TOUABTI.A 1986 : état calcique des sols fertiles (le chaulage). Laboratoire de pédologie ; institut de Biologie, université Ferhat Abbas, 1900 Sétif. Laboratoire central, C.H.U de Sétif, 1900 P502.
- LAUMONNIER R. (1979) : Cultures légumières et maraichères. Tome 3. Ed. J.B.Ballière Paris. 176p
- Le Clech. B., 1993 : Productions végétales « grandes cultures ». Ed. Synthèse agricole. Paris. 350p.

- Lemaire F., Dartigues A., Rivière L.M. et Charpentier S., 1989. Cultures en pots et en conteneurs: principes agronomiques et applications. Ed. INRA, 184 p.
- Lemaire K, de Velde SV, Van Dijck P, Thevelein JM (2004) Glucose and sucrose act as agonist and mannose as antagonist ligands of the G protein-coupled receptor Gpr1 in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Molecular Cell* 16: 293-299
- LESAIN C., 1974: Évaluation de la fertilisation et l'irrigation vers l'utilisation des solutions nutritives équilibrées. Ed. Versailles. 118 p.
- Lesaint. C., et Coïc, Y., 1983 : Cultures hydroponiques. Ed. La maison rustique. Paris. 118p.
- LESAIN.C et COIC.Y., Les besoins alimentaires des plantes. (2002) 110 p.
- LESSAAD B, 1982 : Contribution à l'étude de la salinisation des sols du Hodna (w : M'sila). Thèse d'ing. I.N.A. Alger. 125p.
- LETARD M et PATRICIAE., 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., Erard P. et Jeannequin B., 1995. Maîtrise de l'irrigation fertilisante. Tomate Sous serre. Ed. C.T.I.F.L., 224 p.
- LETARDM; 1995: Maitrise de l'irrigation fertilisant tomate sous serre et abris en hors sol,Ed,CTFL,Paris, P 220
- LEVIGNERON A., LOPEZ F., VARISUYT G., BERTHOMIEN P., ET CASSE-DELBART., 1995 :Les plantes face au stress salin. Ed : Cahier d'agriculture. pp 263-273.
- Levigneron. A., Lopez. F., Vansuyt. G., Berthomieu. P., Fourcroy. P., et Casse-Delbart. F., 1995 : Les plantes face au stress salin (Synthèse). Cahiers Agricultures. France. pp : 263-273.
- LI SEC 2004 : "Contrôle van de fysicochemische kwaliteit van de waters van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest", rapport effectué pour le compte de l'IBGE p 16.
- MADR., 1998 : 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.
- MANIGUGET M., 2003 : Les pays secs environnement et développement. Ellipse Edition marketing. Paris P : 24-32.

- 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. CIRAD/AMIS. n°40. Montpellier. pp 12-23.
- Martin-Prével P., Gagnard J., Gautier P., 1984. Généralités. In: L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérés et tropicales. Eds. Martin-Prével P., Gagnard J., Gautier P., Lavoisier (Ed), Paris, 810 p.
- Mazliak. P., 1981 : Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed. Hermann. Paris. 349p.
- Mbey J.A, 2007, *Importance du pH en Chimie, Biochimie, Agriculture, Médecine. PLEG de chimie,4P.*
- Messiaen. C.M., et Messiaen-Pagotto. F., 2009 : Le potager familial méditerranéen. Ed. Quae. France. Pp : 63 - 75.
- MILANI. M, La production végétal la maîtrise technique de la production. Ed Lavoisier, paris, (1997).minérale des plantes cultivées”, Etude et Gestion des Sols, 5, 4, (1998), 289 - 298.
- MONGI H., 1982 : Adaptation physiologique à la salinité des plantes cultivées. Faculté des sciences. Tunisie. 169p.
- Monneveux P. et This D., 1997. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Sécheresse*, 1 (8), pp 29-37.
- MONNEVEUX Ph et NEMMAR M., 1986 : Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum caesium L.*) et chez le blé dur (*Triticum Drums 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. Ed. Publications Agricoles Agen. Paris. 304p.
- Morris, J.C. Chlorination and disinfection — state of the art. *J. Am. Water Works Assoc.*, 63 : 769 (1971).
- Mouravine. E., Smirnov. P., Storojenko. V. et Rakipov. N., 1977 : L'agrochimie. Ed. Mir. Moscou. 280p.
- Musard. L., 1988 : Qualité de tomate de serre « conduit de l'alimentation hydrominérale en culture sur substrat ». *Revue horticole*, n°291. pp : 34-35.
- Naika. S., Lidt De Jeude. J.V., De Gaffau. M., Hilmi. M., et Van Dam. B., 2005 : La culture de la tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Fondation Agromisa et CTA. Pays-Bas. 104p.

- Nyabyenda. P., 2006 : Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. Ed. Les presses agronomiques de Gembloux. Wageningen. P180.
- PARIDA ET DAS, 2005. Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp 324-349.
- Penningsfeld, A. et Kurzman, T., " les cultures sans sol ou hydroponiques et sur tourbe ", Ed. Maison Rustique, Paris, (1969), 219p.
- Péron. J.Y., 2006 : Productions légumières. Ed. Synthèse Agricole. Paris. 613p. - Pirat. M., et Foury. C., 2003 : Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXIe siècle. Paris. pp : 267 - 276.
- Piri, K., 1991. Contribution à la sélection in vitro de plantes androgéniques de blé pour leur tolérance au NaCl. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences agronomiques, Gembloux,
- PNTTA, 1999 : Transfert DE technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. MADRPM/DERD.n°57.4p.
- Pourbaix, M. Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions. 2e édition. National Association of Corrosion Engineers, Houston, TX (1974).
- PRODRIGUEZ.P; DELL AMICO.J; MORALES. D; SANCHEZ BLANCO. M.J;ALARCON.J.J, "Effects of salinity on growth shoot water relations and root hydraulic conductivity in tomato plants". *Journal of agricultural science*. Cambridge. 128, (1997), pp 439- 444.
- Publishers. B., 2004 Ressources végétales de l'Afrique tropicale, Tome 2 Légumes. Ed. Dunod. 736p
- Qian Y.L., Wilhelm S.J., Marcum K.B., 2001. Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress. *Corp Science*, Vol. 41: 1895-1900.
- RENGEL.Z, "The role of calcium in salt toxicity". *Plt, Cel and environnement*.15, (1992), PP 625-632.
- REY Y. et COSTES C., 1965. *La physiologie de la tomate, étude bibliographique*. Ed.INRA .111p.
- RHOADES.J, D; KANIAH.A; MASHALI.A.M; 1992: The use of saline water for corp production. *Irrigation and drainage paper*, F.A.O. n°48, Rome.140p.
- Robin, P., "Horticulture sans sol : histoire et actualité", *Cahiers d'économie et sociologie rurale*, n° 46-47, (1998), 98-129.

- Rodriguez P., Dell'Amico J., Morales D., Blanco M. G. B. and Alarcon J. J., 1997. Effect of salinity on growth, shoot water relation and root hydraulic conductivity in tomato plants. *Journal Agricultural Science, Cambridge*, 128, pp 439-444.
- SARIDI.A.E; 2002: Effet de rapport  $\text{NO}_3/\text{NH}_4^+$  et de stade d'application des irrigations sur la production du concombre de courge en milieu salin. Thèse. Magister. INES. Blida.
- Satti S. M. E., Lopez M. and Al-Said A., 1994. Salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato. *Commun. Soil Sci. Pant Anal.*, 25 (5 et 6), pp 501-510.
- SATTI S.M.E et AL., 1994: salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato. *Commun. Soil Sci. Pant Anal.*, 25(5 et 6). pp 501-510.
- Schleiff. U., 1979: Salt contents in the Rhizosphere and in soil solution outside the Rhizosphere under controlled irrigation "soils in Mediterranean type climates and their yield potential". Proceedings IPI. Espagne. pp: 93 - 98.
- SCHWARZ.M, "the use of saline water in hydroponics". *Soiless culture*, 1(1), (1985), pp 26-37.
- SERVANT J.M., 1975: Étude pédologique des sols halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Montpellier. 194 p.
- Shair, S. Iron bacteria and red water. *Ind. Water Eng.* (mars-avril) : 16 (1971).
- Singley, J.E., Harris, R.H. et Maudling, J.S. (1966) Correction of color measurements to standard conditions. *J. Am. Water Works Assoc.*, 58 : 455.
- SKIREDJ A., 2006 Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs fustigations guide pour améliorer la production des cultures, Rabat, Pp1- 9
- SKIREDJ A., 2006 : Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs fustigations : guide pour améliorer la production des cultures, Rabat, Pp : 1 – 9.
- SKIREDJ A., ELATTIR H., ELFADI A., 2005 : « Les culture du concombre », *Inst. Agr. Vêt, Haïssant " P1-2.*
- Slama, F., 1986. Effet du nitrate d'ammonium sur le degré de tolérance à une forte dose de NaCl de dix variétés de blé. Colloque sur les végétaux en milieu *aride*. 8 au 10 septembre., Jerba., Tunisie.
- SNOUSSI , S.A., et Halitim, A., "Valorisation des eaux salines pour la nutrition

- Snoussi S., 2001. Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Thèse de Doctorat, INA Alger, 152 p
- SNOUSSI S; 1980: caracterisation quelque substrats disponible dans la region d'Alger en vue de leur utilisation en culture hydroponique . These Ing Agro I.N.A.AL HARRACH Alger.P 67.
- Snoussi, 2010, Etude de base sur la Tomate en Algérie. Pp 53
- Soliman S. S. and Doss M., 1992. Salinity and mineral nutrition effects on growth and accumulation of organic and inorganic ions in to cultivated tomato varieties. *Journal of Plant Nutrition*, 15 (2), pp 2789-2799.
- Tahi. H., 2008 : Efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation chez la tomate par la technique de prd (partial rootzone drying) et étude des mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués. Thèse de Doctorat. Université Cadi Ayyad de Marrakech. 152p.
- Tanksley, S. D., M. W. Ganal, J. P. Prince, M. C. Vicente de, M. W. Bonierbale *et al.*, 1992 High density molecular linkage maps of the tomato and potato genomes. *Genetics*. 132: 1141 1160.
- THIAULT. T.F ; « la maitrise de la culture hors sol » Bulletin, Novembre 2004, ISSN0758-4334 ; 215p.
- Torchit, N., "Absorption hydrominérale chez la tomate (*Lycopersicum esculentum*.Mill) variété Marmande avec des eaux non conventionnelles puis corrigées",Th.Ing..I.N.E.S de Blida, (2002), 68p.
- Touraine, B. and Ammar, M, 1985. Etude comparée de la sensibilité au sel d'un triticale et d'une orge. *Agronomie* 5, pp. 391-395.
- URBAN L., 1997 : Introduction a la production sous serre : irrigation fertilisante en culture hors sol (TOME 2). Ed. Maison Rustique. Paris. 180p.
- Vinson Julie ; 2003 : L'acidité des sols en Bretagne, un handicap pour l'agriculture ; Portail de l'information environnementale de Bretagne. Agrocompus Ouest P6.
- ZANG .H. et MUZARD .M ; « les cultures sur substrat »Ed, C.T.I.F.L. Paris 1987. 276p.
- ZID EL et GRIGNON C., 1991 : Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress.cas des stress salins et hydriques. L'amélioration des plantes

pour l'adaptation au milieu aride, AUPELF-UREF. Jon libbey Eurotext, paris : 91-108.

- ZUANG H et MUSARD M., 1984 : cultures légumières sur substrats : installation et conduite. Ed. CTIFL. Paris. 7p.
- Zuang. H., 1982 : La fertilisation des cultures légumières. Ed. Ctifl. Paris. 395p.

## Annexes :

### Annexes 01 : Hauteurs de la plante

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	457,38	47	9,73	612,04	0,000	0,142	1,78
Var. facteur 1	446,70	3	148,89				
Var. résiduelle1	10,70	44	0,24				

### Annexes 02 : Poids frais total

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	9714,85	47	206,70	1358,15	0,000	0,443	1,18
Var. facteur 1	9611,06	3	3203,69				
Var. résiduelle1	103,79	44	2,36				

### Annexes 03 : Diamètre de la tige

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	27,09	47	0,58	66,59	0,000	0,096	4,9025
Var. facteur 1	22,20	3	7,39				
Var. résiduelle1	4,89	44	0,11				

### Annexe 04 : Poids frais des tiges

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	387,48	47	8,24	409,92	0,000	0,158	6,0125
Var. facteur 1	369,27	3	123,09				
Var. résiduelle1	213,21	44	0,30				

**Annexes 05** : Poids frais des feuilles

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	6020,83	47	128,10	6954,28	0,000	0,1549	2,085
Var. facteur 1	6008,16	3	2002,72				
Var. résiduelle1	12,671	44	0,288				

**Annexes 06** : Longueurs des racines

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	51,19	47	1,09	60,07	0,000	0,1383	1,2575
Var. facteur 1	41,38	3	13,79				
Var. résiduelle1	10,10	44	0,23				

**Annexe (07)** : Poids frais des racines

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	1008,08	47	21,45	2565,72	0.000	0.1041	0,3525
Var. facteur 1	1002,35	3	344,47				
Var. résiduelle1	5,72	44	0.14				

**Annexes (08)** : biomasse sèche des tiges

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	1,016	47	0,021	95,49	0,000	0,0160	5,035
Var. facteur 1	0,881	3	0,293				
Var. résiduelle1	0,135	44	0,003				

**Annexes (09) : biomasse sèche des feuilles**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	9,351	47	0,1989	6934,53	0,0000	0,0061	2,7125
Var. facteur 1	9,331	3	3,1104				
Var. résiduelle1	0,020	44	0,0004				

**Annexes (10) : biomasse sèche des racines**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	23,471	47	0,499	103,21	0,0000	0,0743	9,3
Var. facteur 1	20,550	3	6,850				
Var. résiduelle1	2,920	44	0,066				

**Annexes (11) : Taux de la matière sèche des tiges**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	351,11	47	7,470	191,18	0,0000	0,2176	3,535
Var. facteur 1	326,098	3	108,699				
Var. résiduelle1	25,0,17	44	0,5685				

**Annexes (12) : Taux de la matière sèche des feuilles**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	165,622	47	3,523	384,10	0,0000	0,0345	2,0925
Var. facteur 1	164,993	3	54,97				
Var. résiduelle1	0,6286	44	0,014				

**Annexes (13) :** Taux de la matière sèche des racines

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	12244,0	47	260,511	6139,70	0,0000	0,2350	2,2675
Var. facteur 1	12214,9	3	4071,62				
Var. résiduelle1	29,1792	44	0,6631				

**Annexe (14) :** Chlorophylle (a)

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	0,726	11	0,065	5,23	0,027	0,110	14,7225
Var. facteur 1	0,48	3	0,160				
Var. résiduelle1	0,245	8	0,030				

**Annexes (15) :** Chlorophylle (b)

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	3,421	11	0,31	28,76	0,001	0,0001	11,6475
Var. facteur 1	3,131	3	1,04				
Var. résiduelle1	0,290	8	0,03				

**Annexes (16) :** Sucres solubles

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	0,552	11	0,05	29,65	0,0001	0,043	17,3725
Var. facteur 1	0,507	3	0,17				
Var. résiduelle1	0,045	8	0,04				

**Annexes (17) : Proline feuilles**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	0,0005	11	0,00004	102,86	0,000	0,0008	10,32
Var. facteur 1	0,0019	3	0,0002				
Var. résiduelle1	0,00001	8	0,000001				

**Annexe (18) : Sucres totaux**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	8,39	11	0,76	165,13	0,000	0,07453	2,91
Var. facteur 1	8,26	3	2,75				
Var. résiduelle1	0.13	8	0,02				

**Annexe (19) : Vitamine « C »**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	6,087	11	0,55	5,07	0,0296	0,2956	6,475
Var. facteur 1	3,988	3	1,33				
Var. résiduelle1	2,098	8	0,86				

**Annexe (20) : Nombre de fleurs par plant**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	233,85	47	4,97	113,53	0,0000	0,2250	15,78
Var. facteur 1	207,75	3	69,02				
Var. résiduelle1	26,75	44	0,61				

**Annexe (21) : Nombre de fruits par plant**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	52,47	47	1,12	25,32	0,0000	0,1909	16,3375
Var. facteur 1	33,22	3	11,08				
Var. résiduelle1	19,25	8	0,44				

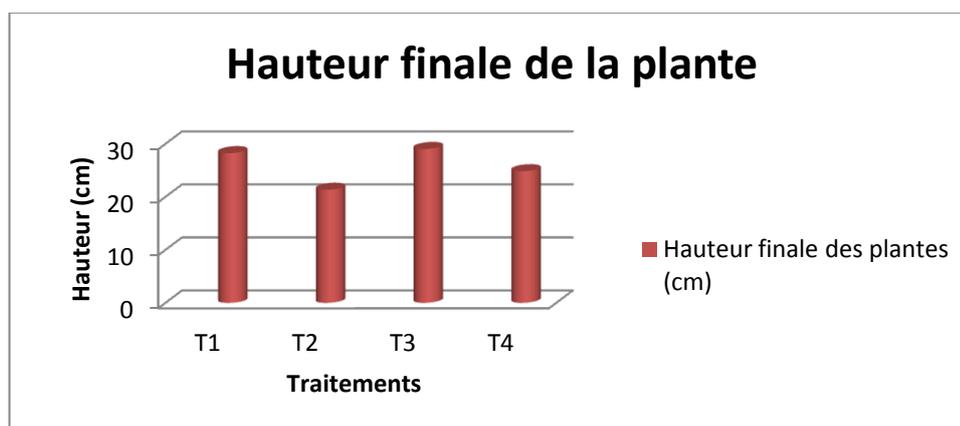
**Annexe (22) : taux d'avortement**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	42,812	47	0,91	28,39	0,0000	0,1661	16.37
Var. facteur 1	28,229	3	9,41				
Var. résiduelle1	14,583	44	0,33				

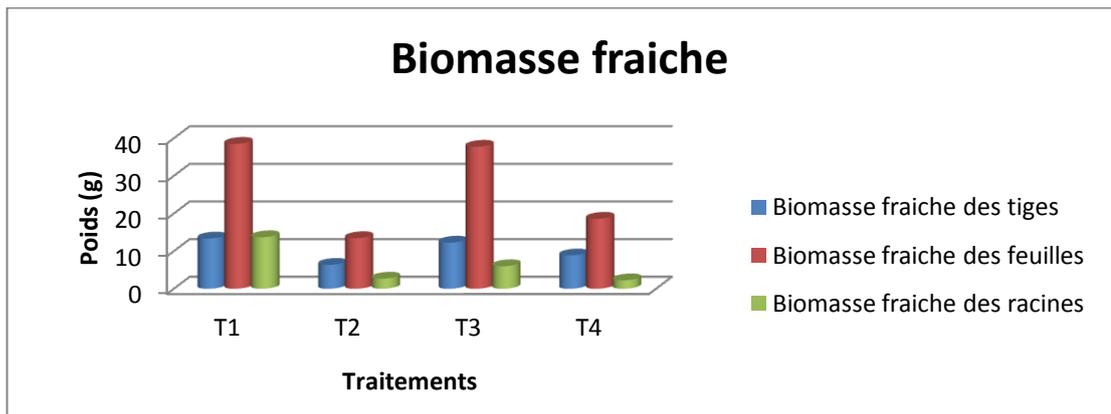
**Annexes (23) : Dosage de l'acidité titrable**

Source de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	PROB	E.T	C.V
Var. Totale	13,059	11	1,187	117,74	0,0000	0,1054	4,35
Var. facteur 1	12,792	3	4,264				
Var. résiduelle1	0,267	8	0,033				

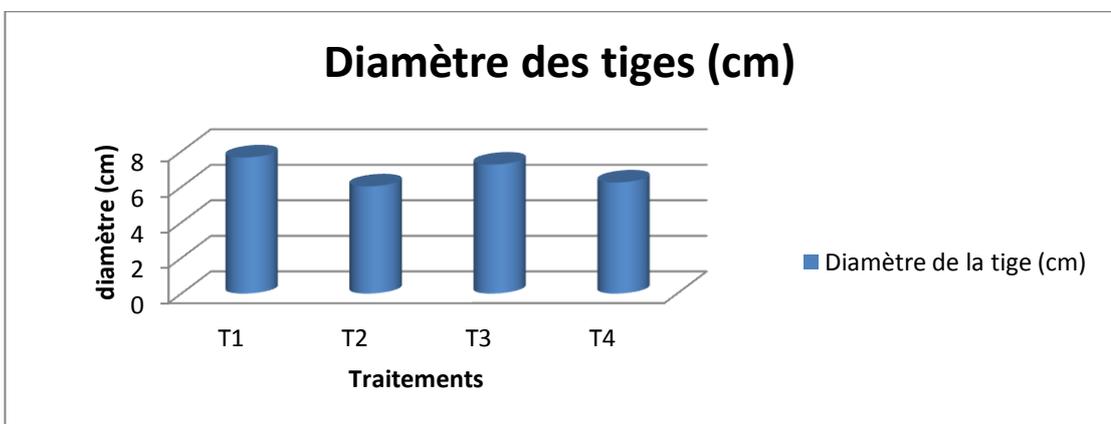
**Annexe (24) : Hauteur finale**



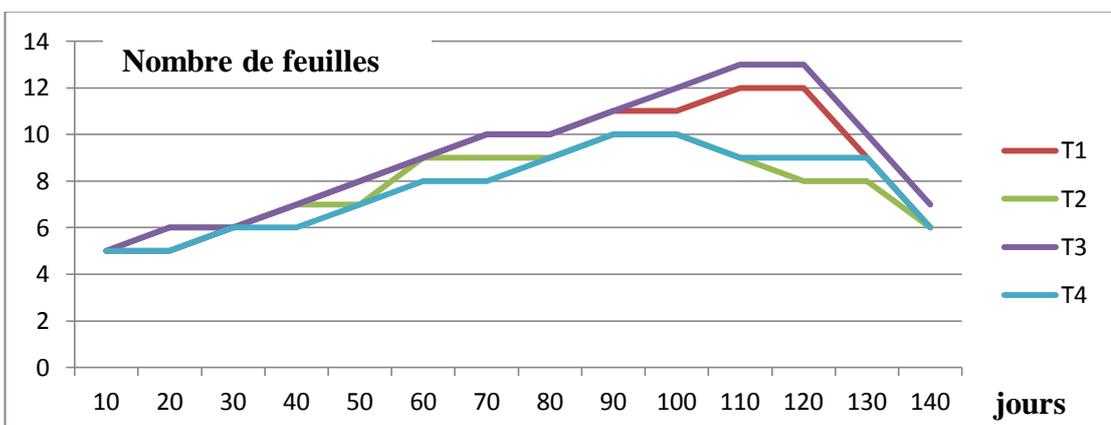
**Annexe (25) : Biomasse fraîche des tiges, feuilles et racines**



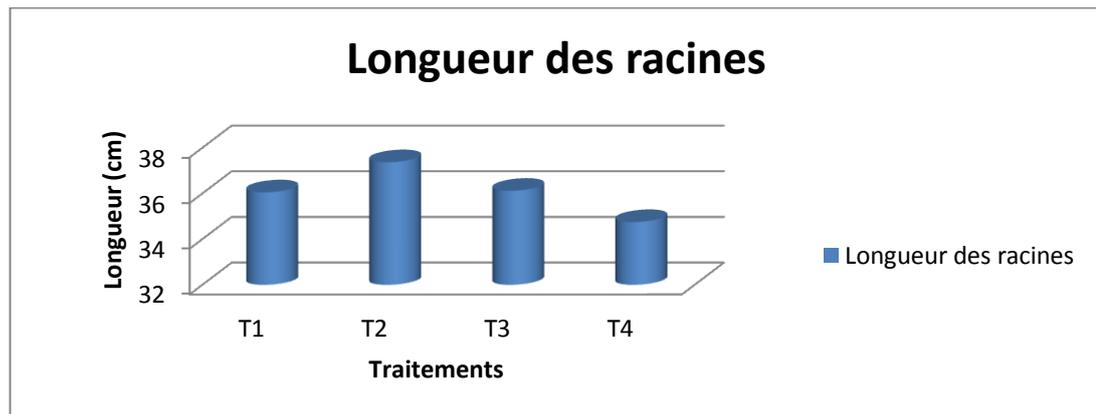
**Annexe (26) : Diamètre des tiges**



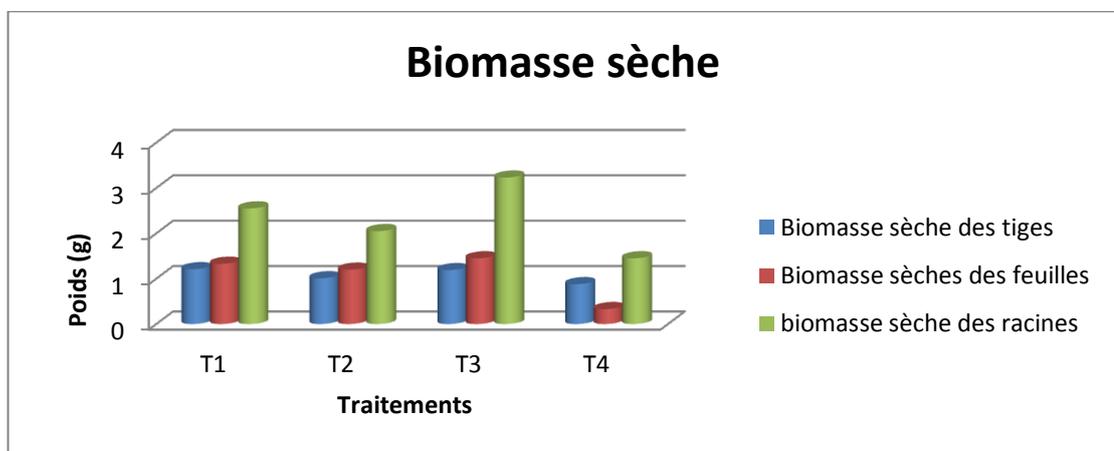
**Annexe (27) : Nombre de feuilles**



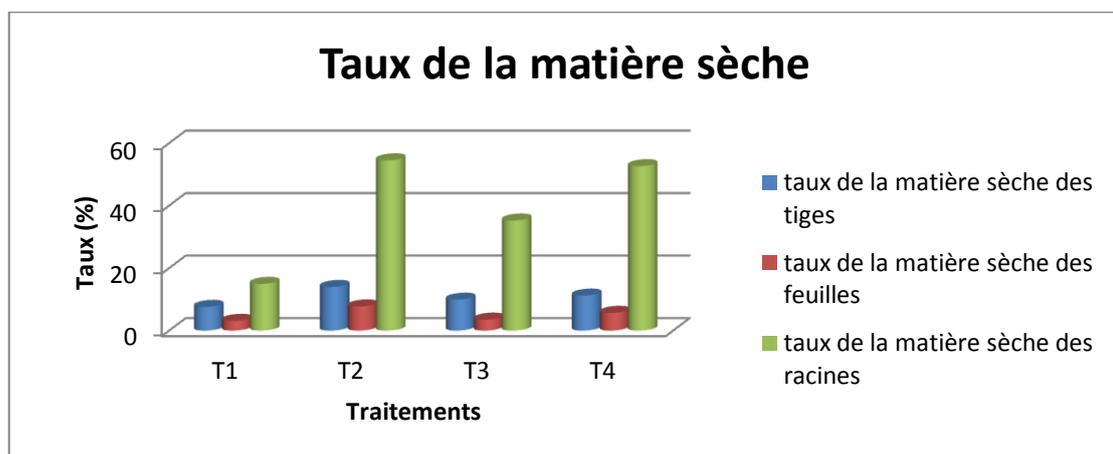
**Annexe (28) :** Longueur des racines



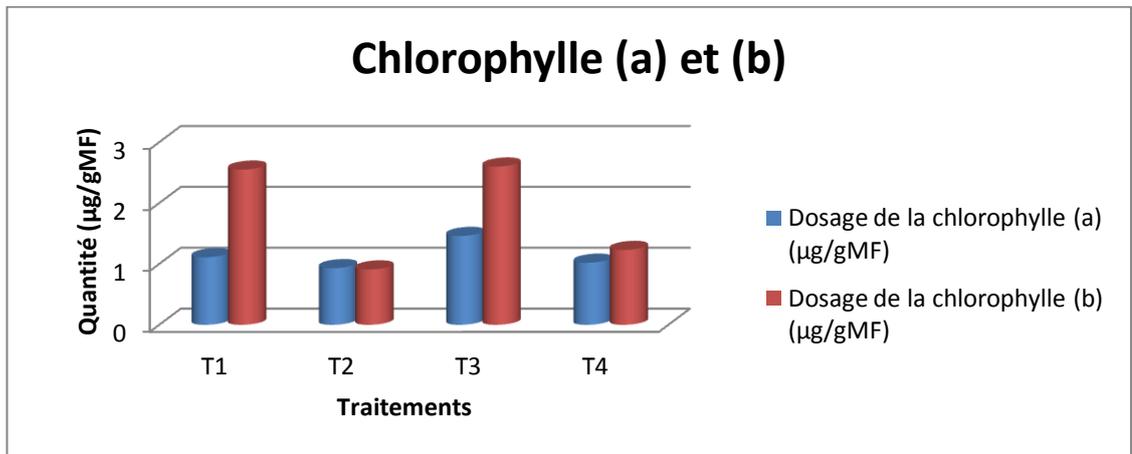
**Annexe (29) :** Biomasse sèche des tiges, feuilles et des racines



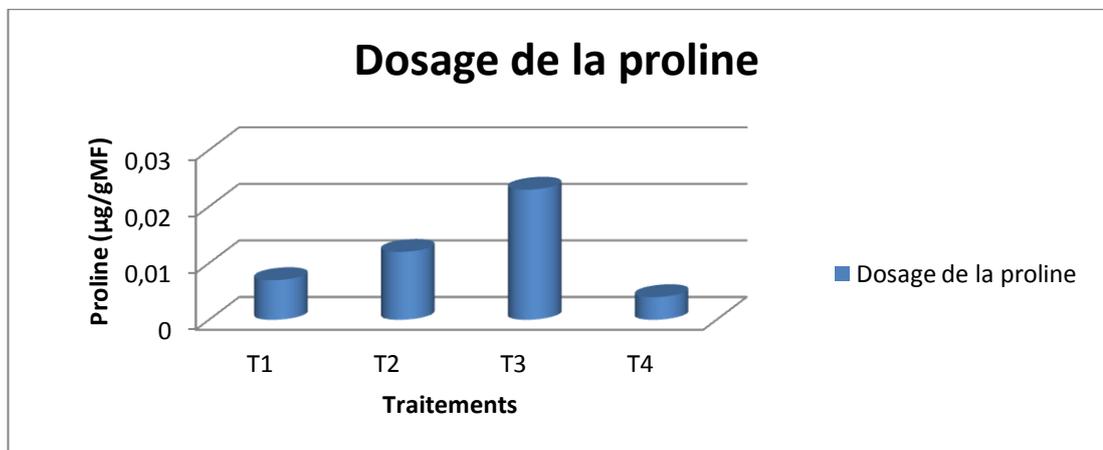
**Annexe (30) :** Taux de la matière sèche des tiges, feuilles et racines



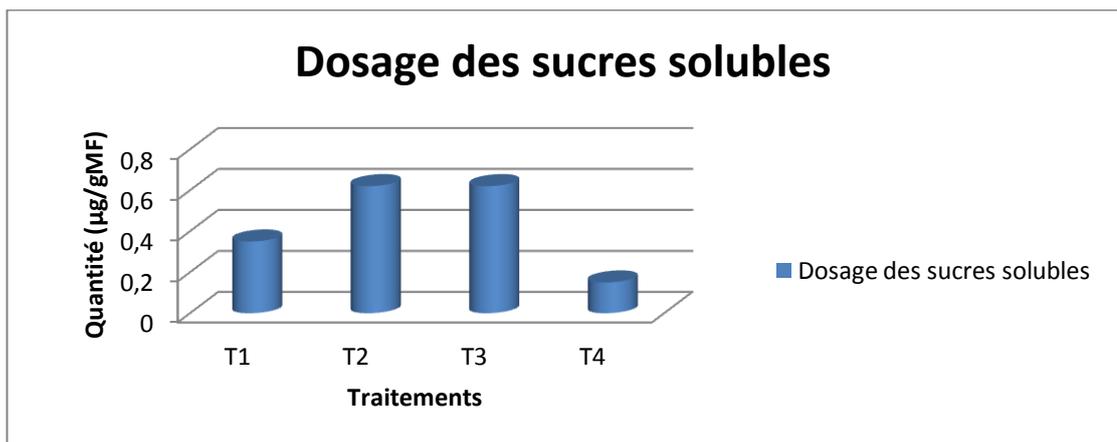
**Annexe (31) :** Chlorophylle (a) et (b)



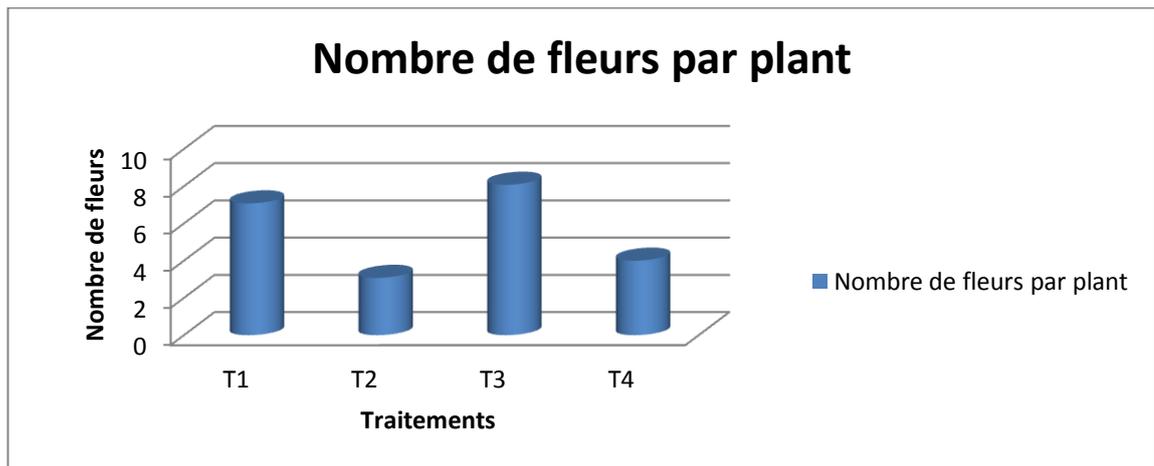
**Annexe (32) :** Dosage de la proline



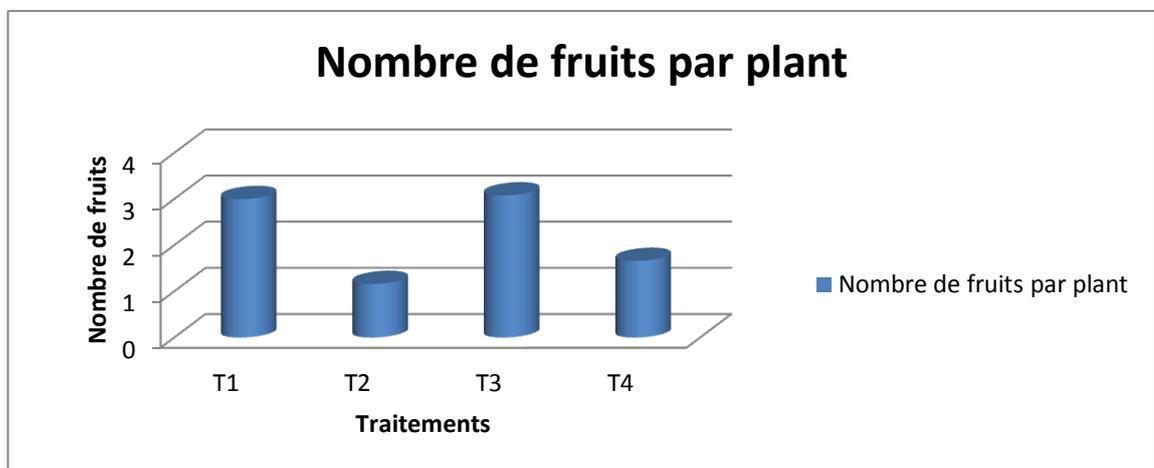
**Annexe (33) :** Dosage des sucres solubles



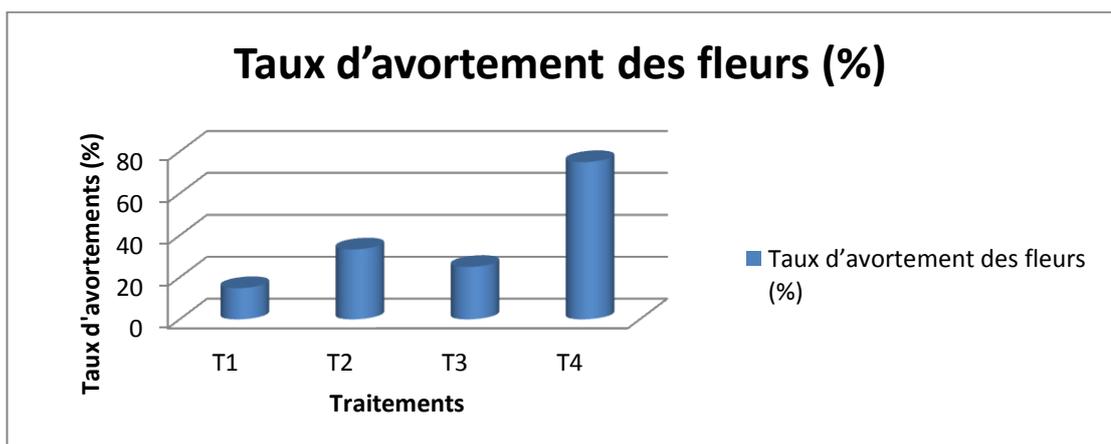
**Annexe (34) :** Nombre de fleur par plant



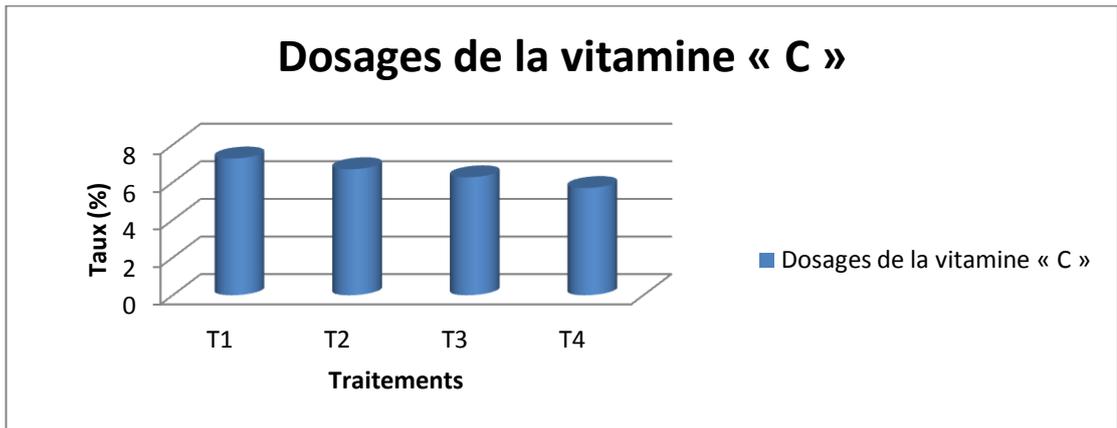
**Annexe (35) :** Nombre de fruit par plants



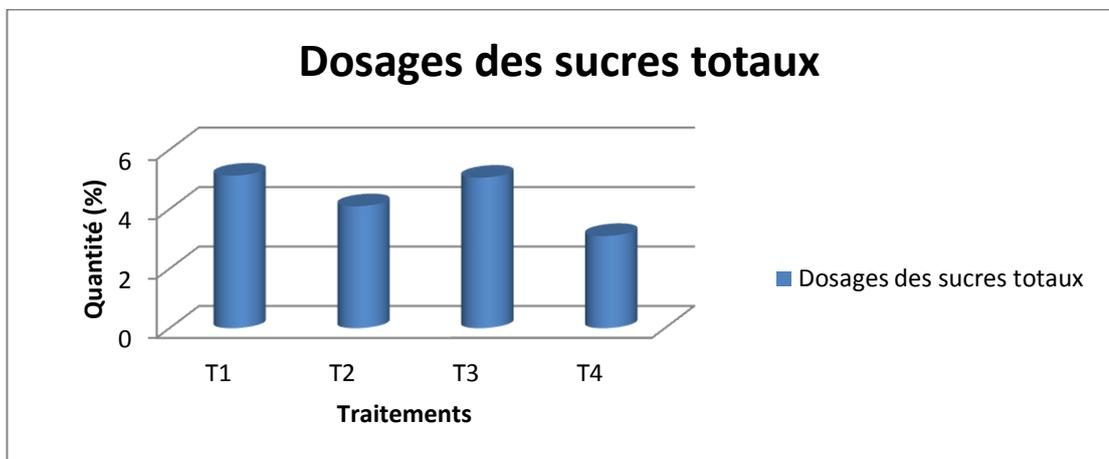
**Annexe (36) :** Taux d'avortements



**Annexe (37)** : Dosage de la Vitamine « C »



**Annexe (38)** : Dosage des sucres totaux



**Annexe (39)** : Dosage de l'acidité titrable

