

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

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

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

EFFET DE DEUX SELS CHLORURE DE MAGNESIUM « $MgCl_2$ » ET
SULFATE DE MAGNESIUM « $MgSO_4$ » SUR LA PRODUCTION DE LA
PROLINE ET LE TAUX DE LA CHLOROPHYLLE CHEZ UNE
GLYCOPHYTE CULTIVEE EN HORS SOL

Spécialité : Biotechnologie végétale

Présenté par :
DJAFER FATIMA EL ZAHRA
MESSAOUDI AMINA

Devant le jury composé de :

M^{me} BRADEA. M.S.	Maître de conférences A	BLIDA1	Présidente
M^r SNOUSSI. S.A.	Professeur	BLIDA 1	Promoteur
M^r ZOUAOUIA.	maître assistant A	BLIDA 1	Examineur
M^{me} BENZAHRA S.	Doctorante	BLIDA 1	Examinatrice

Année universitaire : 2014/2015

Dédicaces

Tous d'abord je veux remercier dieu le tout puissant de m'avoir permis de réaliser ce modeste travail et donner la force et la patience d'accomplir mes études.

*Je voudrais à toute modeste dédier ce travail :
A la lumière de ma vie, mes très chers parents qui ont toujours été à mes côtés, qui m'ont soutenue et encouragé, et sans leurs amour, leurs compréhension, leurs conseil et leurs tolérance je n'ai jamais pu atteindre mes objectifs, ma mère et mon père je vous dis merci et que dieu vous protège pour nous.*

A mes très chères sœurs : AMEL, NAOUEL, et SAMIA.

A mes très chères frères : SALIM et HASSAN et leurs épouses.

A mes neveux : IMED, ADEM et MANEL

*A toute ma famille surtout à ma grande mère
A mes très chères copines qu'avec elle j'ai passé les meilleurs moments ZAHIRATI et surtout Manel.*

A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à l'université avec tous mes sincères remerciements et tous mes respects.

A vous promotion BIOTECHNOLOGIE 2015.

Remerciements

Au terme de ce travail, on tient en premier lieu à remercier le bon dieu de nous avoir donnée la santé, la volonté et surtout la patience durant nos années d'étude et pendant le stage et qui nous a donnée la force de mener à bien ce travail.

On tient à exprimer nos profonde gratitude à :

Pr. SNOUSSI, d'avoir été le promoteur de notre travail. Outre l'apport spécifique d'encadreur, on lui reconnaisse sa patience, ses encouragements, et ses conseils judicieux durant la phase de cet ouvrage.

J'exprime mes remerciements à l'honorable membre de jury :

M^{me} MARIA. Qui a fait l'honneur de présidente du jury.

D'avoir aimablement accepté d'examiner ce travail.

Nos plus vifs remerciements vont aussi :

Aux personnels de laboratoire Biotechnologie : chef du service : Mme Soria, pour son accueil et son aide et à l'ensemble du personnels.

On tient avec notre gratitude de reconnaissance pour l'ensemble des enseignants de BIOTECHNOLOGIE et de BIOLOGIE qui ont contribué à notre formation.

Que tous ceux ou celles qui nous ont apportés leurs soutien pour la réalisation de ce modeste travail, trouvent de ma vive et sincère reconnaissance.

Dédicaces

*Je dédie se modeste travail à ma mère et à mon père mon source de
tendresse et de courage*

A mes deux frères qui j'aime plus que tout le monde Djilali, Mohamed

A mes sœurs que j'adore très fort : Khadidja, meriem

A ma belle famille Aneur

A mon fiancé FOUZI

A mes tantes que j'aime beaucoup ZAHIA, NACIRA, ASSIA

A mes oncles que j'aime aussi SALEH , MOULOUD

A ma beau frère AYMEN

A ma petite princesse MERIEM « MIMI »

A Mr TEFALI DJAMEL source d'espoir et de courage

A ma bel ami qui ont resté toujours à coté de moi Hanane

A ma très chère copine qu'avec elle j'ai passé les meilleurs moments

AMINA

A mes beaux sœurs : Meriem, Soumia, fatima

*En fin à tous les enseignants et enseignantes et milles merci à mes
amies de la biotechnologie végétale qui j'ai partagé des beaux
moments*

DJAFER FATIMA EL ZAHRA

Résumé :

Tout végétal vivant et particulièrement les plantes cultivées, nécessite une nutrition minérale qui puisse satisfaire ses besoins alimentaires. Le substrat ou sol est le principal fournisseur d'eau et de minéraux pour les plantes, et on le considère en même temps comme un milieu vivant dans lequel se produit une multitude de réactions qui conditionnent sa fertilité.

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

Notre étude a porté sur l'impact du potentiel hydrogène sur la croissance et le développement de la tomate variété Marmande. Cultivée en hors sol et irriguée par trois traitements qui sont soit enrichis en $MgSO_4$, soit en $MgCl_2$.

La correction du pH de l'eau d'irrigation de nous 7,8 à 5,8 a permis d'améliorer la croissance et le développement de la plante, sachant que la vitesse de croissance et la hauteur de la plante, le nombre de feuilles. L'adjonction de $MgSO_4$ dans le milieu nutritif amélioré de façon remarquable les paramètres de croissance et de production en raison de l'élément Mg qui reste indispensable dans la nutrition, des plantes cultivées et où le sulfate présente une agressivité moins dure que le chlorure.

Mots clés : Salinité, Potentiel Hydrogène, Tomate, $MgSO_4$, $MgCl_2$.

Abstrat:

Any plant alive and especially crops, requires mineral nutrition that can meet its needs. The substrat is the main water and minerals to the plant. Supplier, and is considered at the same time as a living product in which a multitude of reactions that affect. Fertility environnement.

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

Our study is based on the impact of the hydrogen potential on the growth and the development of the tomato variety Marmande cultivated except ground and irrigated by three different treatments that are either enriched $MgSO_4$ or $MgCl_2$.

The correction of hydrogen potential (pH) irrigation water Us from 7,8 to 5,8 has made it possible to decrease the effect of salinity on the growth of plant; Knowing that the speed of growth and the development of the plant, the height of the plant, many sheets, The addition of $MgSO_4$ in the nutrient medium markedly improved growth parameters and production Raines of Mg element that remains essential in nutrition of crops and where sulfate has an aggressive softer than the chloride.

Keywords: Salinity, Tomato, Hydrogen potential, $MgCl_2$, $MgSO_4$

:

اي نبات حي و خصوصا المحاصيل يتطلب التغذية المعدنية التي يمكن احتياجاته الغذائية. الركيزة هي مورد المياه الرئيسية و المعادن و تعتبر في الوقت نفسه كوسط حي ينتج عنه ردود فعل التي توفر جميع شروط

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

التأثير المحتمل للهيدروجين على نمو وتطوير مجموعة متنوعة من الأنواع و بالخصوص نوعية مارماند/ marmande (معتدلة الحساسية للملوحة) بدون تربة والمروية بثلاثة علاجات يتم كلور المغنيزيوم (MgCl₂) سولفات المغنيزيوم (MgSO₄).

تعديل درجة الحموضة في المياه المالحة من 7.8 5.8 أمكنت من تقليل تأثير الملوحة على نمو النبات، سولفات المغنيزيوم (MgSO₄) :

المحاصيل وحيث كبريتات لديه . كلوريد . المغنيسيوم أساسية تغذية

الكلمات المفتاحية : MgCl₂ MgSO₄ .

SOMMAIRE

Introduction

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre I : Généralité sur la culture hydroponique.....1

Chapitre II : La culture de la tomate.....12

Chapitre III : la salinité.....27

Chapitre IV : Potentiel hydrique « pH ».....40

Partie II : Expérimentation et résultats

Chapitre V : Matériel et méthodes.....51

Chapitre VI : Résultats et discussion.....67

Conclusion

Liste des figures :

Figure N°01: L'échelle du pH.....	40
Figure N°02: Papier indicateur	45
Figure N°03: pH mètre.....	46
Figure N°04: Lieu de l'expérimentation.....	52
Figure N°05: Aspect général des conteneurs.....	53
Figure N°06: Le dispositif expérimental utilise.....	56
Figure N°07: Essai de pre germination des graines de tomate (variété Marmande).....	57
Figure N°08: Repiquage des germes de tomate.....	57
Figure N°09: Aspect général de plants de tomate alimentés par les différents traitements....	67
Figure N°10: Vitesse de croissance des plantes de Tomate en (cm).....	68
Figure N°11: Hauteur moyenne des plantes en (cm).....	69
Figure N°12: Biomasse fraiche totale :.....	70
Figure N°13: Nombre de feuilles par plante.....	71
Figure N°14: Longueur des racines.....	72
Figure N°15: Longueur des racines (cm).....	72
Figure N°16: Biomasse sèche totale.....	74
Figure N°17: Fleur de tomate.....	75
Figure N°18: Nombre des fleurs par plantes	75
Figure N°19 : Nombre des fleurs nouées par plante.....	76
Figure N°20: Nombre de fruits par plantes B1.....	77
Figure N°21: Nombre de fruits par plantes B2.....	78
Figure N°22 : poids des fruits par plantes B1 et B2.....	79
Figure N°23 : Taux de la chlorophylle A.....	80
Figure N°24: Taux de la chlorophylle B.....	81
Figure N°25: Taux de la proline ($\mu\text{g/gMF}$).....	82

Liste des abréviations :

$\mu\text{g/G MF}$: Micro Gramme/ Gramme Matière Fraiche

$^{\circ}\text{C}$: Degré Celsius

Atm : Atmosphère

CE : Conductivité Electrique

CEC : Capacité D'échange Cationique

ETM : Evaporation Maximale

G/L : Gramme / Litre

H : Heure

Ha : Hectare

I.T.C.M.I : Institut Technique Des Cultures Maraichères Et Industrielles

Kc : Coefficient Cultural

Max : Maximum

Meq/L : Milli Equivalent / Litre

Min : Minimum

Mmhos/Cm : Milli Mohs/ Centimètre

Ms/Cm : Millisiemens / Centimètre

PH : Potentiel Hydrogène

Q : Quantité

Qx/Ha : Quintaux A L'hectare

Liste des tableaux :

Tableau N°01 : Production mondiale de la tomate en 2009.....	13
Tableau N°02 : Evolution de superficies, de production et de rendement de la tomate en Algérie.....	14
Tableau N°03 : Températures requises pour les différentes phases de développement de tomate.....	18
Tableau N°04 : Les principales maladies cryptogamiques et bactériennes de la tomate.....	22
Tableau N°05 : Les principales maladies physiologiques de la tomate.....	22
Tableau N°06 : Les principales maladies bactériennes de la tomate.....	23
Tableau N°07 : Les principales maladies virales de la tomate.....	24
Tableau N°08 : Les principaux ravageurs de la tomate.....	25
Tableau N°09 : Les superficies affectées par la salinité dans le monde.....	28
Tableau N°10 : Les superficies salines de la S.A.U par wilaya en Algérie.....	29
Tableau N°11 : Moyennes des températures.....	53
Tableau N°12 : Teneurs des différents éléments minéraux contenu dans l'eau de Blida.....	58
Tableau N°13 : Reconstitution de l'eau de Blida pH = 5,5.....	60
Tableau N°14 : Elaboration du traitement T2, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgCl ₂	61
Tableau N°15 : Elaboration du traitement T3, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgSO ₄	61

Introduction

Introduction :

Les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones semi-arides et arides (HIGAZY *et al*, 1955 in BELKHODJA *et al*, 2004). L'Algérie fait partie du groupe des pays méditerranéens où la sécheresse, observée depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de salinisation des sols (GAUCHER *et al*, 1974)

La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation (IPTRID, 2006). Il ya lieu de noter que 10 à 15% des surfaces irriguées soit (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation (MERMOUD, 2006). En Afrique, près de 40 Millions d'hectares sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale (IPTRID, 2006). Les sols salins sont très répandus à la surface du globe. Leur salinité constitue l'un des principaux problèmes du développement agricole (BELDJOURI *et al*, 2002).

La culture de la tomate est l'une des plus importantes cultures légumières. Cette plante est cultivée en plein champ comme sous serre. Toute fois sa production est limitée par plusieurs facteurs, des millions d'hectares de terre agricole dans le monde sont affectés par le problème de la salinité. (PARIDA et DAS, 2005)

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

Notre expérimentation à pour but d'un part l'impact de la correction du potentiel hydrogène « pH » d'une eau d'irrigation et d'autre part effet de l'adjonction le $MgSO_4$ et le $MgCl_2$ dans le milieu alimentaire sur la nutrition minérale d'une glycophyte cultivé : La tomate.

Partie I

Etude bibliographique

Chapitre I

Généralité sur la culture hydroponique

Généralité sur la culture hydroponique

I. La culture hydroponique :

I.1. Historique :

Les scientifiques ont réellement commencé à s'intéresser à ce sujet dès le dix septième siècle (XVII^{ème}). A cette époque on relevé plusieurs compte rendus d'expérimentation de croissance de plante hors sol, seulement en présence d'eau, parmi ces chercheurs :

L'irlandais BOYLE en 1666, l'anglais WOODWADR en 1699, le français DUMONCEAU en 1758 (MORARD, 1995).

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

En 1945 aux USA ; le général ARNOLD crée « l'hydroponic unit » pour alimenté le corps expéditionnaire en légumes frais « salade, concombre, tomate.. etc ».

A partir de 1970 l'INRA de France et en Europe en commencé à croire aux potentialités de cette technique pour les cultures maraichères et florales (COIC ET LESAIN, 1983).

Les surface actuelles des cultures hors sol en France peuvent être estimés à environ 1000 hectares (800 ha de production légumière, 200 ha de floriculture)

De 1988 à 1992, les surfaces sous serre de productions légumière et florale en culture hors sol, ont multiplié par deux l'accroissement moyen annuel qui est de l'ordre de 10% (MORARD, 1995).

En résumé, les surfaces de serre utilisant les techniques hydroponiques pouvant être actuellement évolués à :

- 3000 ha en Hollande
- 1000 ha en France
- 600 ha en Grande Bretagne
- 400 ha au Japon
- 300 ha en Belgique
- 30 ha en Afrique de Sud (MORARD, 1995)

Généralité sur la culture hydroponique

Les cultures hors sol sont moins développés dans le reste du monde une partie importante des cultures florales en Afrique de l'Est, de l'Europe, en particulier dans le bassin méditerranéen et plus généralement dans les régions pénalisées par le manque d'eau ou par des dé faux de qualité d'eau (URBAIN, 1997).

En Algérie, l'initiation à la culture hydroponique sur deux solanacées fruits (tomate et poivron) a pu mettre en évidence par les travaux de Djoudi à l'I.T.C.M.I (1979), et snoussi (1980). Les buts de ces derniers ont été de déterminer le meilleur container qui semble satisfaire la plante et les substrats d'intérêt en culture hors-sol respectivement.

I.2. Définition de la culture hors sol :

- La culture hydroponique est définie comme la science des plantes en croissance par l'utilisation d'un moyen inerte, comme le gravier, le sable, la tombe, vermiculite, ou la sciure de bois, auquel est ajoutée une solution nutritive contenant tous les éléments nécessaires pour la plante, pour sa croissance normale et son développement (MILANI,1997).
- Une culture « hydroponique » an sens littéral du terme est une culture sur milieu aqueux qui doit contenir les éléments minéraux dont les plantes ont besoin. C'est donc une culture sur une solution nutritive, par extension, on donne aussi ce nom à des cultures sur substrat inerte de point de vu physico-chimique (COIC et LESAIN, 1983)
- 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).

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

Et en ajoute que le terme hors sol regroupe un ensemble de système de production qui permet aux plantes de se développer en faisant l'abstraction du sol en place. (COIC, LESAIN, 1983)

La notion hydroponique à tous les systèmes ou la nutrition en eau et ions minéraux du plant est assuré par une solution nutritive. Ces système se différencient par des substrats ou s'installe le système racinaire et par le mode d'apport de la solution nutritive (COIC, LESAIN, 1983).

Généralité sur la culture hydroponique

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

❖ **Cultures aéronique** : dans laquelle les racines sont placées dans un bouilliant nutritif.

❖ **Cultures hydroponique** : dans laquelle les racines baignent dans un liquide nutritif.

Dans cette culture on distingue deux autres types :

- L'aquaculture, dans laquelle les racines sont immergées dans une solution circulante.

- Le NFT (Nutrient Film Technique) est un système de culture sur une solution circulante de très faible épaisseur.

Culture sur substrat inerte dans la quelle les racines sont placés dans des bacs, des pots ou des sacs remplis d'un matériau naturel ou artificiel (sable, gravier, mélange de sable et vermiculite ... etc.) qui est périodiquement irrigué par percolation, soit par irrigation à la solution nutritive, la quelle peut être récupéré pour la réutiliser (système a circuit fermé) non récupéré (système a circuit ouvert) (METTAI, 2005)

I.3. Intérêt et utilisation des cultures hors sol :

La culture hors sol a remplacé progressivement la culture traditionnelle d'un certain nombre de légumes dans le monde. Cette technique est appliquée largement à l'horticulture (maraîchage, floriculture et pépinière). L'évolution de surface cultivée est très importante par rapport au début des années 80. En effet, en une vingtaine d'années, les surfaces ont été multipliées par 20. Cette progression est régulière puisque, durant la période 1992-2002, la surface mondiale a presque triplé. Le développement de cette technologie s'est essentiellement effectué en Europe qui concentre depuis 1982 environ 80 des surfaces cultivées en hors sol. En 2002, l'union européenne compte environ 8000 ha, dont approximativement 1600 ha en France de culture légumière hors sol (JEANNEQUIN ET AL., 2005) essentiellement des tomates, concombres, poivrons et fraises.

La principale raison de ce développement est la possibilité d'éviter certains problèmes liés au sol comme des agents pathogènes ou des sols non arables (déserts sableux, sols argileux, sols salés ...). D'autre part, cette culture permet l'économie d'eau et d'engrais minéraux (grâce au système de recyclage), la simplification de techniques culturales (pas de désherbage, préparation de la terre...), et l'obtention de produits de meilleure qualité (produits plus « propres » car jamais souillés de terre et moins de résidus de pesticides (MORARD, 1995). L'autre avantage non dit consiste à pouvoir être en mesure de produire des légumes en super primeur ce qui débouche sur un prix de vente plus élevé et une meilleure marge.

Généralité sur la culture hydroponique

Les avantages de ce procédé expliquent peut-être son développement. En effet, par rapport à la culture en sol, la croissance des plantes est plus rapide, les besoins en eau inférieurs, les détériorations des cultures par nuisibles (ou autres), limitées. La culture hors sol permet également de cultiver différentes plantes au même endroit, sans préparation spéciale de la terre. Le travail est simplifié. D'un point de vue qualité du produit plus longue et l'utilisation moindre d'insecticides ou autres produits phytosanitaires. La culture hydroponique permet également une automatisation de la culture : température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide, ventilation.

L'adoption et le développement de ces types de cultures en agriculture industrielle malgré leur grand potentiel, sont limités à cause de l'importance des capitaux qu'il faut investir pour qu'elles soient mises en place, de plus, elles engendrent des dépenses électriques plus importantes, ce qui freine encore de nombreux agriculteurs à les installer.

En dehors de l'application à l'horticulture, les cultures hors sol ont été utilisées en vue d'objectifs de recherche. Ainsi les études sur les systèmes racinaires étant parfois difficiles à réaliser en sol, la culture hydroponique peut permettre de résoudre ce problème, au moins une partie. De tels types d'études ont été conduites par des chercheurs désirant contrôler les paramètres nutritionnels et environnement du système racinaire (OLYMPIOS, 1975, GUCKERT et al, 1987 MORARD, 1995 ; KRATSCH et al ; 2006).

I.4. Avantage et inconvénients de la culture hors sol :

I.4.1 Les avantages de la culture hors sol :

- ❖ Evité la profération des maladies tellurique suite à l'utilisation de matériel végétal sain et un substrat désinfecté.
- ❖ Elimination des problèmes liée au sol :
 - Pathogène
 - Non arable
- ❖ Evité le stress salin et hydrique, l'asphyxie racinaire, les carences et les toxicités minérales.
- ❖ Rationaliser les apports hydrominéraux, induisant une économie en eau et en sels minéraux, un accroissement du rendement et un gain de précocité.
- ❖ Éviter la fatigue du sol des serres causée par les attaques parasitaires avec prolifération de nématodes et des champignons.

Généralité sur la culture hydroponique

- ❖ Contrôle précis de l'environnement racinaire assurant une précocité plus grande et une production en qualité et en quantité.
- ❖ Eliminer certaines opérations culturales, tels que : le binage, le hersage, le labour et le désherbage etc, (URBAN, 1997).
- ❖ Production de meilleure qualité commerciale
 - Calibre
 - Aspect extérieur
- ❖ Augmentation de rendement
 - Meilleure nutrition de la plante
 - Meilleure occupation de la serre

I.4.2. Les inconvénients de la culture hors sol :

Selon URBAN (1997), les inconvénients et les contraintes de cette culture sont moins dur mais importants:

- ❖ Cette technique exige un investissement assez élevé parce que plus le système est perfectionné et automatisé, plus il est rentable mais il est coûteux.
- ❖ Utilisation d'une haute technologie
 - Absence d'un système tampon
 - Formation des agricultures
- ❖ La culture hors sol utilise un niveau de technique élevé auquel le producteur doit avoir une compétence et des connaissances dans le domaine. Le faible inertie de système de cette culture ne donne pas droit à l'erreur et condamne le producteur à suivre ses cultures de manière très étroite.
- ❖ La culture hors sol est à l'origine de rejets polluants de solution nutritive et de résidu de substrat qu'on ne sait pas toujours facilement recyclé.
- ❖ Maîtrise incomplète des déchets
 - Rejet de solution nutritive
 - Certains substrats non recyclables

Cependant comme toute nouvelle technologie, les cultures hors-sol apportent aussi des difficultés ; ces dernières peuvent être évaluées et maîtrisées par une bonne information scientifique et technique. (MORARD, 1995).

Généralité sur la culture hydroponique

I.5. Principales cultures cultivées en hors sol :

Espèces cultivées en hors-sol

I.5.1. cultures légumières sous serres :

Le développement des techniques hors-sol date des années 75 aux Pays-Bas, et du début des années 80 en France.

La tomate est largement cultivée en hors-sol: laine de roche, fibres de coco, hydroponique, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes

Le concombre, l'aubergine, le poivron: en laine de roche principalement et aux Pays-Bas surtout (+ France, Belgique, Danemark et Grande-Bretagne pour le concombre)

La laitue sur bandes de laine de roche ou en hydroponique mais de façon très peu développée compte-tenu de la faible rentabilité économique du hors-sol sur cette production (il existe cependant des productions hydroponiques de laitues en Belgique et au Québec).

Le fraisier: en laine de roche, en coco ou en conteneurs de terreaux tourbeux en Belgique, Grande-Bretagne et aux Pays-Bas

En Espagne, il y a beaucoup de cultures hors-sol sur gravier ou sable mais parfois il s'agit du sol naturel, seulement isolé de la roche-mère par un film plastique : le « substrat » occupe un volume réduit qui facilitera les désinfections et l'écoulement dirigé des drainages.

I.5.2. Les cultures florales :

Les premiers essais remontent au début des années 80, d'abord sur œillets (à cause des fusarioses) en sacs de tourbe puis en laine de roche, puis sur gerberas et roses. Aux Pays-Bas d'abord, puis ailleurs en Europe, l'hors-sol (laine de roche et coco) se sont développés sur ces trois cultures principalement. (ANONYME, 2003)

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

Généralité sur la culture hydroponique

I.6. Composante du système hors sol:

Le système de production hors – sol est défini par les composantes suivante : la nature du végétal cultivé, la technique utilisé, le substrat, le conteneur, le système de distribution de la solution nutritive et son mode de conduite (VILAIN, 1989).

I.6.1. Substrat :

Selon (BLANC, 1987). Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériaux naturel ou artificiel qui placés en conteneur pure ou mélange, (LETARD et al, 1995).

Permettant l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante la rôle du support.

- ✓ Un bon support de culture hors sol doit avoir les qualités suivantes :
- ✓ Facile à désinfecter et chimiquement inerte.
- ✓ Un faible cout, facile à mettre en œuvre et à recycler
- ✓ Une absence d'organismes pathogènes et de toute substance toxique.
- ✓ Avoir une stabilité et une durabilité convenable.
- ✓ une capacité d'échange cationique aussi faible que possible.
- ✓ Une bonne porosité afin de permettre la circulation de l'air et de la solution nutritive.
- ✓ Conserve ses propriétés physiques initiales : ni dégradable ni tassement (MARARD, 1995)

I.6.1.1. Classification des substrats :

Selon ZUANG et MUSARD (1984), les substrats sont classés selon leur nature et leur propriété physique ou chimique.

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

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

b. Classification selon les propriétés de matériaux : (ZUANG et MUSARD, 1984)

- Les matériaux chimiquement neutres : matériaux minéraux ou synthétique.
- Les matériaux chimiquement actifs : matériaux d'origine végétale et quelques matériaux minéraux.
- Les matériaux ne se dégradant pas : gravier, sable, brique concassée, argile expansée.

Généralité sur la culture hydroponique

- Matériaux se dégradant lentement : marc de raisin, écorce, tourbe blonde.
- Matériaux se dégradant vite : sciure, tourbe noire, vermiculite.

I.6.2. Les conteneurs :

Les conteneurs sont généralement en matière plastique chiquement inertes étanches, durable et faciles à mettre en place (LEMAIRE et al, 1989)

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

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

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

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

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

I.6.3. La solution nutritive :

La composition de la solution nutritive joue un rôle déterminant pour la réussite des cultures hors sol car elle doit assurer l'alimentation hydrominérale des plantes en fonction de leur besoins spécifique durant leur cycle de développement (COIC, 1984). Aussi, doses et les fréquences d'apport seront finement calculées de même que les équilibres de la solution où il faut apporter tous les éléments dont la plante a besoin (macro et micro- éléments) dans une formulation facilement et rapidement assimilable avec les équilibres aux stades de culture (VITRE, 2003).

Trois principaux paramètres caractérisent la solution nutritive : le pH, l'équilibre ionique et la conductivité électrique.

Généralité sur la culture hydroponique

I.6.3.1. Le PH :

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

Pour la majorité des espèces cultivées, l'optimum physiologique du pH se situe entre 5.5 et 6.5. De telle valeurs de pH favorisent l'activité racinaire et assurent une solubilisation des sels et évitent ainsi les risques de précipitation du phosphate et des oligo-éléments (LETARD et al., 1995 ; MORARD, 1995 ; BRUN et MONTARONE 1987).

Le contrôle du pH d'une solution nutritive après sa préparation est recommandé car une variation de ce dernier peut avoir des réparations graves sur la culture, tel que le blocage du phosphore, du fer et du bore dans un milieu neutre ou légèrement alcalin d'où les risques de carence (COIC et LESAIN, 1983). Afin d'éviter toute précipitation éventuelle, il faut abaisser le pH de la solution nutritive à une valeur proche de 5.8 (MORARD, 1995)

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

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

I.6.3.2. Conductivité électrique (CE) :

D'après (CHAUX et FOURY, 1994) la concentration saline de la solution nutritive détermine la pression osmotique au niveau des poils absorbants, pour que l'eau puisse pénétrer dans les racines. Cette concentration doit être inférieure à celle de la plante :

- Si elle trop forte, les racines se nécrosent et la plante flétrit
- Si elle est trop faible, la végétation risque de « s'emballer »

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

D'après (LETARD, 1995), Cette concentration est contrôlée par la conductivité électrique. Celle- ci s'exprime en millisiemence par cm (ms/cm) et qui représente la concentration globale des éléments minéraux dans la solution pour la tomate. Elle varie généralement de 1.8 à 3.0 ms/cm.

Généralité sur la culture hydroponique

I.6.3.3. Equilibre ionique :

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

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

- **Synergie** : la pénétration d'un ion amplifiée par la présence d'un autre (HELLER et al, 1998).

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

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

Chapitre II

Culture de la tomate

La culture de la tomate

II. Culture de la tomate

II.1. Origine et historique

La tomate est originaire des Andes d'Amérique du Sud. Elle fut d'abord cultivée en Pérou, puis au Mexique (au début du XVIème siècle) (varela, 2003) ou les indigènes lui donnèrent le nom « tomalti » dérivé d'un mot aztèque « Zitomate ». On la trouve encore actuellement à l'état sauvage au Pérou, et au Texas, la « tomate cerise » d'où dérivent les variétés que nous connaissons aujourd'hui. (JEAN-MARIE, 2007)

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est devenue un des légumes les plus importants du monde. En 2001, la production mondiale de tomates était d'environ 105 millions de tonnes de fruits frais sur une superficie évaluée à 3,9 millions d'hectares. Comme c'est une culture à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie cultivée s'agrandit de jour en jour. La tomate appartient à la famille des *Solanaceae*.

Cette famille regroupe d'autres espèces qui sont également bien connues, telles que la pomme de terre, le tabac, le poivron et l'aubergine. (VARELA, 2003)

Selon LAUMONNIER (1977) la tomate fut d'abord utilisée comme plante ornementale. Elle entre pour la première fois en 1778 sous la rubrique potagère dans le catalogue Andrieu de Vilmorin (CHAUX ET FOURY, 1994).

Les premières recherches variétales débuteront au 20^{ème} siècle, pour produire des tomates plus régulières, plus productives, et plus résistantes aux maladies. Les modes de production évaluent également la production de tomate sous serre pendant toute l'année, notamment aux Pays _ Bas. Aux Etats _ Unis. Par contre, les cultures restent davantage effectuées en plein champ de façon mécanisée (GILBERT, 2009).

La tomate est considérée toxique avant d'être potagère est comestible (DEGIOANNI, 1997 ; MIKANOSWSKI, 1999). A présent, elle est devenue le premier fruit produit dans le monde et le deuxième légume juste derrière la pomme de terre, autres membres éminents de la même famille (MOLLIER ET AL, 2010).

Elle fut introduite en Afrique du nord par les espagnols, d'abord au Maroc puis en Algérie, en 1905 dans la région d'Oran, ensuite le centre du pays (KOLEV, 1976). Aujourd'hui elle est espèce légumière la plus cultivée en Afrique car elle entre dans la composition de nombreux plats traditionnels (CORCHINOUX, 2008).

La culture de la tomate

II.2. Intérêt économique de la tomate :

II.2.1. Dans le monde et en Algérie :

La production mondiale de tomates en tonnes est de 74 millions en 1992, 89 millions en 1998 et plus de 120 millions. Parmi les 16 pays qui ont produit un million de tonne ou plus, 6 sont largement au dessus de 5 millions de tonne. (DOMINIQUE ET AL ; 2009)

Tableau N°01 : production mondiale de la tomate en 2009

Pays	Production (10 ³)	Pourcentages (%)	Pays	Production (10 ³)	Pourcentages (%)
Monde	124875	100	Tunisie	960	00.7
Chine	31644	25.34	Ouzbékistan	1317	01.0
USA	11043	08.84	Maroc	1206	00.9
Turquie	10050	08.04	Portugal	1085	00.8
Inde	8586	06.87	Nigeria	1057	00.8
Egypte	7600	06.08	Algérie	1023	00.8
Italie	7187	05.75	Syrie	946	00.7
Espagne	4651	03.72	Cuba	803	00.6
Brésil	3453	02.76	France	790	00.6
Mexique	2800	02.24	Japon	758	00.6
Fédération russe	2296	01.83	Argentine	660	00.5
Grèce	1712	01.37	Hollande	660	00.5
Ukraine	1472	01.17	Romanie	627	00.5

(SNOUSSI, 2010)

Selon le tableau, les deux premiers pays producteurs mondiaux sont la chine avec 25.34% suivie d'Etats-Unis avec 08.84%. Avec plus de 10 millions de tonnes de tomates produites chaque année, la Turquie occupe le troisième rang mondial. De nombreux pays tels que l'Egypte, l'Inde, Brésil, le Maroc et la Grèce produisent également chaque année plus d'un million de tonne de tomate. Enfin, des pays comme la France et les Pays-Bas ont une production plus modeste de quelques centaines de milliers de tonnes. (DESMAS, 2005)

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans économie agricole algérienne.

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

La culture de la tomate

Tableau N°02 : Evolution de superficies, de production et de rendement de la tomate en Algérie.

Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Superficie (ha)	2966.61	2898.46	2764.02	2850.02	2703.08	2905.41	3179.25
Production (Qx)	2268220	2071542	1957358	2167274	2687373	3001656	3070566
Rendement (Qx/ha)	764.6	714.7	708.2	760.2	994.2	1019.1	965.8

(MADR, 2012)

Le tableau02 montre que l'évolution des productions et des rendements de 1957358 Qx et 708.2 Qx/ha en 2008 à 3070566 Qx/ha en 2012 respectivement et ce avec l'augmentation des superficies agricoles. Il faut noter que les rendement des années 2010 et 2011, qui étaient de 994 Qx/ha et 1019.1 Qx/ha étaient les meilleures dans la dernière décennie.

II.3. Nomenclature et classification :

Les botanistes modifièrent à plusieurs reprises les noms de genre et d'espèce attribués à la tomate. Elle a été classée par linné en 1753, comme *Salanum Lycopersicum*, d'autre botanistes lui ont attribué différents noms : *Salanum Lycopersicum*, *solanum esculentum*, *lycopersicom* ; c'est finalement *lycopersicom esculentum* attribué par Philippe Mille en 1754, qui a été retenu (MUNROE ET SMALLE, 1998)

Le nom de genre « Lucopersicom » est gréco-latin, il signifie « pêche de loup » et la partie « esculentum » complétant le nom de l'espèce vient du latin et qui signifie « comestible ».

Cette comestibilité ne concerne ni le feuillage, ni les jeunes fruits verts car ils contiennent des alcaloïdes toxique (tomatine, solanine). Ces derniers disparaissent des fruits au cours du murissement (BLANCARD ET *al.*, 2009).

CRONOQUIST (1981) ; GAUSSEN et *al.* (1982) proposèrent la classification de la tomate qui est largement suivie :

Règne.....Plantae
 Sous Règne.....Trachenobionta
 Embranchement.....Magnoliophyta
 Classe.....Magnoliopsida

La culture de la tomate

Sous-classe.....Asteridea
Ordre.....Solanales
Genre.....Solanum ou Lycopersicom
Espèce..... *Lycopersicum esculentum* Mill

II.3.2. Description botanique :

La tomate est une plante herbacée appartenant à la famille des solanacées. Cette famille regroupe d'autres espèces qui sont également bien connues, telles que la pomme de terre, le tabac, le poivron et l'aubergine. La tomate est généralement cultivée comme plante annuelle. Elle peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres (CHAUX ET FOURY, 1994).

II.3.3. L'appareil végétatif :

a) le système racinaire :

La plante de la tomate a une forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventives. (SHANKARA ET AL; 2005).

b) la tige :

La tige est herbacée, poilue, presque ligneuse et le port de croissance varie entre érigé et prostré (NAIKA ET AL, 2005). La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire (VARELA, A.2003).

Les tomates peuvent être classées d'après leur caractère morphologique et botanique qui déterminent l'aspect et le port que revêt le plant de tomate. Ainsi la plupart des variétés ont un port dit indéterminé (ou non déterminer) à l'opposé des autres, dites à port déterminé. (EL DADL ET CHTAIN, 2010)

c) Le feuillage :

DUPONT ET GUIGNARD (2007), rapportent que les feuilles sont alternes et sans stipule, elles sont disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base.

II.3.4. Appareil reproducteur :

a) La fleur :

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

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

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).

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

b) Fruit :

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

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

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

c) La graine :

Les graines sont réparties dans les loges (GRASSELLY ET AL, 2000) selon (CHAUX ET FOURY ; 1994). Les graines sont petites, plates, rondes, de couleur jaunâtre à grisâtre,

La culture de la tomate

souvent poilues. Dans un fruit on peut trouver 20 à 350 graines selon les variétés. Le poids de 1000 graines pèse approximativement 2.5 à 3.5 g (NAIKA ET AL ; 2005)

Les graines ne présentent pas de dormance. La germination est épigée (la graine est soulevée hors du sol par accroissement rapide de la tigelle). Dans de bonnes conditions (25c°), le stade cotylédons étalés est atteint en une douzaine de jours (TIRILLY ET BOURGEOIS ; 1999).

II.4. Types de croissance :

On peut classer la tomate selon le type de croissance en deux groupes : (LAUMONNIER ; 1979)

II.4.1. variété à croissance indéterminée :

Ces variété présentent une tige principale formant un bouquet à fleur toutes les trois feuilles généralement. Il en résulte que la production des fruits est prolongée.

On peut l'arrêter par un pincement du bourgeon terminal à la hauteur souhaitée généralement au-dessus du 4 ou 5^{ème} bouquet. Ce groupe de variété comprend des variétés dont les rendements sont importants.

II.4.2. variété à croissance déterminée :

Dans ce groupe, on trouve des variétés dont la tige émet un nombre donné de bouquets à fleurs. Mais cette tige principale est terminée par un bouquet à fleurs. La croissance de la tige s'arrête d'elle-même. On rencontre dans ce groupe un bon nombre de variétés industrielles.

Les variétés de type déterminé cultivées en plein champ pour le marché du frais ou l'industrie. Les cultivars de type indéterminé sont cultivées surtout sous abri pour la production de tomate en hors sol (MIGLIORERO ET al, 2004). Leur particularité est que, la première est conduite sans tuteurage et sa production est moins échelonnée contrairement à la deuxième (EL FADL ET CHTAINA, 2010).

➤ Avantages de la tomate :

- C'est une culture potagère à cycle relativement court.
- L'on peut opter pour une période de production courte ou longue.
- La tomate peut être cultivée en champ ouvert et sous abri.
- La tomate a une valeur économique élevée.
- Le fruit de la tomate a une teneur élevée en Oglie éléments.
- Les fruits peuvent être transformés, séchés et mis en conserve.

La culture de la tomate

II.5. Les exigences de la tomate :

II.5.1. Les exigences climatiques :

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

A. La température :

La température est le facteur le plus déterminé dans la production de la tomate. Celle-ci réagit énormément aux variations thermiques (CHIBANE, 1999).

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

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

Tableau N°03: Températures requises pour les différentes phases de développement de tomate.

Phase	Températures (°C)		
	Min	Intervalle optimale	Max
Germination des graines	11	16-29	34
Germination des plantes	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-24	30
Développement de la couleur	10	20-24	30

(NAIKA et al, 2005)

La tomate ne présente pas exigences photopériodiques très strictes. Le cycle est d'ailleurs bref, bien que pouvant se prolonger sous les tropiques durant plusieurs saisons, surtout pour les types à port indéterminé (CHAUX ET FOURY, 1994)

Il est à noter que si les températures dépassent 37°, il y'aura une déformation des fruits. (ZEMZEM, 1994)

B. Lumière :

La tomate n'est pas sensible au photopéridisme, mais, exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la plante. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (ANNONYME, 2002). L'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits. (SHANKARA et al., 2005)

C. Humidité :

Une simple expérience permet de déterminer si les réserves en eau disponibles sont suffisantes pour cultiver la tomate. Le stress causé par une carence en eau et les longues périodes arides font tomber les bourgeons et les fleurs. (CHAUX, 1972)

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

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

II.5.2. Exigences hydriques :

Les besoins d'eau (ETM) après repiquage d'une culture de tomate en champ pendant 90 à 120 jours sont de 400 à 600 mm selon le climat.

Les besoins d'eau par rapport à l'évaporation de référence (ET_o) en mm / période sont indiqués par le coefficient cultural (K_c) correspondant aux différents stades de développement de la culture, soit :

- 0.4 à 0.5 pendant le stade initial (10 à 15 jours)
- 0.7 à 0.8 pendant le stade de développement (20 à 30 jours)
- 1.05 à 1.25 pendant le stade intermédiaire (30 à 40 jours)
- 0.8 à 0.9 pendant le stade final (30 à 40 jours)
- 0.6 à 0.65 à la récolte

II.5.3. Exigences nutritionnelles :

La tomate est considérée comme étant l'une des cultures les plus exigeantes en éléments fertilisants. Les exportations dépendent du rendement. Elles sont aussi très variables selon le système de culture (SNOUSSSI, 2010).

II.5.4. Exigences édaphiques :

A. pH :

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

La culture de la tomate

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

B. La salinité :

La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis-à-vis de la salinité. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement export, suite à la réduction du calibre du fruit.

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

C. Sol :

Selon LAUMONNIER et al (1995), la tomate peut être cultivée presque dans tous les sols. Cependant, les sols légers, meubles et riches en matières organiques lui conviennent mieux. Il convient d'éviter les sols trop battants et mal structurés en profondeur, du fait des risques d'asphyxie racinaire de leur conséquence néfaste sur l'alimentation hydrique qui peuvent conduire à la nécrose apicale du fruit. (CHAUX et FOURY, 1994)

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

II.6. La structure et la texture :

La tomate n'a pas d'exigences particulières en matière de sol. Cependant, elle s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés et bien drainés. Une texture sablonneuse ou sablo-limoneuse est préférable (CHIBANE, 1999).

Aération :

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

II.7. Cycle de développement de la tomate :

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

- la « phase végétative » qui correspond à la production phénologique exclusive d'organes végétatifs (feuilles et tiges) et comprise entre la levée et l'apparition de la première inflorescence (DUMAS, 1992).

La culture de la tomate

- la « phase reproductive » qui correspond à la période de production des fleurs et des fruits et qui démarre à la floraison pour s'achever en fin de culture ;

- la « phase de maturation » des fruits qui démarre sept à dix jours avant la récolte des premiers fruits et se termine à la récolte (ATHERTON and RUDICH, 1986)

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

- ✓ Dégradation de l'amidon et production de glucose et de fructose
- ✓ Perte de chlorophylle
- ✓ Synthèse de pigments tels que -carotène et lycopène
- ✓ Accroissement des pectines solubles provenant de la dégradation des parois cellulaires
- ✓ Accroissement de l'acide citrique et malique
- ✓ Accroissement de l'acide glutamique
- ✓ Dégradation des alcaloïdes toxiques (- tomatine).

Les phases de maturation des fruits sont les suivantes :

- **Vert mûre:** le fruit est physiologiquement prêt au mûrissement. La couleur verte tend vers le clair
- **Pointé :** début de changement de la coloration (10% ou moins devient jaune à rose).
- **Tournant :** entre 10 à 30% de la surface devient rose ou rouge
- **Rose :** cette coloration concerne 30% à 90% de la surface du fruit
- **Rouge léger :** Rouge-rose à rouge sur plus de 60% de la surface

II.8. Quelques maladies et ennemis de la tomate :

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

La tomate est sensible à différentes moisissures, bactéries, virus et ravageurs. Les dommages causés peuvent conduire à une réduction considérable de la récolte. Les principaux maladies et ravageurs sont présenté dans les tableaux suivants.

La culture de la tomate

II.8.1. Les principales maladies :

Tableau N°04 : Les principales maladies cryptogamiques et bactériennes de la tomate

Maladies	Conditions favorables, symptômes et dégâts
Le mildiou Phytophthora	Se propage rapidement dans un environnement froid et humide, et peut détruire toute la culture.
Botrytis Botrytis cinerea	Apparition des taches brunâtres accompagnées d'un duvet grisâtre sur feuillage et tiges. Pourriture molle grise et chute des fleurs.
Chancre Bactérien Clavibacter Sp	Flétrissement des feuilles, suivi d'un dessèchement total. Sur fruits, se forment des taches blanchâtres, dont le centre brunit et s'entoure d'un halo jaune clair, d'où le nom de « œil d'oiseau »
Moelle noire Pseudomonas corrugata	Taches sombre sur tige, pétioles et pédoncules. Les vaisseaux demeurent intacts, contrairement à ce qui se passe dans la cas d'une maladie vasculaire.

(BOVEY ET AL, 1972 ; JEAN ET AL, 1991 ; SI BENASSEUR, 2005)

Tableau N°05 : Les principales maladies physiologiques de la tomate.

Maladies physiologiques	Symptômes	Lutte
Nécrose apicale	- Sur fruit, on observe une tache brunâtre qui se nécrose par la suite et provoque le dessèchement pistillaire du fruit qui devient sujette aux attaques des champignons. Les 2 ou 3 premiers bouquets sont les plus touchés par cette anomalie.	- Apport d'engrais azoté à base de nitrates et de calcium. - Irrigation régulière. - ébourgeonnage et effeuillage à temps - éviter l'irrigation avec des eaux saumâtres, traitement chimique avec les nitrates de chaux ou le chlorure de calcium.
Tomate creuse	- Le fruit prend une forme triangulaire ou cordiforme. Les loges sont vides, présentant parfois peu de graines. La chair est moins épaisse.	- Fertilisation potassique fractionnée. - éviter l'apport excessif d'azote et de phosphore. - Irrigation régulière - Bonne fermeture des abris pendant la nuit au cours des mois les plus froids.
Eclatement	- Au cours du grossissement du fruit, on observe des gerçures au niveau du collet qui peuvent évoluer, si les conditions deviennent favorables, en éclatement circulaire ou radial	- Irrigation régulière. aération judicieuse des abris - Fertilisation rationnelle. - Utilisation de variétés tolérantes

(PNTTA., 1999).

La culture de la tomate

Tableau N°06 : Les principales maladies bactériennes de la tomate.

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

(PNTTA., 1999).

La culture de la tomate

Tableau N°07: les principales maladies virales de la tomate

maladies	Symptômes et dégâts	Lutte
<p>Filiformisme mosaïque et nécrose de tomate <i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Folioles filiformes, crispées. -Jaunissement et nécrose à la base des folioles. -Anneau et arabesques blanchâtre à jaunes sur fruits (aspect boursoufflé) 	<ul style="list-style-type: none"> -Lutte soignée contre les pucerons. -Ne pas cultiver de tomates aux abords des cultures de concombre, pomme de terre, et tabac. -Pas de traitements efficaces. -Arracher et brûler les plants atteints
<p>Maladies des feuilles jaunes en cuillère <i>Tomato yellow leaf curl virus</i> (TYLCV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Jaunissement et enroulement des feuilles. -Folioles plus au moins incurvées. -Folioles de taille réduite conférant à la plante un aspect chétif. 	
<p>Mosaïque de la tomate <i>Tobacco mosaic virus</i> (TMV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Plage jaune vif sur foliole. -Folioles filiformes, légèrement enroulées. -Brunissement de fruits. 	
<p>Mosaïque et tache nécrotique de la tomate Virus Y de la pomme de terre (PVY)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Foliole très discrètement marbrées. -Jaunissement internervaire en tache et début de nécrose sur foliole. -Refllet métallique, des taches nécrotiques sur la face inférieure d'une foliole. 	

(MARCHAUX ET al, 2008 ; DOMINIQUE et al 2009)

La culture de la tomate

II.8.2. Principales insectes et ravageurs :

Tableau N°8: Les principaux ravageurs de la tomate.

Ravageurs	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 pymétozine. - Bien aérer et éviter les excès d'arrosage - choisir des variétés résistantes.
Mineuse de feuille de tomate <i>(Tuta absoluta)</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Mines sur feuille cause par la larve, pouvant évoluer jusqu'à une destruction complète du limbe. -Attaque les jeunes fruits verts. 	<ul style="list-style-type: none"> -Installation des filets insectproof sur les ouvrants des multi chapelles, entre les bâches plastiques des tunnels. -Détruire les mauvaises herbes, les broussailles. -Utilisation des insectes auxiliaires.

(BAIRE et al, 2010)

Chapitre II

Culture de la tomate

La salinité

III. La salinité :

III.1. Généralités sur la salinité :

Le problème de la salinité est d'une importance capitale aussi bien par la complexité des moyens à mettre en œuvre pour palier à ce phénomène que par l'extension alarmante des terres atteintes par les sels (AMARA, 2004). Le développement de l'agriculture s'y trouve confronté dans l'ensemble des pays touchés. Pourtant de part le monde, nombreuses sont les actions de récupération de sols salins et saliques, de mise en valeur des sols salés et d'utilisation des eaux salines qui ont connu un développement rapide durant la dernière décennie (Tunisie, Inde, France, Egypte...). (SNOUSSI, 2001)

III.2. Définition :

La salinité est définie selon plusieurs chercheurs comme la présence d'une concentration excessive de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation (BAIZ, 2000 et MAATOUGUI, 2001). C'est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité (ALLAKHVERDIEV *et al*, 2000 in BOUZID, 2010).

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

On a les plantes cultivées qui sont classées en trois groupes en fonction de leur tolérance à la salinité (PENNINGSFEEDE et KURZMANN 1969 in URBAN, 1997) :

- ❖ Plantes résistantes à la salinité : supportant 5-7 g/l, parmi les espèces qui appartiennent à ce groupe, nous avons : le rosier, l'œillet et le chrysanthème.

- ❖ Plantes tolérantes à la salinité : le développement optimal de ces dernières correspond à des concentrations comprises entre 2 et 4 g/l ; la tomate et le chou appartiennent à ce groupe de culture.

- ❖ Plantes sensibles à la salinité : supportant pas plus que 0.2 à 2 g/l, parmi les espèces qui appartiennent à ce groupe, nous avons : la Haricot, le concombre et la laitue.

La salinité

III.3. La salinité dans le monde :

Les terres émergées représentent 13.5 milliards d'ha. Mais, quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, l'Antarctique, le Groenland, il reste 3 milliards d'ha cultivables, soit 22% du total ; c'est seulement 50 fois la France (Nahon ; 2008), et la moitié de ces 3 milliards d'ha cultivables sont déjà cultivées. Comme on prévoit à court terme le doublement des populations humaines, il est plus que temps de se préoccuper de la sauvegarde du capital sol. Or, ce capital est inextensible menacé.

Cet état de fait engendrera très certainement une compétitivité en eau de qualité entre l'agriculture et les populations urbaines, de même que l'abandon des terres se répercutera au double plan, économique et écologique (érosion et désertification) (AMRAR, 2004).

Les superficies affectées par la salinité dans le monde et par région sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau N°09 : les superficies affectées par la salinité dans le monde

Régions	Superficies (Millions d'hectares)
Afrique	80.5
Europe	50.8
Amérique du nord	15.7
Amérique du sud	129.2
Asie du sud	87.6
Australie	357.3
Mexique et l'Amérique centrale	2.00
Asie central	211.7
Asie du sud-est	20
Total	954.8

(HAMDY et al, 1995 in SNOUSSI, 2001)

Les plus vastes étendues des sols affectés par l'excès de sel se trouvent en Australie avec 357 millions d'hectares devant l'Asie centrale et l'Amérique du sud.

III.4. La salinité en Algérie :

En Algérie, le problème est non moindre, puisqu'on assiste à la désertification d'importantes superficies de terres agricoles pour causes de salinité. Sont touchées, les régions sahariennes (Oasis, Périmètre d'Abadla) et les plaines de l'Ouest de Mohammadia – Messerghine. Les terres à proximité des chotts ainsi que certaine régions côtières s'étalant du centre à l'ouest du pays où ce problème commence à se faire sentir (AMAR, 2004). Sur les 10

La salinité

pays de la méditerranée, le pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation en Algérie est situé entre 10 et 15% soit 103321 Ha (CHEVERRY et ROBERT, 1998).

Tableau N°10 : Les superficies salines de la S.A.U par wilaya en Algérie

Wilaya	S.A.U (ha)	Superficie saline de la S.A.U (ha)	% de la S.A.U affectée par la salinité
Tamanrasset	2510	1445	57.57
Ouargla	17390	9850	56.64
Ghardaïa	7930	3284	41.41
Bechar	13250	2249	16.97
Ilizi	570	60	10.53
Djelfa	67760	6250	9.22
Relizene	241670	20000	8.28
Ain timouchent	18350	15000	8.14
tébessa	231750	13000	5.61
Adrar	149900	780	5.20
Biskra	328740	7272	4.80
Khenchela	7940	4480	2.52
Mascara	131730	6475	1.97
Alger	4150	150	1.89
Mostaganem	53880	1977	1.50
Naama	487740	62	1.49
Laghouat	85860	800	1.48
Batna	188620	5100	1.05
Oran	183860	850	0.99
Chleif	22150	1490	0.79
Guelma	72090	1283	0.70
Mila	306480	100	0.45
Boumerdes	72090	192	0.27
Saida	306480	700	0.23
Tipaza	615340	472	0.08
Total Algérie	1.499051104 x 1011	103321	6.89

(ANONYME, 1999)

La salure des sols Algériens est le plus souvent sédimentaire ; de même parmi les causes principales qui sont à l'origine de la salinité, nous pouvons citer :

- ❖ L'intensification de l'agriculture et l'expansion industrielle engendrant d'importantes demandes en eau qui se traduit par l'épuisement des nappes, affectant ainsi les relations entre eau douce et eau saline par l'intrusion de l'eau marine notamment dans les régions côtières.
- ❖ Le problème de la sécheresse devenu chronique qui sévit depuis plusieurs années car on trouve toute la gamme de climat secs et chauds, depuis le semi-aride de certaines

La salinité

plaines du sub-littorales, passant par l'aride déjà bien accusé, les hautes plaines steppique, jusqu'à l'extrême aride du Sahara.

- ❖ Les régions dont les eaux d'irrigations renferment des quantités excessives de chlorure de sodium (AMRAR, 2004)

III.5. Les Types de salinisation :

Ils existent deux types de salinité qui sont : primaire et secondaire :

III.5.1. Salinité primaire :

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

III.5.2. Salinisation secondaire :

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

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

III.6. Effets néfastes de la salinisation :

III.6.1. Effet de la salinité sur les phénomènes physiologiques :

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

Les travaux de l'année lui confirme aussi in URBAN 1997 Lui aussi confirme que lorsque les racines sont soumises à un choc salin, il y'a fermeture des stomates au niveau des feuilles.

La salinité

Il ajoute que la première conséquence d'un apport excessif d'éléments minéraux est une diminution de la taille des organes produits.

A. Effet de la salinité sur la germination :

La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (BOUCHOUKH, 2010). Bien que les halophytes possèdent une teneur très élevée en sel dans leurs tissus au stade adulte, leurs graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination (Belkhodja et Bidai, 2004).

Le stade germination est souvent limité par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (BOUDA S et HADDIOUI, 2011)

B. Effet de la salinité Sur la biochimie de la plante :

La salinité réduit la vitesse de la photosynthèse suite à une diminution de la conduction stomatique de CO_2 (SANTIAGO et *al*, 2000). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs comme la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO_2 , la toxicité du sel, la réduction de l'approvisionnement en CO_2 à cause de la fermeture des stomates. La sénescence accrue induite par la salinité et le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique (IYENGAR et REDDY, 1996 in: PARIDA et DAS, 2005).

Chez diverses espèces plus ou moins résistantes, un taux élevé des sucres totaux résultant du blocage de la glycolyse ou du saccharose provient d'une grande hydrolyse de l'amidon (ASLOUM, 1990).

III.6.2. Effets de la salinité sur la nutrition minérale des végétaux :

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes, à savoir la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (LEVIGNERON et *al*, 1995 in HAOUALA et *al*, 2004).

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{++} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{++} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. L'interaction entre les ions Na^+ et Ca^{++} . (JENDOUBI, 1997).

La salinité

III.6.3. Effet de la salinité sur la sécrétion de la chlorophylle :

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

III.6.4. Effet de la salinité sur la croissance et le développement :

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

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

Les travaux de BINET (1982), ajoutent qu'une salinité prolongée provoque la chute des feuilles et la mort totale.

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

III.6.5. Effet de la salinité sur le rendement :

Beaucoup de recherche ont prouvé que la salinité est la principale raison de la réduction du rendement (KONING, 2000). Lorsque la salinité est modérée, le rendement est surtout affecté par le poids des fruits que par leur nombre. Par contre, une salinité élevée affecte en même temps les deux composantes du rendement.

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

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

III.7. Symptômes, causes et conséquences de la salinité :

III.7.1 Les Symptômes de la salinité :

Les véritables halophytes sont en général prostré « succulents » et glabres. Leurs feuilles sont petites ou absentes et cireuses, souvent à structure iso latérale, avec de rares méats. Chez les glycophytes, ce sont les plantes moins bien adaptées au milieu salé. Les symptômes généraux d'une haute teneur en sels du sol (et de la plante elle-même) sont d'après (RUSSELL ; 1952), nanisations et rabougrissement, feuilles ternes, souvent bleuâtres et cireuses, puis dépérissement des bords du limbe (DORSMAC N ; 1945), défoliation et mort de la plante. Les réactions des plantes sont fortement influencées par les conditions climatiques du moment : température, humidité de l'atmosphère et du sol, qui agissent à la fois sur la plante elle-même et sur la concentration saline de la solution du sol.

Au surplus, chaque espèce présente des symptômes particuliers «SIMONNEAU.P ; 1945-1946 » ; « YANKOVITCH. L ; 1946 ». Les symptômes visibles ne constituent pas en eux-mêmes des problèmes. Ils ne sont que les manifestations apparentes de la solution apportée par chaque végétal à l'ensemble des problèmes que pose son existence en milieu salé, et l'état d'équilibre qui s'établit entre la plante et le milieu. Les cas de toxicité spécifique des divers sels étant bien rares, le problème essentiel est la réalisation à tout au moins d'un équilibre satisfaisant, entre l'eau, la plante et les sels dans le milieu considéré.

III.7.2. Les causes de la salinité :

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturelles sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité médiocre de l'eau d'irrigation « ASHRAF. M. FOOLAD MR ; 2005 »

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures « DENDEN. M, ET AL ; 2005 »

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorable aussi que la faible fertilité sont généralement peu convenables pour la production agricole,

La salinité

entraînant la réduction inacceptable de rendement. En raison du besoin accru de distribution de production alimentaire et d'augmentation des sols affectés par salinité, la recherche sur des réponses des plantes à la salinité a rapidement augmenté en quelques dernières décennies « MADHAVA RAO KV, ET AL ; 2006 ».

Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs Kilomètre à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux « BOUZID. Z ; 2010 ».

En Algérie, ce problème 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 « phénomène analogue au niveau de la sebkha ». L'exploitation intensive et anarchique des nappes par l'agriculture a créé localement des problèmes de pollution et de dégradation du sol « Morsli B ; 2007 ».

Les travaux de «URBAN.L ; 1997 » montrent que la salinité des sols peut avoir pour causes :

- ❖ D'existence d'un mauvais drainage est une condition essentielle de la salinisation. Ainsi, dans les régions arides et semi-aride ; l'inexistante du drainage et du transport des sels dans le sol.
- ❖ Dans la zone côtière, les apports marins et éoliens ont une influence directe et indirecte sur les sols et les eaux souterraines.
- ❖ Une irrigation sur sol non drainant utilisant une eau légèrement saline « accumulation des sels dans les sols »

III.7.3. Les conséquences de la salinisation des sols :

L'excès de sel modifie principalement les propriétés physico-chimiques et biologiques dans le sol.

Les effets chimiques sont liés à la concentration des solutions et à la valeur du pH.

Selon « STENGEL ET GELIN ; 1998 » il existe deux cas spectaculaires du changement du pH du sol qui peuvent survenir au phénomène de la salinisation :

La salinité

- a. Le premier est celui de forte augmentation du pH lorsque les sels qui s'accumulent sont des bicarbonates ou carbonates de sodium « processus d'alcalinisation ». Dans ce cas, la matière organique du sol est solubilisée, la fertilité est alors très réduite car de nombreux éléments indispensables à la plante sont totalement insolubilisés.
- b. Le cas inverse c'est celui des sols acides, exemple : sols sulfatés acides dont le pH peut descendre de 2 à 4 à cause de l'accumulation des sulfures à faible profondeur.

La dégradation physique des sols peut intervenir pour de très faibles teneurs en sels alors que la dégradation chimique et les effets biologiques sont encore quasi nuls « ROBERT, 1996 »

Dans le cas des sols riches en sodium, les effets sur les propriétés physiques deviennent prépondérants et s'expliquent par le rôle spécifique de cet élément sur les argiles.

D'après « Donahue ; 1958 » le sodium présent en solution va s'échanger sur les sites extrêmes des feuillettes, par son effet sur la couche diffuse des argiles.

L'argile aussi bien que la matière organique est dispersée, ce qui provoque un tassage serré des particules de sol. Ce tassage des particules réduit le volume et le nombre des espaces poreux, et de ce fait, l'eau et l'air ne peuvent se mouvoir rapidement dans le sol.

Les densités des populations microbiennes dans les sols salés relativement plus faible que dans les sols sains « CHAUSSOD. R, ET AL 1986 ».

Selon (Domergue, 1962), il mentionne que la baisse de la microflore totale ne s'observe qu'à des niveaux de salinité relativement élevés.

Les minéralisations, primaires et secondaires sont peu actives en sols salés. Le primaire peut être relativement active lorsque la matière organique apportée est facilement biodégradable. L'humification en milieu salé aboutit à des composés peu polycondensés hydrosolubles ou pseudo solubles, ce qui défavorise la stabilité structurale et l'alimentation des cultures « MALLOUHI. N, JACQUIN. F ; 1986 »

III.8. La salinité et la plante

III.8.1. Définitions du stress salin :

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

La salinité

Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. D'après JONES et *al* (1989): "C'est une force ou influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner".

Les dommages causés par le stress salin à long terme est surtout le déséquilibre ionique et la toxicité provoqués par le Na^+ plutôt que l'effet du sel sur le potentiel hydrique réduisant la disponibilité en eau (MUNNS, 2002 in BELKHEIRI, 2007).

A la fin on appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (HOPKINS., 2003).

III.8.2. Les deux types de stress :

On peut distinguer deux types du stress dans la nature :

III.8.2.1. Le stress abiotique:

Il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau (asphyxie racinaire), la salinité... .

On peut citer quelques types des stress abiotiques qui peuvent affecter les végétaux :

A. Le stress hydrique: provoqué par un déficit en eau constituant un menace permanent pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leurs permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée (HOPKINS, 2003).

B. Le stress thermique: provoqué par la température, c'est l'un des facteurs les plus limitant et qui conditionne la production et la croissance des plantes.

C. Le stress salin: le stress salin est défini comme une concentration excessive en sel. Le terme stress salin s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na^+ et Cl^- (HOPKINS, 2003).

III.8.2.2- Le stress biotique:

Il est du à une agression par un autre organisme : insectes, champignon, animal,...Etc.

III.9. Mécanismes de résistance à la salinité :

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin (PIRI et *al.*, 1994). Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin (figure 1), qui diffèrent selon la catégorie de la plante (BERTHOMIEU et *al.*, 2003).

Chez les plantes sensibles au NaCl, le Na⁺ s'accumule dans les racines, puis il est exclu des feuilles. Ces plantes sont dites « excluder ». A l'inverse, les plantes tolérant le NaCl, sont dites « incluser » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na⁺ que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (HAOUALA et *al.*, 2007)

III.9.1. Exclusion :

La plante empêche le sel de remonter dans la sève jusqu'aux feuilles. La présence de l'endoderme dans les racines ainsi que le transport sélectif, leur permet d'absorber les ions nutritifs utiles et de réexcréter les ions Na⁺ (GENOUX et *al.*, 1991).

Quelques halophytes peuvent empêcher l'absorption excessive de sel par exclusion du sel au niveau des racines et de la partie inférieure de la tige. Dans ce cadre, la sortie de Na⁺ des vaisseaux du xylème en échange d'une entrée de K⁺ venant des cellules parenchymateuses du xylème et du parenchyme avoisinant, joue un rôle important dans la tige et les racines (LUTTGE et *al.*, 2002).

III.9.2. Inclusion :

La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (BERTHOMIEU et *al.*, 2003), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (ALEM et AMRI., 2005). L'excrétion dans les glandes à sel est très spécifique ; d'abord Na⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ sont excrétés contre le gradient de concentration, alors que des ions comme Ca⁺⁺, NO₃⁻, SO₄⁻⁻ et H₂PO₄⁻. Sont maintenus contre leur gradient (HOPKINS., 2003).

III.9.3. La ré excretion :

La plante a la capacité de réexpédier aussitôt l'excès de sel parvenu jusqu'au feuilles vers ses racines, par l'intermédiaire de sa sève descendante par le phloème. Les racines peuvent ensuite réexcréter le sel à l'extérieur et l'éliminer vers le sol (BERTHOMIEU et *al.*, 2003).

III.10. Mécanismes d'adaptations à la salinité :

III.10.1. Caractéristiques morphologiques et anatomiques :

On peut résumer ces caractéristiques par ces points :

- Une cuticule épaisse
- Des stomates rares (HELLER et *al.*, 1998)
- Des cellules à grandes vacuoles pour favoriser le stockage de NaCl (LUTTGE *al.*, 2002).

Une succulence des feuilles, qui deviennent épaisses ou cylindriques (*Suaeda*) ou de leurs tiges dans le cas de l'espèce aphyllé (*Salicornia*) (LEMEE, 1978).

III.10.2. Caractéristiques physiologiques :

Pour qu'elles puissent absorber l'eau et continuer leurs fonctionnements vitaux, les halophytes adoptent trois mécanismes essentiels :

A. Répartition et accumulation des ions dans la plante

Une forte capacité d'absorption et une accumulation préférentielle de Cl⁻ et Na⁺ dans les parties aériennes surtout au niveau des feuilles chez les halophytes. Ainsi, plus de 90% de Na⁺ sont accumulés au niveau de la partie aérienne (80% dans les feuilles) (ASLOUM, 1990), qui a pour but d'élever le potentiel osmotique qui peut dépasser 50 atm. Celui-ci contribue à maintenir le potentiel hydrique de la plante inférieur à celui de la solution du sol (LEMEE, 1978).

B. Compartimentation vacuolaire

La compartimentation est la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na⁺ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (JEBNOUNE, 2008). La plante utilise en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de ses cellules. Elle capte le sel qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles étant des compartiments fermés au sein de la cellule. Le sel est ainsi isolé dans des constituants cellulaires vitaux (SENTENAC et BERTHOMIEU, 2003 in BOUCHOUKH, 2010).

Chapitre IV

Potentiel hydrogène "pH"

Potentiel hydrogène « pH »

IV. Potentiel hydrogène pH:

IV.1. Définition :

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. La valeur 7 correspond à la neutralité. Le domaine entre 0 et 7 constitue le milieu acide, et entre 7 et 14 le milieu est basique. Le pH renseigne sur l'origine de l'eau. Par exemple, les eaux de surface ont un pH compris entre 7 et 8. Les eaux souterraines ont un pH situé entre 5,5 et 8. Un pH très basique témoigne d'une évaporation intense. Le pH d'un lac ou d'un étang dépend de son âge et des déchets déversés. Lors de sa formation, un lac a un pH basique (ou alcalin) et progressivement il s'acidifie (fermentation de matériaux organiques, dissolution de dioxyde de carbone avec formation d'ions bicarbonates,...). (RODIER, et al, 2009)

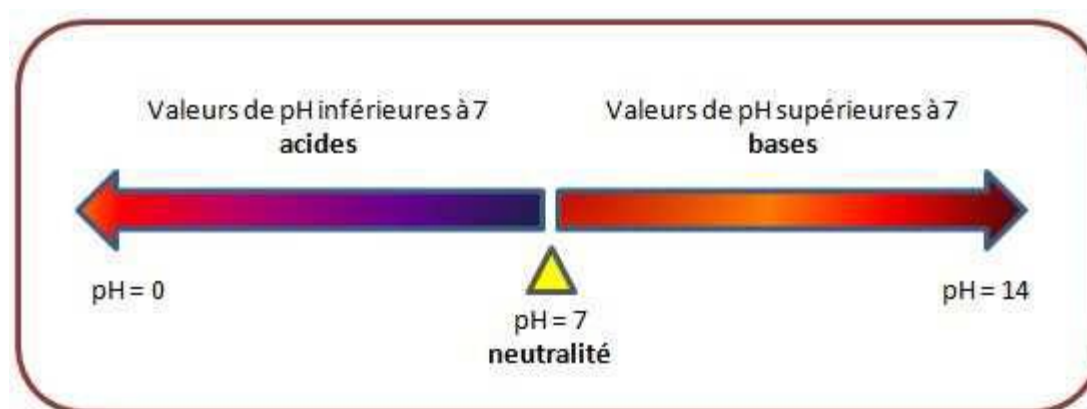


Figure N°01 : L'échelle du pH

Le potentiel hydrogène (ou pH) est un nombre qui permet d'évaluer l'acidité ou la basicité d'une solution. Il mesure l'acidité chimique des ions d'hydrogènes (H^+), (appelés aussi couramment protons) en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous la forme de l'ion oxonium (également, et improprement, appelé ion hydronium). (RODIER, et al, 2009)

Si la valeur est inférieure à 7 ($pH < 7$), le milieu est acide. Plus le pH est faible, plus l'acidité de la solution est forte. Lorsqu'elle est supérieure à 7 ($pH > 7$), le milieu est au contraire basique.

Plus le pH est élevé, plus la basicité de la solution est forte. Lorsqu'elle est égale à 7 ($pH=7$), le milieu est neutre. C'est le cas de l'eau pure (RODIER, et al, 2009).

Potentiel hydrogène « pH »

Pour représenter la valeur pH, on établit une échelle qui couvre une plage de 0 à 14 comme sur la figure suivante :

IV.2. pH en agriculture :

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

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

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

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

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

IV.3. pH en Biologie :

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

En biochimie spécifiquement, les enzymes, principaux catalyseurs, vivent dans des intervalles de pH précis. En effet, les enzymes sont des protéines qui du fait de la coexistence

Potentiel hydrogène « pH »

des fonctions acides (acides carboxyliques) et basiques (fonctions amines), sont très sensible au pH.

En considérant, le métabolisme cellulaire par exemple, on peut noter qu'au niveau cytosolique, le pH est d'environ 7,4 et à l'intérieure, au niveau des lysomes, le pH est inférieur à 4.

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

IV.4. pH en Chimie :

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

En chimie analytique, la précipitation des solides tient compte du Ph. En électrophorèse, le pH permet de modifier le type de charge des particules et donc d'isoler de façon spécifique certaines espèces. Dans la chimie des suspensions, le pH permet d'améliorer la qualité de la dispersion. En effet, il concourt à accroître ou à diminuer la charge des particules agissant ainsi sur les forces de répulsion inter colloïdales qui sont un facteur de stabilité du système colloïdal. Le pH est aussi un facteur d'influence sur la vitesse de certaines réactions car il influence la structure des réactifs et donc leur réactivité relative. (MBEY, 2007).

IV.5. pH de l'eau :

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

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

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

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

Potentiel hydrogène « pH »

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

IV.5.1. Le pH de l'eau pure :

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

Elles sont représentées par formule brute H₂O. Certaines de ces molécules en très petit nombre, se trouvent à tout instant dissociées en deux parties. L'une appelée ions hydroxyle le OH⁻ chargée négativement, et l'autre appelée proton H⁺ chargée positivement. Celui-ci en fait donne un ion hydronium H₃O⁺ avec une autre molécule d'eau. On représente l'équilibre qui s'établies de la façon suivante (LAHMAR et al, 1986)



Le produit de la concentration en H₃O⁺ et OH⁻ est déterminé par la température de l'eau 25C° (OH⁻). (H₃O⁺) : 10⁻¹⁴

D'après l'équilibre précédent, il y'a autant d'ion OH⁻ que d'ion H₃O⁺ : leurs concentrations respectivement sont donc égales à 10⁻⁷ mol par litre, c'est-à-dire qu'il y'a 0.0000001 mol d'eau dissociée par un litre d'eau pure. (LAHMAR et al, 1986)

La concentration en ions H₃O⁺ ou OH⁻ est très souvent prise en compte sans l'étude des systèmes aqueux purement chimiques ou biologiques et la manipulation des puissances négatives de 10 apparait vite fastidieuse. (LAHMAR et al, 1986).

Dès lors on préfère considérer le cologarithme décimal de la concentration en H₃O⁺, exprimée en moles par litre plutôt que cette concentration elle-même. Ainsi, dans l'eau pure, on obtient (LAHMAR et al, 1986) :

$$\text{pH} = \text{colog}(\text{H}_3\text{O}^+) = -\log 10^{-7} = 7$$

Le pH de l'eau pure est donc de 7

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

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

IV.5.2. pH d'une solution aqueuse:

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

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

Potentiel hydrogène « pH »

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

La somme du pH et du pOH étant constante, il suffit de connaître l'un pour en déduire l'autre.

On ne considère en général que le pH (LAHMAR et al, 1986)

En résumé :

La solution est acide lorsque :

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

La solution est neutre lorsque :

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

La solution est basique lorsque :

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

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

IV.6. Acidité et basicité :

Il s'agit de la capacité d'un corps, plus souvent un liquide, à libérer des ions acides ; ou l'atome d'hydrogène (H) du groupe carboxyle (-COOH) des acides carboxyliques tels que l'acide acétique peut être libéré sous forme d'ion H^+ (proton) dans ce cas on parle d'acidité, ou des ions OH^- dans ce cas on parle de base.

On dira qu'un liquide est acide s'il contient plus d'ions H^+ que d'ions OH^- et basique si c'est l'inverse.

IV.7. Comment puis-je augmenter ou réduire le pH d'eau?

Une eau acide peut être corrigée par une des deux méthodes suivantes:

1. Un filtre neutralisant augmente le pH de l'eau en la faisant passer au travers d'un filtre de carbonate de calcium (CaCO_3). Ce dernier neutralise l'acidité et augmente le pH.
2. Une solution de carbonate de sodium peut être injectée directement dans la pompe à eau au moment où celle-ci se met en marche. N.B.: Le carbonate de calcium et le carbonate de sodium sont les deux composants les plus répandus pour augmenter le niveau de pH dans l'eau potable.

Une eau basique peut être corrigée soit en ajoutant une quantité spécifique d'acide hydrochlorique ou un produit chimique commercial spécialement conçu pour diminuer le pH. Il est toujours préférable de consulter un expert en traitement de l'eau lorsqu'on veut modifier le pH d'une eau (ANONYME)

Potentiel hydrogène « pH »

IV.8. Comment mesure-t-on le PH ?

Plusieurs méthodes existent pour mesurer le pH de l'eau d'un lac, mais elles n'offrent pas toutes le même degré de précision, rendant les données parfois incertaines. La méthode à utiliser dépend de la précision des données que vous souhaitez obtenir. Le papier indicateur et les bandelettes-tests sont imprégnés 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, un appareil électronique muni d'une sonde. (LANDRY, 1992 ; HADE, 2002)

La mesure de pH peut se faire de manière approximative mais rapide à l'aide d'un rouleau de « papier pH » ou avec une autre méthode plus précise, c'est à l'aide d'un pH-mètre.

IV.8.1. Le papier indicateur de pH :

Il s'agit d'un papier spécial, également appelé papier de tournesol, qui contient un produit chimique lequel indique le pH d'une substance d'après la couleur que prend le papier après avoir été trempé dans la solution.



Figure N°02 : papier indicateur

IV.8.2. Le pH-mètre :

Un pH-mètre est un appareil souvent électronique permettant la mesure du pH d'une solution aqueuse.

Le pH-mètre est généralement constitué d'un boîtier électronique permettant l'affichage de la valeur numérique du pH et d'une électrode de verre permettant la mesure. Son fonctionnement est basé sur le rapport qui existe entre la concentration en ions H_3O^+

Potentiel hydrogène « pH »

(définition du pH) et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre une fois plongé dans la solution étudiée. (CLYDEF et al, 1991).



Figure N°03 : pH mètre

❖ Etalonnage du pH-mètre :

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

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

IV.9. Rapport entre le pH et les autres paramètres de la qualité de l'eau :

Comme l'équilibre chimique d'une solution aqueuse fait invariablement intervenir des ions hydrogène (et hydroxyle), le pH sera lié, d'une ou de plusieurs façons différentes, à presque tous les autres paramètres de la qualité de l'eau. (POURBAIX, 1974)

IV.9.1. Caractéristiques physiques :

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

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

Le trichlorure d'azote, qui a une odeur piquante désagréable a tendance à se former en plus grandes concentrations à des pH faibles (<pH 7) au cours du procédé de chloration (MORRIS, 1971). On prétend également qu'une eau dont le pH est élevé acquiert un goût amer (MORRIS, 1971).

Potentiel hydrogène « pH »

Dans un échantillon d'eau donnée, l'intensité de la coloration augmente avec l'élévation du pH (BLACK, 1963). Cet effet indicateur a amené à imaginer que toutes les mesures à effectuer dans la perspective du contrôle de la qualité devraient se faire à un pH normalisé de 8,3 (SINGLY et al, 1966).

IV.9.2. Caractéristiques chimiques :

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

Une étude portant sur une eau potable peu alcaline au pH passablement bas a révélé de fortes concentrations de plomb dans l'eau potable circulant dans des tuyaux en plomb (MCFARREN et al, 1977). Le cadmium, dans l'eau pure, est passif à des pH compris entre 9 et 13,5 environ, mais des données expérimentales indiquent qu'il ne se corrode véritablement qu'à des pH inférieurs à 6 (POURBAIX, 1974).

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

Certaines molécules responsables de la coloration des plantes, des légumes ou des fruits (autres que la chlorophylle) sont sensibles à leur environnement chimique et notamment au pH du sol. C'est le cas des anthocyanes, famille de colorants naturels dont la couleur varie en fonction de l'acidité ou de la basicité d'une solution.

IV.11. Effet du pH sur l'assimilation des oligo-éléments :

IV.11.1. Manganèse :

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

IV.11.2. Cuivre :

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

IV.11.3. Fer :

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

IV.11.4. Zinc:

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

IV.12. Rôle du pH :

Le pH est considéré comme une variable de ressource puisqu'il détermine l'assimilation des plantes en minéraux (DUCHAUFOR, 1989)

Mais il peut aussi être considéré comme variable directe puisqu'il a un effet physiologique sur la croissance des plantes (AUSTIN, 1980). Une saine gestion du sol commence par la correction des problèmes de pH. (ANONYME, 2003)

Le pH détermine également la concentration du sol en métaux lourds, l'activité des microorganismes et de la faune du sol ainsi que la forme d'humus (CASYTIGNAO et al, 2011).

Par conséquent, certaines espèces végétales étant plutôt calcicoles ou acidophiles, la teneur en protons mesurée par le pH du sol semble un déterminant important de la distribution de ces espèces. (DUCHAUFOR, 1989)

Chapitre V

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

V. Matériel et méthodes :

V.1 : Objectif de l'expérience:

Dans notre expérimentation nous avons étudié d'une part l'important du potentiel hydrogène et l'influence du Magnésium apporté sur la forme sulfate et chlorure de d'autre part sur la croissance et le développement des plante se tomate variété Marmande cultivées en hydroponique « sous serre »

V.2 : Matériel végétal :

Le matériel végétal choisi dans notre essai est la tomate (*lycopersicum esculentum Mill*), famille des SOLANACEES, variété Marmande.

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

Aussi la Marmande est une variété vigoureuse à feuillage moyen. Beaucoup de plante ont tendance à formes le premier bouquet à l'extrémité de la tige centrale. Les fruits sont gros aplatis, très côtelés d'un rouge éclatant. Le fruit pèse en moyenne 160-200 grammes.

La Marmande est une variété très précoce et très productive.

❖ Les principales caractéristiques de la variété Marmande :

Nature : variété fixée à croissance indéterminée

Culture : printemps

Précocité : variété précoce

Vigueur : Bonne vigueur

Feuillage : moyen

Poids des fruits : gros fruit aplati peau très côtelée

Destination : marché frais et industrielle.

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

Matériel et méthodes

V.3 : Conditions expérimentales :

V.3.1 : Lieu de l'expérience :

Notre expérimentation a été réalisée à la station expérimentation du département de biotechnologie, au laboratoire de biotechnologie végétale de l'université de Blida, situé dans la plaine de la Mitidja. L'expérience est réalisée dans une serre en polycarbonate dont l'orientation est nord-sud et d'une superficie de 382.5m².

L'Aération est assurée par des fenêtres placée latéralement de part et de l'autre de la serre et de deux portes placées une au nord et l'autre au sud.

En période froide, le chauffage est réalisé à l'aide de radiateurs à eau chaude.



Figure N°04 : Lieu de l'expérimentation

V.3.2 : La température :

L'évolution de la température interne de la serre tout au long du cycle de développement de notre espèce étudiée, a été contrôlée par un thermomètre placé au centre de la serre.

Les relevés quotidiens de la température ont été effectués à trois moments de la journée : (09h, 12h, 16h). Le tableau suivant indique les moyennes des températures tous les 15 jours.

Matériel et méthodes

Tableau N°11 : Moyennes des températures

périodes	température		
	09h	12h	16h
24/11/2014 au 08/12/2014	16	20.5	19.5
09/12/2014 au 23/12/2014	16	22	22
24/12/2014 au 07/01/2014	17	25	24
08/01/2014 au 22/01/2015	14	22.5	21
23/01/2015 au 06/02/2015	16	21.5	24
07/02/2015 au 21/02/2015	15	23.5	26
22/02/2015 au 08/03/2015	18	25	24
09/03/2015 au 23/03/2015	17	27.5	25
24/03/2015 au 07/04/2015	18	29	28.5
08/04/2015 au 22/04/2015	26	30	29
23/04/2015 au 26/04/2015	27	31	30

D'une manière générale, et d'après les données de tableau, nous pouvons dire que les températures pendant le cycle végétatif répondaient aux besoins des plantes de tomate, mis à part durant les périodes chaudes notamment aux mois de Mars et D'avril où l'on a enregistré quelques augmentations de température.

On remarque que les températures matinales étaient légèrement basses durant les périodes froides. Les températures à midi étaient généralement favorables, à partir de 12h on remarque une augmentation des températures sans dommages apparent sur les plantes.

V.3.3 : Conteneurs :

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



Figure N°05 : Aspect général des conteneurs

Matériel et méthodes

V.3.4 : Substrat utilisé :

Le substrat utilisé dans notre essai est le gravier, de diamètre de 3 à 8mm. Ce substrat constitue un milieu dépourvu micro-organisme et grâce à sa porosité, il assure une meilleure aération pour les racines des plantes.

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

- Nettoyages des pots



- Lavage de gravier (Élimination des particules terreuses et des résidus organiques présents dans le gravier par un lavage abondant à l'eau courante.



Matériel et méthodes

- Nettoyage de la paillasse de culture



- Remplissage des pots par le gravier lavé



- Désinfection du gravier avec une solution javellisée diluée, de concentration initiale 12°, durant 24heures.
- Rinçage abondant de tous les pots à l'eau de robinet pour éliminés toutes les traces de l'eau de javel, fortement nocive pour les jeunes plantules de tomate.



Matériel et méthodes

V.3.5 : Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dont l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de 01 à 10.

Le dispositif expérimental est un dispositif à un facteur : (facteur solution à 03 niveaux). Chaque traitement comporte 09 observations, soit 27 unités expérimentales au total.



Figure N°06: Le dispositif expérimental utilisé

V.4 : Pré germination et repiquage :

V.4.1 : Pré germination :

Elle à été réalisée au niveau du laboratoire des cultures maraichères.

Les semences utilisées correspondant à la variété testé Marmande (variété de la tomate), La pré germination à été réalisée le 24.11.2014, de la façon suivante :

Nous avons semé les graines dans des boites de pétris contenant du papier buvard imbibé d'eau que nous avons placé dans une étuve à une température de 25°C pendant 08 jours. La faculté germinative était de 95%.

Matériel et méthodes



Figure N°07 : Essai de pré germination des graines de tomate (variété Marmande)

V.4.2 : Repiquage :

Le repiquage des jeunes germes de tomate à été effectué le 06.12.2014, 12 jours après la germination des graines, à raison de trois ou quatre germes par pots.



Figure N°08 : Repiquage des germes de tomate.

V.5 : Les traitements utilisés :

V.5.1 : Caractéristiques de l'eau utilisée pour la synthèse des solutions nutritives :

Pour des raisons pratiques et compte tenu les besoins en eau importants des plantes, nous avons préparé la solution nutritive standard avec l'eau potable de Blida.

Durant l'expérimentation, on a préparé une solution nutritive standard reconstitution à base de l'eau de Blida qui à une concentration globale de sels avoisinant de 0.49 g/l. cette

Matériel et méthodes

concentration dépasse 0.2 g/l norme indiquée par penneingsfeld et Kurzman (1960) in Mallen (1997). Ou analyse de l'eau est obligatoire.

De ce fait, l'analyse de l'eau de Blida est jugée nécessaire avant la préparation de la solution nutritive.

Tableau N°12 : Teneurs des différents éléments minéraux contenu dans l'eau de Blida

Eléments	Teneur en mg/l	Teneur en meq/l
K+	00.00	00.00
Ca++	56.00	2.80
Na+	29.90	1.30
Mg++	21.60	1.80
NO3-	21.70	0.35
SO4--	38.40	0.80
CL-	21.30	0.60
HCO3-	245.00	4.08
Total	433.90	11.73

(SNOUSSI, 2001)

V. 5.2 Correction de l'eau de Blida :

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau ci-dessus révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4.08 méq/l) ; ce qui rend le milieu plus basique (pH=7.8), nécessitant une correction de pH.

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

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique (HNO₃) et l'acide phosphorique (H₃PO₄). Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et les phosphates.

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

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

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

Matériel et méthodes

Cette quantité d'acide sera partagée entre :

A/ $H_3PO_4 = 1.1 \text{ meq/l}$ (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 meq/l de phosphore) compte tenu que H_3PO_4 est trivalent.

B/ $HNO_3 = 3.3 - 1.1 = 2.2 \text{ meq/l}$ (besoin partiel en nitrates).

V.5.3 : Préparation de la solution nutritive :

Références Eaux	pH	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{--}	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	[sel] g/l
Eau de Blida	7.5	0.35	00	0.60	0.80	1.30	2.80	1.80	0.49
T1 Eau de Blida corrigé	5.5	2.55	3.30	0.60	0.80	1.30	2.80	1.80	0.49
T2 Eau de Blida corrigé et enrichi en $MgCl_2$	5,5	2.55	3.30	6.05	0.90	1.30	2.90	7.25	0.55
T3 Eau de Blida corrigé et enrichi en $MgSO_4$	5.5	2.55	3.30	0.60	6.25	1.30	2.80	7.25	0.67

V.6 : Technique de préparation les trois traitements :

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

- Solution nutritive standard: Eau de Blida transformée en solution nutritive. Elle a été utilisée afin d'obtenir un matériel végétal résistant et homogène pendant un mois.
- **T1:** Eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique.
- **T2 :** Eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique et ou le Mg est lié au Cl.
- **T3 :** Eau de Blida, à qui on a corrigé le pH de 7,8 à pH= 5,5 par l'acide nitrique et l'acide phosphorique et ou le Mg est lié au SO_4 .

Matériel et méthodes

V.6.1. Traitements testés:

❖ Reconstitution de l'eau de Blida pH= 5,5 : T1

On a réalisé la reconstitution avec l'eau de Blida, en prenant compte des éléments minéraux déjà présents dans cette eau naturelle, en apportant les éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le proche possible de l'analyse initiale.

Le traitement T1 a subi une correction du pH par l'utilisation de l'acide phosphorique et l'acide nitrique pour abaisser le pH de 7,8 à 5,5.

Tableau N°13 : Reconstitution de l'eau de Blida pH = 5,5.

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻ 00	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 00					0
Na ⁺ 1,30					1,30
Ca ⁺⁺ 2,80					2,08
Mg ²⁺⁺ 1,80					1,8
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺	2,20	1,1			3,3
Total	2,55	3,3	0,80	0,60	

$$\text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,61 \text{ mg/l.}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80 \text{ mg/l.} \quad \text{Total} = \left. \begin{array}{l} \text{HNO}_3 \\ \text{H}_3\text{PO}_4 \end{array} \right\} 736,41 \text{ mg/l.}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 490 \text{ mg/l.}$$

Matériel et méthodes

❖ Elaboration du traitement T2

Tableau N°14 : Elaboration du traitement T2, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgCl₂.

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻ 0,00	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 0,00					0
Na ⁺ 01,30					1,30
Ca ⁺⁺ 02,80					2,80
Mg ²⁺⁺ 01,80				5,45	7,25
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	2,55	3,3	0,8	6,05	

➤ Calcul la quantité de MgCl₂ :

$$\text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,61 \text{ mg/l.}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80 \text{ mg/l. Total} = 800,4 \text{ mg/l.}$$

$$\text{MgCl}_2 = 5,45 \times 101,65 = 553,99 \text{ mg/l.}$$

❖ Elaboration du traitement T3

Tableau N°15 : Elaboration du traitement T3, eau de Blida pH = 5,5 de teneur en MgSO₄

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻ 0,00	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 0,00					0
Na ⁺ 01,30					1,30
Ca ⁺⁺ 02,80					2,80
Mg ²⁺⁺ 01,80			5,45		7,25
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺	2,20	1,10			3,3
Total	2,55	3,3	6,25	0,60	

Matériel et méthodes

➤ Calcule la quantité de $MgSO_4$:

$$\begin{array}{l} HNO_3 = 2,20 \times 63 = 138,61 \text{ mg/l.} \\ H_3PO_4 = 1,10 \times 98 = 107,80 \text{ mg/l. Total=} \\ MgSO_4 = 123 \times 5,45 = 670,35 \text{ mg/l.} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} HNO_3 \\ H_3PO_4 \\ MgSO_4 \end{array}} \right\} 916,76 \text{ mg/l.}$$

V.7 : Entretien de la culture :

V.7.1 : Irrigation :

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

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

V.7.2 : 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 ramené à placer des ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées.

V.7.3 : Etêtage :

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 stade de 2^{ème} bouquet en laissant deux feuilles au dessus de ce dernier.

V.7.4 : Lessivage :

L'opération consiste à éliminer les sels non absorbés par les plantes et ce par un arrosage tous les fin de semaine avec l'eau de robinet afin d'éviter leur accumulation dans les conteneurs.

V.8 : Paramètres étudiés :

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

V.8.1 : Paramètres morphologiques :

V.8.1.1 : Hauteur des plantes :

Les hauteurs sont mesurées périodiquement tous les dix jours, en centimètre (Cm) à l'aide d'une règle graduée du collet jusqu'à l'apex. Les valeurs des hauteurs finales ont été mesurées au moment de la coupe finale.

V.8.1.2 : Le nombre des feuilles :

Le principe consiste à faire un comptage des feuilles en fin de culture au niveau de chaque plante et pour chacun des traitements.

V.8.1.3 : Diamètre des tiges :

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

V.8.1.4 : 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 en « g »
- De la tige en « g »
- Des racines en « g »
- D'un échantillon moyen des feuilles en « g »
- D'un échantillon moyen des tiges en « g »
- D'un échantillon moyen des racines en « g »

V.8.1.5 : Biomasse sèche produite :

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais des tiges, des feuilles et des racines, de chaque traitement et ce dans une étuve à 75°C jusqu'à la stabilité du poids sec. De ce fait, on a déterminé :

- Le Poids sec des feuilles en « g »
- Le poids sec des tiges en « g »
- Le Poids sec des racines en « g »

Matériel et méthodes

V.8.1.6 : Taux de la matière sèche produite :

Le taux de la matière sèche est exprimé en pourcentage « % » et calculé comme suite : %

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

Nous avons calculé le taux de la matière sèche totale (feuilles + tiges + racine), au niveau a chaque plante et pour chacun des traitements.

V.8.2 : Paramètre de production :

V.8.2.1 : Nombre de fleurs et nombre de fruits par plante :

Le nombre de fleurs et le nombre de fruits ont été comptabilisés tous au long de leur apparition au niveau de chaque plante et pour chacun des traitements.

V.8.2.2 : Poids frais des fruits :

Le poids des fruits a été mesuré par une balance en « g »

V.8.3 : Paramètre biochimique :

V.8.3.1 : Dosage de chlorophylle :

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

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

La méthode d'extraction consiste à :

- Une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75% et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration.
- Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites 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.
- La détermination des teneurs réalisés selon les formules :
 - ✓ $\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12.7 \times \text{DO}_{(663)} - 2.59 \times \text{DO}_{(645)} \text{ V} / (1000 \times \text{W})$
 - ✓ $\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22.9 \times \text{DO}_{(645)} - 4.68 \times \text{DO}_{(663)} \text{ V} / (1000 \times \text{W})$
 - ✓ $\text{Chl } \textcircled{c} (\mu\text{g/g MF}) = 1000 \times \text{DO}_{(470)} - [1.82 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b}] / 100$

V : Volume solution extraite

W : Poids de matière fraîche de l'échantillon

Matériel et méthodes

V.8.3.2 : Dosage de proline :

Le principe est dosé selon la technique utilisée par MONNEVEUX et NAMMAR (1986).

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

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

La méthode consiste à :

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

Après refroidissement :

- Prélever 1 ml de la solution de chaque tube
- Mettre dans de nouveaux tubes
- Ajouter 1 ml d'acide acétique + 25 mg de ninhydrine + 1 ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique.
- Porter les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min.

Après refroidissements des solutions :

- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube.
- Prélever la phase supérieure
- Ajouter 5 mg du sulfate de sodium
- Laisser au repos pendant 48h
- On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm
- La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule :

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

Chapitre VI

Résultats et Discussion

Résultats et discussions

IV. Paramètres morphologiques :

IV.1. Paramètres de croissance :

IV.1.1. Aspect général des plantes:

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

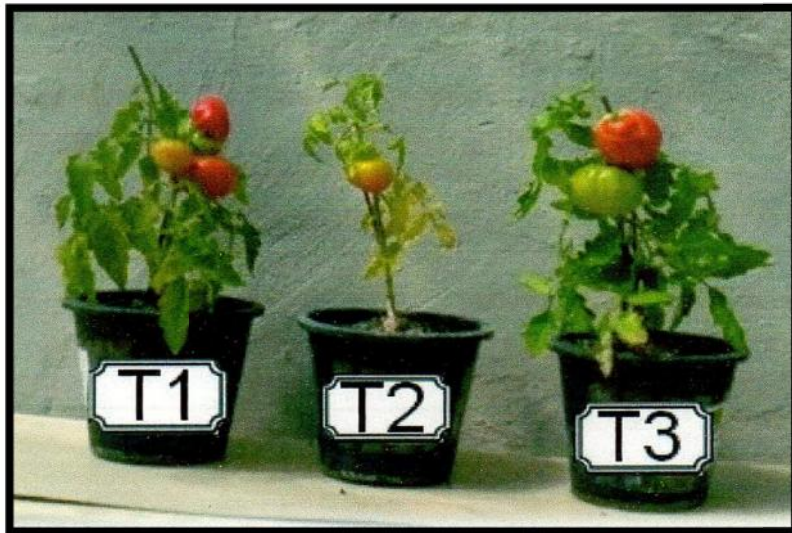


Figure N°09: Aspect général de plants de tomate alimentés par les différents traitements

Après cette figure on a remarqué que les plantes irriguées par l'eau de Blida a pH corrigé (5.5) additionnée $MgCl_2$ (T2) sont chétives, de couleur verte jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles, de fruits de petite taille.

Les plantes irriguées par les solutions à pH corrigé (T1) et (T3) enrichi en $MgSO_4$, sont plus vigoureuses, de couleur verte avec un nombre élevé de feuille et de fruits.

IV.2. Paramètres biométriques :

IV.2.1. Vitesse de croissance :

La courbe suivante montre l'évolution de la vitesse de croissance des plantes de la tomate des trois traitements testés. Les mesures ont été prélevées chaque 15 jour durant les 4.5 mois d'expérience.

Résultats et discussions

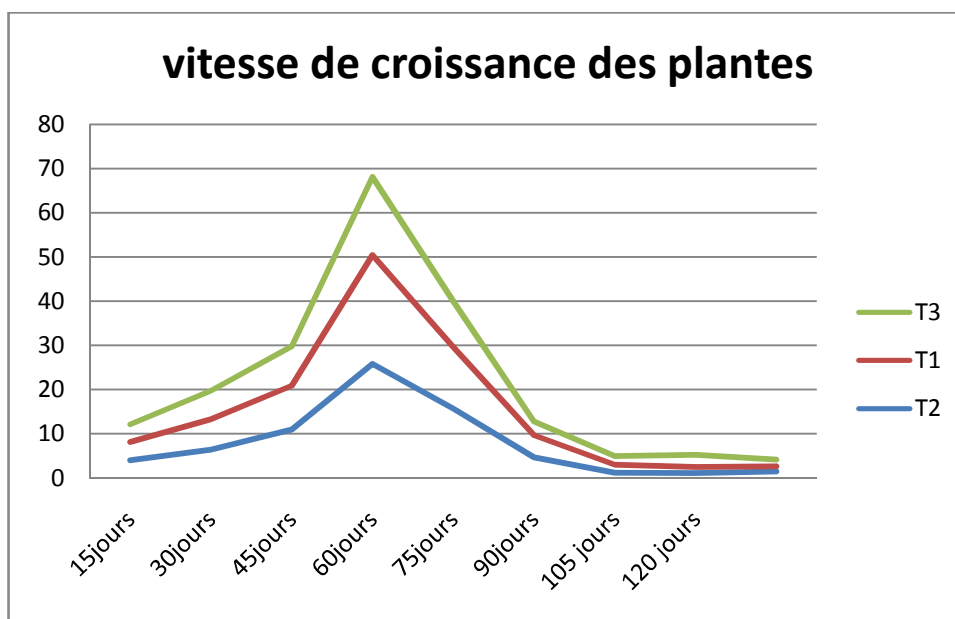


Figure N°10 : la vitesse de croissance des plantes de Tomate

A la date du 25/02/2015 soit 2.5 mois après l'application des traitements, la vitesse de croissance été homogène pour les trois traitements (T1), (T2) et (T3) durant presque toute la période de mesure.

Nous remarquons d'une façon globale que la croissance des plantes de tomate dans le milieu enrichi en $MgSO_4$ (T3) manifestent la vitesse de croissance la plus importante suis l'eau de Blida pH corrigée (T1), après le traitement enrichi en $MgCl_2$ (T2).

La vitesse s'accélère soit après les 45 jours après la mise des traitements, nous remarquons que les plantes enrichi par le $MgSO_4$ soit (T3) manifeste une vitesse plus importante comparaison avec les deux autres traitements et cela en raison de l'adjonction de élément $Mgso_4$

Des les 90 jours soit 3 mois après la vitesse diminue brusquement quelque soit le traitement et (T2) enrichi en $MgCl_2$ reste toujours la plus faible est ce là du à l'effet néfaste du Cl^-

Résultats et discussions

IV.2.2. Hauteur de la plante :

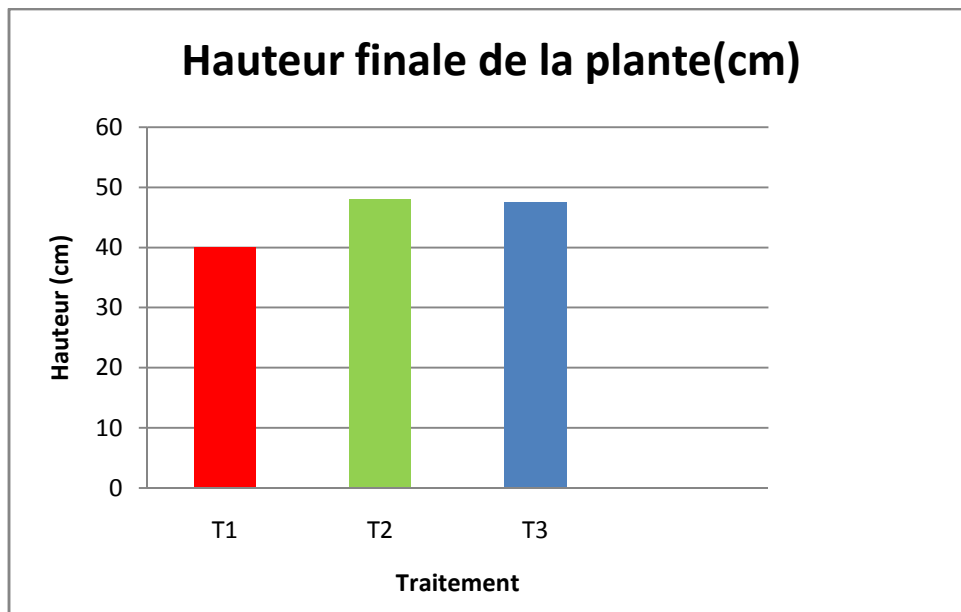


Figure N°11 : Hauteur moyenne des plantes en (cm)

La hauteur finale des tiges a été mesurée au moment de la réalisation de la coupe finale.

Les résultats montrent que les hauteurs les plus importantes sont enregistrées au niveau des traitements (T2) enrichi en $MgCl_2$ et (T3) enrichi en $MgSO_4$, en comparaison avec le traitement (T1) qui a marqué une hauteur finale la plus faible. Cela peut être expliqué par l'absence de l'élément Magnésium dans le milieu T1.

Résultats et discussions

IV.2.3. Biomasse fraîche totale :

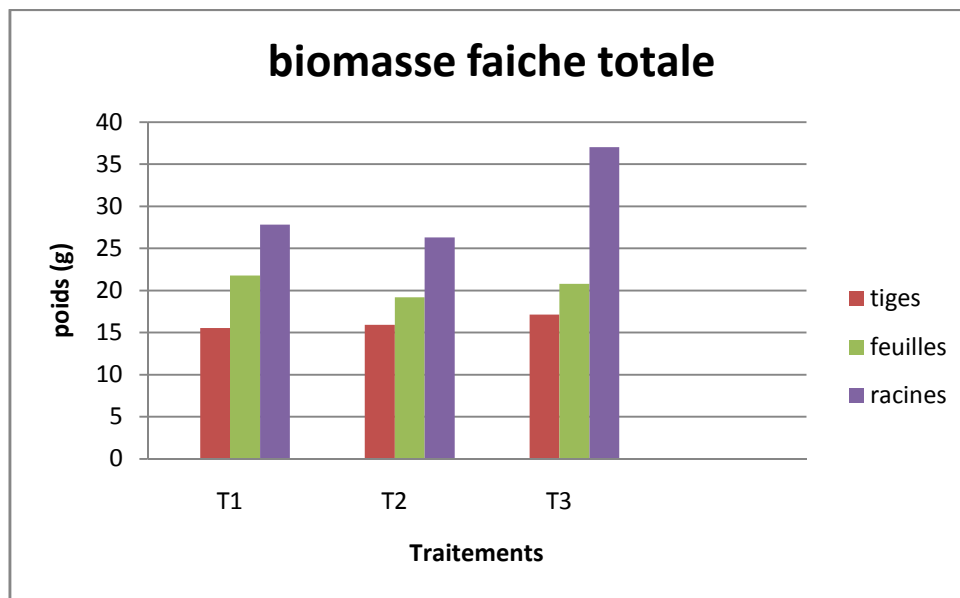


Figure N°12 : Biomasse fraîche totale

La biomasse fraîche (tiges, feuilles, racines) a été mesurée au moment de la réalisation de la coupe finale des plantes.

On observe que la biomasse fraîche est presque similaire pour les organes tiges et feuilles.

Mais en ce qui concerne les racines on observe une différence significative au niveau du traitement T3 celui qui est enrichi en $MgSO_4$ contrairement au (T2) enrichi en $MgCl_2$ ou la combinaison des ions Mg^+ liés aux sulfates SO_4 conduit à l'obtention d'un poids frais plus élevé et cela résultant à l'effet de l'équilibre nutritionnel et une bonne absorption hydrominérale.

Résultats et discussions

IV.2.4. Nombre de feuilles :

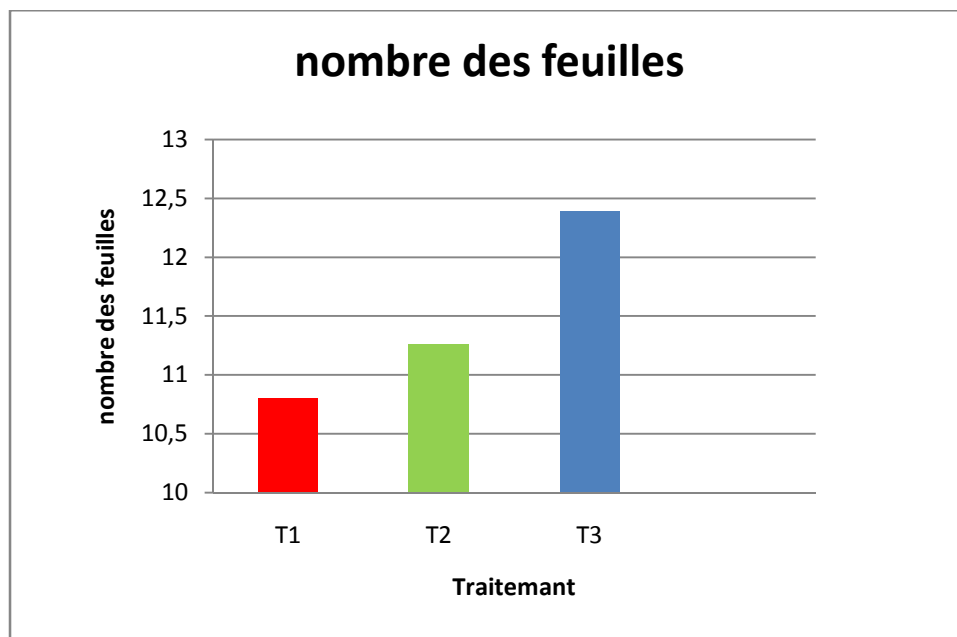


Figure N°13 : Nombre de feuilles par plante

Le nombre de feuille a été compté au moment de la réalisation de la coupe finale.

Les résultats montrent que les meilleures performances du nombre de feuille sont enregistrées au niveau des traitements (T3) enrichi en $MgSO_4$, en comparaison avec l'eau d'irrigation corrigée pH seulement (T1) et (T2) milieu enrichi $MgCl_2$ qui est nettement réduit.

Les plantes irriguées avec (T3) ont donné un feuillage plus important par rapport à la plantes arrosées avec (T2), Cela peut être expliqué que le chlorure « Cl » est plus nocif que le sulfate « SO_4 ».

La correction de pH de trois milieux à une valeur de 5.5 a joué un rôle important dans l'assimilation des nutriments dans ces milieux alimentaires.

Résultats et discussions

IV.2.5. Longueur des racines :

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



Figure N°14 : longueur des racines

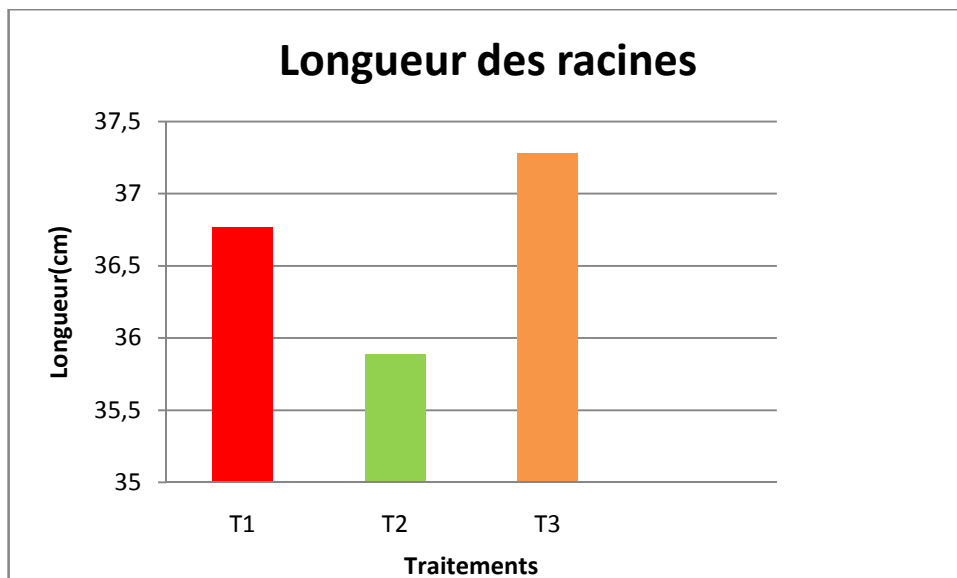


Figure N°15 : Longueur des racines (cm)

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.

Nous remarquons d'une façon globale que les résultats les plus importants au niveau de la longueur des racines des plantes de tomate dans le milieu irriguée par l'eau de Blida à pH corrigé et enrichi en $MgSO_4$ (T3) par rapport au plantes irrigués par l'eau de Blida a

Résultats et discussions

pH corrigé seulement (T1) les plantes enrichi par $MgCl_2$ (T2), et c'est en raison de la correction du pH a une valeur optimale (5.5) et de l'adjonction de l'élément magnésium et sulfate SO_4 dans le milieu (T3) indispensable a la croissance et au développement des plantes et une bonne assimilation des nutriments dans ces milieux alimentaires .

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.

Résultats et discussions

IV.2.6. Biomasse sèche totale

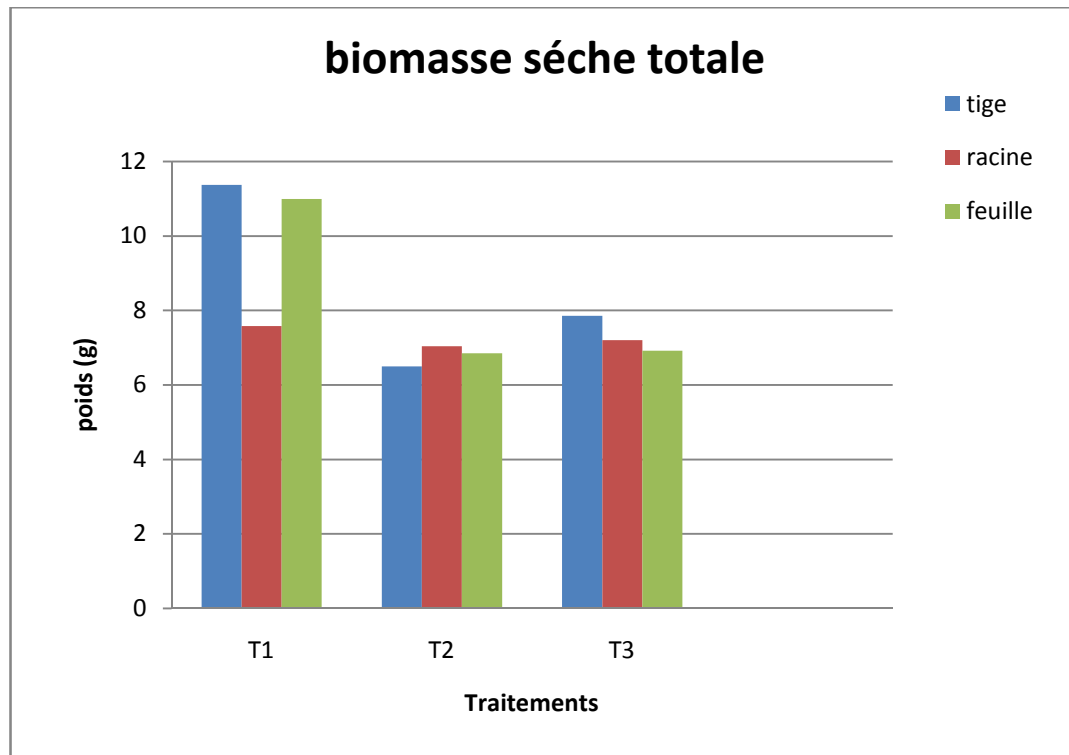


Figure N°16 : Biomasse sèche total

La biomasse sèche des tiges irriguées avec de l'eau de Blida à pH corrigé (T1) est la plus importante en comparaison avec les deux autres traitements T2 enrichi en $MgCl_2$ et T3 enrichi en $MgSO_4$.

La biomasse sèche des racines est presque similaire pour les trois traitements

En ce qui concerne la biomasse sèche des feuilles on observe que le taux le plus élevé est celui du (T1) par rapport aux (T2) et (T3).

Vu la présence de sels de différentes formes ($MgCl_2$ et $MgSO_4$) dans les solutions d'irrigation testées, une conductivité électrique et une pression osmotique élevées, sont engendrées, causant un déséquilibre ionique et une mauvaise alimentation hydrominérale des plantes de tomates dans ce milieu, ce qui se traduit par une faible production de matière sèche des tiges.

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

Résultats et discussions

IV.3. Paramètres de production :

IV.3.1. Le nombre de fleurs par plant :



Figure N⁰17: Fleur de tomate (personnelle, 2015)

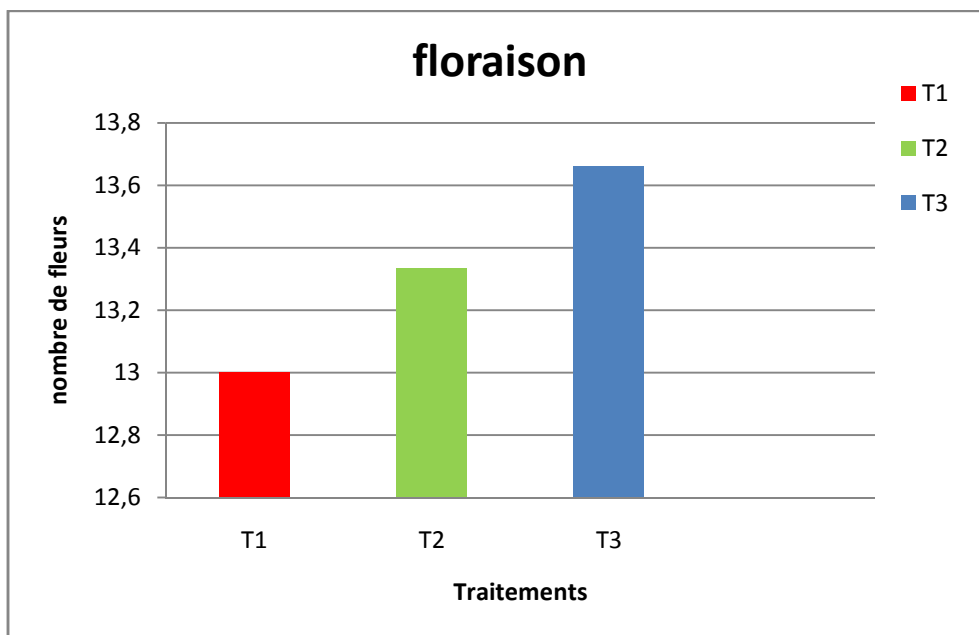


Figure N⁰18 : Nombre des fleurs par plantes

Le nombre de fleurs a été compté tous les deux jours et ce durant toute la période de floraison

Les résultats montrent qu'au niveau du (T3) enrichi en $MgSO_4$ manifeste le nombre des fleurs les plus importantes en comparaison avec les traitements (T2) enrichi en $MgCl_2$ et

Résultats et discussions

l'eau d'irrigation a pH corrigé seulement (T1) qui marquent un nombre des fleurs la plus faible.

IV.3.2. Nombre des fleurs nouées par plant:

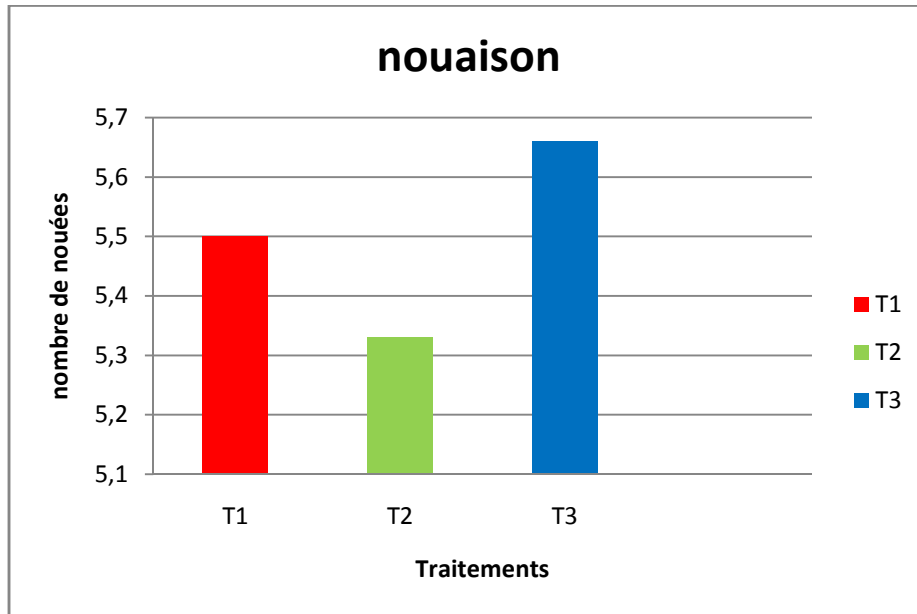


Figure N⁰19 : Nombre des fleurs nouées par plantes

Le nombre de fleurs nouées a été compté tous les 2 jours et ce durant toute la période de nouaison.

Les plantes irrigués par l'eau de Blida à pH corrigé et enrichi avec $MgSO_4$ (T3) manifestent le nombre des fleurs nouées le plus important par rapport aux plantes irriguées avec les traitements $MgCl_2$ (T2) et avec l'eau de Blida a pH corrigé (T1) qui est nettement réduit.

Donc on résulte que le sulfate de magnésium c'est le plus nocifs que le chlorure de magnésium sur la nouaison

Résultats et discussions

IV.3.3. Nombre des fruits par plant :

IV.3.3.1. Nombre des fruits dans le bouquet 1

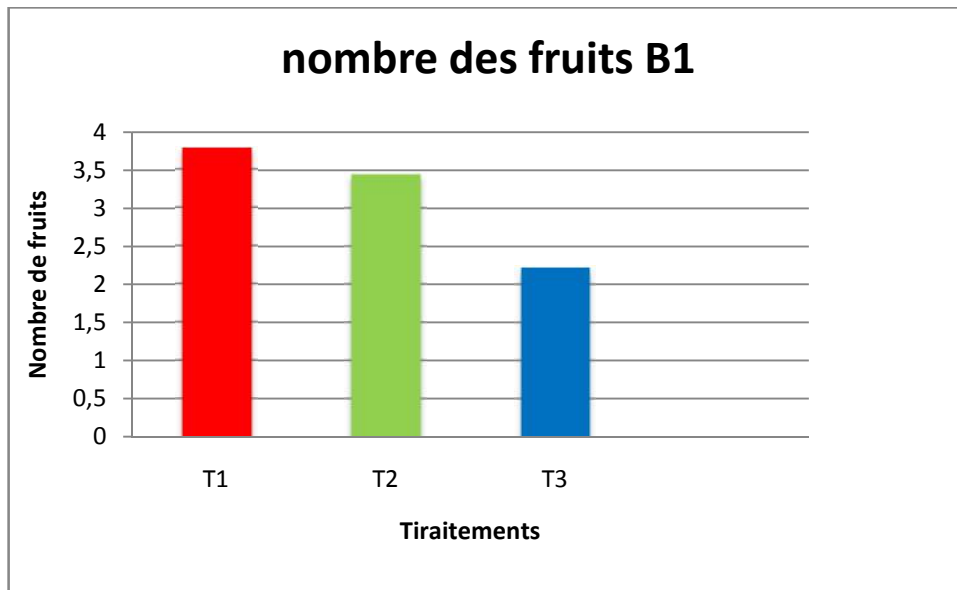


Figure N°20 : Nombre de fruits par plantes B1

Le nombre de fruit a été compté au moment de la réalisation de la coupe finale au niveau du premier bouquet.

Les résultats montrent que les meilleures performances du nombre de fruits sont enregistrées au niveau de plante arrosée par le traitement (T1), en comparaison avec les traitements (T2) qui enrichi le $MgCl_2$ et (T3) enrichi en $MgSO_4$ qui est moins important.

La correction de pH des trois milieux à une valeur de 5.5 a joué un rôle important dans l'assimilation des nutriments dans ces milieux alimentaires.

La solution enrichie avec du $MgSO_4$ (T3) donne un faible rendement donc a un effet néfaste sur la fructification.

Résultats et discussions

IV.3.3.2. Nombre des fruits dans le bouquet 2 :

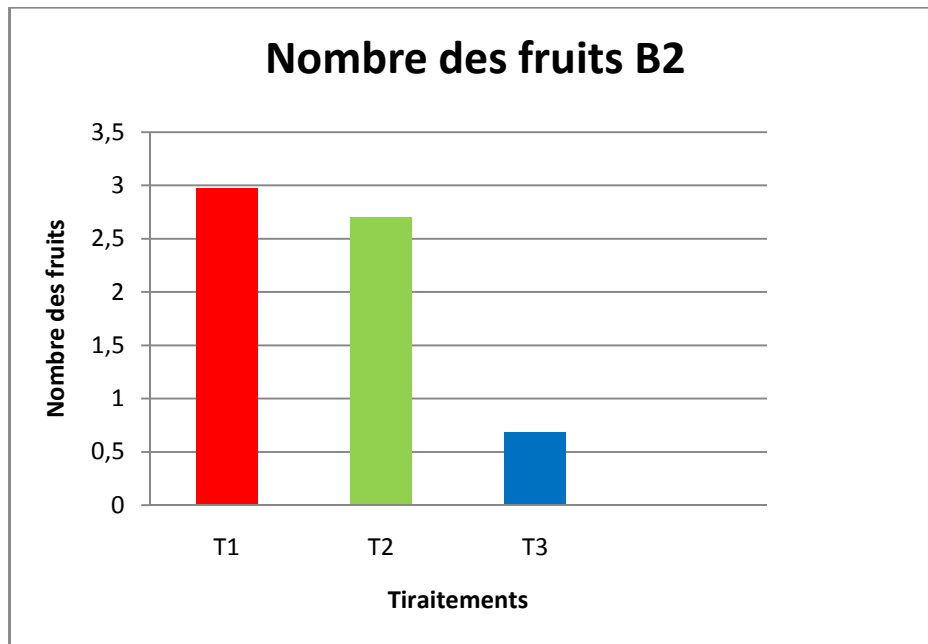


Figure N°21 : Nombre de fruits par plantes B2

Le nombre de fruit a été compté au moment de la réalisation de la coupe finale au niveau du deuxième bouquet.

Les résultats montrent que les meilleures performances du nombre de fruits sont enregistrées au niveau de plante arrosée par le traitement (T1), et du traitement (T2), en comparaison avec (T3) qui est beaucoup moins important.

La solution saline enrichi avec du $MgSO_4$ (T3) donne un faible rendement donc a un effet néfaste sur la quantité des fruits.

Résultats et discussions

IV.3.4. Poids des fruits par plant :

IV.3.4.1. Poids des fruits dans le bouquet I et II :

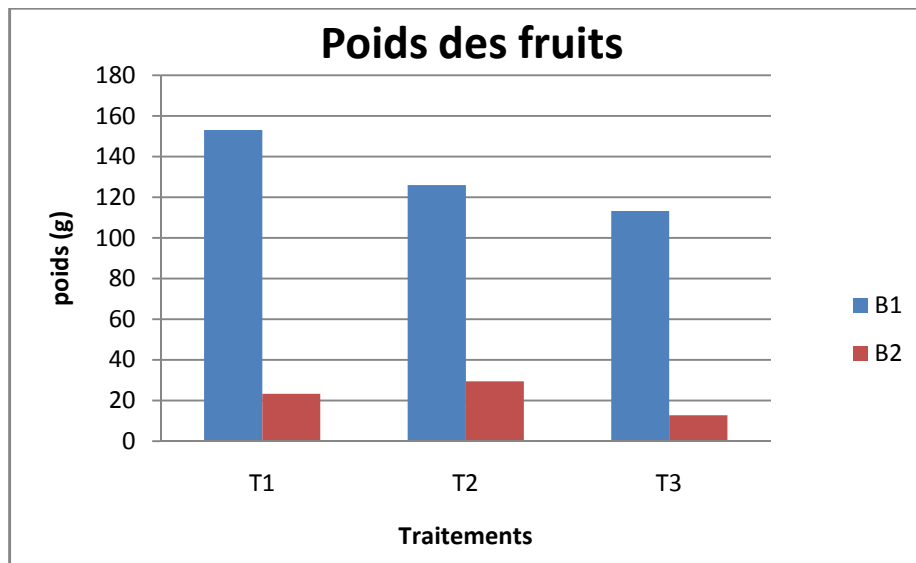


Figure N°22 : poids des fruits par plantes B1 et B2

Le poids de fruit a été pesé au moment de la réalisation de la coupe au niveau du premier et deuxième bouquet.

Les résultats montrent que les meilleures performances du poids de fruits du premier bouquet (B1) sont enregistrées au niveau de plante arrosée par le traitement (T1), en comparaison avec le traitement (T2) et (T3) qui est beaucoup moins important.

Concernant le poids frais des fruits du deuxième bouquet (B2) on remarque que le traitement (T2) a donné le poids le plus élevé ce qui signifie que les sels n'ont pas une influence sur le rendement.

Résultats et discussions

IV.4. Paramètres biochimiques :

IV.4.1. Dosage de la chlorophylle :

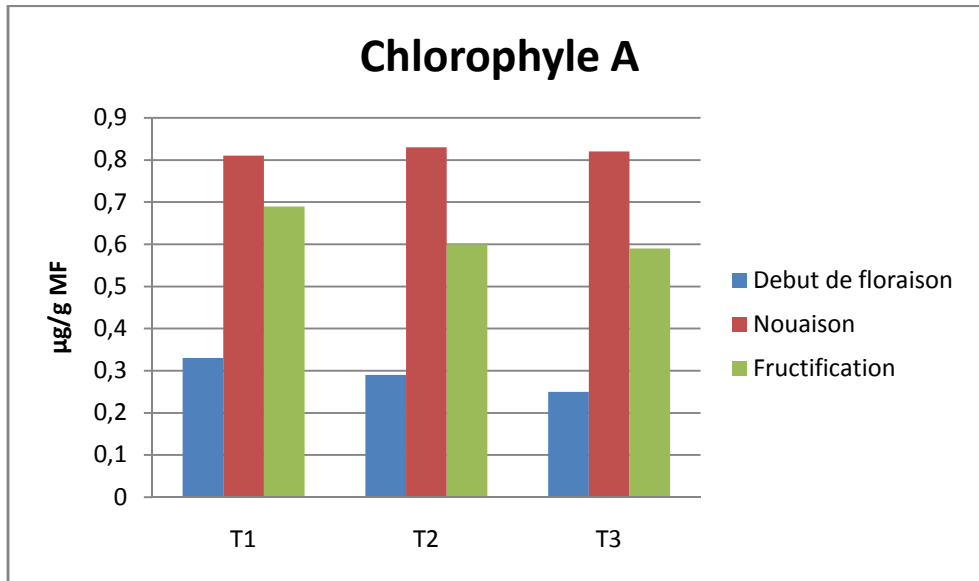


Figure N°23 : Taux de la chlorophylle A

On remarque au stade floraison le taux de la chlorophylle A le plus élevé été au niveau du traitement (T2) enrichi en $MgCl_2$ et (T1) solution a pH corrigé.

Au stade nouaison on remarque que le taux de la chlorophylle A été presque similaire pour les trois traitements.

Au stade fructification le taux le plus abondant est celui des plants irriguées par l'eau de Blida à pH corrigé (T1)

D'après les travaux de (AGASTIAN et *al.*, 2000) le taux de chlorophylle (A) dans les feuilles diminue en présence d'un stress salin. Cela n'est pas de même pour notre expérimentation. Cela est expliqué par la correction du pH des traitements qui a joué un rôle important dans l'assimilation des nutriments dans ces milieux alimentaires

Résultats et discussions

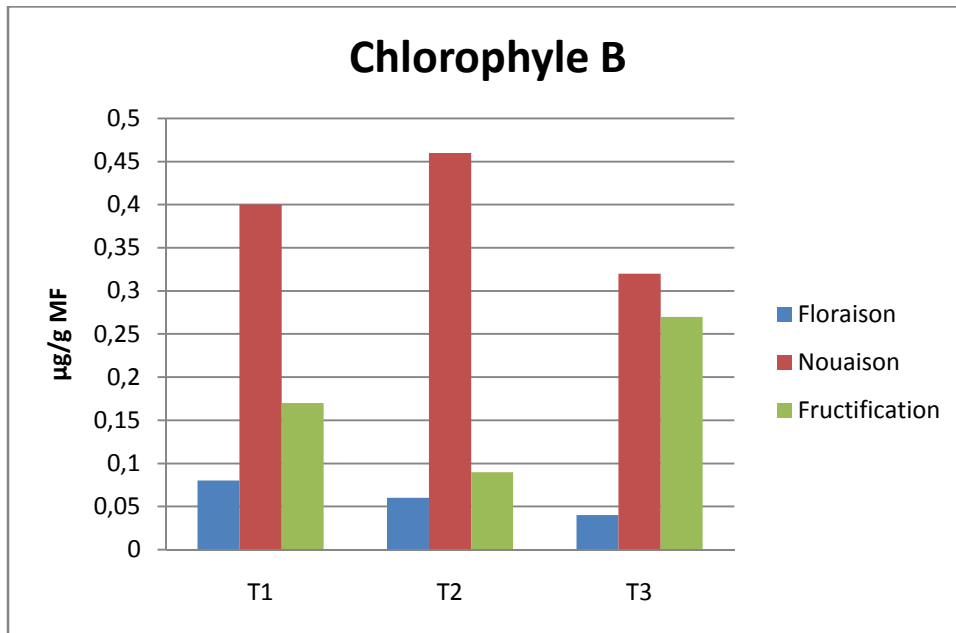


Figure N°24 : Taux de la chlorophylle B

On remarque que au stade floraison le taux le plus élevé de la chlorophylle B été au au niveau de plante arrosée par le traitement (T1), par ailleurs la quantité est faible pour les traitements (T2) enrichi en $MgCl_2$ et (T3) enrichi en $MgSO_4$

Au stade nouaison on remarque que la quantité de chlorophylle B de plantes irriguées par (T2) enrichi par $MgCl_2$ présente une quantité la plus élevé on comparaison avec les deux autre traitements T1 et T3.

Au stade fructification on remarque que la quantité de chlorophylle B la plus importante est celle du T3 enrichi en $MgSO_4$ en comparaison avec le (T1) et (T2).

Résultats et discussions

IV.4.2. Taux de la proline :

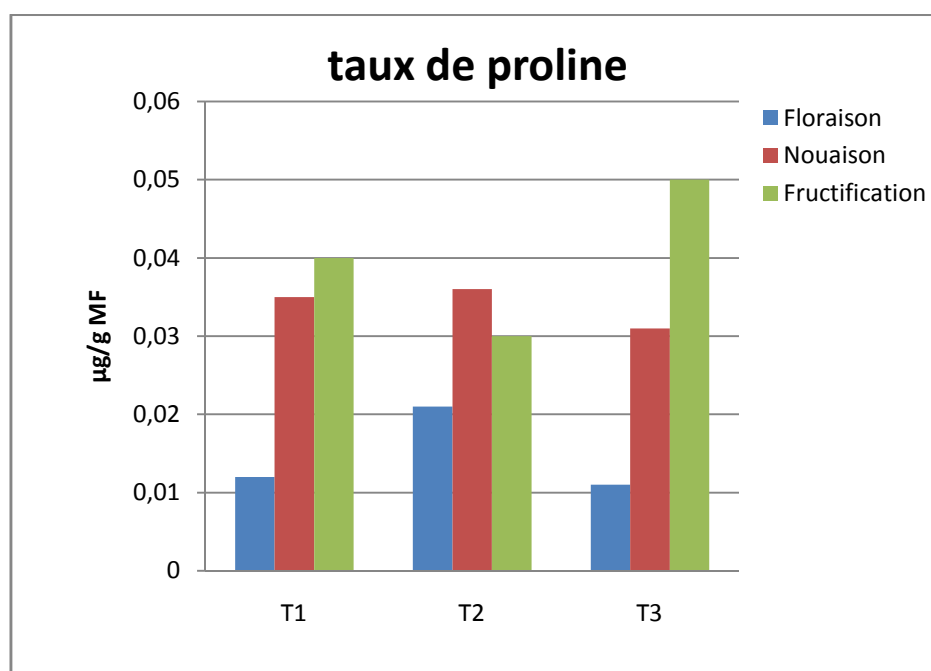


Figure N°25: Taux de la proline ($\mu\text{g/gMF}$)

On a fait la mesure de la proline durant chaque stade de développement des plantes « floraison nouaison fructification » pour les trois traitements. Au stade floraison on remarque que la quantité de proline la plus élevée est celle du traitement (T2) enrichi en MgCl_2 qui renferme une concentration plus élevée en sel ce qui a provoqué la synthèse d'une grande quantité de proline par rapport aux deux autres traitements (T1) eau de Blida à pH corrigé et (T3) enrichi en MgSO_4 . Au stade nouaison des plantes le taux de proline est élevé au niveau du (T2) enrichi en MgCl_2 . Au stade fructification des plantes le taux le plus élevé est celui du (T3) enrichi en MgSO_4 . 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).

Cependant, le traitement salin MgCl_2 (T2) renferme une concentration en sel plus forte que le traitement MgSO_4 (T3), et ceci explique sa teneur élevée en proline.

Les résultats de BELKHOUDJA *et al* (2010) indiquent que l'augmentation de la teneur en proline dans les feuilles est en fonction de l'augmentation de la salinité.

Résultats et discussions

On constate donc que les plantes alimentées par les traitements salins accumulent plus de proline. 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.

Conclusion

Conclusion :

Notre expérimentation a été conduite afin d'obtenir d'une part l'information sur la production de la proline et de la chlorophylle d'une glycophyte tomate « *Lycopersicon esculentum* Mill » cultivé en hydroponie irrigué par trois traitements (T1) eau de Blida avec un pH corrigée, (T2) eau de Blida enrichi en chlorure de magnésium ($MgCl_2$) et le (T3) eau de Blida enrichi en sulfate de magnésium $MgSO_4$, et d'autre part voir l'impact de la correction du pH des traitement sur la croissance et le développement de la tomate.

Il à été constaté que lorsqu'il y a eut l'adjonction du $MgSO_4$ dans l'eau d'irrigation où le pH a été corrigé du traitement (T3), nous avons obtenus les meilleurs résultats. Ceci au sains de l'élément magnésium et de la préserve des éléments nutritifs contenu dans le milieu alimentaire.

Sur les paramètres biométriques tels : Le diamètre des tiges, le nombre de feuilles, le poids et longueur des racines ont été les plus élevé a l'inverse du traitement (T2) présente les paramètre dont les valeurs sont les plus faible en raison du Cl_2 qui est plus nocif et a un effet néfaste sur les plantes

La correction du pH des eaux d'irrigation améliore significativement la plupart des paramètres de croissance et de production et ce durant tous les stades du développement étudiés.

Nous avons obtenu des plantes vigoureuses avec des hauteurs finales, un nombre de feuilles important et production plus élevé en raison des chevelus racinaire développé, au niveau des plantes alimentées par le T3.

On conclu que a travers cette expérimentation il est possible d'utiliser les eaux non conventionnelles pour irriguer des cultures âpres les avoir améliorées et transformées en solution nutritives convenable pour satisfaire la croissance et le développement des cultures.

Références

Références bibliographiques

- AGASTIAN ET AL (2000).**, Effect Of Salinity On Photosynthesis And Biochemical Characteristics In Mulberry Genotypes. *Photosynthetica* 38, Pp287–290
- AMRAR S., 2004 :** Lignées Hybrides Dans L'amélioration De La Tolérance A La Salinité De La Tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill.), Rev. MACIR ? N°1, PP: 36-45.
- ANONYME. 2002 :** Coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) et Groupe de recherche et d'échanges technologique (Gret). Mémento de l'agronomie. (ed). QUAE. P 1046.
- ANONYME, 1999:** Rapport Du Ministère D'agriculture 1998 PP: 60
- ANONYME, 2003 :** [Www.Agrireseau.Qc.Ca/.../FONDEMENTS%20THEORIQUES%20%2](http://www.Agrireseau.Qc.Ca/.../FONDEMENTS%20THEORIQUES%20%2).
- A GUIDE TO IPM** In Tomato Production In Eastern And Southern Africa, Varela, A.M., Seif, A. And Löhr, B. 2003. CTA/ICIPE/GTZ, PP :25
- ARBAOUI, M. 1984.** Essai D'utilisation De La Vibration Electrique Et Manuelle Pour L'élimination De La Fécondité De La Tomate *Lycopersicon Esculentum* non Chauffée, Thèse D'ingénieur En Agronomie, INA. 56 P.
- ASLOUM H., 1990-** Elaboration D'un Système De Production Maraîchère (Tomate, *Lycopersicon Esculentum* L.) En Culture Hors Sol Pour Les Régions Sahariennes. Utilisation De Substrats Sableux Et D'eaux Saumâtres. Thèse De Doctorat, Développement Et Amélioration Des Végétaux, Université De Nice Sophia- Antipolis : 32P.
- ATHERTON J.G. AND G.P. HARRIS, 1986. FLOWERING.** In : Atherton J.G. And G. Rudich (Eds). *The Tomato Crop. A Scientific Basis For Improvement*. Chapman And Hall, London, New York, Pp 200.
- BAIRE. S., AMIROUCHE. F., ET KESTALI. T., 2010 :** Principaux Désordres Physiologiques, Maladies Et Ravageurs Présents En Algérie. Ed. ITCMI. 64p.
- BAIZE D., 2000-** Guide Des Analyses En Pédologie. 2ème Edition. Institut National De La Recherche Agronomique, Paris : PP 207.
- BELDJOUDI Z., ET DAOUD Y., 2002-** Conséquence de la salinité sur l'antagonisme Na⁺/K⁺ chez six cultivars de blé dur. III^{ème} Journées scientifiques sur le blé. 11-12-1 Février G.B.B.V.-D.S.N.V.- I.T.G.C., Univ. Mentouri, Constantine: 98-99.
- BELKHODJA M., BIDAI Y., 2004-** Réponse Des Graines d'*Atriplex Halimus* L A La Salinité Au Stade De La Germination .Sécheresse, Vol.15 N°4 :331-335
- 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.

BETTAIEB. T., DENDEN. M., SALHI. A., ET MATHLOUTHI. M., 2005 : Effet De La Salinité Sur La Fluorescence Chlorophyllienne, La Teneur En Proline Et La Production Florale De Trois Espèces Ornementales. *Tropicultura*, N°24. Pp 225.

BINET. P., Adaptation Physiologique A La Salinité Des Végétaux Supérieurs En Environnements Naturels", *Bull.Soc. Ecophysiol*, V.7, N°2, P(1982), 139-168.

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.

BOUCHOUKH I., 2010- Comportement Ecophysiole De Deux Chénopodiacées Des Genres *Atriplex* Et *Spinacia* Soumises Au Stress Salin .P 16- 29- 6 -35

BOUDA S., HADDIOUI A - Effet Du Stress Salin Sur La Germination De Quelques Espèces Du Genre *Atriplex*. Revue « Nature & Technologie ». N° 05/Juin 2011. P 72 A 79

BOUZID S., 2010- Étude De L'effet De La Salinité Et De La Présence Du Molybdène Sur Le Comportement Ecophysiole De Deux Variétés De Plantes De L'espèce *Phaseolus vulgaris* Thèse Magister, Univ Mentouri Constantine. 180P

BOVEY R, Baggiolini M, Bolay A, Bovay E, Corbaz R, Mathys G, Melan A, Murbach R, Pelet F, Savary A, Trivelli G, 1972. La Defense Des Plantes Cultivées. Edition Payot Lausanne, 863 P.

BRUN Et MONTARONE M., 1987 : Influence De La Concentration Saline De La Solution Nutritive Sur La Réaction De La Plante, Ed. I. N. R., Paris, 60 P.

CHABANE A, 1999: La Tomate Sous Serre, Bulletin Mensuel D'information Et De Liaison Du Programme National De Transfert De Technologie En Agriculture. Edition MADRPM/DERD, Maroc, N° 57, Pp 197.

CHAUX C, 1972. Production Légumière Ed. J.B. Baillièrè. 300 P.

CHAUX. C ET FOURY. C, 1994 : Production Légumière. Edition Tec-Doc Lavoisier, Paris

CHAUX C ET FOURY C, 1994. Production Légumière. Tom 3, Ed. Technique Et Documentation. Lavoisier, Paris, Pp 235.

CHAUX Et FOURY C, 1994 : Production Légumière ; Tomate I Et II. Ed Technique Et Documentation, Lavoisier, Paris P 563.

CHEVRRY ET ROBERT, 1998 : La Dégradation Des Sols Irrigués Et De La Ressource En Eau. P140.

CLYDEF, E. ROPER . KATHARINA, M. MANGOLD. *Octopus Schultzzei (HOYLE, 1910): A Redescription With Designation Of Aphrodopus New Genus (Cephalopoda; Octopodinae)*. Bulletin Of Marine Science, 1991. 49(1-2), 57-72.

COIC. Y ET LESAIN. C, 1983 : Culture Hydroponique Technique D'avenir. Ed Maison Rustique, Paris, PP 15.

- COIC Y, 1984** : La Culture Sans Sol, Ed. Science Et Vie N° 146, Paris, Pp : 75.
- DEGIOANNI B, 1997** : La Tomate, Paris, Hatier, 96 P.
- DENDEN Et Al., 2005**: Effet De La Salinité Sur La Fluorescence Chlorophyllienne, La Teneur En Proline Et La Production Florale De Trois Espèces Ornementales. Ed. Tropicultura. Pp 225.
- DESMAS.S, 2005** : Analyse Comparative De Compétitivité Le Cas De La Filière Tomate Dans Le Contexte Euro-Méditerranéenne, Thèse D.A.A Institut Agronomique Méditerranéenne De Montpellier, P68.
- DOMINIQUE B., LATERROT H., MARCHAUX G., GONDRESSE I., 2009** : Les Maladies De La Tomate : Identifier, Connaitre, Maitriser. Edition Quae, 690p.
- DORSMAC. N, ET WATTEL, M; 1944-1945**: « De Inundaties Gedurende En Hun Gevelgen Voor De Landbouw. T.7. : Zoutschade Bij Tuinbouwgesassen B, Ministr. V. Landbouw, Visserji En Voedselvoorziening, No 57-58, Pays-Bas, P.53
- DUMAS, Y., 1992**. Crop Management For Processing Tomatoes In The Year 2000. Acta Horticulturae, 301 : 117-134.
- DUPONT F et GUIGNARD J., 2007** : « Botanique et systématique moléculaire ». Ed Elsevier Masson, PP : 236
- DUTHIL D., 1973** : « Eléments D'écologie Et D'agronomie, Tome III. Exploitation Et Amélioration Du Milieu, Emploi Des Facteurs De La Production Végétal », Ed J.B Baillièrè, Paris, 392p.
- EL FADL A., CHTAINA N., 2010** : Etude De Base Sur La Culture De La Tomate Au Maroc. Programme Régional De Lutte Intégrée Contre Les Organismes Nuisibles (Integrated Pest Management) Au Proche Orient (Projet GTFS/REM/070/ITA). FAO.ONSSA.108p.
- EL FADL A ET CHTAINA N, 2010**. Etude De Base Sur La Culture De Tomate Au Maroc. Programme Régional De Lutte Intégrée Contre Les Organismes Nuisible (Integrated Pest Management) Au Proche Orient, 120p.
- GILBERT, 2009** : Etude De La Biosynthèse De L'acrobate Et Des Métabolismes Associés Chez La Tomate Thèse Doctorat d'Etat De L'université Bordeaux 2. Pp 236
- GOUNY .P Et CORNILLON. P, 1973** : La Salinité. Aspect Théorique Et Pratique Mode De Contrôle. Revu PHM 42. Pp25-28.
- GRASSELLY D, NAVEZ B, LETARD M, 2000**. Tomate Pour Un Produit De Qualité, Hortipratic, Ctifl, P 223.
- HADÉ, A., 2002**. Nos Lacs – Les Connaître Pour Mieux Les Protéger. Éditions Fides, 360 P.
- HAOUALA F., FERJANI H., BEN EL HADJ S., 2007** - Effet De La Salinité Sur La Répartition Des Cations (Na⁺, K⁺V Et Ca²⁺) Et Du Chlore (Cl⁻) Dans Les Parties Aériennes Et

Les Racines Du Ray-Grass Anglais Et Du Chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11 (3), 235 - 244.

HASSAN A. A., AL-AFIFI M. A., MATSUDA K., KOTO A. AND ITANI S., 1989: Source Of Salinity Tolerance In *Lycopersicom* Species. *Bull. Fac. Of Agric., Univ. Of Cairo*, 40 (3), Pp 605-622.

HELLER. R; ESNAULT.R; Et LANCE. C., *Physiologie Végétale 1- Nutrition* 6eme Ed, Ed DUNOD, Paris, (1998), 323p.

HOPKIN W.G., 2003 – *Physiologie Végétale – Traduction De La 2ed.Américane Par Serge Rambour Révision Scientifique De Charles-Marie Evradr Boeck Univ. Bruxelles .P 445-460*

HOPKINS W; 2003: « *Physiologie Vegetale* » 2ieme Edition, Ed De Boeck Et Larcier S.A,Bruxelle. 514 P.

HUAT. J., 2008 : Diagnostic Sur La Variabilité Des Modes De Conduite D'une Culture Et De Leurs Conséquences Agronomiques Dans Une Agriculture Fortement Soumise Aux Incertitudes : Cas De La Tomate De Plein Champ A Mayotte. Thèse De Doctorat. Paris. 265p.

IMALET. R., 1979 : Influence De Différentes Concentrations De Sels (Vacl, Na₂So₄, Mgso₄) Des Eaux D'irrigation Sur Le Rendement Du Haricot. Mémoire. Ing. INA. El Harrach. 43p.

IPTRID (Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage) 2006 : Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation Du 6 Février au 6 Mars 2006.

JACOB. J. B JANSON. J. B, 1978 : Cours Polycopies Sue Les Légumières. Tome I INA – Alger.

JABNOUNE M., 2008- Adaptation Des Plantes Au Stress Salin : Caractérisation De La Transporteur De Sodium Et Potassium De La Famille HKT Chez Le Riz .Thèse Doctorat, Univ Montpellier II.

JEAN L, BERNARD M, MICHEL L, YANNIE T, GILLES P, 1991 : Protection Phytosanitaire : Lutte Biologique, Chimique, Intégrée. Edition CTIFL, 469p.

JEAN_ MARIE P, 2007 : La Culture Des Tomates. Edition ARTE MIS, 92p

JENDOUBI S. (1997). Contribution A La Caractérisation Physiologique Et Biochimique De Parois Racinaires

JONES H G., FLOWERS T J., JONES M B., 1989: *Plants Under Stress.* Cambridge, Cambridge University Press

JUDD WS, CAMBELL CS, A.KE , P S, 2002: *Botanique Systématique Une Perspective Pvt,* Ltd., New Delhi, P220.

KAREN; PETERSEN. K; WILLUMSEN. J; KAACK.K, 1998: " Composition And Taste Oftomatoes As Affected By Increased Salinity And Different Salinity Sources". *Journal Of Horticultur Science And Biotechnology* 73(2), (1998), 205-215

KOLEV N, 1976 : Les Cultures Maraîchères En Algerie. Tome 1 « Légumes Fruits » I.T.C.M.I. Staouali, Pp : 150.

KONNING A. N. M. DE, 2000: The Effect Of Temperature, Fruit Load And Salinity On Development Rate Of Tomato Fruit. *Acta-Hort.*, 519, Pp 93.

LAUMONNIERE.R., 1979. : « Culture Légumières » E.D. G.D.Bailliere,Paris, PP 113

LAUMONNIER R; 1979 : Cultures Légumières Et Maraichères. Tome 3. Ed.J.B. Baillière Et Fils, Pais, Pp : 119.

LAUMONNIER R. (1979) : Cultures Légumières Et Maraîchères. Tome 3. Ed. J.B.Baillière Paris. 176p.

LEMAIRE F., DARTIQUES A., RIVIERE L.M. ET CHARPENTIER S., 1989 : Culture En Pots Et En Conteneurs : Principes Agronomique Et Application. Ed. INRA, 184p.

LEMAIRE Et Al, 1989 : Les Cultures En Pots Et En Conteneurs Ed. INRA. Paris P184.

LESAINT C., 1974: Évaluation De La Fertilisation Et L'irrigation Vers L'utilisation Des Solutions Nutritives Equilibrées. Ed. Versailles. 118 P.

LETARD M., ERARD P. Et JEANNEQUIN B., 1995 : Maitrise De L'irrigation Fertilisante : Tomate Sous Serre Et Abris En Sol Et Hors Sol, Ed, C. T. I. F. L., Paris, 220 P.

LETARD M., ERARD P. ET JEANNEQUIN B., 1995 : Maîtrise De L'irrigation Fertilisante. Tomate Sous Serre. Ed. *C.T.I.F.L.*, 224 P.

LETARD M Et PATRICIAE., 1995 : Maitrise De L'irrigation Fertilisante : Tomate Sous Serre Et Abris En Sol Et Hors Sol, Ed. C.T.I.F.L., Paris, 220p.

LEVIGNERON A., LOPEZ F., VARISUYT G., BERTHOMIEN P., ET CASSE-DELBART., 1995 : Les Plantes Face Au Stress Salin. Ed : Cahier D'agriculture. Pp 273.

MADR : Ministère D'agriculture Et Développement Rural, 2012. La Culture De Tomate En Algérie

MAILLARD, J. 2001 : Le Point Sur l'Irrigation Et La Salinité Des Sols En Zone Sahélienne. Risques Et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 P.

MANIGUET M., 2003 : Les Pays Secs Environnement Et Développement. Ellipse Edition Marketing. Paris P : 32.

MARCHAUX G, GOGMALONS P, GEBRE K, COORD, 2008 : Virus Des Solanacées : Du Génome Viral A La Protection Des Cultures. Edition Quae, 896p

MARLET S., 2005 : Gestion De L'eau Et Salinisation Des Sols Dans Les Systèmes Irrigués Synthèse De L'atelier Du PCSI Sur : Vers Une Maîtrise Des Impacts Environnementaux De L'irrigation. CIRAD/AMIS. N°40. Montpellier. Pp 12-23.

MERMOUD A., 2006 : Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

MAZLIAK. P., 1981 : Physiologie Végétale, Nutrition Et Métabolisme. Ed. Hermann. Paris. 349p.

MESSIAEN. C.M., ET MESSIAEN-PAGOTTO. F., 2009 : Le Potager Familial Méditerranéen. Ed. Quae. France. Pp : 75.

METTAI. M, 2005 : Importance De La Qualité Des Milieux Nutritifs Sur Production De La Plante De Quatre Variétés Fixées De Tomate Cultivée En Hors Sol. Thèse Magister. INES, Blida, Pp 18 – 24.

MIGLIORERO C, GEOFFRIAN E, BARGEOLLE F , 2004: Mal Formation Des Inflorescences De Tomate: Prevention Remèdes, PMH Revue Horticole, Pp 48-464.

MILANI. M, La Production Végétal La Maîtrise Technique De La Production. Ed Lavoisier, Paris, (1997).Minérale Des Plantes Cultivées”, Etude Et Gestion Des Sols, 5, 4, (1998), P 298.

MIKANOSWSKI L, MIKANOSWSKI P, 1999 : Tomate. Paris, Ed Du Chêne-Hachette, 192p.

MOLLIER K, CABRIAT G, SERASIN M, CAUVIN B, CAILLAUD M A ET CHARAMAL D, 2010 : La Tomate Les Déficit De Gout, Alimentation, Agriculture, Environnement, INRA Magazine N°13, P12.

MORARD. P, 1995 : Les Cultures Végétales En Hors Sol, Ed Pub. Agri. Paris P31

MOREL P, 2002 : Les Supports De Culture Horticoles. Ed INRA. France PP 72.

MUSARD. L., 1988 : Qualité De Tomate De Serre « Conduit De L'alimentation Hydrominérale En Culture Sur Substrat ». Revue Horticole, N°291. Pp : 34-35.

NAHON D; 2008: L'épuisement De La Terre. L'enjeu Du Xxème Siècle. Odile Jacob, 235 P.

NAIKA, S., VAN DAM, B., FLORIJN, A. 2005 : La Culture De La Tomate: Production, Transformation Et Commercialisation, Cinquième Edition Révisée, Agromisa Foundation, Coll. « Agrodok », Wageningen, 2005, 105 P

NAIKA SH, GOFFO M, HILIMI M, 2005 : La Culture Des Tomates, Production, Transformation Et Commercialisation, Sponsorisée Par PROTA, P105.

NYABYENDA. P., 2006 : Les Plantes Cultivées En Régions Tropicales D'altitude d'Afrique. Ed. Les Presses Agronomiques De Gembloux. Wageningen. P180.

PARIDA A.K., DAS A.B. (2005): Salt Tolerance And Salinity Effect On Plants: Review. Ecotoxicology And Environmental Safety. Vol.60, Pp. 324

PENNINGSFELD, A ET KURZMAN, T : “Les Cultures Sans Sol Ou Hydroponique Et Sur Tourbe », Ed. Maison Rustique, Paris, (1969), 219p.

PERON. J.Y., 2006: Productions Légumières. Ed. Synthèse Agricole. Paris. 613p. - Pirat. M., Et Foury. C., 2003 : Histoires De Légumes, Des Origines A L'orée Du Xxie Siècle. Paris. Pp : 276.

PIRI, K., 1994 : Contribution A La Sélection In Vitro De Plantes Androgéniques De Blé Pour Leur Tolérance Au Nacl. Thèse De Doctorat, Faculté Des Sciences Agronomiques, Gembloux.

PNTTA, 1999 : Transfert DE Technologie En Agriculture. Bulletin Mensuel D'information Et De Liaison Du PNTTA. MADRPM/DERD.N°57.4p.

PRODRIGUEZ.P; DELL AMICO.J; MORALES. D; SANCHEZ BLANCO. M.J;ALARCON.J.J, "Effects Of Salinity On Growth Shoot Water Relations And Root Hydraulic Conductivity In Tomato Plants". Journal Of Agricultural Science. Cambridge. 128, (1997), Pp 444.

PUBLISHERS. B., 2004 : Ressources Végétales De l'Afrique Tropicale, Tome 2 Légumes. Ed. Dunod. 736p

RAACHE I., KARBOUSSA-HALOUA R., 2004: Caractérisation Morphologique Et Anatomique De Quelques Espèces Halophiles Dans La Cuvette De Ouargla. Mémoire Ingénieur, Université De Ouargla, 67 P

RAHMOUNE C., MAALEM S., BEN NACEUR M ., 2008 -Etude comparative de rendement en matière sèche et en matière azotée totale de trois espèces de plantes steppiennes du genre *Atriplex* .Ecotoxicologie et Stress Abiotiques, Faculté des Sciences, Université Mentouri Constantine, Physiologie Végétale, INRAT, Tunis, Tunisie : 219

RECH. H, 1978: Hydroponic Food Production. Woodbridge Press, Publishing. Company Publisher, Santa Barbara, California, USA; P 287.

RENGEL.Z, "The Role Of Calcium In Salt Toxicity". Plt, Cel And Environnement.15, (1992), PP 625-632.

REY Y. Et COSTES C., 1965. *La Physiologie De La Tomate, Etude Bibliographique.* Ed.INRA .111p.

RICK, C.M., LATERROT, H.,AND PHILOUZE, J. 1990: A Revised Key For The Lycopersicon Species. Tomato Genet. Coop. Rep. 40:31

RODIER, Jean. LEGUBE, B. MERLET N. COLL. L'Analyse De L'eau. 9eme Edition. Dunod. Paris, 2009. 1526p. ISBN : 978-2-10-054179-9.

RUSSELL, E.J ; 1952 : Soil Conditions And Plant Growth, Londres, Longmans Green And Co., 606 Pages.

SANTIAGO L.S.,LAU T.S., MELCHER P.J.,STEELEO.C.,AND GOLDESTINE G., 2000-Morphological And Physiological Responses Of Hawaiian Hibiscus Tiliaceus Populations To Light And Salinity, Int.J. Plant Sci. 161: 99-106.

- SATTI S. M. E., LOPEZ M. AND AL-SAID A., 1994:** Salinity Induced Changes In Vegetative And Reproductive Growth In Tomato. *Commun. Soil Sci. Pant Anal.*, 25 (5 Et 6), Pp 501-510.
- SERVANT J.M., 1975:** Étude Pédologique Des Sols Halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Montpellier. 194 P
- 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.
- SHANKARA N, JOEP V, MARDJA G, MARTIN H, BARBARA V, 2005:** La Culture De La Tomate : Production, Transformation Et Commercialisation. Edition Agrodok17, 105p
- SI BENNASSEUR A, 2011 :** Référentiel Pour La Conduite Technique De La Culture De Tomate (*Lycopersicum Esculentum*), Pp58-70.
- SNOUSSI S; 1980:** Caracterisation Quelque Substrats Disponible Dans La Region d'Alger En Vue De Leur Utilisation En Culture Hydropomique . These Ing Agro I.N.A.AL HARRACH Alger.P 67.
- SKIREDJ A., 2006 :** Besoins Des Plantes En Eau Et En Eléments Nutritifs Fustigations : Guide Pour Améliorer La Production Des Cultures, Rabat, Pp : 1 – 9.
- SNOUSSI SA, 2001 :** Valorisation Des Eaux Salines Pour La Nutrition Des Plantes Cultivée, Thèse De Doctorat, INA EL-HARRACH. 152 P
- SNOUSSI, 2010 :** Rapport De Mission, Etude De Base Sur La Tomate En Algérie, Pp52
- SOLIMAN S. S. AND DOSS M., 1992:** Salinity And Mineral Nutrition Effects On Growth And Accumulation Of Organic And Inorganic Ions In To Cultivated Tomato Varieties. *Journal Of Plant Nutrition*, 15 (2), Pp 2789-2799.
- SZABLOCS L ; 1994 :** Prosects Of Soil Salinity For The 21st Century. 15th World Congress Of Soil Science, Acapolo (Mexique), July 1994. Volume 1: Inaugural State Of The Art Conferences. Pp 123-141.
- TAHI. H., 2008 :** Efficience De L'utilisation De L'eau D'irrigation Chez La Tomate Par La Technique De Prd (Partial Rootzone Drying) Et Etude Des Mécanismes Physiologiques Et Biochimiques Impliqués. Thèse De Doctorat. Université Cadi Ayyad De Marrakech. 152p.
- TANKSLEY, S. D., M. W. GANAL, J. P. PRINCE, M. C. VICENTE DE, M. W. BONIERBALE ET AL., 1992** High Density Molecular Linkage Maps Of The Tomato And Potato Genomes. *Genetics*. 132: 1141 1160
- TIRILLY Y ET BOURGEOIS C;1999 :** « Technologie Des Légumes ». Ed Tec Et Doc, Paris,112p.

THIAULT. T.F ; « La Maîtrise De La Culture Hors Sol » Bulletin, Novembre 2004, ISSN0758-4334 ; 215p.

URBAN L., 1997 : Introduction A La Production Sous Serre : Irrigation Fertilisante En Culture Hors Sol (TOME 2). Ed. Maison Rustique. Paris. 180p.

URBAIN. L, 1997 : L'irrigation Fertilisante En Culture Hors Sol. Ed : TED, Lavoisier. Paris.210p

URBAIN. L, 1997 : Introduction A La Production Sous Serre, Tome II «L'irrigation Fertilisante En Culture Hors Sol ». Ed Lavoisier, Paris P 318 – 438.

VILAIN M, 1989 : La Production Végétal, Vol. 2 : La Maîtrise Technique De La Production, Ed. J. B. Baillièrè, Paris, 361 P

VITRE A., 2003 : Fondements Et Principes Du Hors- Sol, Vol. I, Les Composantes De La Production, Ed. J. B. Baillièrè, Paris, 438p.

ZEMZEM M, 1994. « La Culture De La Tomate ». Direction Des Conseils Agricoles, Koweït, P 6.

ZUANG H Et MUSARD M., 1984 : Cultures Légumières Sur Substrats : Installation Et Conduite. Ed. CTIFL. Paris. 7p.

Annexes

Annexe A₁ : Analyse de la variance de la hauteur finale des plantes

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	16,3622	2	8,18111	24,71	0,0013	3,15441%
Intra-groupes	1,98667	6	0,331111			
Total (Corr.)	18,3489	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Hauteur finale Plantes (cm)	46,20 ± 0,52 (a)	49,43 ± 0,66 (a)	48,40 ± 0,51 (b)

Annexe A₂ : Analyse de la variance du poids frais des tiges

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	108,711	2	54,3557	59,25	0,0001	22,9851%
Intra-groupes	5,5044	6	0,9174			
Total (Corr.)	114,216	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Poids frais tiges (g)	15.40 ± 0.2 (a)	12.79 ± 0.35 (b)	21.11 ± 1.60 (c)

Annexe A₃ : Analyse de la variance du diamètre des tiges

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	4,22222	2	2,11111	9,50	0,0138	12,2951%
Intra-groupes	1,33333	6	0,222222			
Total (Corr.)	5,55556	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Diamètre tiges (cm)	7.66 ± 0,57 (a)	6.0 ± 0 (b)	6.66 ± 0,57 (b)

Annexe A₄ : Analyse de la variance du poids frais de feuilles

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	62,6508	2	31,3254	150,57	0,0000	
Intra-groupes	1,24827	6	0,208044			
Total (Corr.)	63,899	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Poids frais des feuilles (g)	24.4 ± 0,52 (a)	17.94 ± 0.10 (b)	21.22 ± 0,57 (c)

Annexe A₅ : Analyse de la variance du nombre des feuilles

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	10,8889	2	5,44444	24,50	0,0013	10,6964%
Intra-groupes	1,33333	6	0,222222			
Total (Corr.)	12,2222	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Nombre de feuille	10.33 ± 0.57 (a)	11.33 ± 0.57 (b)	13 ± 0 (c)

Annexe A₆ : Analyse de la variance de la longueur des racines

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	13,9267	2	6,96333	13,42	0,0061	3,63651%
Intra-groupes	3,11333	6	0,518889			
Total (Corr.)	17,04	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Hauteur finale Plantes (cm)	38.53 ± 0.61 (a)	40.3 ± 0.87 (a)	41.56 ± 0.65 (b)

Annexe A₇ : Analyse de la variance de poids frais des racines

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	691,996	2	345,998	14436,64	0,0000	29,4257%
Intra-groupes	0,1438	6	0,0239667			
Total (Corr.)	692,14	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Longueur des racines (cm)	26.59 ± 0.04 (a)	24.3 ± 0.26 (b)	43.94 ± 0 (c)

Annexe A₈ : Analyse de la variance de la biomasse sèche des tiges

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Coef. de variation</i>
Inter-groupes	10,1063	2	5,05314	9,07	0,0154	43,8194%
Intra-groupes	3,3424	6	0,557067			
Total (Corr.)	13,4487	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Biomasse sèche tiges (g)	4.45 ± 0.94 (a)	2.16 ± 0,69 (b)	2.25 ± 0.54 (b)

Annexe A₉ : Analyse de la variance de la biomasse sèche des racines

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	3,14347	2	1,57173	21,76	0,0018	39,179%
Intra-groupes	0,433333	6	0,0722222			
Total (Corr.)	3,5768	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Biomasse sèche racines(g)	2.52 ± 0.3 (a)	1.46 ± 0.46 (b)	1.13 ± 0.05 (b)

Annexe A₁₀ : Analyse de la variance de la biomasse sèche des feuilles

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	20,6455	2	10,3227	28,35	0,0009	52,8647%
Intra-groupes	2,18493	6	0,364156			
Total (Corr.)	22,8304	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Biomasse sèche feuilles (g)	5.33 ± 0.57 (a)	2.28 ± 0.84 (b)	1.97 ± 0.23 (b)

Annexe A₁₁ : Analyse de la variance du nombre des fleurs

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	9,55556	2	4,77778	14,33	0,0052	9,08963%
Intra-groupes	2,0	6	0,333333			
Total (Corr.)	11,5556	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Nombre de fleurs	14.66 ± 0.57 (a)	12.66 ± 0.57 (b)	12.33 ± 0,71 (b)

Annexe A₁₂ : Analyse de la variance du nombre des nouées

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	14,0	2	7,0	21,00	0,0020	28,2843%
Intra-groupes	2,0	6	0,333333			
Total (Corr.)	16,0	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Nombre de nouées	6.33 ± 0.57 (a)	5.33 ± 0.57 (a)	3.33 ± 0.57 (b)

Annexe A₁₃ : Analyse de la variance de nombre des fruits dans le boqué 1

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	8,22222	2	4,11111	18,50	0,0027	39,3446%
Intra-groupes	1,33333	6	0,222222			
Total (Corr.)	9,55556	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Nombre fruits B1	4.00 ± 0 (a)	2.66 ± 0.57 (b)	1.66 ± 0.57 (c)

Annexe A₁₄ : Analyse de la variance de nombre des fruits dans le boqué 2

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	38,8889	2	19,4444	175,00	0,0000	58,8603%
Intra-groupes	0,666667	6	0,111111			
Total (Corr.)	39,5556	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Nombre de fruits B2	6.00 ± 0.1 (a)	4.33 ± 0.57 (b)	01.00 ± 0 (c)

Annexe A₁₅ : Analyse de la variance du poids des fruits dans le boqué 1

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	1233,65	2	616,823	35,29	0,0005	9,88895%
Intra-groupes	104,883	6	17,4806			
Total (Corr.)	1338,53	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Poids des fruits B1 (g)	144.99 ± 2.40 (a)	131.10 ± 4.35 (b)	116.31 ± 5.25 (c)

Annexe A₁₆ : Analyse de la variance du poids des fruits dans le boqué 2

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	197,985	2	98,9924	20,00	0,0022	34,1488%
Intra-groupes	29,6955	6	4,94926			
Total (Corr.)	227,68	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Poids fruits B (g)	12.03 ± 1.85 (a)	13.89 ± 1.68 (b)	10.94 ± 2.93 (b)

Annexe A₁₇ : Analyse de la variance de chlorophylle A « floraison »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,432289	2	0,216144	43,62	0,0003	73,8178%
Intra-groupes	0,0297333	6	0,00495556			
Total (Corr.)	0,462022	8				

Traitements / Paramètre	T1	T2	T3
Chlorophylle floraison	0.33 ± 0.11 (a)	0.59 ± 0.05 (b)	0.05 ± 0.01 (c)

Annexe A₁₈ : Analyse de la variance de chlorophylle A « Nouaison »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,0492667	2	0,0246333	9,39	0,0142	10,522%
Intra-groupes	0,0157333	6	0,00262222			
Total (Corr.)	0,065	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Chlorophylle nouaison	0.95 ± 0.04 (a)	0.83 ± 0.05 (b)	0.78 ± 0.06 (b)

Annexe A₁₉ : Analyse de la variance de chlorophylle A « Fructification »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,0864889	2	0,0432444	14,52	0,0050	19,2854%
Intra-groupes	0,0178667	6	0,00297778			
Total (Corr.)	0,104356	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Chlorophylle Fructification	0.71 ± 0.03 (a)	0.59 ± 0.01 (b)	0.47 ± 0.08 (c)

Annexe A₂₀ : Analyse de la variance de chlorophylle B « Floraison »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,000822222	2	0,000411111	12,33	0,0075	20,7622%
Intra-groupes	0,0002	6	0,0000333333			
Total (Corr.)	0,00102222	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Chlorophylle floraison	0.06 ± 0.005 (a)	0.05 ± 0.005 (b)	0.043 ± 0.005 (b)

Annexe A₂₁ : Analyse de la variance de chlorophylle B « Nouaison »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,0299556	2	0,0149778	20,74	0,0020	16,7391%
Intra-groupes	0,00433333	6	0,000722222			
Total (Corr.)	0,0342889	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Chlorophylle nouaison	0.38 ± 0.03 (a)	0.46 ± 0.02 (b)	0.32 ± 0.01 (b)

Annexe A₂₂ : Analyse de la variance de chlorophylle B « Fructification »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,0422222	2	0,0211111	633,33	0,0000	44,2825%
Intra-groupes	0,0002	6	0,0000333333			
Total (Corr.)	0,0424222	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Chlorophylle fructification	0.15 ± 0.005 (a)	0.08 ± 0.005 (b)	0.25 ± 0.005 (c)

Annexe A₂₃ : Analyse de la variance de la proline « floraison »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,0197556	2	0,00987778	296,33	0,0000	29,0%
Intra-groupes	0,0002	6	0,0000333333			
Total (Corr.)	0,0199556	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Proline floraison	0.19 ± 0.005 (a)	0.21 ± 0.005 (b)	0.10 ± 0.005 (c)

Annexe A₂₄ : Analyse de la variance de la proline « nouaison »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	10,8889	2	5,44444	16,33	0,0037	24,834%
Intra-groupes	2,0	6	0,333333			
Total (Corr.)	12,8889	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Proline nouaison	6.33 ± 0.57 (a)	5.33 ± 0.57 (a)	3.66 ± 0.57 (b)

Annexe A₂₅ : Analyse de la variance de la proline «Fructification »

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité	Coef. de variation
Inter-groupes	0,000955556	2	0,000477778	14,33	0,0052	25,155%
Intra-groupes	0,0002	6	0,0000333333			
Total (Corr.)	0,00115556	8				

Traitements Paramètre	T1	T2	T3
Proline fructification	0.05 ± 0.005 (a)	0.03 ± 0.005 (a)	0.05 ± 0.005 (b)

Table des matières :

Page de garde	
Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	

Chapitre I :

La culture hydroponique

I.1. Historique.....	1
I.2. Définition de la culture hors sol	2
I.3. Intérêt et utilisation des cultures hors sol.....	3
I.4. Avantage et inconvénients de la culture hors sol	4
I.4.1 Les avantages de la culture hors sol.....	4
I.4.2. Les inconvénients de la culture hors sol	5
I.5. Principales cultures cultivées en hors sol.....	6
I.5.1. cultures légumières sous serres.....	6
I.5.2. Les cultures florales.....	7
I.6. Composante du système hors sol.....	7
I.6.1. Substrat.....	7
I.6.1.1. Classification des substrats.....	8
a. Classification selon la nature des matériaux.....	8
b. Classification selon les propriétés de matériaux.....	8
I.6.2. Les conteneurs.....	9
I.6.3. La solution nutritive.....	10
I.6.3.1. Le PH.....	10
I.6.3.2. Conductivité électrique (CE).....	11
I.6.3.3. Equilibre ionique.....	11

Chapitre II :

Généralité sur la tomate

II.1. Origine et historique.....	12
II.2. Intérêt économique de la tomate.....	13
II.2.1. Dans le monde et en Algérie.....	13
II.3. Nomenclature et classification :.....	14
II.3.1. Description botanique.....	15
II.3.2. L'appareil végétatif.....	15
a) le système racinaire.....	15
b) la tige.....	15
c) Le feuillage.....	15
II.3.3. Appareil reproducteur.....	16
a) La fleur.....	16
✓ Les variétés fixées.....	16
✓ Les hybrides.....	16
b) Fruit.....	16
c) La graine.....	16
II.4. Types de croissance.....	17
II.4.1. variété à croissance indéterminée.....	17
II.4.2. variété à croissance déterminée.....	17
II.5. Les exigences de la tomate.....	18
II.5.1. Les exigences climatiques.....	18
A. La température.....	18
B. Lumière.....	18
C. Humidité.....	19
II.5.2. Exigences hydriques.....	19
II.5.3. Exigences nutritionnelles.....	19
II.5.4. Exigences édaphiques.....	19
A. pH.....	19
B. La salinité.....	20
C. Sol.....	20
II.6. La structure et la texture.....	20
❖ Aération.....	20
II.7. Cycle de développement de la tomate.....	20

II.8. Quelques maladies et ennemis de la tomate.....	21
II.8.1. Les principales maladies.....	22
II.8.2. Principales insectes et ravageurs.....	25

Chapitre III :

La salinité

III.1. Généralités sur la salinité.....	27
III.2. Définition.....	27
III.3. La salinité dans le monde.....	28
III.4. La salinité en Algérie.....	28
III.5. Les Types de salinisation.....	30
III.5.1. Salinité primaire.....	30
III.5.2. Salinisation secondaire.....	30
III.6. Effets néfastes de la salinisation.....	30
III.6.1. Effet de la salinité sur les phénomènes physiologiques.....	30
A. Effet de la salinité sur la germination.....	31
B. Effet de la salinité Sur la biochimie de la plante.....	31
III.6.2. Effets de la salinité sur la nutrition minérale des végétaux.....	31
III.6.3. Effet de la salinité sur la sécrétion de la chlorophylle.....	32
III.6.4. Effet de la salinité sur la croissance et le développement.....	32
III.6.5. Effet de la salinité sur le rendement.....	32
III.7. Symptômes, causes et conséquences de la salinité.....	33
III.7.1 Les Symptômes de la salinité.....	33
III.7.2. Les causes de la salinité.....	33
III.7.3. Les conséquences de la salinisation des sols.....	34
III.8. La salinité et la plante.....	35
III.8.1. Définitions du stress salin.....	35
III.8.2. Les deux types de stress.....	36
III.8.2.1. Le stress abiotique.....	36
A. Le stress hydrique.....	36
C. Le stress thermique.....	36
D. C. Le stress salin.....	36
III.8.2.2- Le stress biotique.....	37
III.9. Mécanismes de résistance à la salinité.....	37
III.9.1. Exclusion.....	37

III.9.2. Inclusion.....	37
III.9.3. La ré excrétion.....	38
III.10. Mécanismes d'adaptations à la salinité.....	38
III.10.1.Caractéristiques morphologiques et anatomiques.....	38
III.10.2. Caractéristiques physiologiques.....	38
A. Répartition et accumulation des ions dans la plante.....	38
B. Compartimentation vacuolaire.....	38

Chapitre IV:

Potentiel hydrogène PH

IV.1. Définition.....	40
IV.2. pH en agriculture.....	41
IV.3. pH en Biologie.....	41
IV.4. pH en Chimie.....	42
IV.5. pH de l'eau.....	42
IV.5.1. Le pH de l'eau pure.....	43
IV.5.2. pH d'une solution aqueuse.....	43
IV.6. Acidité et basicité.....	44
IV.7. Comment puis-je augmenter ou réduire le pH d'eau?.....	44
IV.8. Comment mesure-t-on le pH.....	45
IV.8.1. Le papier indicateur de pH.....	45
IV.8.2. Le pH-mètre.....	45
IV.9. Rapports entre le pH et les autres paramètres de la qualité de l'eau.....	46
IV.9.1. Caractéristiques physiques.....	46
IV.9.2. Caractéristiques chimiques.....	47
IV.10 : Influence du pH sur le changement de couleur de la plante.....	47
IV.11. Effet du pH sur l'assimilation des oligo-éléments.....	47
IV.11.1. Manganèse.....	47
IV.11.2. Cuivre.....	47
IV.11.3. Fer.....	48
IV.11.4. Zinc.....	48
IV.12. Rôle du pH.....	48

Chapitre V :

Matériel et méthodes

V.1 : objectif de l'expérience.....	51
-------------------------------------	----

V.2 : matériel végétal.....	51
❖ Les principales caractéristiques de la variété Marmande.....	51
V.3 : Conditions expérimentales.....	52
V.3.1 : Lieu de l'expérience.....	52
V.3.2 : La température.....	52
V.3.3 : Conteneurs.....	53
V.3.4 : Substrat utilise.....	54
V.3.5 : Dispositif expérimental.....	56
V.4 : Pré germination et repiquage.....	56
V.4.1 : Pré germination.....	56
V.4.2 : Repiquage.....	57
V.5 : Les traitements utilisés.....	57
V.5.1 : Caractéristiques de l'eau utilisée pour la synthèse des solutions nutritives.....	57
V.5.2 : Correction de l'eau de Blida.....	58
V.5.3: Préparation de la solution nutritive.....	59
V.6 : Technique de préparation les trois traitements.....	59
V.6.1. Traitements testés:.....	60
❖ Reconstitution de l'eau de Blida pH= 5,5 : T1.....	60
❖ Elaboration du traitement T2.....	61
❖ Elaboration du traitement T3.....	61
V.7 : Entretien de la culture.....	62
V.7.1 : Irrigation.....	62
V.7.2 : Palissage.....	62
V.7.3 : Etêtage	62
V.7.4 : Lessivage.....	62
V.8: Paramètres étudiés.....	63
V.8.1 : Paramètres morphologiques.....	63
V.8.1.1 : Hauteur des plantes.....	63
V.8.1.2 : Le nombre des feuilles.....	63
V.8.1.3 : Diamètre des tiges.....	63
V.8.1.4 : Biomasse fraîche produite.....	63
V.8.1.5 : Biomasse sèche produite.....	63
V.8.1.6 : Taux de la matière sèche produite.....	64
V.8.2 : Paramètre de production.....	64

V.8.2.1 : Nombre de fleurs et nombre de fruits par plante.....	64
V.8.2.2 : Poids frais des fruits.....	64
V.8.3 : Paramètre biochimique.....	64
V.8.3.1 : Dosage de chlorophylle.....	64
V.8.3.2 : Dosage de proline.....	65

Chapitre VI :

Résultat et discussion

IV. Paramètres morphologiques.....	67
IV.1. Paramètres de croissance.....	67
IV.1.1. Aspect général des plantes.....	67
IV.2. Paramètres biométriques.....	67
IV.2.1. Vitesse de croissance.....	67
IV.2.2. Hauteur de la plante.....	69
IV.2.3. Biomasse fraîche totale.....	70
IV.2.4. Nombre de feuilles.....	71
IV.2.5. Longueur des racines.....	72
IV.3. Paramètres de production.....	75
IV.3.1. Le nombre de fleurs par plant.....	75
IV.3.2. Le nombre de nouées par plant.....	76
IV.3.3. Le nombre des fruits par plant.....	77
IV.3.3.1. Le nombre des fruits dans le bouquet 1.....	77
IV.3.3.2. Le nombre des fruits dans le bouquet 2.....	78
IV.3.4. Poids des fruits par plant.....	79
IV.3.4.1. Poids des fruits dans le bouquet 1 et 2.....	79
IV.4. Paramètres biochimiques.....	80
IV.4.1. Dosage de la chlorophylle.....	80
IV.3.2. Dosage de la proline.....	82

Conclusion

Références

Annexes

Table des matières