

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

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES AGRO -VETERINAIRES ET BIOLOGIQUES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

IMPACT DE LA CONCENTRATION ET DU POTENTIEL
HYDROGENE D'UNE EAU SALINE SUR LA CROISSANCE
DE LA TOMATE (*LYCOPERSICUM ESCULUNTUM MILL*)
VARIETE MARMANDE CULTIVEE EN HORS SOL

Projet de fin d'Etudes en vue de l'obtention
Du diplôme de MASTER
Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Spécialité : Biotechnologie végétale

Présenté par

BAAZIZE NAWEL

Devant le jury composé de :

M ^{me} . BOUTEKRABT. L	Maitre de conférence A. USD. Blida	Présidente.
Mr. SNOUSSI. S.A	Professeur USD. Blida	Promoteur.
Mr. ABBAD. M	Magister USD. Blida	Examineur.

Année Universitaire 2012/2013

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Je désire tout d'abord exprimer toute ma gratitude à mon promoteur Mr. SNOUSSI S.A pour avoir accepté mon suivi ainsi que pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie vivement Mme. BOUTEKRABT L., qui m'a fait l'honneur de présider le jury et je remercie aussi Mr. ABBAD M., pour avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à Mr. ZOUAOUI A., qui m'a énormément aidé au court de mon expérimentation par le partage de son expérience et par son assistance technique.

J'adresse également mes sincères remerciements à l'ensemble des membres du laboratoire de biotechnologie végétale pour l'ambiance chaleureuse qu'ils font régner au laboratoire.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire avant tout à mes très chers parents AHMED & BAHIA, qui sont pour moi la source de tendresse, d'amour et de paix. Leurs prières et leur bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Merci pour vos sacrifices, merci pour votre immense gentillesse et merci pour votre soutien continu qui m'a encouragé et permis de réussir.

A mes très chers frères RACHID & MOHAMED, je vous dédie ce travail avec tout mon amour et mon respect.

Pour ma très chère sœur MERJEM qui a toujours été présente à mes coté, qui a su être patiente avec moi et qui m'a supporté et aidé. Ce travail est le fruit de tes sacrifices je te le dédie avec toute ma gratitude et mon amour.

A mon petit frère adoré ISLAM qui m'a donné la volonté et l'envie d'avancer grâce à son innocence et sa bonté.

Pour mon très cher ami LYES qui a fait preuve de patience avec moi et m'a supporté durant toute cette année.

A mes chers amis, YUCEF, MAHDIA, FATIHA, ASMAA, AMINE, REKIA, ZAHRA, NADHIRA & ABDEREZZAK. C'est en témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble que je vous dédie ce travail.

A toute ma famille et à tous ceux que je connais.

Résumé

La salinité est l'une des principales contraintes environnementales qui limitent la production végétale et le développement agricole dans le monde et en particulier dans les régions arides et semi-arides.

Cette étude expérimentale qu'on a menée, a porté sur l'impact de la concentration saline et du potentiel hydrogène sur la croissance et le développement d'une culture de tomate variété Marmande cultivée en hors sol et irriguée par cinq traitements différents dont l'objectif est la valorisation d'une eau salée.

Afin d'étudier la réponse des plantes aux traitements testés et déterminer les effets qu'ont eu ces derniers, nous avons effectué des dosages biochimiques ainsi que des mesures biométriques et de production

Les résultats aux quels nous avons abouti durant ce travail ont montré que la correction d'une eau saline naturelle améliore considérablement l'évolution des plantes et ce grâce à un bon équilibre nutritionnel et un pH favorable.

Mots-clés : Concentration saline - tomate - potentiel hydrogène - zones arides et semi-arides.

Abstract

Salinity is a major environmental constraints that limit crop production and agricultural development in the world and particularly in arid and semi-arid area.

This experimental study we conducted, focused on the impact of the salt concentration and potential hydrogen on the growth and development of Marmande tomato variety grown in hydroponic and watered by five different treatments aimed valuing a saltwater.

To study the response of plants to treatments tested and determine the effects that had these, we performed biochemical assays, biometric measurements and measuring of production.

The results obtained in this work have shown that the correction of natural saline water significantly improves the evolution of plants with a good nutritional balance and a favorable pH.

Keywords : Salt concentration - tomato - potential hydrogen - arid and semi-arid areas.

ملخص

تعتبر الملوحة من اكبر العوائق الطبيعية التي تحد من إنتاج المحاصيل الزراعية والتنمية الفلاحية في العالم، وخاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة.

هذه الدراسة التجريبية التي أجريناها، توضح تأثير الملح و درجة الحموضة على نمو وتطور الطماطم صنف "Marmande" التي نمت بدون تربة و المسقية من خمسة محاليل مختلفة تهدف إلى تحسين المياه المالحة.

لدراسة استجابة النباتات للمحاليل المجربة وتحديد تأثيرها، أجرينا فحوصات كيميائية وقياسات بيومترية.

إن تصحيح المياه المالحة الطبيعية يحسن بشكل ملحوظ تطور النباتات وذلك بفضل التوازن الغذائي الجيد ودرجة الحموضة الملائمة.

الكلمات الرئيسية: التركيز الملحي - طماطم - درجة الحموضة - المناطق القاحلة وشبه القاحلة.

LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES

Figure n°1 : Localisation du lieu de l'expérience.....	29
Figure n°2 : Aspect général des conteneurs.....	31
Figure n°3 : Représentation du dispositif expérimental.....	32
Figure n°4 : Vue générale du dispositif expérimental.....	33
Figure n°5 : Essai de germination des graines de tomate.....	33
Figure n°6 : Aspect général des jeunes plantules de tomate après le repiquage en pot....	34
Figure n°7 : Jeune plantule de tomate.....	34
Figure n°8 : Apparition de la première vraie feuille.....	35
Figure n°9 : Stade végétatif en début des traitements.....	35
Figure n°10 : Préparation du traitement T4.....	39
Figure n°11 : Préparation du traitement T5.....	40
Figure n°12 : Vue générale des plantes après palissage.....	41
Figure n°13 : Aspect général des plants de tomate.....	44
Figure n°14 : Comparaison entre le traitement T3 et le traitement T1.....	45
Figure n°15 : Comparaison entre le traitement T3 et le traitement T2.....	45
Figure n°16 : Comparaison entre le traitement T3 et le traitement T5.....	45
Figure n°17 : Comparaison entre le traitement T1 et le traitement T2.....	45
Figure n°18 : Vitesse de croissance des plantes de tomate	46
Figure n°19 : Distance entre les bouquets floraux.....	49
Figure n°20 : Biomasse fraîche totale.....	52
Figure n°21 : Effet des solutions nutritives sur la longueur des racines.....	56
Figure n°22 : Aspect général d'une fleur de tomate.....	66
Figure n°23 : Nombre moyen de fruits par plant et par bouquet floral.....	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.....	3
Tableau n°2 : Pourcentage des terres atteintes par la salinisation.....	4
Tableau n°3 : Classification des sols salinisés.....	5
Tableau n°4 : Classification des eaux salées.....	7
Tableau n°5 : La production mondiale de tomate en 2011.....	20
Tableau n°6 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.....	21
Tableau n°7 : Besoin en température de la tomate.....	22
Tableau n°8 : Les principales maladies bactériennes.....	26
Tableau n°9 : Les principales maladies virales.....	26
Tableau n°10 : Les principales maladies cryptogamiques.....	27
Tableau n°11 : Maladies non parasitaires (physiologiques).....	27
Tableau n°12 : Les principaux ravageurs.....	28
Tableau n°13 : Moyennes des températures par décade en °C.....	30
Tableau n°14 : Composition de l'eau de Blida	35
Tableau n°15 : Composition de l'eau de Blida pH = 7,8.....	36
Tableau n°16 : Eau d'Oued Cheliff (T1) reconstituée avec l'eau de Blida.....	36
Tableau n°17 : Eau d'Oued Cheliff corrigée pH= 5,5 - 5,8.....	37
Tableau n°18 : Elaboration du traitement T3.....	38
Tableau n°19 : Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments.....	38
Tableau n°20 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaires	40
Tableau n°21 : Programme des traitements phytosanitaires appliqués.....	41
Tableau n°22 : Hauteur moyenne des tiges.....	47
Tableau n°23 : Accroissement de la hauteur finale	48
Tableau n°24 : Accroissement de la distance entre les bouquets.....	49
Tableau n°25 : Diamètre moyen des tiges.....	50
Tableau n°26 : Accroissement diamètre des tiges.....	51
Tableau n°27 : Nombre moyen de feuilles par plant.....	51
Tableau n°28 : Accroissement du nombre de feuilles.....	52
Tableau n°29 : Accroissement de la biomasse fraîche totale.....	53
Tableau n°30 : Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines.....	54
Tableau n°31 : Accroissement de la biomasse fraîche.....	56
Tableau n°32 : La longueur des racines.....	57

Tableau n°33 : Accroissement de la longueur des racines.....	57
Tableau n°34 : Biomasse sèche totale.....	58
Tableau n°35 : Accroissement de la biomasse sèche totale.....	59
Tableau n°36 : Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines.....	59
Tableau n°37 : Accroissement de la biomasse sèche.....	60
Tableau n°38 : Taux de matière sèche total.....	61
Tableau n°39 : Accroissement du taux de matière sèche totale.....	62
Tableau n°40 : Quantité de proline dans la plante.....	62
Tableau n°41 : Quantité de la chlorophylle (a).....	63
Tableau n°42 : Accroissement de la quantité de chlorophylle (a).....	64
Tableau n°43 : Quantité de la chlorophylle (b).....	64
Tableau n°44 : Accroissement de la quantité de chlorophylle (b).....	65
Tableau n°45 : Quantité de la chlorophylle (c).....	65
Tableau n°46 : Accroissement de la quantité de chlorophylle (c).....	66
Tableau n°47 : Nombre moyen de fleurs par plant et par bouquet floral.....	67
Tableau n°48 : Accroissement du nombre de fleurs.....	68
Tableau n°49 : Accroissement du nombre de fruits.....	69
Tableau n°50 : Poids total des fruits.....	70
Tableau n°51 : Accroissement du poids total des fruits.....	71
Tableau n°52 : Taux d'avortement.....	71
Tableau n°53 : Classement des traitements selon les paramètres biométriques.....	73
Tableau n°54 : Classement des traitements selon les paramètres biochimiques.....	74
Tableau n°55 : Classement des traitements selon les paramètres de production.....	75

LA LISTE DES ABREVIATIONS

% : pourcent

°C : degré Celsius

µg/g MF : microgramme par gramme de matière fraîche

CE : conductivité électrique

cm : centimètre

DO : densité optique

g : gramme

ha : hectare

INRA : Institut nationale de recherche agronomiques

Kg : kilogrammes

Km : kilomètre

l : litre

mèq : milliéquivalent

MF : matière fraîche

mg : milligramme

ml : millilitre

mm : millimètre

MS : matière sèche

nm : nanomètre

P : probabilité

pH : potentiel hydrogène

Qx : quintaux

S.A.U : superficie agricole utilisée

T : tonne

t° : température

INTRODUCTION

La demande constante et croissante en légumes pousse les producteurs à vouloir sans cesse améliorer leurs techniques de production et ce dans le but de faire face à toutes les contraintes possibles. Parmi ces légumes, on a la tomate qui occupe une place importante à l'échelle mondiale et nationale. En Algérie, la tomate possède un intérêt considérable car elle constitue la 3^{ème} activité agricole, après les céréales et la pomme de terre (MADR, 2013).

Les contraintes agronomiques qu'on pourrait rencontrer au niveau d'une production légumière sont nombreuses, parmi elles on a l'eau d'irrigation. En effet, l'eau a toujours été un sujet de préoccupation à l'échelle planétaire. Cette ressource indispensable et irremplaçable est particulièrement mal répartie. L'Afrique du Nord et le Moyen-Orient présentent les zones les plus menacées (MUTIN, 2009).

Dans les zones arides et semi-arides, la pluie ne peut pas être considérée comme une source principale de l'eau pour la plante. En outre, les besoins en eau des cultures dans ces régions sont élevés ce qui fait que la réussite des productions végétales dépend uniquement des eaux souterraines qui présentent souvent une forte minéralisation à son utilisation. Ainsi, la physiologie des plantes poussant dans ces régions est altérée, ce qui réduit leur croissance et leur rendement.

La salinité du sol et de l'eau est un phénomène ancien. Cependant, ce problème environnemental a été aggravé par les pratiques modernes d'agriculture et par les besoins croissants en irrigation. Aujourd'hui, 20% des terres cultivées et près de la moitié des terres irriguées sont affectée par la salinité. À cette tendance, on estime qu'entre 2020 et 2030 la production des terres agricoles ne fournira plus suffisamment d'aliments (ABDELLY et *al.*, 2005).

Une des possibilités pour développer des productions légumières et horticoles dans ces régions est d'utiliser la culture hors sol qui permet d'économiser l'eau et de s'affranchir des sols atteints par la salinité. La correction de la composition chimique et du pH de l'eau d'irrigation permet également d'améliorer la croissance et le développement des cultures dans ces régions où l'eau salée cause problème.

C'est dans ce contexte que notre étude a été réalisée, dans le but de mettre en évidence l'influence de l'eau d'irrigation chez la tomate (variété Marmande) et ce au niveau de certains aspects physiologiques, biochimiques et de production.

Chapitre I : La salinité

1.1. Généralités sur la salinité :

Depuis le début du XX^e siècle, la superficie des terres agricoles touchées par la salinité ne cesse d'augmenter. Ce problème touche plus particulièrement les zones arides et semi-arides telles que les régions tropicales et méditerranéennes (LEVIGNERON et *al.*, 1995).

Selon BAATOUR et *al* (2004), les terres arides et semi arides représentent un tiers de la surface du globe. La salinité des sols et des eaux d'irrigation dans ces zones est l'un des facteurs limitatifs de la productivité végétale et du rendement agricole.

En effet, l'excès de la teneur en sels est l'un des principaux soucis des agriculteurs. Le rendement est négativement affecté quand la concentration en sels dans l'eau d'irrigation ou dans les sols est élevée (CHAUX et FOURY, 1994).

1.2. Définition de la salinité :

La salinité indique la quantité d'éléments minéraux présents ou apportés par la fumure et solubles en partie dans l'eau du sol. Elle s'exprime par la mesure de la conductivité électrique (ZUANG, 1982).

Suivant FORGES (1972), la salinité est la teneur du sol en sels solubles dommageables à la production végétale. Il y'a donc salinité chaque fois que la présence des sels vient modifier la vie végétale ou les caractéristiques des sols.

Le même auteur ajoute que les sels en cause varient selon le cas de salinité, le plus fréquent en zone semi-aride est d'avoir des chlorures ou des sulfates de sodium ou de magnésium.

1.3. La salinité dans le monde et en Algérie :

1.3.1. La salinité en Algérie :

Le problème de la salinité en Algérie s'est peu posé dans le passé mais durant les dernières années, on a décelé des intrusions des eaux marines dans les nappes côtières d'Annaba et d'Oran. L'exploitation intensive et anarchique des nappes par l'agriculture a créé des problèmes de pollution et de dégradation du sol (MORSLI, 2007).

Les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres en Algérie sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (DAOUD et HALITIM, 1994 ; SAIDI, 2004).

En Algérie, il n'est recensé aucune étude cartographique fiable et précise permettant de délimiter les zones touchées par la salinité des terres et la quantification de la teneur des sels dans le sol. Toutefois il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur le phénomène de salinité et de la dégradation des terres.

Une campagne menée en 1997 pour la mesure du niveau de salinité des terres en Bas Chélif sur une étendue de 40 000 hectares a montré que près de 11 000 ha (soit 27% de la surface étudiée) sont affectés par un degré de salinité de plus de 8 ds/m (INSID, 2008).

Le tableau suivant montre le pourcentage des terres agricoles touchées par la salinité dans quelques wilayas.

Tableau n° 1 : Localisation géographique de la salinité dans certaines wilayas.

Wilaya	S.A.U (ha)	Superficie affectée par la salinité de la S.A.U en (ha)	% de la S.A.U affecté par la salinité
Ouargla	17390	9850	56.64
Bechar	13250	2249	16.97
Djelfa	67760	6250	9.22
Relizane	241670	20000	8.28
Tébessa	231750	13000	5.61
Biskra	151530	7272	4.80
Khanchela	177900	4480	2.52
Mascara	328740	6475	1.97
Mostaganem	131730	1977	1.50
Cheliff	188620	1490	0.79

(MADR, 1998)

1.3.2. La salinité dans le monde :

La salinisation des sols touche d'abord les régions arides, car l'évapotranspiration y est beaucoup plus forte que les précipitations pendant une bonne partie de l'année.

On a estimé que 7% de la superficie mondiale des terres, soit 920 millions d'hectares étaient plus ou moins salins et que 3%, soit 400 millions d'hectares présentaient un caractère salin ou sodique dominant (HOSNI, 2009).

En effet, plus de 100 pays souffrent de la salinité. Les sols salins couvrent environ 955 millions d'hectares et l'estimation des dommages de la salinité varie entre 25 et 60% (ANONYME, 2002).

Tableau n° 2 : Pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays.

Pays	% de terres atteintes	Pays	% de terres atteintes
Algérie	10 - 15	Inde	27
Egypte	30 - 40	Iran	< 30
Sénégal	10 - 15	Iraq	50
Soudan	< 20	Palestine	13
Jordanie	16	Etat unies	20 - 25
Colombie	20	Pakistan	< 40
Pérou	12	Seri Lanka	13
La chine	15	Syrie	30 - 35

(HAMDY, 1999)

1.4. Origine de la salinité :

Selon SLAMA (2004), la salinité a plusieurs origines, parmi elles on a :

- **La roche mère :** les matériaux qui forment les assises géologiques du sol renferment des quantités plus ou moins importantes de sels solubles. L'eau en passant au contact de ces roches s'enrichit en sels, les transporte et les répand avec le temps.
- **La nappe phréatique :** la nappe phréatique salée et peu profonde provoque une salinisation de l'horizon de la surface du sol par la remontée capillaire.
- **La minéralisation de la matière organique :** comme tout amendement organique, le fumier lors de son application peut augmenter la salinité du sol. La qualité du fumier et son pouvoir salinisant varient avec l'espèce animale.
- **Les engrais minéraux :** les engrais minéraux influencent la salinité du sol par l'action spécifique de chacun de leurs ions, ainsi que par les quantités solubilisées.
- **Les produits de traitement :** les produits de traitement de la terre et des plantes agissent aussi sur la salinité du sol.

LAHLOU et *al* (2002), ajoutent que dans les zones arides et semi-arides, l'eau est le principal facteur limitant la production agricole car la présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air conduisent souvent à la salinisation des sols irrigués. En effet, l'eau d'irrigation chargée est la principale source de salinisation des sols.

1.5. Les sols salés :

GIRARD *et al* (2011), définissent les sols salés comme étant des sols qui renferment une certaine quantité d'éléments minéraux, dont notamment le sodium. Ces sols sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Cependant on les trouve surtout sous les climats où les processus évaporatoires dominent.

Ces types de sols sont rencontrés dans des régions arides et semi-arides et sont pratiquement inexistantes dans les régions à climat humide (HARTANI et MERABET, 2003).

1.5.1. Définition de la salinisation des sols :

Selon MERMOUD (2006), la salinisation des sols est un processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol. Il s'en suit une diminution des rendements et à terme une stérilisation du sol.

1.5.2. Classification des sols salés :

BRADY (2002), explique que les sols salinisés peuvent contenir un excès de sels solubles dans l'eau tels que les sols salins, de sodium échangeable comme les sols sodiques ou des deux tels que les sols salins-sodiques. Leurs caractéristiques physiques et chimiques diffèrent avec le type de sols. Le tableau suivant montre les caractéristiques des trois principales classes de sol salinisé.

Tableau n° 3 : Classification des sols salinisés.

Classification	Conductivité électrique (dS m ⁻¹)	pH du sol	Ratio d'adsorption du sodium	Condition physique du sol
Salin	>4.0	<8.5	<13	Normale
Salin-sodique	>4.0	<8.5	>13	Normale
sodique	<4.0	>8.5	>13	pauvre

(BRADY, 2002)

1.5.3. Types de salinisation :

On définit en général deux types de salinisation, la salinisation primaire et la salinisation secondaire.

1.5.3.1. La salinisation primaire :

La salinisation primaire résulte de la présence initiale de sels dans le sol ou dans la nappe phréatique (LACHARME, 2001).

D'après les travaux entrepris par BRADY (2002), la salinité primaire se produit naturellement là où la roche mère du sol est riche en sels solubles ou bien en présence d'une

nappe phréatique proche de la surface. Dans les régions arides et semi-arides, où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier les sels solubles du sol et où le drainage est restreint, des sols salins vont se former avec des concentrations élevées de sels. Plusieurs processus géochimiques peuvent également avoir comme conséquence la formation de sols salinisés.

1.5.3.2. La salinisation secondaire :

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Cette dernière est induite par l'activité humaine et fréquemment liée à des pratiques agricoles (MERMOUD, 2006).

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).

1.6. Les eaux salines :

Au Maghreb plus de 30% des eaux destinées à l'irrigation sont chargées en sel, et elles induisent, à la longue, une accumulation de toxines aussi bien dans la rhizosphère que dans les différentes parties de la plante (RAHMOUNE *et al.*, 2008).

Il est connu que sous un climat semi-aride, le recours à l'irrigation est inévitable pour la plupart des cultures. Cependant l'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium par le complexe adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol tels que la tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes.

Ainsi les pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie (DOUAOUI et HARTANI, 2007).

L'eau d'irrigation inclut toujours une certaine quantité de substances dissoutes. Ces sels sont issus de la désagrégation des roches par l'eau, le gypse et d'autres sources de sels sont dissous avec le temps, menant à des degrés variables de salinité dans l'eau d'irrigation (MILLER et DONAHUE, 1995).

1.6.1. Classification des eaux salines :

Tableau n° 4 : Classification des eaux salées.

Classe d'eau	CE (dS/m)	Concentration en sel (mg/l)	Types d'eau
Non salée	<0,7	<500	L'eau potable et d'irrigation
Légèrement salée	0,7 – 2	500 – 1500	L'eau d'irrigation
Modérément salée	2 – 10	1500 – 7000	L'eau de drainage primaire et de la nappe phréatique
Fortement salée	10 – 25	7000 – 15000	L'eau de drainage secondaire et de la nappe phréatique
Très salée	25 – 45	15000 – 35000	Nappe phréatique très salée
Extrêmement salée	>45	>45000	L'eau de mer

(RHOADES et *al.*, 1992 in MAILLARD, 2001)

1.7. Effets de la salinité sur les plantes :

1.7.1. Effet osmotique :

La présence d'une forte concentration de sels solubles dans le sol crée une pression osmotique élevée dans l'environnement racinaire qui réduit la disponibilité de l'eau du sol pour la plante, c'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique (MARICLE et *al.*, 2007). Ce type de sécheresse ne touche que les plantes qui n'ajustent pas leurs concentrations ou celles qui les ajustent insuffisamment (KHOURY, 1969).

Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (ANONYME, 2010).

1.7.2. Effet sur l'alimentation minérale :

D'après BERNSTEIN (1974), l'entrée du sel dans la plante provoque souvent un déséquilibre ionique, qui est interprété selon les espèces par des carences ou excès en certains éléments. Suivant la composition de la solution saline, la toxicité ionique ou les insuffisances nutritionnelles peuvent survenir à cause de la prédominance d'un ion spécifique ou à cause des effets compétitifs entre cations et anions.

Donc la salinité peut avoir comme conséquence une phytotoxicité des plantes par certains ions qui s'accumulent comme les chlorures, le sodium ou le bore qui est très phytotoxique en excès. Elle peut engendrer également un antagonisme des éléments minéraux, comme par exemple l'accumulation excessive de sodium qui provoque des carences en calcium et en magnésium (CHEVERRY et BOURRIÉ, 1995).

1.7.3. Effet sur la photosynthèse :

L'action du sel sur la photosynthèse peut être due à la diminution de la surface foliaire, à la baisse de la densité stomatique, à la réduction des dimensions de stomates et à l'augmentation de la résistance stomatique. L'effet sur la photosynthèse s'exerce aussi par la baisse de la teneur en chlorophylle (SLAMA, 2004).

1.7.4. Effet sur la transpiration et sur la respiration :

Les travaux de SLAMA (2004), montrent que la transpiration est le moteur du flux d'eau dans la plante. Elle amène l'eau nécessaire aux cellules qui se forment au cours de la croissance pour le maintien de leur turgescence. Lors d'un stress salin, le sel diminue la transpiration des feuilles et du fait perturbe la bonne circulation des eaux dans les différents organes de la plante.

Le même auteur ajoute que la respiration est également touchée par le NaCl en fonction de sa concentration dans le milieu extérieur et suivant la sensibilité ou la tolérance de la plante. L'action du NaCl sur la respiration est complexe et peut aboutir au changement de voies métaboliques.

1.7.5. Effet sur la croissance :

La salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante. Son effet se traduit notamment, par une réduction de la croissance en hauteur (KADRI et *al.*, 2009).

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif. Or une réduction de la croissance de la partie aérienne est la première réponse observée des glycophytes à l'augmentation de la salinité au niveau des racines. Il s'agit de l'effet destructif le plus significatif en cas d'une exposition prolongée à la salinité (LEVIGNERON et *al.*, 1995).

CALU (2006), ajoute que des stress extrêmes mènent au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite.

1.7.6. Effet sur le rendement des cultures :

Le rendement des cultures est affecté négativement par les stress salins. Avant tout parce que les fermetures stomatiques même partielles entraînent une diminution de la photosynthèse. Ensuite, parce qu'une diminution de la croissance cellulaire a pour conséquence une limitation de l'expansion foliaire et donc de la surface foliaire photosynthétisante (URBAN, 1997).

1.8. Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité :

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin. Cependant les plantes ne sont pas égales face à ce stress. Suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes classes ont été distinguées. D'après HAGEMEYER (1996), ces classes sont citées comme suite :

- 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.
- Les **Non-Halophytes résistantes**, supportant de faibles concentrations en sel.
- Les **Glycophytes** ou **Halophobes**, sensibles à la présence de sel.

1.9. Tolérance des plantes à la salinité :

Les plantes peuvent tolérer la salinité jusqu'à certains niveaux sans perte mesurable dans leur rendement. Mais quand le seuil de tolérance à la salinité est dépassé, les rendements des cultures diminuent à mesure que la salinité augmente (GHASSEMI *et al.*, 1995).

La tolérance à la salinité selon BERNSTEIN (1974), est le degré avec lequel la plante ajuste sa pression osmotique en sacrifiant un minimum de son développement végétatif, ceci implique une accumulation d'éléments nécessaires pour maintenir la pression de turgescence.

Les plantes sont capables de réguler leur potentiel osmotique interne en fonction de celui du milieu extérieur. Cette régulation est variable selon les espèces (KATERJI, 1995).

Selon RHOADES *et al* (1992), la tolérance des plantes à la salinité dépend de certains facteurs :

- Le climat est un facteur important affectant la tolérance au sel, la plupart des plantes peuvent tolérer un plus grand taux de sel si le temps est frais et humide que s'il est chaud et sec.
- Les plantes sont généralement relativement tolérantes pendant la germination mais deviennent plus sensibles pendant la croissance.
- La tolérance au sel varie d'une variété à une autre pour une même espèce, donc il peut y avoir une différence significative de la tolérance entre les variétés.
- La tolérance au sel dépend également de la méthode et la fréquence d'irrigation.

Chapitre II : La culture hydroponique

2.1. Généralités sur la culture hydroponique ou hors-sol :

L'utilisation de la culture hors sol marque une étape significative de progrès. La baisse de productivité et de qualité, due à un ensemble de problèmes agronomiques, physiologiques et pathologiques mal identifiés et regroupés sous le terme de « fatigue des sols », a été le premier moteur initiant l'utilisation de la culture hors sol (BRUN, 2003).

La culture hydroponique a permis de cultiver avec succès et de produire commercialement divers légumes tels que des tomates, des laitues ainsi que des concombres sans graines (HOPKINS, 2003).

2.2. Définition :

Littéralement définie une culture hydroponique est une culture sur un milieu aqueux dans lequel doivent se trouver les éléments minéraux dont les plantes ont besoin c'est donc une culture sur une solution nutritive (LESAIN et COIC, 1983).

GUILLET (2010), ajoute que cette technique se pratique sans substrat nourrissant. Le support des racines est inertes et ne sert qu'à maintenir physiquement la plante et c'est l'eau qui véhicule les éléments nutritifs, nécessaires à la croissance de la plante, jusqu'aux racines.

Selon MORARD (1995), le mot hydroponique est la traduction du terme américain « hydroponics » qui a été créé en 1930 par GERICKE, professeur à l'université de Californie, et qui dériverait étymologiquement du grec (hydro = eau et ponos = travail) et devait symboliser « le travail des racines dans l'eau ».

Ce même auteur définit les cultures hydroponiques appelées aussi cultures hors sol ou cultures sans sol comme des cultures de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec le sol qui représente leur environnement naturel. Donc le hydroponique s'applique à tout système de culture dont le support n'est pas le sol.

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).

D'après URBAN (1997), l'hydroponique est l'un des trois principaux systèmes de culture hors sol. Ces systèmes sont présentés comme suite :

- ✓ La culture aéroponique, où les racines sont placées dans un brouillard nutritif.

- ✓ La culture sur substrat inerte ou réactif qui fait appel à des supports de culture placés dans des contenants (pots, sacs, bacs,...) et irrigués soit par percolation soit par subirrigation.
- ✓ La culture hydroponique, dans la quelle les racines baignent dans un liquide nutritif. Dans ce système on distingue :
 - l'aquiculture, système de culture sur milieu nutritif non circulant.
 - la NFT (nutrient film technique), système de culture sur une pellicule de solution nutritive circulante.

2.3. Historique :

Les cultures sans sol ont une longue histoire qui commence aux environs de 1860 pour mettre en lumière le rôle propre des éléments nutritifs. Ce n'est cependant qu'en 1940 qu'est définitivement établie la liste exhaustive des éléments indispensables à la croissance normale de la plante hors de son milieu naturel. C'est à ce moment là que l'introduction des techniques de culture hors sol dans le domaine agricole ont pu être envisagé (BLANC, 1987).

MORARD (1995), présente le résumé suivant :

- 1750-1850 : Tentative de « cultures sur eau » par les deux chercheurs allemands KNOP et SACHS.
- 1929 : Essai de diffusion commerciale aux USA pour des cultures maraîchères et ornementales.
- 1945 : Première utilisation agricole par le général ARNOLD qui créa « l'hydroponic unit » pour faire face au problème d'alimentation des troupes militaires aux USA.
- 1950-1960 : Essai de pré développement en France par certains organismes de recherches comme l'INRA.
- 1970 : Début des applications agricoles pour les cultures maraîchères et florales en Europe.
- 1975-1980 : Rapide développement des cultures hors sol en France et en Europe.

2.4. Avantages et inconvénients des cultures hors sol :

2.4.1. Les avantages :

Il y'a plusieurs causes au succès de la technique du hors sol, URBAN (1997), cite quelques unes d'entre elles qui sont:

- L'affranchissement des sols contaminés par des agents pathogènes, salins, non cultivables et fatigués.

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

2.4.2. Les inconvénients :

Bien que les avantages de la culture hydroponique sont nombreux, il y'a tous de même quelques désavantages qu'il ne faut pas négliger, ces derniers sont résumés d'après MORARD (1995), comme suite :

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

2.5. Domaine d'application de la culture hydroponique :

Il est possible de regrouper les domaines d'application des cultures hors sol en trois catégories.

Selon ZUANG et *al* (1984), la première catégorie est :

- 1) La recherche des mécanismes physiologiques : de nombreuses études sur la physiologie végétale ont été conduites dans les stations d'agronomie et de physiologie et ont abouti à des résultats pratiques, dont par exemple la fertilisation des cultures légumières, le rôle de la température du substrat sur la tomate et la mise au point de solutions nutritives.

Les deux autres catégories citées par MORARD (1995), sont :

- 2) L'horticulture : les applications agricoles des cultures hors sol sont utilisées uniquement sous serres et abris dans trois principaux domaines de production qui sont

le maraîchage, la floriculture et les pépinières. Pour les cultures maraîchères deux espèces sont essentiellement concernées, la tomate et le concombre.

- 3) Le jardinage d'amateur pour la culture de plantes ornementales, condimentaires et maraîchères.

2.6. Les composantes de la culture hydroponique :

Les systèmes de culture hors sol se caractérisent par trois composantes : le substrat, les conteneurs et la solution nutritive.

2.6.1. Le substrat :

En agriculture on applique le terme de substrat à tout matériau, naturel ou artificiel qui permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support. Tout matériau solide peut être utilisé comme substrat dans la mesure où il est compatible avec un développement normal du système racinaire et son activité métabolique (BLANC, 1987).

Selon ERARD *et al* (1995), le substrat assure le maintien de la plante et par l'intermédiaire de la solution nutritive qu'il contient, son alimentation hydrique et minérale, et la respiration du système racinaire.

Un substrat est formé d'après LEMAIRE *et al* (1989), par :

- Une phase solide, qui constitue une trame.
- Des espaces lacunaires, au sein desquels se trouvent les fluides, qui regroupent la phase aqueuse et la phase gazeuse.

ZUANG et MUSARD (1984), mentionnent qu'un substrat idéal :

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

MORARD (1995), ajoute qu'un substrat doit être le moins cher possible, en intégrant l'achat, le transport, la mise en place, la réutilisation et l'élimination du support après utilisation.

Les substrats peuvent avoir plusieurs origines. Selon BLANC (1987), on peut utiliser comme substrat des :

- Matériaux minéraux naturels : sables, graviers, pouzzolanes et les tufs volcaniques.
- Matériaux minéraux traités : laine de roche, perlite, vermiculite et argile expansée.
- Matériaux organiques naturels : les tourbes, les écorces et les déchets cellulo-ligneux.

2.6.2. Les conteneurs :

Selon ZUANG et MUSARD (1984), les conteneurs sont des récipients qui contiennent le substrat et l'isolent du sol. Leur forme et leurs dimensions sont non seulement adaptées au substrat et à la culture, mais aussi à la parcelle ou à l'abri. On distingue plusieurs types de conteneurs tels que les bacs, les gouttières, les sacs et les enveloppes divers.

FEVEREAU (1976), ajoute que les conteneurs peuvent être choisis en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. En général, les récipients utilisés en culture hydroponique sont en matière plastique, chimiquement inertes, étanches, durables et de mise en place facile.

Quatre conditions doivent être respectées pour la réussite d'une culture en conteneur. Ces conditions sont citées par LEMAIRE et *al* (1989), comme suite :

- Evacuation rapide des eaux en excès.
- Circulation facile dans les cultures.
- Protection contre le vent.
- Protection contre le froid.

2.6.3. La solution nutritive :

La solution nutritive représente une eau d'irrigation, filtrée, dans laquelle on apporte les éléments minéraux nécessaires à la plante, en y maintenant des valeurs correctes de pH et de conductivité électrique (ERARD et *al.*, 1995).

MORARD (1995), confirme 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.

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).

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

La solution nutritive est caractérisée par trois paramètres principaux qui sont :

- **Le pH :**

Le pH mesure l'acidité d'un liquide. Sa valeur s'exprime sur une échelle graduée de 0 à 14 où 1 désigne une substance fortement acide, 7, une substance neutre, et 14, une substance fortement basique. Ainsi, les substances ayant un pH inférieur à 7 sont acides tandis que les substances ayant un pH supérieur à 7 sont basiques (HADE, 2003).

Selon DINON et GERSTMANS (2008), les plantes peuvent être réparties en trois catégories en fonction du pH du milieu dans lequel elles poussent :

- Les plantes acidophiles : le pH du sol est compris entre 4,0 et 6,5.
- Les plantes neutrophiles : le pH du sol est compris entre 6,5 et 7,5.
- Les plantes basophiles : le pH du sol est compris entre 7,5 et 9,0.

Le support hydroponique est inerte et ne contient aucun nutriment. Les nutriments sont entièrement apportés par la solution nutritive, ce qui fait que le pH de cette dernière joue un rôle déterminant dans la solubilité et l'absorption des nutriments par les plantes (ANONYME, 2007).

D'après la même source il est indiqué que pour éviter tous risques de conflits électriques entre les racines et les ions contenus dans la solution, le pH doit être au plus proche de celui de la plante. C'est en fonction du pH de la solution que les éléments nutritionnels subiront des variations de charges électriques, si cette charge dépasse les limites tolérables et admises par les racines de la plante l'élément ne sera plus absorbé aussi rapidement qu'il le devrait, cette altération se traduit par des plantes sans vigueur.

LOUÉ (1986), montre que le pH peut influencer d'une façon très marquée l'assimilabilité et par suite l'absorption des oligo-éléments par les plantes. L'augmentation du pH réduit la solubilité et l'absorption de Al, Co, Cu, Fe, Zn et plus particulièrement Mn, et augmente celle de Mo.

En effet, les travaux de DINON et GERSTMANS (2008), montrent que dans un milieu acide, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et le molybdène sont moins facilement assimilables par la plante tandis que le fer, le manganèse, le bore, le cuivre et le zinc le sont moins dans un milieu basique.

A l'exception des espèces acidophiles ou basophiles strictes qui exigent ou supportent des valeurs de pH extrêmes, l'optimum physiologique du pH pour la majorité des espèces cultivées se situe entre 5,5 et 6,5 (BLANC, 1987).

En ce qui concerne la mesure du pH, plusieurs méthodes existent, mais elles n'offrent pas toutes le même degré de précision et rendent les données parfois incertaines. La méthode

dépend de la précision des données qu'on souhaite obtenir. Le papier indicateur par exemple est imprégné de substances qui changent de couleur selon le pH de la solution. Cette méthode fournit une valeur approximative et ne peut être utilisée à des fins d'analyses rigoureuses. La méthode la plus précise et la plus simple consiste à utiliser un pH-mètre qui représente un appareil électronique muni d'une sonde (HADE, 2003).

- **La Conductivité électrique (CE) :**

Les travaux de BLANC (1987), ont montré que la concentration en sel de la solution nutritive joue un rôle primordial dans l'alimentation hydrique de la plante car elle détermine la pression osmotique de la solution. Cette dernière doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire, afin de permettre à l'eau présente dans la solution de se déplacer vers la plante. Cette concentration saline s'exprime en grammes de sels par litre d'eau et est contrôlée par la mesure de la conductivité électrique. La mesure de la conductivité de la solution permet donc de vérifier si la solution nutritive employée correspond bien, en moyenne, à l'équilibre eau-ions nécessaire à la plante.

Une forte valeur de conductivité électrique correspond à une charge élevée en sels minéraux dissous. Inversement, une faible valeur de conductivité reflète à coup sûr une eau douce. Cependant, il faut attirer l'attention sur le fait que le caractère acide ou basique d'une solution peut aussi être responsable d'une grande conductivité électrique (HADE, 2003). Selon ERARD et *al* (1995), la conductivité d'une solution s'exprime en milli siemens par centimètre (ms/cm).

- **L'équilibre ionique :**

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

Selon COIC (1984), l'égalité entre ions et cations y compris les ions H^+ est obligatoire dans la solution comme elle est dans les sels apportés. La proportion entre les ions azotés NO_3^- et NH^+ est assurée en fonction des besoins spécifiques des plantes et la nécessité de maintenir un certain pH.

Chapitre III : Généralités sur la culture de tomate

3.1. Origine et historique de la tomate :

La tomate est originaire de l'Amérique du Sud, et bien qu'on ait longtemps pensé que cette plante provenait des montagnes péruviennes, où poussent encore des formes sauvages, ce sont les peuplades primitives du Mexique qui cultivèrent les premières tomates (COUPLAN et *al.*, 2010).

En effet, la tomate cultivée, *Lycopersicon esculentum*, s'est différenciée au Mexique à partir d'une forme à fruits plus petits (*Lycopersicon esculentum*. var. *cerasiforme*) originaire de la zone andine. Les indigènes du Mexique l'appelaient « Tomati » qui dérive d'un mot aztèque « Zitomate » (MESSIAEN, 2009).

D'après POLESE (2007), la tomate arriva d'abord en Espagne, puis très vite, elle parvint en Italie et gagna le reste de l'Europe. En Italie, on commença à consommer ses fruits vers 1550, mais seulement à petites doses, car on montrait une certaine réticence à utiliser ce nouveau fruit dans la cuisine courante. Les italiens la baptisèrent *pomo d'oro* qui signifie pomme d'or.

La tomate qui représente de nos jours un des légumes-fruits des plus populaires et des plus recherchés a longtemps été considérée, comme une plante contenant des substances narcotiques et vénéneuses, ce qui la limita pendant une longue période à un unique rôle ornemental (LAUMONNIER, 1979 ; CHAUX et FOURY, 1994).

La première évocation de la tomate dans le vieux monde est celle du botaniste italien Matthioli en 1544, dans un chapitre traitant de la Mandragore (PIRAT et FOURY, 2003). Mais ce n'est qu'en 1778 que la tomate apparaît dans les catalogues de graines potagères (COUPLAN et *al.*, 2010).

La tomate fit son apparition en Afrique du nord au XVII^{ème} siècle au Maroc d'abord puis en Algérie et Tunisie (KOLEV, 1976).

3.2. Classification botanique et caractéristiques morphologiques :

La tomate appartient à la famille des *Solanaceae* qui regroupe la pomme de terre, l'aubergine, le poivron et le tabac. C'est une plante herbacée, annuelle, poilue et aux feuilles odorantes. Le port est arbustif, buissonnant ou retombant suivant les variétés (NYABYENDA, 2006 et POLESE, 2007).

Le genre *Lycopersicon* dont le nombre chromosomique est ($2n = 2x = 24$) comprend huit espèces parmi les quelles cinq sont susceptibles de se croiser facilement (CHAUX et FOURY, 1994).

Selon GALLAIS et BANNEROT (1993), la tomate est classée botaniquement comme suite :

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

3.2.1. Le système racinaire :

Le plant de tomate présente un système racinaire puissant très ramifié et à tendance fasciculée. Il est constitué d'une racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. Cette dernière produit une haute densité de racines latérales et adventices très actives sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond les racines peuvent atteindre jusqu'à un mètre de profondeur (NAIKA et *al.*, 2005 et CHAUX et FOURY, 1994).

KOLEV (1976), indique que le développement et la pénétration rapide des racines dans les couches les plus profondes du sol induit une résistance relativement grande des tomates à la sécheresse.

3.2.2. La tige :

Les tiges d'un plant de tomate sont vertes et pourvues de poils blanchâtres. Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Elles sont souvent retombantes et demandent à être attachées sur des tuteurs (TAHI, 2008).

En effet NAIKA et *al* (2005), mentionne que le port de croissance de la tomate varie entre érigé et prostré. Il ajoute aussi que la tige est pleine, glandulaire et pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 mètre.

D'après LAUMONNIER (1979), On peut distinguer deux types différents de plantes de tomates, selon le mode de croissance de la tige on a les :

- **Variétés à croissance déterminée :** Pour ces variétés la tige émet un nombre donné de bouquets floraux et la croissance de la tige s'arrête d'elle-même. Dans ce groupe on rencontre bon nombre de variétés industrielles.
- **Variétés à croissance indéterminée :** Ces variétés présentent une tige principale poussant avec régularité et formant un bouquet floral toutes les trois feuilles généralement.

3.2.3. Les feuilles :

Les feuilles de la tomate sont composées et possèdent de sept à onze folioles. La forme des folioles peut varier selon les variétés : arrondies ou, au contraire, dentelées et pointues à leur extrémité. Ces feuilles mesurent de 15 à 25 cm de long et sont d'un vert franc, poilues et odorantes (COUPLAN *et al.*, 2010).

On distingue deux types de feuilles selon KOLEV (1976), le type normal qu'on trouve chez la plupart des variétés répandues en Algérie et le type feuilles de pomme de terre qui a une structure plus simple.

3.2.4. Les fleurs :

Les fleurs sont petites, jaunes et en forme d'étoile. Elles sont groupées sur un même pédoncule en bouquet de trois à huit fleurs. Ces bouquets apparaissent en général régulièrement sur la tige chaque fois que la plante a émis trois feuilles (POLESE, 2007).

Selon TAHI (2008), il y'a 1 à 4 feuilles en moyenne qui séparent deux bouquets successifs et cela suivant le mode de croissance des tiges. Les fleurs sont hermaphrodites avec des parties mâle et femelle 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).

3.2.5. Le fruit :

La tomate est une baie qui provient du développement de l'ovaire. C'est donc un fruit qui se développe dans la fleur après la fécondation. Les fruits de tomate sont très variés, certains s'ouvrent à maturité pour libérer leurs graines, d'autres non. Ces dernières contiennent elles-mêmes l'embryon (PRAT, 2007).

Les fruits sont généralement rouges, mais il existe des variétés jaunes, violacées et mêmes blanches dont l'intérêt réside uniquement dans le domaine décoratif (LAUMONNIER, 1979).

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.

3.2.6. 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 aplaties, plus ou moins lenticulaires et enveloppées d'un mucilage.

Ces petites graines grisâtres ou beiges et en forme de rein ou de poire mesurent 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large ce qui rend les semis directs à précision difficiles (NAIKA *et al.*, 2005).

Les graines de tomate ne présentent pas de dormance, leur germination est épigée et dans de bonne conditions (25C°), le stade cotylédons étalés est atteint en une douzaine de jours (TIRILLY et BOURGEOIS, 1999).

3.3. Importance économique de la tomate :

3.3.1. Dans le monde :

La tomate est une culture importante de l'économie mondiale. Elle représente l'un des légumes les plus consommés car elle fournit des nutriments essentiels dans l'alimentation humaine (RAZDAN et MATTOO, 2006).

La tomate est cultivée dans plusieurs pays et à travers le monde entier. En ce qui concerne la consommation en frais, la production mondiale de tomates s'élevait en 2010 à 620,28 millions de tonnes pour une surface de 4,63 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 27,3 tonnes à l'hectare. Le tableau n°5 donne la production en tonne des 20 premiers pays producteurs (FAO STAT, 2012).

Tableau n° 5 : La production mondiale de tomate en 2011.

Pays	Production (T)	Pays	Production (T)
1- Chine	48576853	11- Mexique	2435790
2- Inde	16826000	12- Russie	2200590
3- USA	12624700	13- Ukraine	2111600
4- Turquie	11003400	14- Nigéria	1504670
5- Egypte	8105260	15- Tunisie	1284000
6- Iran	6824300	16- Portugal	1245360
7- Italie	5950220	17- Maroc	1236170
8- Brésil	4416650	18- Grèce	1169900
9- Espagne	3821490	19- Syrie	1154990
10- Ouzbékistan	2585000	20- Iraq	1059540

(FAO STAT, 2012)

3.3.2. En Algérie :

La tomate occupe une place remarquable dans l'économie agricole algérienne. C'est une culture très répandue, des milliers d'hectares y sont consacrés chaque année. C'est un légume de base pour la population algérienne. Elle prend le deuxième rang en cultures maraîchères après la pomme de terre. Le tableau suivant montre l'évolution de la superficie, de la

production et du rendement de la tomate fraîche en Algérie durant les dix dernières années (MADR, 2013).

Tableau n° 6 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.

Années	Superficies Ha	Productions Qx	Rendements Qx/Ha
2003	18650	4569330	245.0
2004	19432	5121950	263.6
2005	21089	5137795	243.6
2006	20436	5489336	268.6
2007	20079	5673134	282.5
2008	19655	5592491	284.5
2009	20789	6410343	308.4
2010	21358	7182353	336.3
2011	20575	7716055	375.0
2012	21542	7969630	370.0

(MADR, 2013)

3.4. Importance nutritionnelle de la tomate :

La tomate est très riche en sels minéraux ainsi qu'en vitamines. La consommation d'une tomate de taille moyenne apporte respectivement 57%, 25% et 8% des doses journalières recommandées en vitamine C, en vitamine A et en fer (DORÉ et VAROQUAUX, 2006).

3.5. Exigences de la plante :

3.5.1. Exigences climatiques :

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

- **La température :**

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide (NAIKA et *al.*, 2005).

La tomate est exigeante en ce qui concerne les températures. L'optimum se situe entre 13 et 20°C pendant la nuit et entre 20 et 27°C pendant la journée. 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).

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° 7 : Besoin en température de la tomate.

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

(CHAUX, 1972)

- **La 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, affecte la fécondation et conduit ainsi à l'avortement des fleurs et des fruits (CABURET et *al.*, 2003).

En effet l'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits (NAIKA et *al.*, 2005).

- **L'hygrométrie :**

L'hygrométrie doit être comprise entre 70 et 80% durant la phase végétative, au-delà de cette valeur les risques de botrytis augmentent. Au moment de la floraison il est souhaitable de descendre à 60 et 70% afin de faciliter la dispersion du pollen (CHAUX et FOURY, 1994).

3.5.2. Exigences pédologiques :

D'après CHAUX (1972), la tomate s'adapte à de nombreux types de sol à conditions qu'ils soient profonds et suffisamment perméables. Les sols lourds conservent plus longtemps la fraîcheur et conviennent aux cultures de saison, par contre les cultures précoces préfèrent les sols légers qui s'échauffent rapidement au printemps. Le plant de tomate est moyennement tolérant vis-à-vis de la salinité et supporte une légère acidité.

D'une manière générale, la tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH, mais pousse le mieux dans des sols où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8 et où l'approvisionnement en éléments nutritifs est adéquat et suffisant (NAIKA et *al.*, 2005).

3.5.3. Exigences hydriques et nutritionnelles :

Les possibilités de croissance d'une plante sont déterminées par ses potentialités génétiques mais aussi sa réalisation est sous l'étroite dépendance du milieu et en particulier des conditions de nutrition hydrique et minérale (CORNILLON, 1974).

- **Besoins en eau :**

L'irrigation est très importante pour assurer un bon développement de la plante pendant la phase de croissance végétative, mais elle est encore plus importante pendant la formation des fruits. En effet, une alimentation en eau irrégulière provoque des nécroses sur les fruits dues à un ralentissement de la migration du calcium vers les fruits (COURCHINOX, 2008).

Cependant SCHIFFERS (2003), indique que si l'irrigation est souvent indispensable pour obtenir une production maximale, la tomate est une plante très sensible à l'asphyxie radiculaire. Cette asphyxie due à un excès d'eau peut provoquer des carences en magnésium, en phosphore et en azote. L'apport d'eau doit être régulier et surtout aux moments critiques ; floraison, nouaison et grossissement des fruits.

- **Besoins en éléments nutritifs :**

Les éléments minéraux majeurs : N - P - K - Ca - Mg - S et les oligo-éléments sont indispensables à la plante pour fabriquer la matière végétale. Les exigences sont variables selon le climat et le stade des plantes (ERARD *et al.*, 1995).

La tomate est exigeante en azote, potassium, magnésium et soufre. Ses besoins en éléments fertilisants sont importants, ils demandent à être ajustés en fonction de la technologie de production, de la nature du sol, de la stratégie d'irrigation et du rendement escompté (PÉRON, 2006 et LE CLECH, 1993).

Les besoins d'engrais représentent pour des variétés fortement productives, 100 à 150 kg/ha de N ; 65 à 110 kg/ha de P et 160 à 240 kg/ha de K (BENTVELSEN, 1988).

3.6. Différents travaux d'entretien :

3.6.1. Le tuteurage :

Le palissage a pour but de maintenir les plants et faciliter la circulation de la sève et des substances de croissance, il permet aussi de mieux tirer profit de la lumière et de bien alimenter la partie aérienne. Il contribue également à une meilleure aération de la culture, du feuillage et des fruits augmentant ainsi les rendements et la qualité des fruits.

Le palissage commence dès que les plants ont atteint une hauteur de 20 à 30 cm, en enroulant la ficelle autour et le long de la tige dans le sens du bas en haut en passant par les

entre-nœuds. Le palissage doit se faire en évitant l'enroulement de la ficelle sur les bouquets et la casse de la partie apicale de la plante (VILAIN, 1989 et SCHIFFERS, 2003).

3.6.2. La taille :

La taille a pour objectif de limiter la hauteur des plantes et le nombre de ses ramifications. On a plusieurs types de taille parmi eux : la taille à un bras pour les variétés hâtives et la taille à deux bras pour les variétés vigoureuses et demi tardives (LAUMONNIER, 1979).

D'après SNOUSSI (2010), la taille permet d'obtenir de beaux fruits mûrissant hâtivement. Quand la taille n'est pas faite, les pieds de tomate abandonnés à leur végétation fournissent généralement en abondance, mais tardivement des petits fruits.

C'est pourquoi la taille est indispensable pour que la fructification soit suffisante et de qualité (DEVIGNE, 1986).

3.6.3. L'ébourgeonnage :

Selon DEVIGNES (1986), l'ébourgeonnage consiste en la suppression de tous les bourgeons qui se forment à l'aisselle des feuilles sur la tige. On peut aussi limiter la production de la plante et concentrer sa force végétative pour obtenir des fruits particulièrement développés, en pinçant la tige principale au-dessus du 5^{ème} ou 6^{ème} bouquet de fruits. Par contre, si l'on ne pratique pas cette dernière opération, on obtiendrait des fruits tardifs.

3.6.4. Effeillage :

L'effeuillage débute à la maturité du premier bouquet et a lieu jusqu'au début de la floraison du septième bouquet. Il permet la pénétration de la lumière et l'aération des fruits par la circulation de l'air et rend facile la récolte (MAPPA, 2010).

3.6.5. L'écimage :

La tomate est une culture à croissance indéterminée. Afin d'arrêter la plante à un niveau de croissance déterminé et limiter le nombre de bouquets, un écimage est nécessaire. L'opération consiste à pincer la tige principale au niveau désiré. L'opération doit se faire 2 à 3 feuilles après le dernier bouquet afin de permettre un grossissement normal des fruits des bouquets supérieurs (CHIBANE, 1999).

3.7. Mode de culture :

Selon SNOUSSI (2010), nous avons deux principaux modes de production ; la culture sous serre, en tunnel ou en multi chapelle (culture de primeur) et la culture en plein champ (de saison et d'arrière saison).

3.7.1. La culture sous serre :

Pour ce mode de culture on doit choisir des endroits bien abrités des vents et en même temps bien ensoleillés. La production des tomates sous serres est organisée surtout dans la zone littorale où on peut atteindre du point de vue économique les meilleurs résultats (qualité et quantité). On doit aussi utiliser des variétés précoces, productives et résistantes aux maladies et aux conditions climatiques défavorables dans les serres surtout pendant la première période de la végétation (KOLEV, 1976).

3.7.2. La culture de plein champ :

En plein champ, les producteurs cultivent surtout des variétés de type déterminé. Ici la conduite des récoltes est fonction de la destination des fruits, pour la culture de tomate industrielle, la récolte est unique et mécanisée alors qu'en culture pour le marché du frais, les producteurs étalent les récoltes sur plusieurs semaines (HUAT, 2008).

En culture de plein champ, l'agriculteur n'a pas la maîtrise de certains facteurs du milieu tels que la température, la teneur en CO₂, et doit adapter l'irrigation et la nutrition minérale en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol (HEUVELINK et DORAIS, 2005).

3.8. Récolte :

La consommation des tomates s'effectue à mesure de leur maturité, soit pour les besoins immédiats, soit pour la conservation. La récolte s'effectue quand les fruits sont mûrs, c'est-à-dire rouges. Cependant les tomates devant subir un transport sont récoltées alors qu'elles sont roses d'un côté et veinées de verdâtre de l'autre. Mais les tomates récoltées trop vertes ne présentent généralement pas leur taille maximum. C'est pourquoi l'état de maturité des tomates pour la récolte est à prévoir en fonction de la destination des fruits et de la longueur des transports qu'ils ont à subir (LAUMONNIER, 1979 et DEVIGNES, 1986).

Selon MAPPA (2010), il y'a quatre stades de récolte possibles, en fonction de la destination et de l'utilisation du produit, c'est stades sont :

- Le stade étoilé.
- Le stade pointé.
- Le stade orange.
- Le stade rouge.

Les tomates récoltées doivent être protégées contre les excès de chaleur et l'ensoleillement direct qui perturbent la maturation. Un refroidissement efficace est nécessaire si les températures extérieures ou sous abris sont élevées. Le fruit ne devra être en aucun cas manipulé chaud, mais doit être rafraîchi préalablement (CHAUX et FOURY, 1994).

3.9. Maladies et ennemis de la tomate :

3.9.1. Maladies :

Tableau n° 8 : Les principales maladies bactériennes :

Bactérioses	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Chancre bactérien	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>Michiganensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Flétrissement et dessèchement des folioles. - Brunissement des vaisseaux de la tige. - Présence sur le fruit de taches blanchâtres brunes au centre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter d'irriguer par aspersion. - Arrachage des plants malades suivi par leur brûlage. - Elimination des débris végétaux en fin de végétation. - Effectuer des traitements au cuivre.
Gale bactérienne	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Taches brunes à noires, anguleuses sur les feuilles, la tige, les sépales et le fruit. - Pustules liégeuses superficielles avec un halo huileux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les traitements s'effectuent en général avec des produits à base de cuivre. - Utilisation de semences désinfectées.
Moucheture bactérienne	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Tomato</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Taches nécrotiques noires sur feuilles et sur fruits. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'application du cuivre avec de la bouillie bordelaise limite l'évolution de la maladie. - Eviter les excès d'eau.

(BLANCARD, 2009)

Tableau n° 9 : Les principales maladies virales :

Viroses	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Filiformisme, Mosaïque et Nécrose de la tomate	Virus de la Mosaïque du Concombre (CMV)	<ul style="list-style-type: none"> - Apparition de folioles filiformes. - Stérilité des plantes ou malformation des fruits. - destruction partielle ou totale des plants. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lutter contre les pucerons (agents vecteurs du virus) par des pulvérisations d'insecticides.
Mosaïque de la tomate	Virus de la Mosaïque du Tabac (TMV)	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de folioles mosaïquées, gaufrées et légèrement enroulées ayant tendance à devenir filiformes. - Brunissement du fruit. - Apparition de plages vertes qui parsèment les fruits matures. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elimination des plants malades. - Utilisation de semences saines. - Désinfection des outils de travail. - recourt au semis direct pour les cultures de plein champ.

(BLANCARD, 2009)

Tableau n° 10 : Les principales maladies cryptogamiques :

Mycoses	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Alternariose	<i>Alternaria solani</i>	- Taches noires de taille variable sur feuilles. - Noircissement de la base des tiges causant la mort de ceux-ci.	- Traitement aux fongicides tel le Manèbe, le Captafol et le Mancozèbe. - Procéder à l'élimination des déchets végétaux en fin de culture.
Oïdium	<i>Leveillula taurica</i>	- Présence sur les feuilles d'un feutrage blanc poudreux à la face inférieure et de taches jaunes à la face supérieure.	- Utilisation de variétés tolérantes. - Faire le désherbage et éviter l'arrosage du feuillage.
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	- Maladie grave à évolution très rapide provoquant de grandes taches brunes sur les feuilles et les tiges, ainsi que la pourriture des racines et du collet.	- Utiliser des plants sains. - Eviter que la maladie ne se propage par la suppression des parties ou sujets atteints. - Traiter aux fongicides à base de Chlorothalonil, de Mancozèbe ou de Manèbe.
Botrytis (pourriture grise)	<i>Botrytis cinerea</i>	- Taches marron accompagnées d'un feutrage gris sur feuilles et sur fruits avec chute de ces derniers.	- Eviter une hygrométrie élevée par une bonne aération. - Utiliser des variétés résistantes. - Faire alterner des traitements fongicides comme le Thirame.

(BAIRE et al, 2010 et BLANCARD, 2009)

Tableau n° 11 : Maladies non parasitaires (physiologiques) :

Maladies	Causes	Symptômes	Mesures à prendre
Phytotoxicités	- Teneurs trop élevées en herbicides. - Application d'un pesticide sur la culture ou au alentour.	- Enroulement, jaunissement et boursoufflement des folioles. - Apparition de plages brunes sur la tige. - Déformation du fruit.	Il faut bien définir l'origine de la phytotoxicité et éviter qu'elle ne survienne à nouveau.
Carences	- Absence dans le sol de certains éléments nutritifs. - Indisponibilité des éléments présents dans le sol.	- Décolorations et jaunissements des feuilles. - Ramollissement des fruits.	- Alimenter les plantes selon leurs besoins. - Correction du pH. - Eviter une irrigation mal conduite (trop ou pas assez d'eau).

(BLANCARD, 2009)

3.9.2. Principaux ennemis de la tomate :

Tableau n° 12 : Les principaux ravageurs :

Ravageurs	Exemple d'agent causal	Symptômes	Lutte
Acariens	<i>Tetranychus spp</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Jaunissement et brunissement des feuilles suivi par leur dessèchement et leur chute. - Avortement des fleurs. - immaturité des fruits. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
Pucerons	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ralentissement de la croissance des plantes. - Apparition de feuilles recroquevillées et souillées. - Transmission de virus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement à base de méthomyl, de deltaméthrine ou de pymétrozine. - Bien aérer et éviter les excès d'arrosage - choisir des variétés résistantes.
Mouche mineuse	<i>Liriomyza bryoniae</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les larves en minant les feuilles peuvent causer la mort des plantes. - Les dégâts déprécient la récolte qui n'est plus commercialisable. - Une Capacité de photosynthèse réduite. 	<ul style="list-style-type: none"> - procéder au désherbage car les adventices sont un refuge pour les mouches mineuses. - Elimination des feuilles et/ou des plants contaminés. - Utilisation d'auxiliaires telles que les guêpes parasites (cas de lutte biologique). - Traiter avec des produits à base d'abamectin et d'oxamyl.

(BAIRE et al, 2010)

Chapitre IV : Matériels et méthodes

4.1. L'objectif de l'expérimentation :

Le but de notre travail est de déterminer le comportement des plantes de tomate variété Marmande cultivée en hors sol et irriguées par cinq traitements différents qui se présentent comme suite :

- ✓ Une eau saline naturelle (T1) ayant un pH de 7,53.
- ✓ Une eau saline naturelle (T2) à pH 5,5-5,8.
- ✓ Une eau saline naturelle corrigée (T3) ayant un pH de 5,5-5,8 et deux autres solutions diluées à 20% et 40% (T4, T5) à partir de la solution nutritive T3.

4.2. Matériel végétale utilisé :

L'espèce étudiée dans notre expérimentation est la tomate (*Solanum lycopersicum*) variété Marmande, dont les semences proviennent de l'institut technique de cultures maraichères et industrielles (ITCMI) de Staouali. Cette espèce a été choisie parce qu'elle présente des réactions rapides au changement du milieu, une rapidité de croissance et surtout une tolérance moyenne aux sels qui est de l'ordre de 3 à 4g/l.

La Marmande est une variété très cultivée en Algérie et utilisée pour la consommation en frais. C'est une variété fixée à croissance indéterminée, vigoureuse, à feuillage moyen, très précoce, productive, résistante à la chaleur et peu sensible aux maladies. Ses fruits gros aplatis et peu côtelés sont d'un rouge éclatant et de bonne qualité gustative (KOLEV, 1976).

4.3. Conditions expérimentales :

4.3.1. Lieu de l'expérience :

Notre expérimentation a été réalisée dans une serre en polycarbonate, au niveau de la station expérimentale du département d'agronomie de Blida. Cette serre dont l'orientation est nord-sud est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autre et chauffée en hiver grâce à des radiateurs à eau chaude installés à l'intérieur et qui sont actuellement en panne.



Figure n° 1 : Localisation du lieu de l'expérience.

Un thermomètre a été mis au milieu de la serre en vue de suivre la variation de température ambiante tout au long du cycle de développement de notre espèce étudiée.

Les relevés quotidiens de la température ont été effectués à 3 moments de la journée : 9h, 12h et 16h. Le tableau n° 13 donne les moyennes par décade des températures enregistrées au niveau de la serre.

Tableau n° 13 : Moyennes des températures par décade en °C.

Périodes	Températures		
	09 ^h	12 ^h	16 ^h
17/12/2012 au 26/12/2012	11,9	26,1	24,1
27/12/2012 au 05/01/2013	9,5	20,1	20,9
06/01/2013 au 15/01/2013	8,7	20,8	22,2
16/01/2013 au 25/01/2013	10,8	17,2	18,7
26/01/2013 au 04/02/2013	9,2	22,5	22,9
05/02/2013 au 14/02/2013	8,0	17,8	22,5
15/02/2013 au 24/02/2013	10,1	22,3	24,0
25/02/2013 au 06/03/2013	6,62	19,7	19,0
07/03/2013 au 16/03/2013	14,0	25,7	24,3
17/03/2013 au 26/03/2013	16,8	24,5	24,4
27/03/2013 au 05/04/2013	19,4	27,2	26,2
06/04/2013 au 15/04/2013	17,9	29,0	26,6
16/04/2013 au 25/04/2013	20,5	29,8	27,2

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 25°C. Par contre, à partir de 12h les températures moyennes étaient plus favorables à la croissance et au développement de l'espèce étudiée.

Suite aux basses températures enregistrées au début de l'expérience et suite à l'absence de chauffage dans la serre, un abris plastique sous forme de mini serre a été mise en place et avait pour intérêt de créer un microclimat et augmenter ainsi la température environnante aux plantes afin de stimuler leur croissance.

4.3.2. Substrat :

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 assure grâce à sa porosité une meilleure aération pour les racines des plantes et forme un milieu défavorable pour le développement des micro-organismes. Cependant, afin d'éloigner tous les risques de contamination par les maladies, nous avons procédé à la désinfection du substrat de la manière suivante :

- ✓ Elimination des particules terreuses et des résidus organiques présents dans le gravier par un lavage abondant à l'eau.
- ✓ 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.

4.3.3. Conteneurs :

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

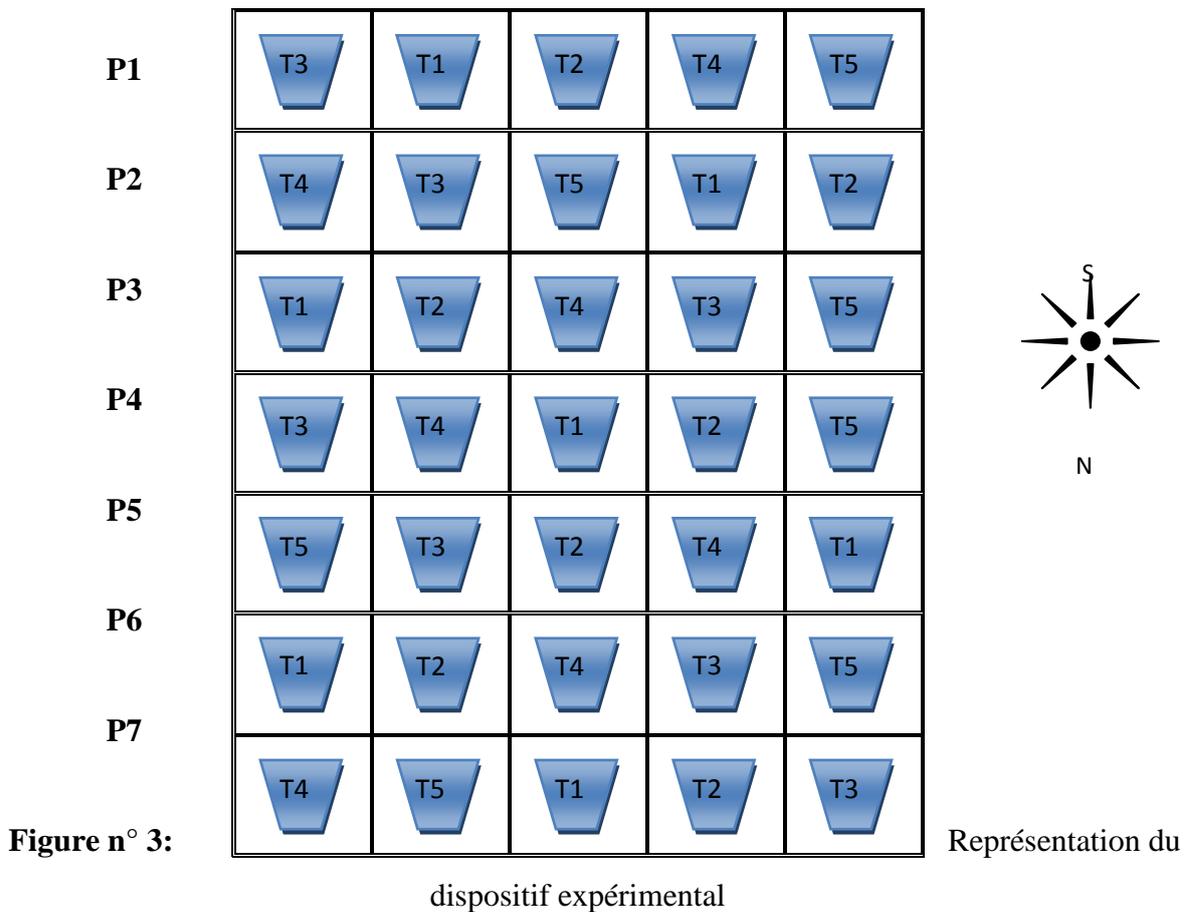


Figure n° 2 : Aspect général des conteneurs

4.4. Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental qu'on a adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dans le quel l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres de 1 à 10.

Le dispositif expérimental est un dispositif à un seul facteur étudié (facteur solution à 5 niveaux). L'ensemble est composé de cinq (5) traitements, et pour chaque traitement, nous avons sept (7) observations, soit 35 pots au total.



T1, T2, T3, T4 et T5 : Traitements.

P1, P2, P3, P4, P5, P6 et P7 : Plants.

 : Observations.



Figure n° 4 : Vue générale du dispositif expérimental

Les traitements utilisés sont :

- ✓ T1 : Solution saline naturelle d'Oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida avec un pH > 7,53.
- ✓ T2 : Solution saline naturelle d'Oued Chélif à qui on a corrigé seulement le pH à 5,5-5,8.
- ✓ T3 : Solution saline naturelle corrigée d'oued Chélif ayant un pH de 5,5-5,8.
- ✓ T4 : Solution saline diluée à 20% à partir de la solution nutritive T3.
- ✓ T5 : Solution saline diluée à 40% à partir de la solution nutritive T3.

4.5. Essai de germination :

L'essai de germination a été effectué au laboratoire le 06/12/2012. Les graines étaient déposées dans des boîtes de pétrie sur du papier buvard imbibé d'eau et ont été mises à l'intérieur d'une étuve réglée à une température de 25°C pendant une semaine. Le dénombrement des graines germées s'est fait sur trois répétitions de 50 graines. Le pourcentage de germination a été calculé à partir de la moyenne des trois répétitions et a donné une faculté germinative de 85% après cinq jours de germination.

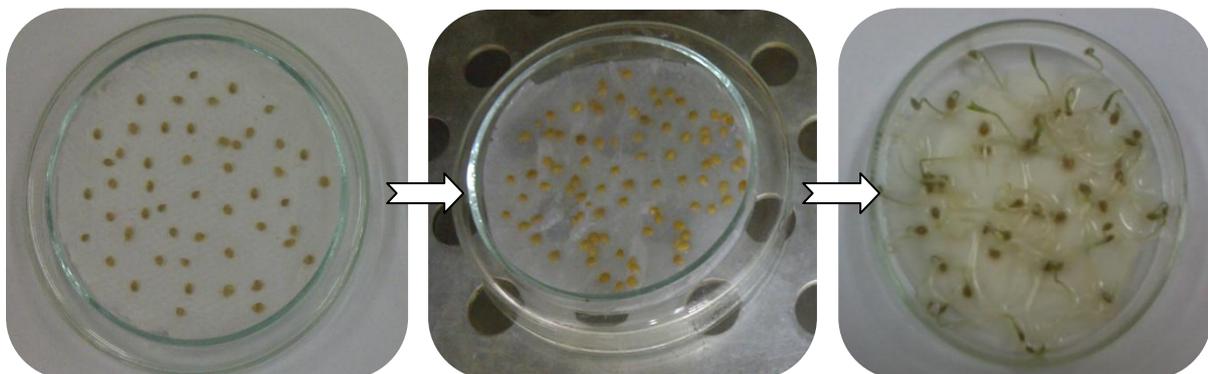


Figure n° 5 : Essai de germination des graines de tomate

4.5.1. Repiquage :

Après que les graines de tomate mises dans l'étuve aient germé, un repiquage en place définitive dans des pots a été réalisé le 13/12/2012 à raison de deux à trois germes par pot, soit 7 jours après le semis.



Figure n° 6 : Aspect général des jeunes plantules de tomate après le repiquage en pot.



Figure n° 7 : Jeune plantule de tomate.

Les jeunes plantules de tomate ont été irriguées avec l'eau du robinet qu'on faisait tiédir pour favoriser leur reprise et pour que leurs racines encore trop vulnérables ne soient pas agressées avec de l'eau froide.

L'arrosage avec de l'eau a duré jusqu'à l'apparition de la première feuille qui s'est déroulée le 25/12/2012, c'est-à-dire 13 jours après le repiquage. A partir de cette date, 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 10/01/2013.

Un éclaircissage a été effectué le 11/01/2013 pour laisser qu'une seule plantule et la plus vigoureuse par pot, et c'est à partir du 12/01/2013 soit 1 mois après le semis que nous avons commencé l'application des cinq traitements testés.



Figure n° 8 : Apparition de la première vraie feuille.



Figure n° 9 : Stade végétatif en début des traitements.

4.6. Description des traitements :

Pour la préparation des traitements on a utilisé l'eau potable de Blida, qui a été choisi uniquement pour des raisons pratiques, pour sa disponibilité dans le site expérimental et compte tenue les besoins en eau croissants des plantes.

Tableau n° 14 : Composition de l'eau de Blida et teneur des éléments minéraux (meq/l).

Elément	K ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	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)

4.6.1. Reconstitution de l'eau d'Oued Cheliff (T1) à partir de l'eau de Blida :

L'eau d'Oued Cheliff 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°15 : Composition de l'eau de Blida **Tableau n°16 :** Eau d'Oued Cheliff naturelle T1 reconstituée avec l'eau de Blida

pH = 7.8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0	0.35	0	0.80	0.60	0
Na ⁺ 1.30					1.30
Ca ⁺⁺ 2.80					2.80
Mg ²⁺⁺ 1.80					1.80
NH ₄ ⁺ 00					00
HCO ₃ ⁻ 4.08					4.08
Total	0.35	0	0.80	0.60	

reconstituée avec l'eau de Blida pH=7,52

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0	0.35	0	0.80	0.60	0.35
Na ⁺ 1.30			1.14	7.46	9.90
Ca ⁺⁺ 2.80				6.45	9.25
Mg ⁺⁺ 1.80			7.40		9.20
NH ₄ ⁺ 0					
HCO ₃ ⁻ 4.08					4.08
Total	0.35	0	9.35	14.86	

➤ Quantités et ordre de dissolution des sels : T1

- KCl = 0.35 × 74.54 = 26.08 mg/l
- Na₂SO₄ = 1.14 × 71.01 = 80.95 mg/l
- NaCl = 7.46 × 58.43 = 435.88 mg/l
- CaCl₂ = 6.45 × 73.49 = 474.01 mg /l
- MgSO₄ = 7.40 × 123.18 = 911.53mg /l
- Teneur de l'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total = 2362.35 mg/l

Soit 2.36 g/l

4.6.2. Elaboration de la solution saline corrigée T2 :

Pour l'obtention du traitement T2, on a corrigé uniquement le pH de la solution saline naturelle d'Oued Cheliff (T1), en le rapportant de 7,52 à 5,5 – 5,8 par l'utilisation de l'acide phosphorique (H₃PO₄) et de l'acide nitrique (HNO₃) qui agissent en détruisant partiellement les bicarbonates.

Ces deux acides permettent non seulement l'abaissement du pH mais aussi l'apport des éléments utiles à la plante tels que les nitrates et les phosphates.

La quantité d'acide à apporter pour abaisser le pH est calculée selon la formule suivante:

✓ $Q \text{ (még)} = (\text{quantité d'HCO}_3 \text{ dans l'eau en még}) \times 0.833$ Donc :

✓ $Q = 4.08 \times 0.833 = 3.30 \text{ még / l d'eau}$

Cette quantité d'acide sera partagée entre:

- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.1 \text{ még / l}$ (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 még / l de phosphore)
- $\text{HNO}_3 = 3.3 - 1.1 = 2.2 \text{ még / l}$ (besoin partiel en nitrates).

Tableau n° 17 : Eau d'Oued Cheliff naturelle pH= 5,5 - 5,8

	NO_3^- 0.35	PO_4^{3-} 0	SO_4^{2-} 0.80	Cl^- 0.60	Total
K^+ 0				0.35	0.35
Na^+ 1.30			1.14	7.46	9.90
Ca^{++} 2.80				6.45	9.25
Mg^{++} 1.80			7.40		9.20
NH_4^+ 0					0
HCO_3^- 4.08	2,20	1,10			7,38
Total	2,55	1,10	9.35	14.86	

➤ **Quantités et ordre de dissolution des sels : T2**

- $\text{HNO}_3 = 2.20 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{KCl} = 0.35 \times 74.54 = 26.08 \text{ mg/l}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 1.14 \times 71.01 = 80.95 \text{ mg/l}$
- $\text{NaCl} = 7.46 \times 58.43 = 435.88 \text{ mg/l}$
- $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.49 = 474.01 \text{ mg /l}$
- $\text{MgSO}_4 = 7.40 \times 123.18 = 911.53 \text{ mg /l}$
- Teneur de l'eau de Blida = 433.9 mg/l

Total = 2608,75 mg/l

Soit 2,60 g/l

4.6.3. Elaboration du traitement T3 :

Le traitement T3 est une correction du traitement T1. Il renferme tous les éléments nécessaires au développement des plantes, à savoir les macroéléments et la solution complémentaire d'oligoéléments avec correction de pH (5,5-5,8).

Tableau n° 18 : Elaboration du traitement T3.

	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ³⁻ 0	SO ₄ ²⁻ 0.80	Cl ⁻ 0.60	Total
K ⁺ 0				4.35	4.35
Na ⁺ 1.30			0,42	8,18	9.90
Ca ⁺⁺ 2.80	5,85			0,60	9.25
Mg ⁺⁺ 1.80			7.40		9.20
NH ₄ ⁺ 0	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3 ,30	8,62	13,50	

Tableau n° 19 : Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments.

Solution « A »			Solution « B »		
Eléments	Dose g/l	Prélèvement (ml)	Elément	Dose g/l	Prélèvement (ml)
Molybdate d'ammonium (NH ₄) ₆ (MO ₇ O ₂₄) 4H ₂ O	0,50	0,10	Séquestrène de fer	2.00	5.00
Acide borique (H ₃ BO ₃)	15,00				
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ , 5H ₂ O)	20,00				
Sulfate de cuivre (CuSO ₄ , 5H ₂ O)	2,50				
Sulfate de zinc (ZnSO ₄ , 7H ₂ O)	10.00				

➤ **Qualités et ordres de dissolution des sels : T3**

- $\text{HNO}_3 = 2.20 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l}$
 - $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
 - $\text{KCl} = 4.35 \times 74.54 = 324.24 \text{ mg/l}$
 - $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0.42 \times 71.02 = 29.82 \text{ mg/l}$
 - $\text{NaCl} = 8.18 \times 58.43 = 477.95 \text{ mg/l}$
 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 5.85 \times 118.07 = 690.53 \text{ mg/l}$
 - $\text{CaCl}_2 = 0.60 \times 73.9 = 44.09 \text{ mg/l}$
 - $\text{MgSO}_4 = 7.40 \times 123.18 = 911.53 \text{ mg/l}$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80.00 = 144.0 \text{ mg/l}$
 - Teneur de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
 - Oligo-éléments A et B = 14.8 mg/l
- Total = 3317.26 mg/l
Soit 3.31 g/l

4.6.4. Elaboration du traitement T4 : dilution à 20% du T3

Pour obtenir le traitement T4, on a dilué cinq fois le traitement T3. Pour 1 litre de T4 on prend 200ml de T3 et on l'ajuste jusqu'à 1000ml avec de l'eau naturelle.

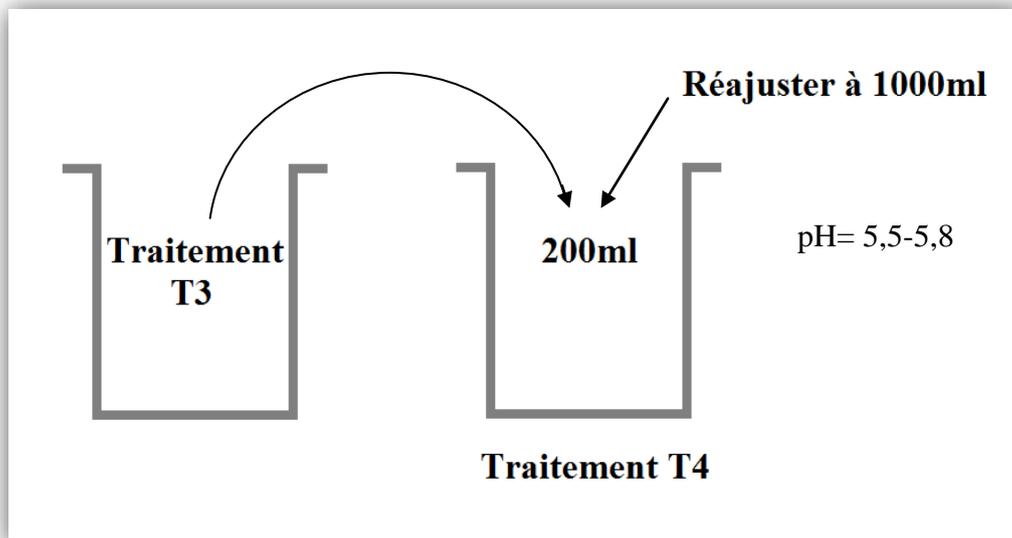


Figure n° 10 : Préparation du traitement T4.

4.6.5. Elaboration du traitement T5 : dilution à 40% du T3

Pour la constitution du traitement T5, on prend 400ml de la solution nutritive T3 et on l'ajuste jusqu'à 1000ml avec de l'eau naturelle, et de la sorte on aurait dilué deux fois et demi le traitement T3.

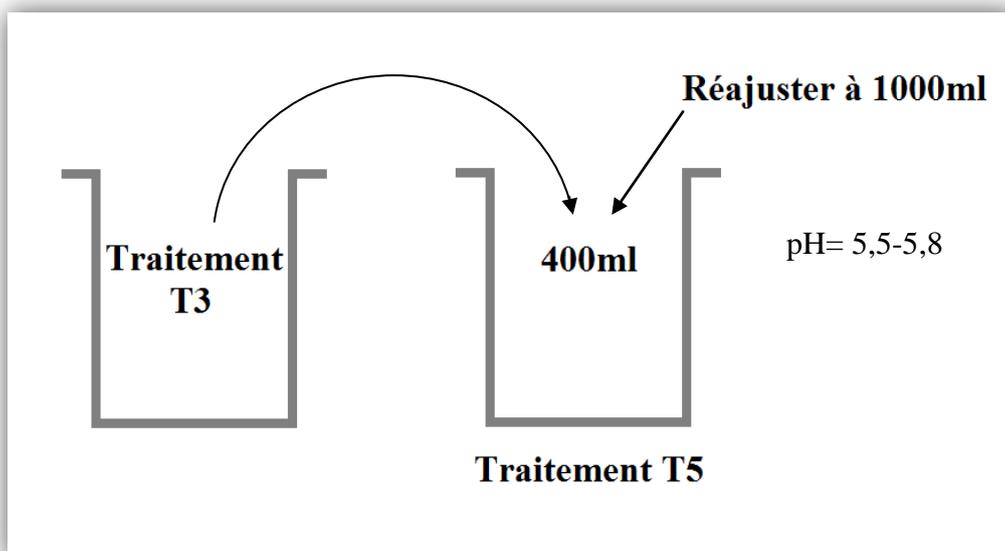


Figure n° 11 : Préparation du traitement T5.

4.7. Entretien de la culture :

4.7.1. L'irrigation :

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

En culture hors sol il est nécessaire de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, pour pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal afin d'éviter les carences et les éventuels excès de solution nutritive.

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

Tableau n° 20 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaires pour la culture de la tomate.

Dates	Stade végétatif	Dose d'irrigation	Fréquence	Apports journaliers
13.12.2012 au 12.01.2013	Germination au stade quatre feuilles	20ml	3fois / jour	60 ml /jour
13.01.2013 au 24.02.2013	Stade quatre feuilles au début floraison	50ml	3fois / jour	150ml / jour
25.02.2013 au 13.03.2013	Début floraison au début nouaison	100ml	3fois / jour	300ml / jour
14.03.2013 au 23.04.2013	Formation des fruits à la récolte	150ml	4fois / jour	600ml / jour

4.7.2. 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° 21 : Programme des traitements phytosanitaires appliqués.

Dates	Produit	Matière active	Désignation	Dose	Fréquence du traitement
05/02/2013	Duresban	Chorpyriphos-éthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3 g/l	1 fois
23/01/2013	Medomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g/l	1 fois

4.7.3. 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 mené à placer des ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées.



Figure n° 12 : Vue générale des plantes après palissage.

4.7.4. 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 2^{ème} bouquet en laissant deux feuilles au dessus de ce dernier. Cette opération a débuté le 10/03/2013.

4.7.5. Lessivage :

Afin d'éliminer les sels non absorbés par les plantes et éviter qu'ils s'accumulent au fond du pot faussant ainsi les concentrations de départ, un arrosage a été effectué chaque week-end avec l'eau du robinet.

4.8. Paramètres étudiés :

4.8.1. Dosage de la proline :

La proline est dosée selon le procédé utilisé par TROLL et LINDESLY (1955), simplifié et mise au point par DREIER et GORING (1974) et modifié par MONNEVEUX et NEMMAR (1986).

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

La méthode consiste à mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai et leur ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à ébullition au bain Marie à 85°C pendant 60 min.

Après refroidissement, 1 ml de la solution est prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, on ajoute 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine ainsi que 1 ml d'un mélange contenant; 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique et 80 ml d'acide ortho phosphorique.

Les tubes sont portés à ébullition au bain Marie durant 30 min. Au refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent. On prélève la phase supérieure à laquelle on ajoute 5 mg de sulfate de sodium, puis on les laisse au repos pendant 48h. On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre (UV) à la longueur d'onde de 528 nm.

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

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

4.8.2. Dosage de la chlorophylle :

L'extraction de la chlorophylle (a) et (b) a été réalisé selon la méthode de FRANCIS et *al* (1970). Cette méthode consiste en une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange contenant de l'acétone et de l'éthanol à 75% et 25% de volume et à 80% et 40% de concentration. Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans des 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 (UV), à trois longueurs d'ondes ; (470, 645 et 663 nm). La détermination des teneurs est 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 de la solution extraite et W : le poids de la matière fraîche de l'échantillon.

4.8.3. Paramètres physiologiques :

- ❖ **Hauteur des plantes :** Pour déterminer la vitesse de croissance des plantes, nous avons mesuré périodiquement leurs hauteurs du collet jusqu'à l'apex à l'aide d'une règle graduée. Les hauteurs finales ont été mesurées au moment de la coupe.
- ❖ **Nombre de feuilles :** Le nombre de feuilles a été comptabilisé au moment de la coupe, pour chaque plant.
- ❖ **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.
- ❖ **Distance entre les bouquets et longueur des racines.**
- ❖ **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 ainsi que des racines.
 - D'un échantillon moyen des feuilles.
 - D'un échantillon moyen des tiges.
 - D'un échantillon moyen des racines
- ❖ **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.
- ❖ **Taux de la matière sèche produite :** Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%] et calculé comme suit : $\% \text{MS} = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100.$
Nous avons calculé juste le taux de la matière sèche totale (feuilles + tiges).

4.8.4. Paramètres de production :

- ❖ **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.
- ❖ **Nombre de fleur et nombre de fruit par plant et par bouquet.**
- ❖ **Poids frais des fruits :** Le poids a été mesuré grâce à une balance.

Chapitre V : Résultats et discussions

5.1. Paramètres de croissance :

5.1.1. Aspect général des plantes :

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



Figure n° 13 : Aspect général des plants de tomate alimentés par les différents traitements.

Les plantes irriguées avec la solution saline naturelle (T1), sont frêles, de couleur jaunâtre et possèdent un nombre réduit de feuilles et de fleurs. Alors que les plantes irriguées par les solutions salines corrigées (T3, T4 et T5) et partiellement corrigée (T2) sont plus vigoureuses et bien développées.

Nous remarquons ainsi au niveau des plantes arrosées par la solution nutritive T3, un nombre élevé de fleurs et une forte densité de feuillage d'une couleur verte foncée. Le traitement T3 donne alors l'aspect le plus développé, suivi du traitement T5 qui présente une allure assez proche (figure 15).

Nous distinguons également une densité et une couleur de feuillages similaires entre les plantes alimentées par le traitement T4 et celles alimentées par la solution saline naturelle T2 (figure 13). En effet, les deux traitements précités présentent une densité de feuillage moyenne avec une couleur verte claire.



Figure n° 14: Comparaison entre les plantes irriguées par la solution saline corrigée T3 et la solution saline naturelle T1.



Figure n° 15: Comparaison entre les plantes irriguées par la solution saline corrigée T3 et la solution saline naturelle T2.



Figure n° 16: Comparaison entre les plantes irriguées par la solution saline corrigée T3 et sa dilution à 40% T5.



Figure n° 17: Comparaison entre les plantes irriguées par la solution saline naturelle T1 et la solution saline corrigée T2.

5.1.2. La vitesse de croissance des plantes :

La courbe suivante montre l'évolution de la vitesse de croissance des plantes de tomate pendant une période de deux mois, allant du début de croissance au début de l'étêtage des plantes.

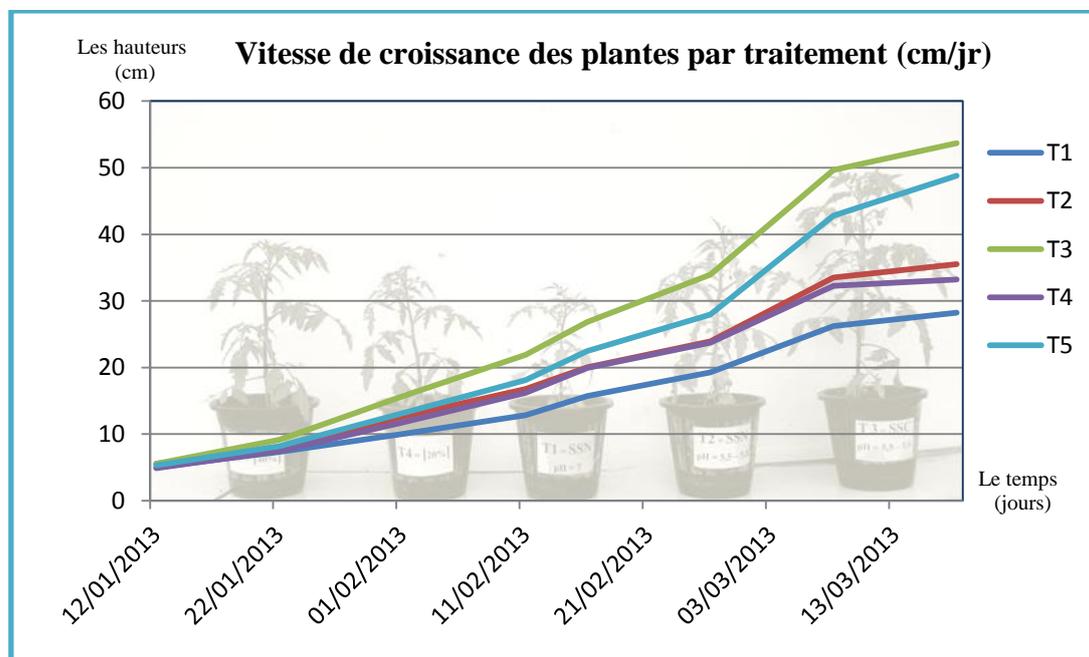


Figure n° 18 : Vitesse de croissance des plantes de tomate en cm/jour.

D'après la figure n°18, la croissance des plantes a commencé assez lentement. Elle était presque homogène dans la première période de mesure qui va du 12/01/2013 au 22/01/2013 et ceci pour tous les traitements. La longueur de la tige variait de 5 à 7 cm il n'y avait donc pas de différence significative entre les traitements. C'est à partir du 01/02/2013 que des différences de comportement commençaient à apparaître.

Dès le 11/02/2013 soit un mois après l'application des traitements, la vitesse de croissance devenait rapide en particulier pour les plantes issues des deux traitements corrigés T3 et T5. Tandis que pour les plantes alimentées par les traitements T2 et T4, on observe des moyennes de vitesse de croissance plus lentes, de l'ordre de 16 cm. Ces moyennes sont encore plus faibles en ce qui concerne le traitement salin naturel T1. Il semble que c'est durant cette période que le facteur salinité a commencé à inhiber la croissance.

Au-delà du 21/02/2013, 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 50 cm pour le traitement T3. 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 T3 et T5 (50 à 55 cm) respectivement suivi par les solutions T2 et T4 avec (35 cm environ).

Cette observation peut être expliquée par l'équilibre ionique parfait des solutions salines corrigées et leur richesse en éléments nutritifs appropriés à la croissance des plantes notamment l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments. Contrairement au traitement T1 qui présente un déséquilibre ionique et une carence nutritionnelle en macro et micro-éléments.

On remarque aussi que la correction du pH au niveau du traitement salin naturel T2 semble avoir un effet notable sur l'évolution de la croissance. Ce dernier a pu concurrencer et dépasser les moyennes obtenues au niveau des plantes alimentées par le traitement T4. 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.

5.1.3. Hauteur finale des plantes [cm] :

La hauteur finale des tiges a été mesurée lors de la coupe au niveau de chaque plant, à partir du collet jusqu'à l'apex.

Tableau n° 22 : Hauteur moyenne des tiges en (cm).

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Paramètre					
Hauteur finale des plantes	53.57 ± 0.53 e	59.76 ± 0.78 c	64.27 ± 0.40 a	58.14 ± 0.88 d	61.41 ± 0.72 b

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur la hauteur finale des tiges. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes à savoir (a), (b), (c), (d) et (e).

Les résultats obtenus lors de la coupe finale indiquent qu'il y a une augmentation de la hauteur des plantes de tomate au niveau des traitements corrigés (T3, T4 et T5) ainsi qu'au niveau du traitement T2 et ce en comparaison avec le traitement salin naturel T1.

Nous remarquons d'après le tableau n°22 que la hauteur finale la plus élevée est enregistrée chez les plantes irriguées par la solution nutritive T3 avec une moyenne de 64,27cm, suivie par les traitements T5, T2 et T4 respectivement. Ceci peut être expliqué par l'équilibre ionique idéal des traitements corrigés et leur richesse en éléments fertilisants. Pour ce qui est du traitement salin naturel à pH = 5,5-5,8 (T2), il s'avère que la correction de son pH a joué un grand rôle dans la hausse de la hauteur finale et cela en dépit du déséquilibre ionique de cette solution.

A l'inverse le traitement salin naturel T1 a donné la hauteur la plus faible avec une moyenne de 53,57 cm. Ces observations sont conformes à celles obtenues par IMALET (1979), qui montre que l'irrigation avec une eau chargée en sels nocifs tels que le NaCl, engendre le nanisme des plantes et leur décadence suite à une réduction de la croissance en hauteur.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la hauteur finale des plants par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 23 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
Hauteur finale des plantes	12%	20%	8%	15%

Le tableau n° 23 montre que le facteur traitement influe significativement sur la hauteur finale des plantes. Ainsi le traitement T3 prend la première position avec un accroissement de 20% suivi de près par le traitement T5 et ce par rapport au traitement T1. Toutefois on a remarqué que le pourcentage atteint par le traitement salin naturel T2 où seul le pH a été corrigé, est supérieur à celui de la solution diluée T4 qui donne l'accroissement le moins important.

5.1.4. Distance entre les bouquets floraux [cm] :

La figure ci-dessous montre la distance qu'il y'a entre les deux premiers bouquets floraux. Cette mesure a été effectuée pour chaque plant à l'approche de la coupe finale.

Les calculs statistiques nous révèlent une différence significative entre les traitements corrigés et le traitement salin naturel T1. Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) classe les traitements testés en deux groupes homogènes (a) et (b), le premier regroupe les traitements (T2, T3, T4 et T5), le second contient seulement le traitement T1.

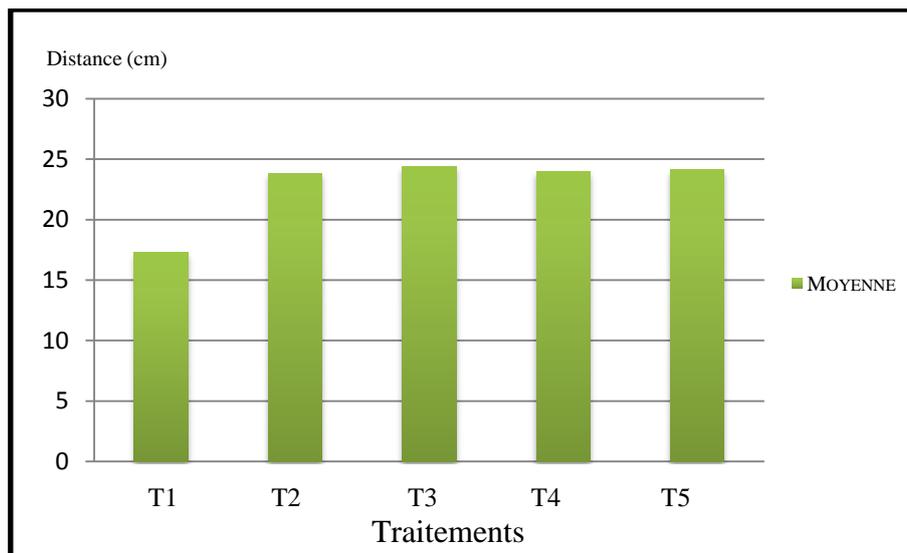


Figure n° 19 : Distance entre les bouquets floraux (cm).

Nous constatons que les moyennes obtenues grâce aux traitements (T2, T3, T4 et T5) sont plus ou moins rapprochées, le facteur traitement n'exerce donc aucun effet sur le paramètre mesuré. Néanmoins, on remarque que le traitement T3 semble présenter la valeur la plus élevée. Tandis que le traitement T2 présente la valeur la moins importante (Annexe 2).

Par contre, il y'a une différence très significative entre les valeurs obtenues par le traitement salin naturel T1 et celles obtenues par les quatre autres traitements. Celui là enregistre la distance entre les bouquets la plus courte. Sa forte concentration en sel induit un retard de croissance des plantes et provoque un raccourcissement des stades phénologiques.

La distance entre les bouquets est en relation directe avec la productivité, puisque une distance courte marque la présence d'un grand nombre de bouquets floraux.

Il est essentiel d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la distance entre les bouquets par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 24 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitement	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
Distance entre les bouquets	38%	41%	39%	40%

L'accroissement de la distance entre les bouquets floraux par rapport au traitement T1 est très significatif. Mais, il ne l'ait pas vraiment au sein des traitements T2, T3, T4 et T5

5.1.5. Diamètre des tiges (mm) :

Les tiges ont été mesurées au moment de la coupe finale à l'aide d'un pied à coulisse au niveau du collet de chaque plant, les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 25.

Tableau n° 25 : Diamètre moyen des tiges en (mm).

Traitements \ Paramètre	T1	T2	T3	T4	T5
Diamètre des tiges	4.00 ± 0.58 d	7.57 ± 0.79 c	12.86 ± 0.69 a	7.00 ± 0.58 c	8.57 ± 0.53 b

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° 25, nous pouvons constater que c'est le traitement T3 qui offre aux plantes le plus gros diamètre, vient ensuite le traitement T5 avec une moyenne assez éloignée de celle du T3 mais qui reste toujours supérieur aux valeurs obtenues par les traitements T2 et T4. Ces deux derniers appartiennent au même groupe homogène (c) et présentent presque les mêmes moyennes (7,57 et 7 mm).

Le diamètre le plus petit est celui observé chez les plantes arrosées avec l'eau saline naturelle T1. 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.

Il est essentiel de dresser un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir le diamètre des tiges par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 26 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
Diamètre des tiges	89%	222%	75%	114%

Selon les pourcentages obtenus dans le tableau ci-dessus nous constatons que le facteur traitement influe considérablement sur le diamètre des tiges. En effet le traitement T3 est en tête du classement car il a triplé de diamètre par rapport au T1 avec une augmentation de 222%. Suivi respectivement par les solutions T5, T2 et T4.

5.1.6. Nombre de feuilles par plant :

Le dénombrement des feuilles s'est réalisé au moment de la coupe finale au niveau de chaque plant.

Tableau n° 27 : Nombre moyen de feuilles par plant.

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Paramètre					
Nombre de feuilles	10.43 ± 0.98 d	12.29 ± 0.76 c	14.71 ± 0.95 a	13.14 ± 0.90 bc	13.71 ± 0.76 b

L'analyse de la variance dévoile une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les moyennes du paramètre mesuré. Le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$) montre l'existence de cinq groupes homogènes.

Le facteur traitement a une répercussion sur la production des feuilles, le nombre le plus élevé est localisé chez les plantes traitées par la solution nutritive T3. Derrière vient le traitement T5 et T4 avec un nombre de feuilles très proche de celui du traitement T3, démontrant ainsi que la dilution à 20% et à 40% de ce dernier a eu une action remarquable sur ce paramètre.

Les résultats restent 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 T1 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).

En effet, quand le sodium se trouve en excès il bloque le transfert de certains éléments vers la partie aérienne des plantes et rend difficile l'ajustement osmotique qui crée par la suite une mauvaise absorption hydrominérale. Celle là se traduit principalement par la réduction du nombre de feuilles.

Donc le fait de corriger la composition ionique des eaux salines naturelles, on améliore la production de la biomasse des feuilles.

Il est indispensable d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir le nombre de feuilles par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 28 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements \ Accroissement	T2	T3	T4	T5
Nombre de feuilles	18%	41%	26%	31%

Suivant les résultats rapportés dans le tableau plus haut, on déduit que le paramètre traitement a eu un impact sur le nombre de feuilles par plant. On repère que le traitement T3 a le taux le plus élevé avec 41% suivi par le T5 avec 10% en moins. Le traitement T2 vient en dernière position, mais malgré cela son accroissement est significatif envers le traitement T1.

5.1.7. Biomasse fraîche totale [g] :

Le poids frais total est mesuré au moment de l'arrachage final pour chaque plant. Les résultats recueillis sont annoncés dans la figure suivante :

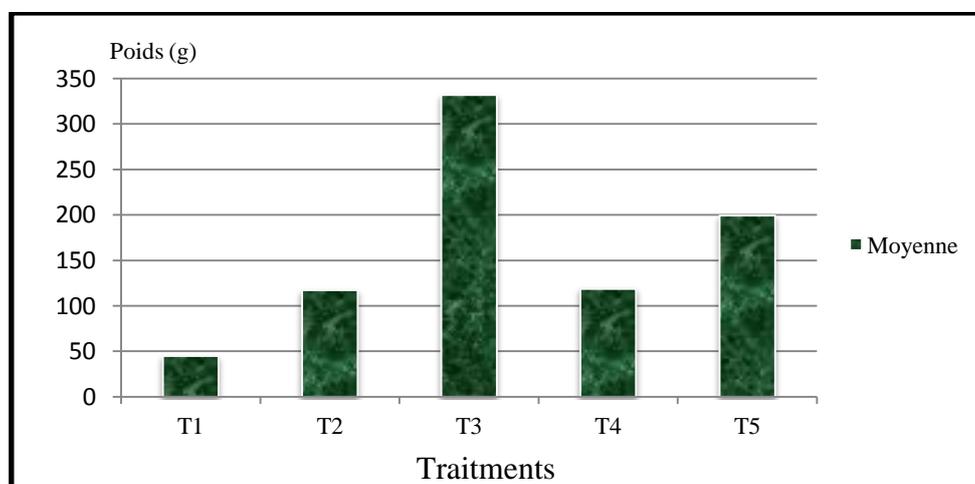


Figure n° 20 : Biomasse fraîche totale (g).

L'analyse de la variance concernant la production de biomasse fraîche totale indique que la différence entre les traitements est très hautement significative. Effectivement, le test de Newman et Keuls au risque d'erreur $\alpha = 5\%$, fait ressortir quatre groupements homogènes (Annexe 5).

Le premier groupe (a) contient le traitement T3 qui présente la moyenne la plus élevée avec environ 330 g de biomasse fraîche totale par plant (figure n°20). On constate ainsi que la correction de la solution saline naturelle T1 a donné un résultat révélateur.

Le second groupe (b) renferme uniquement le traitement T5. Par conséquent, la dilution de la solution nutritive T3 à 40% influe positivement sur le paramètre mesuré.

Le groupe (c) rassemble les traitements T2 et T4, avec des moyennes plus ou moins faibles. On remarque cependant qu'on a amélioré la production de biomasse fraîche totale au niveau du T2, en lui corrigeant juste le pH (5.5-5.8) et cela par rapport au traitement T1 qui fait parti du dernier groupe (d).

La solution saline non corrigée (T1) donne les valeurs les plus faibles (environ 45 g), en raison des fortes concentrations en sels qu'elle contient. En outre, cet excès de sel réduit le potentiel hydrique, cause des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité. Cet état hydrique altéré mène à une croissance réduite et à une limitation de la biomasse fraîche totale. Selon ZHU (2001), la réduction de la croissance de la partie aérienne est un mécanisme d'adaptation nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress salin. En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la biomasse fraîche totale des plants par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 29 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
Biomasse fraîche totale	161%	631%	164%	343%

L'effet du facteur traitement sur la biomasse fraîche totale est très expressif. Nous décelons à partir du tableau n°29 que c'est toujours le traitement T3 qui prend la première position avec un taux d'accroissement très élevé qui dépasse de six fois celui des traitements T2 et T4. La

solution diluée T5 a donné un accroissement acceptable par rapport au T3, mais meilleur que celui du traitement T1.

5.1.8. Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines [g] :

Pour ce paramètre nous avons pesé les différentes parties de la plantes (feuilles, tiges et racines). Les résultats obtenus sont cités dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 30 : Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines [g].

Traitements Paramètres	T1	T2	T3	T4	T5
Biomasse fraîche des feuilles	29.07	85.34	273.97	91.18	158.21
	±	±	±	±	±
	1.26 e	0.87 d	0.95 a	1.31 c	0.86 b
Biomasse fraîche des tiges	15.91	32.03	58.03	27.55	41.21
	±	±	±	±	±
	0.78 e	1.20 c	1.07 a	0.96 d	1.19 b
Biomasse fraîche des racines	37.10	83.42	137.21	84.81	125.51
	±	±	±	±	±
	0.78 e	0.58 d	0.89 a	0.98 c	0.83 b

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les moyennes du paramètre mesuré et cela dans les différentes parties de la plante, que se soit pour les feuilles, pour les tiges ou pour les racines. Cette différence met en évidence l'influence des solutions nutritives sur la biomasse fraîche. Le test de Newman-Keuls au seuil $\alpha = 5\%$, montre l'existence de cinq groupes homogènes.

D'après les données que contient le tableau n°30, les plantes arrosées avec les solutions salines corrigées (T3, T4 et T5) ont le poids frais le plus important. A l'inverse des plantes issues du traitement salin non corrigé T1 où l'effet de la salinité s'est manifesté par une réduction significative du poids frais des feuilles, des tiges et des racines.

La biomasse fraîche des feuilles a été énormément affecté par la salinité du traitement T1 en présentant la valeur la plus faible, ce qui montre bien qu'il y'a eu une déshydratation du cytoplasme cellulaire et un dessèchement précoce des plantes, causé par un déficit hydrique.

MAILLARD (2001), note à ce propos que les ions de sodium et de chlorite peuvent être absorbés par les racines et s'entasser dans les feuilles en provoquant leur brûlure et leur jaunissement prématuré.

En revanche, la correction des eaux salines affecte positivement la biomasse fraîche des feuilles, comme c'est le cas pour le traitement T3 qui donne le poids frais le plus élevé avec 273.97g. Ce résultat est le fruit d'une bonne composition chimique et d'un bon équilibre ionique au sein de ces milieux nutritifs. Ceci signifie que la production de phytomasse fraîche dépend de l'enrichissement du milieu de culture en éléments nutritifs et plus particulièrement de l'azote et de la potasse, car selon MUSARD (1988), la potasse joue un rôle primordial dans le développement des feuilles, et d'après HELLER *et al* (1998), une carence en azote provoque un ralentissement de croissance et une diminution du développement des feuilles.

En ce qui concerne la biomasse fraîche des tiges, on constate que les valeurs les moins importantes sont celles du traitement salin naturel T1 qui donne un aspect mince aux tiges. Alors que les meilleures performances ont été observées chez les traitements corrigés (T3 et T5) ainsi que chez le traitement salin naturel T2 qui donne de meilleurs résultats que la solution corrigée T4.

Pour ce qui est du poids frais des racines, il diminue progressivement avec l'intensité du stress salin, il va de 37,10 g chez le traitement salin naturel T1 à 137,21 g chez le traitement corrigé T3. Cette différence est statistiquement très hautement significative.

Les plantes issues de la solution saline naturelle 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_3 et le NaCl . Au contraire, les plantes issues des solutions salines corrigées (T3) produisent une biomasse racinaire bien développée et dense. On constate donc que la correction des solutions salines naturelles améliore le développement des racines.

Des observations analogues ont été faites par MOURAVINE *et al* (1977), où il a été noté que l'insuffisance en éléments fertilisants et spécialement le calcium agit sur l'état du système racinaire des plants, entraînant un retard de la croissance des racines avec la non-formation des poils absorbants.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement des paramètres mesurés à savoir la matière fraîche des feuilles, des tiges et des racines par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 31 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements \ Accroissement	T2	T3	T4	T5
Matière fraîche des feuilles	194%	842%	214%	444%
Matière fraîche des tiges	101%	265%	73%	159%
Matière fraîche des racines	125%	270%	129%	238%

L'accroissement le plus élevé par rapport au T1 est observé au niveau des plantes alimentées par les solutions (T3 et T5). Suivi par le traitement corrigé T4 qui a donné la moitié de ce que le traitement T5 a donné, cela est dû à sa forte dilution (20%) par rapport au T5 (40%). En dernier vient le traitement salin naturel T2 avec l'accroissement le plus faible. Ces observations sont les mêmes que ce soit pour la biomasse fraîche des feuilles, des tiges ou des racines.

5.1.9. Longueur des racines [cm] :



Figure n° 21: Effet des solutions nutritives sur la 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. Les longueurs obtenues sont affichées dans le tableau n°32 et illustrées par la figure ci-dessus.

Tableau n° 32 : La longueur des racines (cm).

Traitements \ Paramètre	T1	T2	T3	T4	T5
Longueur des racines	41.00 ± 1.00 c	45.29 ± 1.41 a	46.79 ± 1.25 a	43.43 ± 1.16 b	46.71 ± 1.68 a

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

Les meilleures performances sont données par les traitements corrigés T3 et T5, suivi de près par la solution saline naturelle T2. On observe également que les racines des plantes irriguées par le traitement salin T1 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 corrigées 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.

Il est indispensable de dresser un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la longueur des racines par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 33 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements \ Accroissement	T2	T3	T4	T5
Longueur des racines	10%	14%	6%	14%

On constate d'après le tableau précédent que le facteur traitement a eu une répercussion significative sur l'augmentation de la longueur des racines. Cependant cet accroissement est moindre par rapport à celui des autres paramètres mesurés.

5.1.10. Biomasse sèche totale [g] :

Les résultats obtenus grâce à l'analyse statistique, nous montrent que les traitements testés lors de notre expérimentation ont un effet très hautement significatif sur la biomasse sèche totale (tableau n°34).

Tableau n° 34 : Biomasse sèche totale (g).

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Paramètre					
Biomasse sèche totale	6.54 ± 0.19 e	12.85 ± 0.20 d	31.32 ± 0.19 a	13.60 ± 0.26 c	19.94 ± 0.15 b

L'analyse de la variance pour la biomasse sèche totale révèle un effet très hautement significatif ($P < 0.001$) du facteur traitement. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupements homogènes. Le groupe (a) renferme le traitement salin corrigé (T3) qui donne la biomasse sèche aérienne la plus élevée, suite à son équilibre ionique et à sa composition chimique parfaite pour la croissance des plantes.

Le groupe (b) est représenté par la solution nutritive diluée (T5), avec un poids sec moyen de 19.94 g/plant. Cela est expliqué par sa richesse en éléments minéraux essentiels au développement aérien des cultures.

Les groupes (c) et (d) classent respectivement les deux traitements (T4 et T2) qui enregistrent des valeurs assez proches. On remarque que le potentiel hydrogène favorable du traitement T2 a facilité pour les plants de tomate l'absorption hydrominérale et du fait a augmenté considérablement le poids sec total par rapport au traitement T1 dont le pH est alcalin ($\text{pH} > 7$) et qui fait parti du dernier groupe (e) en donnant le poids sec le plus bas.

Le traitement salin naturel T1 entraîne donc une chute considérable dans la production de matière sèche. Des résultats similaires, ont été rapportés par plusieurs auteurs, entre autres HOUCHI et COUDRET (1994) qui ont expliqué que la réduction de la biomasse sèche était en relation directe avec la salinité qui réduit énormément les teneurs en N, P, K^+ , Mg^{++} et Ca^{++} en accentuant l'accumulation du Na^+ du Cl^- qui s'avèrent être très nocifs pour la croissance des plantes. En effet, selon BOUZID (2010), la salinité inhibe la croissance des organes de la partie aérienne ce qui se présente très visiblement sur le squelette de ces plantes entraînant un faible taux de la biomasse sèche totale produite.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la biomasse sèche totale par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 35 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements Accroissement	T2	T3	T4	T5
Biomasse sèche totale	97%	379%	108%	205%

On constate d'après le tableau plus haut que le traitement salin corrigé T3 entraîne une hausse significative de la matière sèche par rapport au traitement T1 avec un pourcentage de 379%. Le traitement T5 accroît aussi le poids sec total de 205%. Tandis que les traitements (T2 et T4) donnent les accroissements les plus bas.

5.1.11. Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines [g] :

Pour ce paramètre nous avons pesé les différentes parties de la plantes (feuilles, tiges et racines) après séchage. Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant :

Tableau n° 36 : Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines (g).

Traitements Paramètres	T1	T2	T3	T4	T5
Biomasse sèche des feuilles	3.70	8.02	23.38	9.22	14.21
	±	±	±	±	±
	0.16 e	0.08 d	0.08 a	0.13 c	0.07 b
Biomasse sèche des tiges	2.83	4.82	7.93	4.38	5.72
	±	±	±	±	±
	0.13 e	0.18 d	0.14 a	0.15 c	0.16 b
Biomasse sèche des racines	4.03	6.89	20.61	12.31	19.34
	±	±	±	±	±
	0.08 e	0.05 d	0.13 a	0.14 c	0.13 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 cinq groupes homogènes.

On peut constater d'après les résultats recueillis dans le tableau n°36 que le traitement corrigé (T3) enregistre les meilleures performances et au niveau des trois parties de la plantes (feuilles, tiges et racines). Cela est lié à son équilibre ionique, à sa richesse en éléments nutritifs et à son pH favorable.

En revanche les traitements salins naturels (T1 et T2) manifestent le poids sec le plus faible au niveau des feuilles et des tiges ainsi qu'au niveau des racines. 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 tomate 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.

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.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement des paramètres mesurés à savoir la biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 37 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements Accroissement	T2	T3	T4	T5
Biomasse sèche des feuilles	117%	532%	149%	284%
Biomasse sèche des tiges	70%	180%	55%	102%
Biomasse sèche des racines	71%	411%	205%	380%

Le tableau précédent révèle que le facteur traitement a un effet remarquable sur la biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines. La solution nutritive T3 est classée en première place pour les trois organes de la plantes avec des pourcentages très élevés. Suivi par les solutions diluées (T4 et T5).

5.1.12. Taux de matière sèche totale [%] :

L'analyse de la variance dévoile une différence très hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de la matière sèche totale, ce qui met en évidence l'influence des traitements testés sur le paramètre mesuré. En effet, le teste de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes.

Tableau n° 38 : Taux de matière sèche total (%).

Traitements \ Paramètre	T1	T2	T3	T4	T5
Taux de matière sèche totale	14.54 ± 0.07 a	10.95 ± 0.04 c	9.43 ± 0.01 e	11.45 ± 0.02 b	10.0 ± 0.02 d

On note d'après le tableau n°38, que les plantes irriguées par le traitement salin naturel (T1) présentent le taux de matière sèche totale le plus élevé. Tandis que les plantes alimentées par le traitement salin corrigé (T3) présentent le taux de matière sèche le moins élevé (9.43%).

A ce sujet, HAMZA et *al* (1999), indiquent qu'une forte salinité des eaux induisait une réduction de la croissance et une élimination partielle du feuillage par sénescence prématurée. HOPKINS (2003), ajoute que ces teneurs élevées en sel provoquaient une sécheresse physiologique hâtive, ce qui rend l'absorption de l'eau et des nutriments par les plantes stressées de plus en plus difficile.

En outre, ce taux élevé de matière sèche au niveau des traitements salins naturels s'explique par une forte accumulation d'éléments minéraux et de matières solides (sucres principalement). Cependant, cette hausse du taux de matière sèche est souvent accompagnée par une réduction de la taille des fruits (HOUASSINE, 2004).

La présence des ions nocifs dans la solution d'irrigation provoque donc une réduction de la matière fraîche et par conséquent une augmentation dans le taux de la matière sèche. Des résultats similaires ont été rapportés par ZID et *al* (2008) qui confirment que les deux principales manifestations de la salinité sont la réduction de la taille des plantes et l'apparition des nécroses foliaires, signes d'une toxicité au niveau des feuilles et des tiges. Cela rapproche le taux de la matière sèche totale à celui de la matière fraîche totale.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir le taux de matière sèche totale par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 39 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
Taux de matière sèche totale	54%	16%	21%	6%

On déduit du tableau n°39 que le traitement salin naturel T1 donne l'accroissement du taux de matière sèche le plus élevé par rapport au traitement T3. Suivi par la solution diluée à 20% (T4). Cependant, le traitement salin corrigé T5 donne le pourcentage le plus faible avec 6% qui le classe juste avant le T3 qui prend la dernière place pour ce paramètre.

5.2. Les paramètres biochimiques :

5.2.1. Quantité de proline dans la plante :

La proline s'accumule fortement dans les plantes exposées au stress salin. La plupart des travaux signalent qu'elle migre vers les feuilles et s'y localise, c'est pour cette raison que nous avons décidé de la doser au niveau des feuilles médianes. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau n°40.

Tableau n° 40 : Quantité de proline dans la plante [$\mu\text{g/g MF}$].

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Paramètre					
Proline	0.04 ± 0.002 c	0.06 ± 0.001 b	0.09 ± 0.001 a	0.02 ± 0.001 e	0.03 ± 0.002 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 cinq 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 (e) 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 (T1) 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 (T1), 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 teneurs en proline foliaire au niveau du traitement T3 atteignent un accroissement quatre fois plus élevé par rapport au T4, car c'est le traitement qui contient le plus de sels avec 3,31g/l, suivi respectivement par les traitements T2, T1, et T5. Ce classement est parallèle à celui des quantités de sels présents dans chaque solution, à savoir : 2.60g/l pour le T2, 2.36g/l pour le T1, 1.58g/l pour le T5 et 1.01g/l pour le T4. Ces résultats ont été calculés lors de la préparation des traitements.

5.2.2. Quantité de la chlorophylle (a) [$\mu\text{g/g MF}$] :

Les résultats obtenus pendant le dosage de la chlorophylle (a) sont classés dans le tableau suivant :

Tableau n° 41 : Quantité de la chlorophylle (a) [$\mu\text{g/g MF}$].

Traitements Paramètre	T1	T2	T3	T4	T5
Chlorophylle (a)	0.37 ± 0.00 d	0.56 ± 0.04 c	1.47 ± 0.03 a	0.84 ± 0.07 b	0.95 ± 0.06 b

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes de chlorophylle (a) mesurées. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes. Le groupe (a) représente le traitement corrigé T3 avec une valeur de (1.47 $\mu\text{g/g MF}$). Le groupe (b) renferme le traitement T4 et le traitement T5 avec des valeurs assez proches (0.84 et 0.95 $\mu\text{g/g MF}$). Alors que les deux derniers groupes

(c) et (d) font référence aux traitements T1 et T2 avec des valeurs respectives de (0.37 et 0.56 µg/g MF).

Les moyennes obtenues montrent que les traitements corrigés (T3, T4 et T5) produisent plus de chlorophylle (a) que les traitements salins naturels (T1 et 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.

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.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la quantité de chlorophylle (a) par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 42 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
Chlorophylle (a)	51%	297%	127%	157%

Nous constatons d'après le tableau n°42 que les traitements corrigés donnent les quantités de chlorophylle (a) les plus élevées avec un accroissement très hautement dominant de 297% pour le T3, et c'est au niveau du traitement salin naturel T2 que l'accroissement est le plus faible avec 51% seulement.

5.2.3. Quantité de la chlorophylle (b) [µg/g MF] :

Les résultats obtenus pendant le dosage de la chlorophylle (b) sont classés dans le tableau suivant :

Tableau n° 43 : Quantité de la chlorophylle (b) [µg/g MF].

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Paramètre					
Chlorophylle (b)	0.23 ± 0.02 d	0.24 ± 0.02 d	0.53 ± 0.05 a	0.34 ± 0.10 c	0.40 ± 0.11 b

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes de chlorophylle (b) mesurées, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes.

Les traitements corrigés 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. 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.

D'une façon générale nous avons constaté que la chlorophylle (b) est moins sensible au stress salin que la chlorophylle (a) et (c) et que sa teneur diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress conformément à ce que nombreux auteurs ont démontré (BENNACEUR et *al.*, 2008).

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la quantité de chlorophylle (b) par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 44 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements Accroissement	T2	T3	T4	T5
Chlorophylle (b)	4%	130%	48%	74%

Le tableau des accroissements montre clairement la différence des teneurs en chlorophylle (b) pour chaque traitement. L'accroissement du traitement T3 est plus élevée que le T2 plus de 30 fois. Ainsi il est à la tête du classement suivi du T5 avec une valeur inférieure de presque la moitié. Le facteur traitement a eu un effet marquant sur la quantité de la chlorophylle (b).

5.2.4. Quantité de la chlorophylle (c) [$\mu\text{g/g MF}$] :

Les résultats obtenus du dosage de la chlorophylle (c) sont classés dans le tableau suivant :

Tableau n° 45: Quantité de la chlorophylle (c) [$\mu\text{g/g MF}$].

Traitements Paramètre	T1	T2	T3	T4	T5
Chlorophylle (c)	3.96 ± 0.09 c	4.23 ± 0.07 c	8.20 ± 0.86 a	6.37 ± 0.83 b	7.45 ± 0.45 a

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes de chlorophylle (c) mesurées, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes.

La chlorophylle (c) est la chlorophylle totale c'est donc la somme des deux précédentes. La chlorophylle (c) est la plus sensible à la salinité, Les travaux de BALIBREA et *al* (1997), ont montré que l'accumulation des sels affecte la régulation du transport des électrons au niveau des chloroplastes dans la feuille de tomate et affecte par la suite le bon fonctionnement des chloroplastes ce qui diminue la chlorophylle.

Les traitements corrigés manifestent le taux de chlorophylle (c) le plus important et cela est dû au fait que ces derniers ont un bon équilibre ionique contrairement aux traitements non corrigés.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir la quantité de chlorophylle (c) par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 46 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements Accroissement	T2	T3	T4	T5
Chlorophylle (c)	7%	107%	61%	88%

Le traitement T3 prend toujours la première place avec un pourcentage de 107% suivi du T5 avec une légère diminution, le T4 vient en troisième position avec un taux de 61%. En dernière place vient le traitement salin naturel T2 avec une valeur insignifiante.

5.3. Les paramètres de rendements :

5.3.1. Nombre moyen de fleurs par plant et par bouquet floral :



Figure n° 22 : Aspect général d'une fleur de tomate (personnel, 2013).

Les valeurs moyennes du nombre de fleurs par bouquet et par plant sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau n° 47 : Nombre moyen de fleurs par plant et par bouquet floral.

Traitements Paramètres	T1	T2	T3	T4	T5
1 ^{er} Bouquet floral	6.29 ± 0.76 d	9.71 ± 0.76 c	13.71 ± 0.76 a	10.86 ± 0.90 b	11.43 ± 0.53 b
2 ^{ème} Bouquet floral	4.14 ± 0.90 c	10.14 ± 1.35 b	11.86 ± 0.90 a	10.43 ± 0.98 b	10.86 ± 0.69 ab
Nombre de fleurs par plant	10.43 ± 0.79 d	19.86 ± 2.04 c	25.57 ± 0.79 a	21.29 ± 1.25 b	22.29 ± 0.76 b

L'étude statistique montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Newman et Keuls au risque d'erreur $\alpha = 5\%$ classe les traitements testés en 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). Tandis qu'il est très faible au niveau du traitement salin non corrigé T1, 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.

Les traitements corrigés (T4 et T5) donnent eux aussi un nombre élevé de fleurs avec la dominance du T5 qui enregistre toujours des moyennes proches de celles du traitement salin corrigé T3.

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

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir le nombre de fleurs par rapport au traitement salin naturel T1.

On déduit du tableau plus bas que la correction du traitement salin naturel T1 a eu une action très remarquable sur la floraison. En effet, le traitement T3 donne un nombre de fleurs environ deux fois plus important que le traitement T1. On remarque aussi que les traitements

corrigés et dilués (T4 et T5) accroissent significativement le nombre de fleurs par rapport au T1, au contraire du traitement T2 qui présente l'accroissement le moins important.

Tableau 48 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement 1 ^{er} Bouquet floral	54%	118%	73%	82%
2 ^{ème} Bouquet floral	145%	186%	152%	162%
Nombre de fleurs par plant	90%	145%	104%	114%

5.3.2. Nombre moyen de fruits par plant et par bouquet floral :

Le calcul du nombre de fruits s'est fait au niveau de chaque plant et de chaque bouquet floral, pour les cinq traitements. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure suivante :

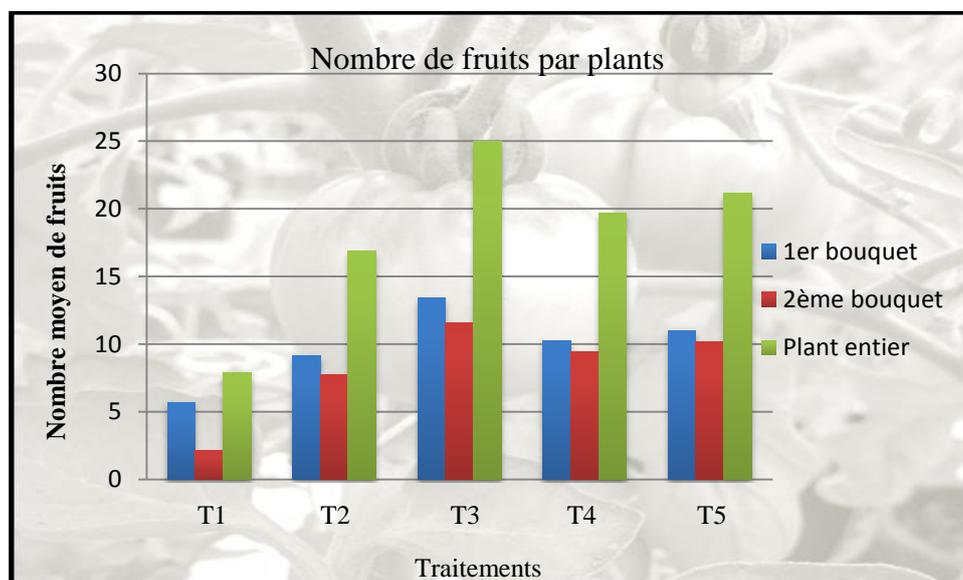


Figure n° 23 : Nombre moyen de fruits par plant et par bouquet floral.

L'analyse statistique dévoile une différence hautement significative entre les valeurs moyennes du paramètre mesuré au niveau des deux bouquets. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes pour ce qui est du nombre de fruit dans le premier et dans le deuxième bouquet (Annexe 22).

Les traitements salins corrigés (T3, T4 et T5) révèlent le nombre de fruits le plus dominant quelque soit le bouquet. Ce résultat est sans doute interprété par l'équilibre parfait des milieux nutritifs et leur richesse en éléments minéraux nécessaires pour la fructification des plantes.

Au contraire, les plantes alimentées par les solutions salines naturelles (T1 et T2) présentent un nombre de fruits plus faible dans les deux bouquets (figure n°23). Cela est probablement dû à l'effet de la salinité qui empêche la fructification et augmente en même temps le taux d'avortement des fleurs. Ceci dit, le traitement salin naturel (T2) manifeste toujours de meilleurs résultats que le T1, on présume que cela est l'effet d'une bonne absorption hydrominérale.

En ce qui concerne le nombre de fruits par plant, l'étude de la variance indique qu'il y'a une différence très hautement significative ($P < 0.001$) entre les traitements. Le test de Newman-Keuls classe les traitements en cinq groupements homogènes (Annexe 24)

On remarque toujours que c'est les traitements corrigés qui donnent le plus grand nombre de fruits. Alors que les traitements non corrigés donnent le plus petit nombre. On déduit que le déséquilibre ionique et la mauvaise alimentation hydrominérale dans les milieux salins (T1 et T2) est la cause principale de la diminution du nombre de fruits.

Des résultats semblables ont été obtenus durant les travaux de LOPEZ *et al* (1994), où ils montrèrent que le nombre de fruit dépend de l'alimentation hydrominérale et de l'équilibre ionique des milieux nutritif et notamment l'équilibre entre le potassium et le calcium.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir le nombre de fruits par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 49 : Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
1 ^{er} Bouquet floral	60%	135%	80%	93%
2 ^{ème} Bouquet floral	260%	441%	347%	374%
Nombre de fleurs par plant	115%	218%	151%	169%

Nous remarquons d'après le tableau précédent, que c'est le traitement salin corrigé T3 qui donne l'accroissement le plus important que ce soit pour le 1^{er} ou pour le 2^{ème} bouquet. Les solutions (T4 et T5) donnent elles aussi un bon accroissement. On peut dire alors que la dilution du traitement T3 a donné des résultats satisfaisants.

5.3.3. Estimation du rendement [Kg] :

Nous avons estimé le poids moyen des fruits au niveau de chaque traitement. Les résultats aux quels nous avons abouti sont mentionnés dans le tableau qui suit.

Tableau n° 50 : Poids total des fruits [Kg].

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5
Paramètre					
Poids total des fruits	0.14 ± 0.01 d	0.39 ± 0.04 c	1.13 ± 0.11 a	0.51 ± 0.09 c	0.88 ± 0.15 b

L'étude de la variance a démontré qu'il y a une différence très hautement significative entre les moyennes estimées du paramètre étudié. Ces résultats montrent que l'effet du facteur traitement varie de manière remarquable. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ indique la présence de quatre groupes homogènes.

Les plantes irriguées avec le traitement T3 expriment le poids de fruits le plus élevé avec une valeur moyenne de 1.13 kg/plant, suivi par les plantes alimentées par les solutions salines corrigées (T5 et T4). Cela peut être expliqué par la présence du potassium en quantité suffisante dans ces solutions nutritives. A ce propos, COIC (1984), note que le potassium est le principal constituant minéral des fruits, il favorise une bonne croissance végétative, accroît les organes de réserves et offre de ce fait une bonne production.

Au contraire, les plantes issues des traitements salins naturels expriment les valeurs les plus faibles, et notamment au niveau du traitement T1. Ceci est probablement dû à un retard de fructification et un taux d'avortement élevé (tableau n°52). En outre, la réduction du rendement au niveau de ces traitements est expliquée par une activité racinaire faible et par une activité photosynthétique limitée au niveau des feuilles et des tiges réduisant les sources de réserve pour les fruits. La salinité a donc un effet dépresseur sur la photosynthèse et celle-ci influence de façon déterminante le rendement.

Il est nécessaire d'élaborer un tableau relatif à l'accroissement du paramètre mesuré à savoir le poids total des fruits par rapport au traitement salin naturel T1.

Tableau 51: Accroissement du paramètre mesuré en fonction du traitement salin naturel T1.

Traitements	T2	T3	T4	T5
Accroissement				
Poids total des fruits	178%	707%	264%	528%

Les valeurs inscrites dans le tableau n° nous renseignent sur les taux d'accroissement qu'ont eu les traitements (T2, T3, T4 et T5) par rapport au T1. On remarque que le traitement T3 accroît le rendement de huit fois et se classe le premier, suivi par la solution T5 qui a eu elle aussi un effet remarquable sur le rendement en l'accroissant de six fois. En troisième place vient le traitement T4 avec un pourcentage de 264%, celui là ne donne pas un résultat aussi bon que les précédents mais il offre comme même une amélioration en comparaison avec les traitements non corrigés.

5.3.4. Taux d'avortement [%] :

Les résultats liés au taux d'avortement sont présentés dans le tableau ci-dessous pour chaque bouquet floral.

Tableau n° 52 : Taux d'avortement en [%].

	T1	T2	T3	T4	T5
1 ^{er} Bouquet floral	9,1	5,9	2,91	5,3	3,8
2 ^{ème} Bouquet floral	48	24	2,4	9,6	6,6

Nous remarquons d'après les résultats obtenus, qu'il y'a une superdominance du traitement salin naturel (T1) avec un taux d'avortement très élevé au niveau des deux bouquets floraux.

La solution T2 présente également un taux de pertes élevé mais qui reste inférieur au traitement précédent. On peut constater alors que le pH corrigé (5,5-5,8) du traitement T2 a baissé énormément les dégâts par rapport au T1.

Les traitements corrigés (T3, T4 et T5) ont présenté le taux d'avortement le plus faible avec un pourcentage de 2% pour le traitement T3, où l'équilibre ionique et les conditions de nutrition sont parfaits.

On remarque pour les traitements dilués, que la dilution à 40% (T5) a provoqué moins d'avortement que celle à 20% (T4). Ceci est sûrement dû à la quantité d'éléments nutritifs insuffisante, car plus la dilution est forte et plus la quantité d'éléments minéraux essentiels est faible.

Le taux d'avortement élevé au niveau des traitements salins naturels (T1 et T2) est expliqué par une carence en éléments nutritifs et par un déséquilibre ionique qui cause une mauvaise alimentation hydrominérale.

Le tableau n°52 nous indique aussi que le taux d'avortement des fleurs est encore plus important au niveau du 2^{ème} bouquet et ce pour tout les traitements.

5.4. Discussion générale

Notre expérimentation avait pour but de tester l'impact de la concentration et du potentiel hydrogène des différentes solutions nutritives sur les paramètres biométriques, biochimiques et de production chez la tomate, et ce en hors-sol.

Nous avons donc jugé utile de synthétiser les résultats obtenus selon les potentialités de chaque traitements afin d'identifier le ou les traitements les plus performants d'après les trois critères retenus à savoir :

- Critères biométriques.
- Critères de production.
- Critères biochimiques.

Tableau n° 53 : Classement des traitements selon les paramètres biométriques.

	T1	T2	T3	T4	T5
Hauteur finale des plantes	5	3	1	4	2
Distance entre les bouquets	5	4	1	3	2
Diamètre des tiges	5	3	1	4	2
Nombre de feuilles	5	4	1	3	2
Biomasse fraîche totale	5	4	1	3	2
Longueur des racines	5	3	1	4	2
Biomasse sèche totale	5	4	1	3	2
Taux de la matière sèche totale	1	3	5	2	4
Classement final	5	4	1	3	2

Nous constatons selon les résultats étalés dans le tableau n°53, que le traitement salin corrigé (T3) manifeste les meilleures performances biométriques et ce classe en première position par rapport aux autres traitements. Ce dernier, grâce à son équilibre ionique et à sa richesse en éléments nutritifs a permis aux plantes de tomate de se développer et de croître convenablement. Cependant, on remarque qu'il est classé en dernier pour le taux de matière sèche totale, signe qu'il y'a eu une bonne absorption hydrominérale.

Les traitements salins corrigés à 40% et 20% (T5 et T4), sont classés respectivement en deuxième et en troisième position. La correction de l'eau saline naturelle et ses dilutions a conduit donc à une augmentation significative de la croissance des plantes et ce au niveau de

tous les paramètres biométriques étudiés (Hauteur finale des plantes, diamètre des tiges, poids frais totale...).

Au contraire, nous remarquons que le traitement salin naturel (T1) se classe en dernière position pour tous les paramètres biométriques sauf pour le taux de matière sèche totale où il est en tête. Il manifeste une augmentation significative du taux de matière sèche totale (feuilles + tiges) par rapport aux autres traitements testés (T2, T3, T4 et T5), 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.

L'irrigation des plants de tomate par le traitement salin naturel (T1) a mené à l'augmentation de la salinité dans le milieu racinaire 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.

Tableau n° 54 : Classement des traitements selon les paramètres biochimiques.

	T1	T2	T3	T4	T5
Proline	3	2	1	5	4
Chlorophylle (a)	5	4	1	3	2
Chlorophylle (b)	5	4	1	3	2
Chlorophylle (c)	5	4	1	3	2
Classement final	5	4	1	3	2

D'après le tableau ci-dessus nous distinguons que le traitement corrigé (T3) prend toujours la première place du classement en donnant les meilleurs exploits. Tandis que le traitement salin naturel T1 prend la dernière place. Nous constatons alors que le sel affecte significativement les différents paramètres biochimiques chez la tomate.

En ce qui est de la proline, son accumulation évolue dans la plante au cours de son développement et augmente avec la concentration saline. En effet, l'élévation de ce composé azoté au niveau du traitement salin corrigé T3 est dû à sa concentration élevée en sels. La correction du traitement salin naturel (T1) 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.

Concernant les quantités de chlorophylle (a, b et c) le tableau n°54 montre que les plantes de tomates répondent différemment aux cinq traitements testés. Cette réponse est fonction de l'intensité du stress salin d'une part et de la composition ionique des solutions d'autre part. D'une manière générale, le dosage de la chlorophylle montre que les plantes issues des traitements corrigés (T3, T4 et T5) sont très riches en chlorophylle, alors que les traitements salins naturels (T1 et T2) sont pauvres ce qui les met en dernier dans le classement.

Tableau n° 55 : Classement des traitements selon les paramètres de production.

	T1	T2	T3	T4	T5
Nombre de fleurs bouquet 1	5	4	1	3	2
Nombre de fleurs bouquet 2	5	4	1	3	2
Nombre de fleurs par plant	5	4	1	3	2
Nombre de fruits bouquet 1	5	4	1	3	2
Nombre de fruits bouquet 2	5	4	1	3	2
Nombre de fruits par plant	5	4	1	3	2
Estimation du rendement	5	4	1	3	2
Taux d'avortement	1	2	5	3	4
Classement final	5	4	1	3	2

Le classement des traitements selon les paramètres de production nous révèle que la solution nutritive T3 présente les meilleurs résultats que se soit pour le nombre de fleurs, le nombre de fruit ou le rendement total, ceci s'explique par l'équilibre ionique parfait de ce milieu nutritif, par sa richesse nutritionnelle et par son pH favorable. Suivie par les traitements T4, T5 et T2 qui donnent des résultats satisfaisants par rapport à la solution saline naturelle T1 qui vient toujours en dernier. Cette baisse de productivité au niveau du traitement T1 a pour origine un déséquilibre ionique et une faible teneur en éléments nutritifs indispensables au développement des cultures.

CONCLUSION

Notre expérimentation avait pour objectif de déterminer l'impact de la concentration saline et du potentiel hydrogène d'une solution nutritive sur la croissance et le développement de la tomate variété « Marmande » cultivée en hors sol.

Les résultats qu'on a obtenus durant notre expérimentation démontre que l'utilisation de la solution saline naturelle limite considérablement la croissance des plantes que ce soit pour les paramètres biométriques (hauteur finale, diamètre des tiges, nombre de feuilles,...), pour les paramètres biochimiques (quantité de proline et de chlorophylle) ou pour les paramètre de production (nombre de fleurs, nombre de fruits,...). Ceci est dû essentiellement au degré de salinité élevé, au pH alcalin et au déséquilibre ionique dans ce milieu alimentaire, ainsi qu'aux carences en éléments nutritifs indispensables aux plantes. 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 corrigées. Cela résulte du dessèchement précoce qui a eu lieu suite à une mauvaise alimentation hydrominérale.

Le traitement corrigé T3 a fortement amélioré les paramètres étudiés. On déduit donc que la correction de la solution saline naturelle (T1) joue un rôle bénéfique sur la conduite des plantes de tomate. Ceci est expliqué par l'équilibre ionique parfait et la richesse de ce traitement corrigé en macro et micro-éléments utiles au développement de la tomate.

Aussi nous avons observé que les dilutions de la solution nutritive T3 à 20% et à 40% ont donnée des résultats satisfaisants surtout au niveau du traitement T5. La dilution permet de baisser la charge ionique qui limite la précipitation des sels au niveau des racines, ce qui offre à la plante une bonne absorption hydrominérale.

La correction du pH au niveau du traitement salin naturel T2 exerce une bonne action sur la majorité des paramètres étudiés et ce par rapport au traitement salin naturel T1 à pH alcalin. On conclu alors que la correction du pH peut être une démarche favorable pour l'amélioration des productions légumière en milieu salin.

Compte tenu de l'importance de la culture de tomate en Algérie et des résultats satisfaisants obtenus dans notre expérimentation, il est souhaitable d'approfondir cette recherche concernant la correction des eaux salines naturelles qui représentent un problème de taille dans notre pays. Ces résultats contribueront ainsi en une meilleure gestion des eaux impropres à l'utilisation dans les régions arides et semi-arides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelly. C., Ben Amour. N., Ben Hamed. K., Debez. A., et Grignon. C., 2005 : Physiological and antioxydant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science* 168. Tunisie. pp : 889 - 899.
- Anonyme., 2007 : Cultures hydroponiques et horticoles 3^e Edition. Catalogue Hanna instruments. France. p9.
- Anonyme., 2002 : Larousse agricole. Ed. Larousse. Paris. 767p.
- Anonyme., 2010 : Stress salin. Laboratoire de génétique et biophysique des plantes (LGBP). France. 22p.
- Baatour. O., M'rah S., Ben Brahim N., Boulesnem. F., et Lachaal. M., 2004 : Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. *Revue des Régions Arides*, Tome 1, N^o Spécial. pp : 346 - 358.
- 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 Estan. M.T., 1996 : Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in commercial tomato hybrid. *Plant & Soil*. 180(2): pp : 251-257.
- Belkhoudja. 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.
- Bennaceur. M., Cheikh M'hamed. H., Abdellaoui. R., Kadri. K., et Bel Hadl. S., 2008 : Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordium vulgare L.*) cultivées en Tunisie : Approche physiologique. *Sciences & Technologie* N^o28. pp : 30 - 37.
- Bentvelsen. C.L.M., 1988 : Réponse des rendements à l'eau. FAO. Italie. 222p.
- Bernstein. L., 1974 : Salt tolerance of plants. Department of agriculture. Information bulletin N^o283. US. 23p.
- 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^o24. pp : 220 - 225.
- 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.
- Bouzid. S., 2010 : Etude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysologique de deux variétés de plantes de l'espèce *phaseolus vulgaris* L. Thèse magistère Biologie Végétale. Université Mentouri Constantine. 178p.
- Brady. N.C., 2002 : The nature and Properties of Soils. New Jersey, USA. Prentice Hall. 2p.
- Brun. R., et Mary. L., 2003 : La rose sous serre pour la fleur coupée. Ed. INRA. Paris. p7.
- Caburet. A., Daly. P., De bon. H., Langlais. C., Lyannaz. J.P., et Ryckewant. P., 2003 : Mémento de l'agronome, les légumes. Paris. Ed. cirad. pp : 1023 - 1049.
- Calu. G., 2006 : Effet du stress salin sur les plantes, comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. 14p.
- Chauv. C., 1972 : Production légumières. Ed. J.-B. Baillière. Paris. 414p.
- Chauv. C., et Foury. C., 1994 : Productions légumières, tome 3 (Légumineuses potagères Légumes fruits). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Pp : 145 - 230.
- Cheverry. C., et Bourrié. G., 1995 : La salinisation des sols. Ed. INRA. France. 19p.
- 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.
- Coïc. Y., 1984 : Les culture sans sol. Revue science et vie N°146. Pp : 68 - 75.
- Cornillon. P., 1974 : La tomate, Journées d'information « Nantes, Avignon, Marmande, Perpignan ». Ed. Inra. France. 279p.
- Couplan. F., Mioulane. P., Delvaux. C., et Shall. S., 2010 : Le Truffaut du Potager (Cultiver vos légumes, fruits et herbes aromatiques). Ed. Larousse. Espagne. Pp : 462 - 466.
- Courchinoux. J.P., 2008 : La culture de la tomate. Fiche technique Tomate. France. 8p.
- Daoud. Y., et Halitim. A., 1994 : Irrigation et salinisation au Sahara Algérien «Sécheresse ». Ed. OPU. pp : 151 - 160.
- Devignes. A., 1986 : L'aventure de la nature, 30 légumes faciles à cultiver. Ed. Hatier. Paris. pp : 78 - 79.

- Diehil. R., 1975: Agriculture générale. Ed. J-B Baillière. 396p.
- 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.
- Doré. C., et Varoquaux. F., 2006 : Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Paris. Ed. INRA. pp : 691 - 710.
- Douaoui. A., et Hartani. T., 2007 : *Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif*. Actes du troisième atelier régional SIRMA (Nabeul, Tunis). Ed. CIRAD. Montpellier. 5p.
- Erard. P., Jeannequin. B., et Letard. M., 1995 : Maîtrise de l'irrigation fertilisante, tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ed Tec & Doc.
- FAO Stat. 2012. www.faostat.fao.org.
- Fevereau. J., 1976 : Culture en containers. Revue horticole N°14. pp : 68 - 75.
- Forges. M., 1972 : L'eau, irrigation et salinité. Options méditerranéennes, N° 14. CIHEAM. Paris. pp : 40 - 45.
- Gallais. A., et Bannerot. H. 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA. France. Pp : 369 – 391.
- Ghassemi. F., Jakeman. A.J., et Nix. H.A. 1995: Salinisation of land and water resources. Sydney.
- Girard. M.C., Walter. C., Rémy. J.C., Berthelin. J., et Morel. J.L., 2011 : Sols et environnement 2^e édition. Ed. Dunod. Paris. pp : 729 - 748.
- Guillet. P., 2010 : Baignades biologiques. Ed. Eyrolles Environnement. Paris. 80p.
- Hade. A., 2003 : Nos Lacs, les connaître pour mieux les protéger. Ed. Fides. Québec. p230.
- Hagemeyer. J., 1996 : Salt. In Plant Ecophysiology. New York. pp : 176 - 181.
- Hamdy. A., 1999 : Saline irrigation assessment for a sustainable use. Saline irrigation. Halophyte production and utilization. Project n. IC 18 CT 960055. pp : 152 – 226.
- Hamza. M., Mezni. M., et Bizid. E., 1999 : Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la survie et la croissance de trois cultivars de luzerne pérenne. Fourrages 158, pp 169-178.
- Hartani. T., et Merabet. A., 2003 : Le drainage des sels dans les sols agricoles. Alger, INA El-harach. 49p.
- Heller. R., 1981 : Physiologie végétale, nutrition, 2eme édition. Ed Masson. Paris. 244p.

- Heller. R., Esnault. R. et Lance. C., 1998 : Physiologie végétale : Nutrition, 6^{ème} édition. Ed. Dunod. Paris. 323p.
- Heuvelink. E., et Dorais. M., 2005: Crop growth and yield, Crop Production Science in Horticulture Series. Cabi Publishing. United Kingdom. pp: 85-144.
- Hopkins. W.G., 2003 : Physiologie végétale. Ed. De Boeck. Paris. 495p.
- Hosni. S., 2009 : La tolérance au sel, Ecophysiologie Végétale. pp : 1 - 6.
- Houassine. D., 2004 : Effet de toxicité du magnésium lié aux sulfates et aux chlorures chez certaines variétés de tomates conduite sous serre en culture hydroponique. Th. Mag. I. N. E. S. Blida. 92p.
- Houchi. R., Coudret. A., 1994 : Essai d'utilisation de l'ajustement osmotique comme critère physiologique pour la sélection variétale des triticales tolérants au chlorure de sodium, Revue, milieu aride vol 6. pp : 99 - 109
- 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.
- Imalet. R., 1979 : Influence de différentes concentrations de sels (NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄) des eaux d'irrigation sur le rendement du haricot. Mémoire. Ing. INA. El harrach. 43p.)
- INSID., 2008 : Institut National Des Sols, De l'Irrigation et du Drainage. Les sols salins en Algérie. 7p.
- 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.
- Kadri. K., Maalam. S., Cheikh. M.H., Benabdallah. A., Rahmoune. C., et Ben Naceur. M., 2009 : Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Sciences & Technologies, N°29. Tunisie. Pp : 72 - 79.
- Katerji. N. 1995. Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline. France. pp : 73 - 86.
- Khoury. Y. 1969. Réactions physiologiques au chlorure de sodium. Thèse 3^e cycle. Paris. 93p.
- 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 cultures maraichères en Algérie, Tome I, légumes et fruits. Ed. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. pp145-161.
- Lacharme. M. 2001. Le contrôle de la salinité dans les rizières. Mémento Technique de riziculture, fascicule 9. France. 20p.
- Lahlou. M., Badraoui. M., Soudi. B., Goumari. A., et Tessier. D. 2002. Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. CIRAD. France. 19p.
- Laumonnier. R., 1979 : Cultures Légumières et Maraichères, Tome 3. Ed. J.-B. Baillière. Paris. pp : 92 - 119.
- Le Clech. B., 1993 : Productions végétales « grandes cultures ». Ed. Synthèse agricole. Paris. 350p.
- Lemaire. F., Dartigues. A., Riviere. L.M., et Charpentier. S., 1989 : Cultures en pots et conteneurs (principes agronomiques et applications). Ed. INRA. Paris. 184p.
- Lesaint. C., et Coïc, Y., 1983 : Cultures hydroponiques. Ed. La maison rustique. Paris. 118p.
- Levigueron. 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.
- Lopez. M., Satti. S., et Al-Said. A., 1994 : Salinity induced changes in vegetative and reproductive growth in tomato. Communication in soil science and plant analysis. Pant anal., vol. 25, n°5-6. pp : 501-510
- Loué. A., 1986 : Les oligo-éléments en agriculture. Ed. Agri-Nathan International. Paris. 339p.
- MADR., 1998 : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.
- MADR., 2013 : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.
- Maillard. J., 2001 : Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne ; Risques et recommandations. Handicap International. 34 p.
- Mappa. D., 2006 : Les productions légumières. Ed. Educagri. Dijon. Pp : 75 - 79.
- Maricle. B.R., Cobos. D.R., et Campbell. C.S., 2007: Biophysical and morphological leaf adaptations to drought and salinity in salt marsh grasses. Environmental and Experimental Botany. pp : 458 - 467.

- Marlet. S., 2005 : Gestion de l'eau et salinisation des sols dans les systèmes irrigués. Synthèse de l'atelier du PCSI sur : Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation n°40. Ed. Cirad & Amis. France. pp : 12 - 23.
- Mazliak. P., 1981 : Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed. Hermann. Paris. 349p.
- Mermoud. A., 2006 : Maitrise de la salinité des sols. Cours de physique du sol, école polytechnique fédérale de Lausanne. 15p.
- Messiaen. C.M., et Messiaen-Pagotto. F., 2009 : Le potager familial méditerranéen. Ed. Quae. France. Pp : 63 - 75.
- Miller. R.W., et Donahue. R.L., 1995 : Les sols dans notre environnement. Ed. Prudence Hall. Englewood. 323p.
- Morard. P., 1995 : Les cultures végétales hors sol. Ed. Publications Agricoles Agen. Paris. 304p.
- Morsli., 2007 : Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols.
- 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.
- Mustard. J., Renault. S., 2006 : Effects of NaCl on water relations and cell wall elasticity and composition of red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings. *Physiol. Plant.* 121. pp : 265 - 271.
- Mutin. G., 2009 : Le monde arabe face au défi de l'eau, enjeux et conflits. Institut d'Études Politique de Lyon. France. 164p.
- 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.
- 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 XXI^e siècle. Paris. pp : 267 - 276.
- Polese. J.M., 2007 : La culture des tomates. Ed. Artémis. Chine. 92p.

- Prat. R., 2007 : Expérimentation en biologie et physiologie végétales. Ed. Quae. Paris. 256p.
- Publishers. B., 2004 : Ressources végétales de l'Afrique tropicale, Tome 2 : Légumes. Ed. Dunod. 736p.
- Rahmoune. C., Ben Naceur. M., Cheikh-M'Hamed. H., et Maalam. S., 2008 : Les indicateurs précoces de tolérance à la salinité chez les blés durs. Agrocampus. France. 215 p.
- Razdan. M.K., et Mattoo. A.K., 2007 : Genetic improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato. Ed. Science Publishers. India. 637p.
- Rhoades. J.D., Kandiah. A., et Mashali. A.M., 1992 : The use of saline water for crop production. Irrigation and drainage paper, FAO. n°48. Rome. 140p.
- Saidi. J., 2004 : Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du Bas Cheliff. Thèse de Doctorat d'Etat en Science Agronomiques. 181p.
- Schiffers. B., 2003 : Itinéraire technique , tomate cerise. Document initiative pesticides. PIP. Belgique. 32p.
- 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.
- Slama. F., 2004 : La salinité et la production végétale. Ed. Centre de Publication Universitaire.
- Snoussi. S.A., 2010 : Etude de base sur la Tomate en Algérie. Rapport de mission. Rome. 53p.
- Soltner. D., 2000 : Les bases de la production végétale, Tome I : le sol et son amélioration. Ed. Coll, Sci et Tech. 472p.
- Tah. 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.
- Tirilly. Y., et Bourgeois. C.M., 1999 :Technologie des légumes. Ed. Tec & Doc. pp :111 - 130.
- Urban. L., 1997 : Introduction à la production sous serre (L'irrigation fertilisante en culture hors sol). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210p.
- Vilain. M.,1989 : La production végétale, la maitrise technique de la production. Ed. Tec & Doc. Paris. 384p.

- Zhu. J.K., 2001: Plant salt tolerance, Trends Plant Sciences, vol. 6. pp : 66 - 71.
- Zid. E., Hela. B. A., Manaa. A., 2008 : Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la séttaire (*Setaria verticillata* L.) ; compte rendus biologies 331. Pp 164- 170.
- Zuang. H., 1982 : La fertilisation des cultures légumières. Ed. Ctifl. Paris. 395p.
- Zuang. H., Musard. M., Dumoulin. J., Thicoïpé. J.P., Letard. M., Vaysse. P., et Adam. D., 1984 : Cultures légumières sur substrats (Installation et conduite). Ed. Ctifl. Paris. 241p.

ANNEXES

Annexe 01 : Hauteur finale.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	458.38	34	13.48	235.77	0.0000	0.69	1.2%
Var. facteur 1	444.24	4	111.06				
Var. résiduelle 1	14.13	30	0.47				

Annexe 02 : Distance entre les bouquets.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	282.69	34	8.31	94.15	0.0000	0.83	3.7%
Var. facteur 1	261.83	4	65.46				
Var. résiduelle 1	20.86	30	0.70				

Annexe 03 : Diamètre des tiges.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	300.00	34	8.82	175.64	0.0000	0.64	8.0%
Var. facteur 1	287.71	4	71.93				
Var. résiduelle 1	12.29	30	0.41				

Annexe 04 : Nombre de feuilles par plant.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	96.29	34	2.83	24.09	0.0000	0.87	6.8%
Var. facteur 1	73.43	4	18.36				
Var. résiduelle 1	22.86	30	0.76				

Annexe 05 : Biomasse fraîche totale (g).

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	335064.03	34	9854.82	32909.15	0.0000	1.60	1.0%
Var. facteur 1	334987.69	4	83746.92				
Var. résiduelle 1	76.34	30	2.54				

Annexe 06 : Poids frais des feuilles.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	246299.52	34	7244.10	54149.06	0.0000	1.07	0.8%
Var. facteur 1	246265.41	4	61566.35				
Var. résiduelle 1	34.11	30	1.14				

Annexe 07 : Poids frais des tiges.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	7016.42	34	206.37	1575.27	0.0000	1.05	3.0%
Var. facteur 1	6983.18	4	1745.79				
Var. résiduelle 1	33.25	30	1.11				

Annexe 08 : Poids frais des racines.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	44068.71	34	1296.14	16254.64	0.0000	0.82	0.9%
Var. facteur 1	44048.38	4	11012.10				
Var. résiduelle 1	20.32	30	0.68				

Annexe 09 : Longueur des racines.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	220.54	34	6.49	24.10	0.0000	1.32	3.0%
Var. facteur 1	168.19	4	42.05				
Var. résiduelle 1	52.35	30	1.74				

Annexe 10 : Poids sec total.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	4069.72	34	119.70	37683.77	0.0000	0.16	1.0%
Var. facteur 1	4068.91	4	1017.23				
Var. résiduelle 1	0.81	30	0.03				

Annexe 11 : Poids sec des feuilles.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	2454.86	34	72.20	67627.63	0.0000	0.10	0.8%
Var. facteur 1	2454.58	4	613.65				
Var. résiduelle 1	0.27	30	0.01				

Annexe 12 : Poids sec des tiges.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	207.72	34	6.11	3210.33	0.0000	0.13	3.1%
Var. facteur 1	207.24	4	51.81				
Var. résiduelle 1	0.48	30	0.02				

Annexe 13 : Poids sec des racines.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	1510.47	34	44.43	29360.67	0.0000	0.11	0.9%
Var. facteur 1	1510.09	4	377.52				
Var. résiduelle 1	0.39	30	0.01				

Annexe 14 : Taux de matière sèche totale.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	46.16	34	1.36	2529.54	0.0000	0.07	0.7%
Var. facteur 1	46.03	4	11.51				
Var. résiduelle 1	0.14	30	0.00				

Annexe 15 : Proline.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test OF	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	0.59	14	0.04	785.40	0.0000	0.01	3.0%
Var. facteur 1	0.59	4	0.15				
Var. résiduelle 1	0.00	10	0.00				

Annexe 16 : Chlorophylle (a).

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	2.56	14	0.18	59.71	0.0000	0.10	12.4%
Var. facteur 1	2.45	4	0.61				
Var. résiduelle 1	0.10	10	0.01				

Annexe 17 : Chlorophylle (b).

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	0.24	14	0.02	3.02	0.0001	0.10	13.1%
Var. facteur 1	0.21	4	0.03				
Var. résiduelle 1	0.03	10	0.01				

Annexe 18 : Chlorophylle (c).

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	46.33	14	3.31	32.92	0.0000	0.57	9.5%
Var. facteur 1	43.06	4	10.76				
Var. résiduelle 1	3.27	10	0.33				

Annexe 19 : Nombre fleurs bouquet 1.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	224.40	34	6.60	92.34	0.0000	0.75	7.2%
Var. facteur 1	207.54	4	51.89				
Var. résiduelle 1	16.86	30	0.56				

Annexe 20 : Nombre fleurs bouquet 2.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	290.74	34	8.55	67.32	0.0000	0.99	10.4%
Var. facteur 1	261.60	4	65.40				
Var. résiduelle 1	29.14	30	0.97				

Annexe 21 : Nombre fleurs par plant.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	951.54	34	27.99	150.59	0.0000	1.23	6.2%
Var. facteur 1	906.40	4	226.60				
Var. résiduelle 1	45.14	30	1.50				

Annexe 22 : Nombre fruits bouquet 1.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	248.74	34	7.32	65.87	0.0000	0.92	9.3%
Var. facteur 1	223.31	4	55.83				
Var. résiduelle 1	25.43	30	0.85				

Annexe 23 : Nombre fruits bouquet 2.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	414.17	34	12.18	77.44	0.0000	1.10	13.4%
Var. facteur 1	377.66	4	94.40				
Var. résiduelle 1	36.57	30	1.22				

Annexe 24 : Nombre fruits par plant.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	1209.54	34	35.57	181.49	0.0000	1.26	7.0%
Var. facteur 1	1161.54	4	290.39				
Var. résiduelle 1	48.00	30	1.60				

Annexe 25 : Estimation du rendement.

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var. totale	5.45	34	0.16	32.05	0.0000	0.19	11.4%
Var. facteur 1	4.41	4	1.10				
Var. résiduelle 1	1.03	30	0.03				

Annexe 26 : Distance entre les bouquets.

Traitements Paramètre	T1	T2	T3	T4	T5
Distance entre les bouquets	17.29	23.86	24.43	24.0	24.14
	±	±	±	±	±
	0.76	0.90	0.79	0.87	0.85
	b	a	a	a	a

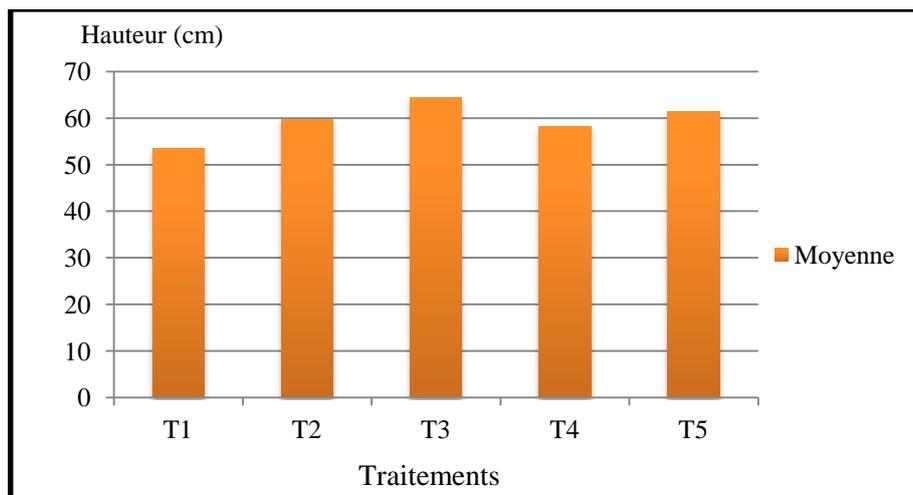
Annexe 27 : Biomasse fraîche totale (g).

Traitements Paramètre	T1	T2	T3	T4	T5
Biomasse fraîche totale	44.98	117.37	332.00	118.74	199.42
	±	±	±	±	±
	1.35	1.51	1.68	2.10	1.17
	d	c	a	c	b

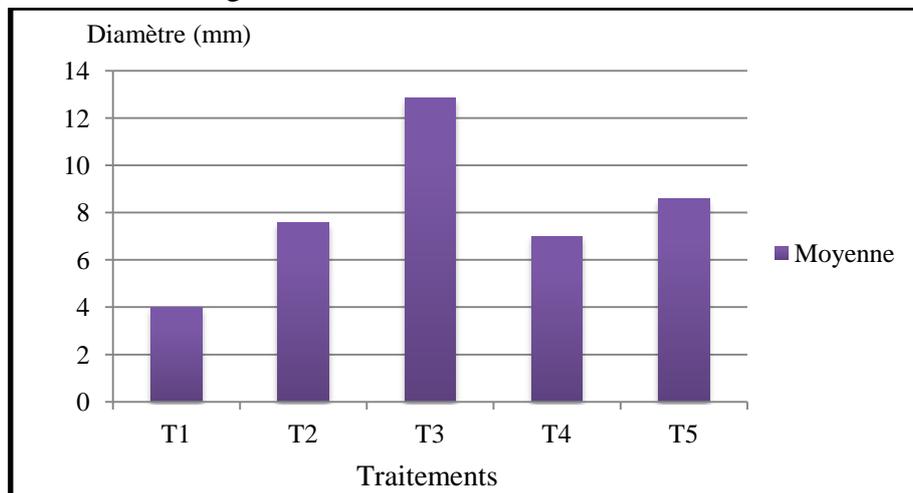
Annexe 28 : Nombre moyen de fruits par plant et par bouquet floral.

Traitements Paramètres	T1	T2	T3	T4	T5
1 ^{er} Bouquet floral	5.71	9.14	13.43	10.29	11.00
	±	±	±	±	±
	0.95	1.07	0.79	0.95	0.82
	d	c	a	b	b
2 ^{ème} Bouquet floral	2.14	7.71	11.57	9.57	10.14
	±	±	±	±	±
	0.69	0.76	0.98	1.51	1.35
	d	c	a	b	b
Nombre de fleur par plant	7.86	16.86	25.00	19.71	21.14
	±	±	±	±	±
	0.38	1.35	0.82	1.38	1.86
	e	d	a	c	b

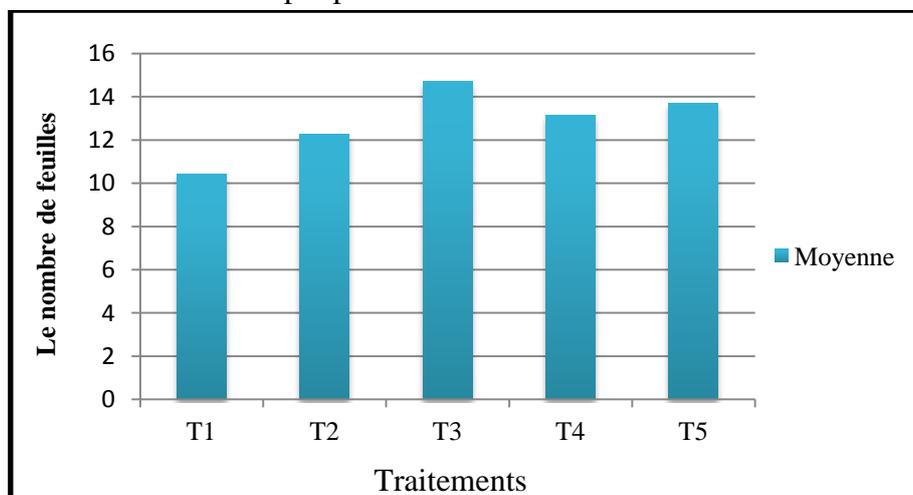
Annexe 29 : Hauteur finale des plantes.



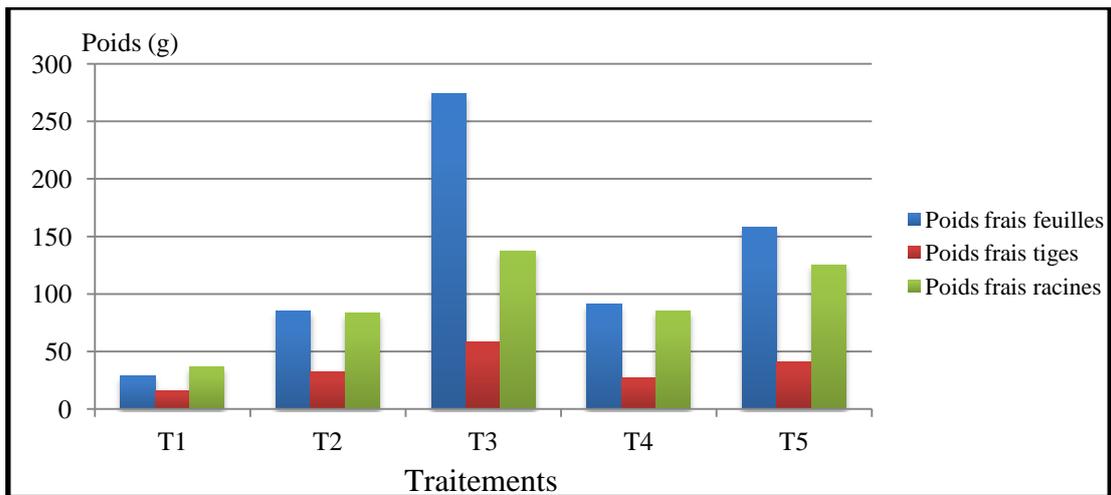
Annexe 30 : Diamètre des tiges.



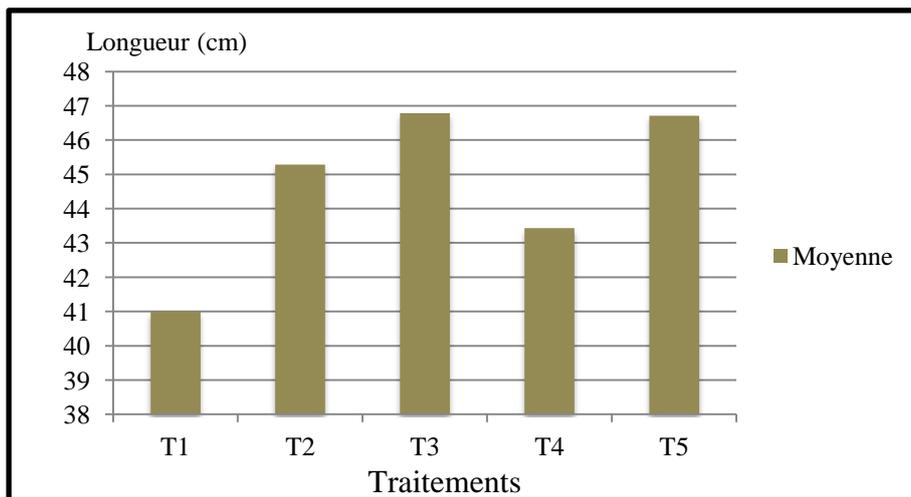
Annexe 31 : Nombre de feuilles par plant.



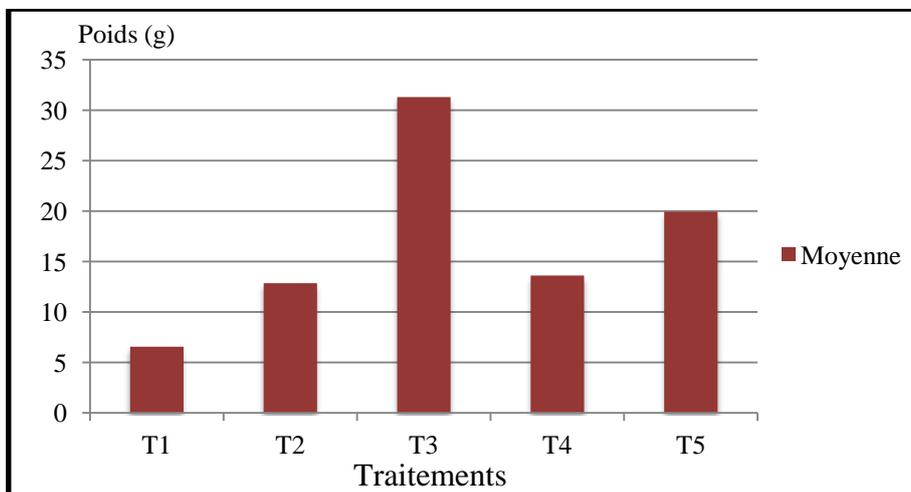
Annexe 32 : Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines.



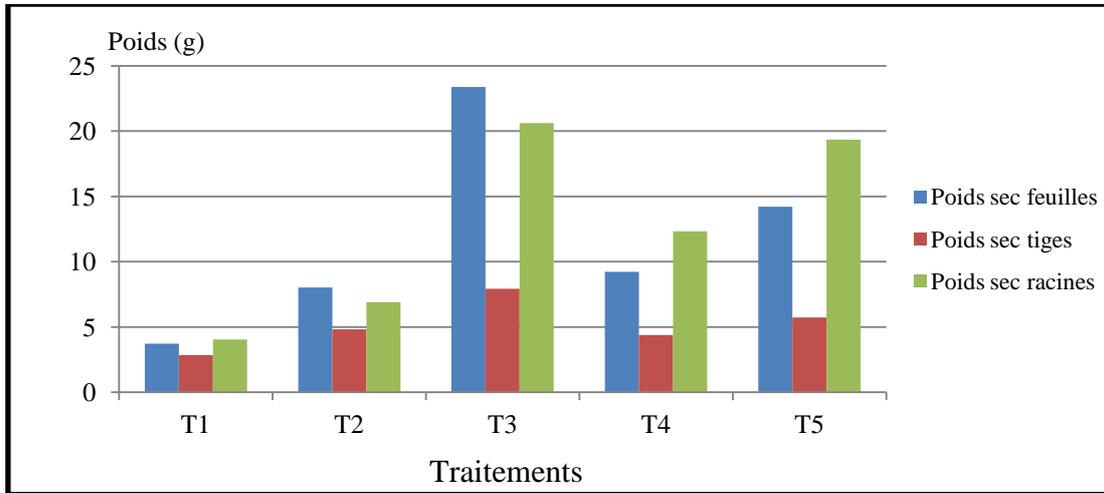
Annexe 33 : Longueur des racines.



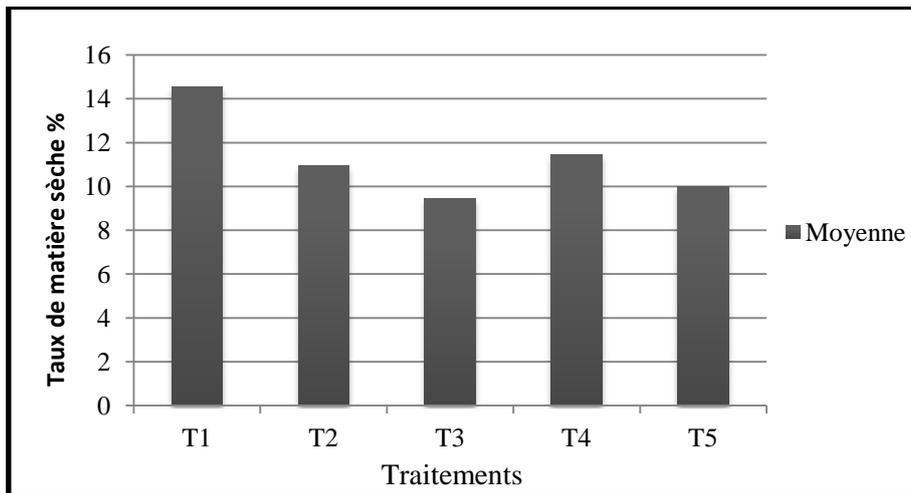
Annexe 34 : Biomasse sèche totale.



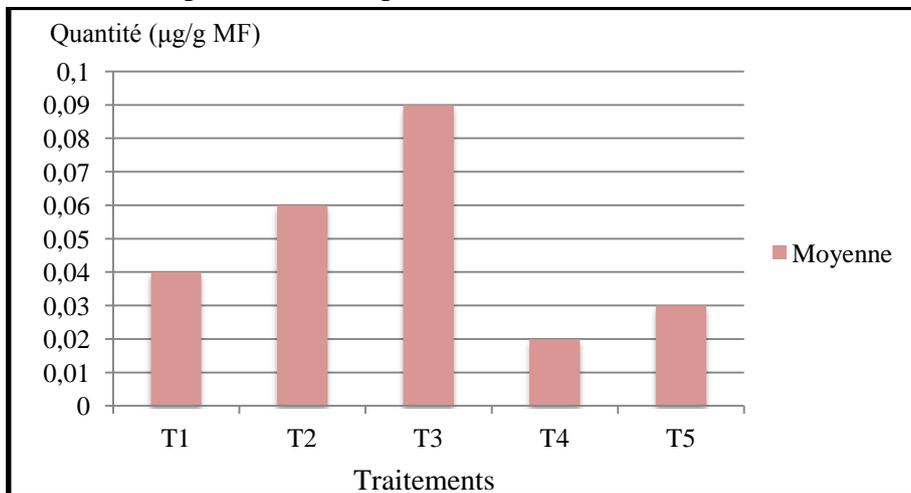
Annexe 35 : Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines.



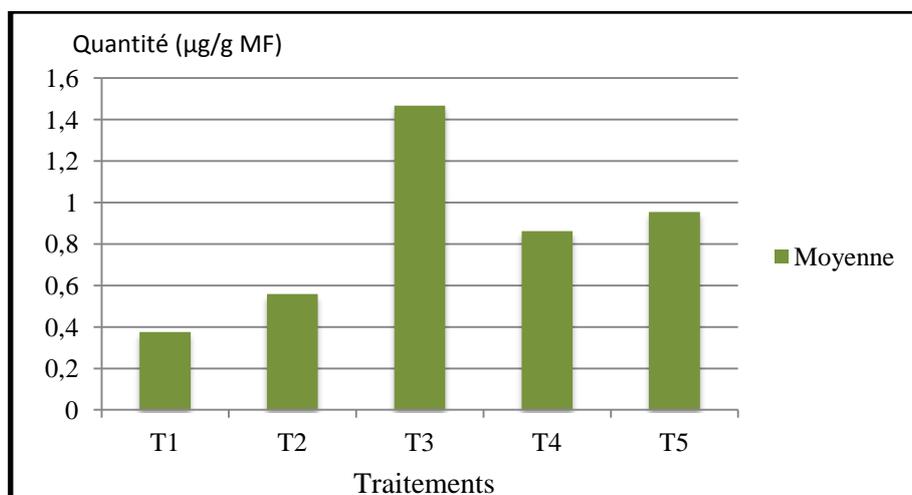
Annexe 36 : Taux de matière sèche totale.



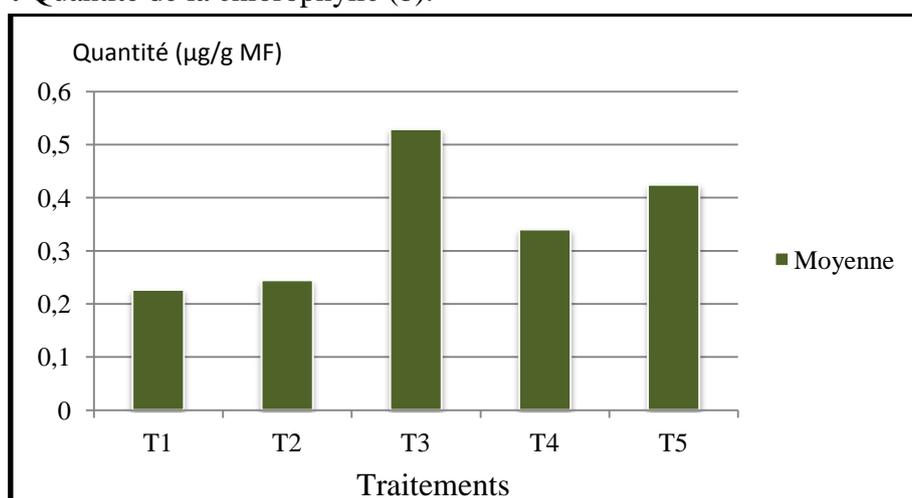
Annexe 37 : Quantité de proline dans la plante.



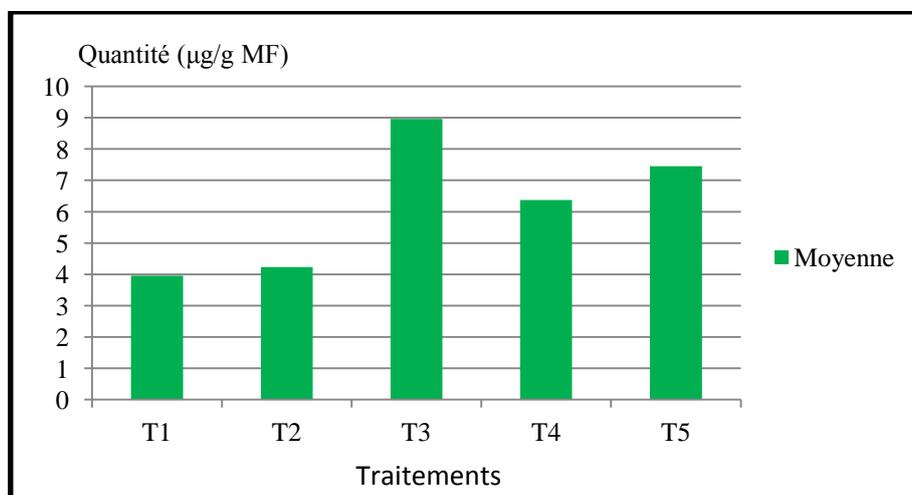
Annexe 38 : Quantité de la chlorophylle (a).



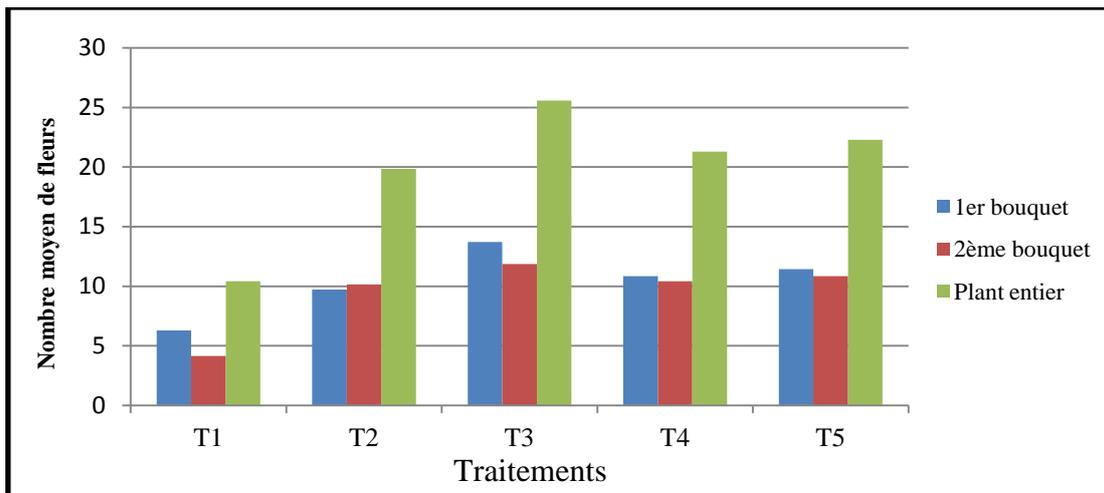
Annexe 39 : Quantité de la chlorophylle (b).



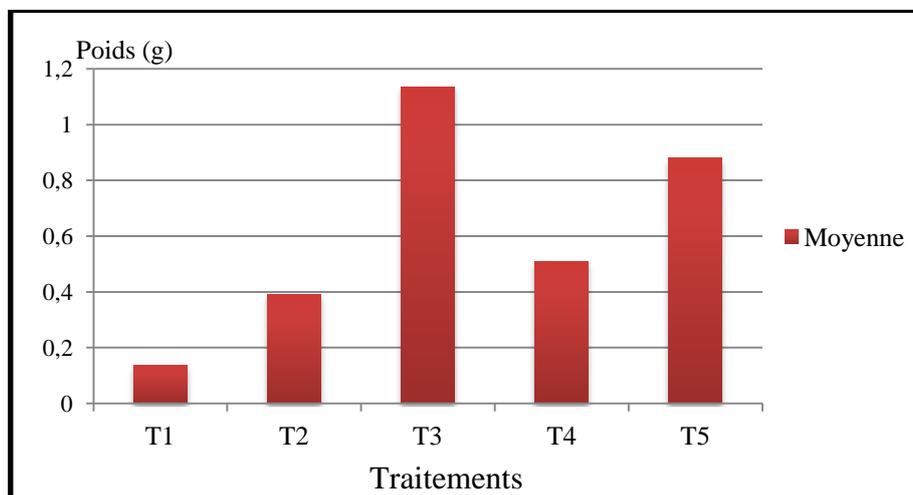
Annexe 40 : Quantité de la chlorophylle (c).



Annexe 41 : Nombre moyen de fleurs par plant et par bouquet floral.



Annexe 42 : Estimation du rendement.



Annexe 43 : Taux d'avortement (%).

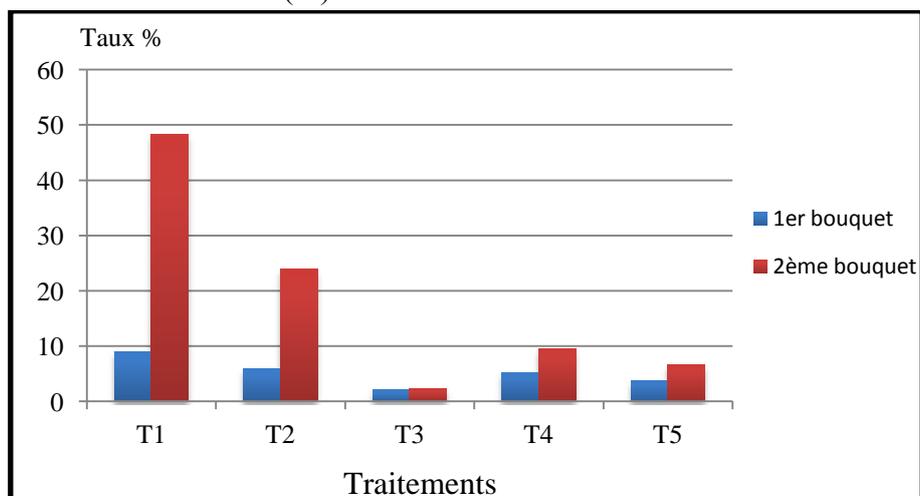


TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1 : La salinité	2
1.1. Généralités sur la salinité	2
1.2. Définition de la salinité	2
1.3. La salinité dans le monde et en Algérie	2
1.3.1. La salinité en Algérie	2
1.3.2. La salinité dans le monde	3
1.4. Origine de la salinité	4
1.5. Les sols salés	5
1.5.1. Définition de la salinisation des sols	5
1.5.2. Classification des sols salés	5
1.5.3. Types de salinisation	5
1.5.3.1. La salinisation primaire	5
1.5.3.2. La salinisation secondaire	6
1.6. Les eaux salines	6
1.6.1. Classification des eaux salines	7
1.7. Effets de la salinité sur les plantes	7
1.7.1. Effet osmotique	7
1.7.2. Effet sur l'alimentation minérale	7
1.7.3. Effet sur la photosynthèse.....	8
1.7.4. Effet sur la transpiration et sur la respiration	8
1.7.5. Effet sur la croissance	8
1.7.6. Effet sur le rendement des cultures	8
1.8. Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité.....	9
1.9. Tolérance des plantes à la salinité	9

Chapitre II : La culture hydroponique	10
2.1. Généralités sur la culture hydroponique ou hors-sol.....	10
2.2. Définition.....	10
2.3. Historique.....	11
2.4. Avantages et inconvénients des cultures hors sol	11
2.4.1. Les avantages	11
2.4.2. Les inconvénients	12
2.5. Domaine d'application de la culture hydroponique	12
2.6. Les composantes de la culture hydroponique	13
2.6.1. Le substrat	13
2.6.2. Les conteneurs	14
2.6.3. La solution nutritive	14
Chapitre III : Généralités sur la culture de tomate	17
3.1. Origine et historique de la tomate	17
3.2. Classification botanique et caractéristiques morphologiques	17
3.2.1. Le système racinaire	18
3.2.2. La tige	18
3.2.3. Les feuilles	19
3.2.4. Les fleurs	19
3.2.5. Le fruit	19
3.2.6. La graine	19
3.3. Importance économique de la tomate	20
3.3.1. Dans le monde	20
3.3.2. En Algérie	20
3.4. Importance nutritionnelle de la tomate	21
3.5. Exigences de la plante	21
3.5.1. Exigences climatiques	21
3.5.2. Exigences pédologiques	22
3.5.3. Exigences hydriques et nutritionnelles	22
3.6. Différents travaux d'entretien	23
3.6.1. Le tuteurage.....	23
3.6.2. La taille	24
3.6.3. L'ébourgeonnage.....	24

3.6.4. Effeuilage.....	24
3.6.5. L'écimage.....	24
3.7. Mode de culture	24
3.7.1. La culture sous serre.....	25
3.7.2. La culture de plein champ	25
3.8. Récolte.....	25
3.9. Maladies et ennemis de la tomate	26
3.9.1. Maladies.....	26
3.9.2. Principaux ennemis de la tomate	28
Chapitre IV : Matériels et méthodes.....	29
4.1. L'objectif de l'expérimentation	29
4.2. Matériel végétale utilisé	29
4.3. Conditions expérimentales	29
4.3.1. Lieu de l'expérience	29
4.3.2. Substrat.....	31
4.3.3. Conteneurs.....	31
4.4. Dispositif expérimental	32
4.5. Essai de germination	33
4.5.1. Repiquage.....	34
4.6. Description des traitements.....	35
4.6.1. Reconstitution de l'eau d'Oued Cheliff (T1) à partir de l'eau de Blida.....	36
4.6.2. Elaboration de la solution saline corrigée T2.....	36
4.6.3. Elaboration du traitement T3.....	38
4.6.4. Elaboration du traitement T4 : dilution à 20% du T3.....	39
4.6.5. Elaboration du traitement T5 : dilution à 40% du T3.....	39
4.7. Entretien de la culture	40
4.7.1. L'irrigation.....	40
4.7.2. Traitements phytosanitaire	41
4.7.3. Palissage.....	41
4.7.4. Étêtage.....	41
4.7.5. Lessivage.....	42
4.8. Paramètres étudiés.....	42
4.8.1. Dosage de la proline	42

4.8.2. Dosage de la chlorophylle.....	42
4.8.3. Paramètres physiologiques	43
4.8.4. Paramètres de production	43
Chapitre V : Résultats et discussions	44
5.1. Paramètres de croissance	44
5.1.1. Aspect général des plantes	44
5.1.2. La vitesse de croissance des plantes	46
5.1.3. Hauteur finale des plantes	47
5.1.4. Distance entre les bouquets floraux.....	48
5.1.5. Diamètre des tiges	50
5.1.6. Nombre de feuilles par plant	51
5.1.7. Biomasse fraîche totale.....	52
5.1.8. Biomasse fraîche des feuilles, des tiges et des racines.....	54
5.1.9. Longueur des racines	56
5.1.10. Biomasse sèche totale.....	58
5.1.11. Biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines.....	59
5.1.12. Taux de matière sèche totale	61
5.2. Les paramètres biochimiques	62
5.2.1. Quantité de proline dans la plante	62
5.2.2. Quantité de la chlorophylle (a).....	63
5.2.3. Quantité de la chlorophylle (b)	64
5.2.4. Quantité de la chlorophylle (c).....	65
5.3. Les paramètres de rendements	66
5.3.1. Nombre moyen de fleurs par plant et par bouquet floral	66
5.3.2. Nombre moyen de fruits par plant et par bouquet floral	68
5.3.3. Estimation du rendement.....	70
5.3.4. Taux d'avortement.....	71
5.4. Discussion générale.....	73
CONCLUSION.....	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	
TABLE DES MATIERES	