

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIES

Projet de Fin d'Etude en vue de l'obtention du

Diplôme en Master académique.

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

**EFFET DES VARIATIONS DES BESOINS AZOTÉS ET POTASSIQUES SUR
LA CULTURE DE LA TOMATE (*Solanum Lycopersicum*) CULTIVÉE EN
HORS SOL**

• Réaliser par :

- **MIHOUB SAMIA**
- **MAHDI ROUMAISSA**

Devant le jury composé de :

Mme BRADEA M.S.	MCA	USD. Blida 1	Présidente
Mr ZOUAOUI A.	MCB	USD. Blida 1	Promoteur
Mr BOUTAHRAOUI S.A.	MAA	USD. Blida 1	Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2016/2017

REMERCIEMENTS

Je remercie **Dieu** tout puissant qui nous a donné la force et la santé afin d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à remercier mon promoteur **Mr ZOUAOUI A.** d'une part pour m'avoir donné la possibilité de réaliser cette thèse et d'autre part pour la grande autonomie et pour la qualité de son encadrement, ses judicieux conseils, et la confiance qu'il a eu à mon égard pendant ce travail.

Je remercie vivement **Mme BRADEA M.S.** qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Mes remerciements vont aussi à **Mr BOUTAHRAUI S.A.** pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Qu'il me soit permis également de remercier mon frère **BELLEL** pour leur précieuses aides.

J'adresse mes remerciements à Mme **BEN ZAHRA S.**, Mr **SAAOU A.H.** et Mr **YOUCEF** et Mr **ABAAD M.** qui ont collaboré à la réalisation des analyses statistique.

Un grand merci aux personnes les plus chères au monde, à mes chères parents «**M'HAMMED et NASSERA**» qui m'ont soutenu jusqu'à la dernière minute, et qui m'ont donné la force et le courage de continuer sur ce chemin. Merci à **papa et maman** d'avoir toujours été à mes côtés durant toutes ces années d'études. Merci pour votre amour qui doit vous aider à supporter mon « caractère », et qui m'apporte tant de réconfort. Enfin, merci d'avoir fait de votre mieux pour m'aider, me soutenir et me rendre la vie plus belle et facile depuis toujours et encore plus ces derniers temps. Merci d'être tout simplement mes parents.

Un merci tout spécial à mon mari, **YOUCEF** pour son soutien, sa patience, et ses encouragements qui m'ont apporté tout au long de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier mon binôme **ROMAISSA** et toutes personnes ayant participé de loin ou de prêt à la réalisation de ce travail.

Et enfin j'ai une tendre pensée pour toute ma famille : **MIHOUB** et **DRAISSIA**, et **BAALOULE**.

MIHOUB
MIHOUB

DEDICACES

Merci à mon DIEU qu'il m'a donné la force pour accomplir ce mémoire

*Avec les sentiments de la plus profonde humilité, je dédie ce modeste travail aux plus
chères personnes de ma vie :*

*A mes chers parents **MAMAN** et **MON PERE** avait pitié de lui qui m'ont apporté leur
soutien moral dans les moments*

*Difficiles ; Aucune dédicace ne saurait exprimer mon amour. C'est à vous que je dois
cette réussite, et je suis fière de vous l'offrir.*

A mes trésors, qui sont la source de mon inspiration et ma présence dans la vie ;

*Mon très cher mari **YOUCEF***

*Mon chère frère : **BELLEL**, et Mes chères sœurs : **FATIMA**, **IBTISSAM** et **ZOHRA**.*

*Mes chères **nièces et neveux**.*

*A mon grand-père **RABAH** et ma grand-mère **FATMA***

*A ma plus chère amie **Aissa El-bay Radia***

*A ma chère famille **DRAISSIA**, **MIHOUB** et **BAALOUL***

*A Monsieur **ZOUAOUI** qui m'a apporté son soutien moral*

MIHOUB SAMIA

Table des matières

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : La culture de tomate	3
I-1-Généralités et historiques	3
I-2- Description botanique	3
I-3- Croissance et développement	4
I-4- Composition du fruit et des feuilles de tomates	7
I-4-1- Composition des feuilles.....	7
I-4-2- Composition des fruits.....	8
I-5- Qualité et valeur santé du fruit.....	9
I-6- Importance économique.....	9
I-6-1- Dans le monde.....	9
I-6-2- En algérie.....	10
Chapitre II : Généralité sur la culture hors-sol.....	12
II-1- Définition	12
II-2- Historique	12
II-3- Avantages et inconvénients de la culture hors-sol	12
II-3-1- Avantages	12
II-3-2- Inconvénients.....	13
II-4- Les différents systèmes de la culture hors sol	14
II-5- Les composantes de la culture hors-sol	14
II-5-1- Substrat	14
II-5-1-1- Les critères de choix d'un substrat	15
II-5-2- Conteneurs.....	15
II-5-3- La solution nutritive	16
a) Le pH.....	16

Table des matières

b) La conductivité électrique.....	17
c) L'équilibre ionique.....	18
Chapitre III : Alimentation hydro minérales des plantes.....	19
III-1- La nutrition hydrominérale des plantes	19
III-1-1- La nutrition hydrique.....	19
III-1-2- La nutrition minérale.....	21
III-1-2-1- Importance des éléments minéraux.....	21
III-1-2-2- Les constituants minéraux des plantes.....	21
III-2- Nutrition potassique et azotée des plantes.....	26
III-2-1- Nutrition potassique des plantes.....	26
III-2-1-1- Importance du potassium en production végétale : cas des cultures légumières... 27	
III-2-1-2- État du potassium dans le sol et conséquences sur l'alimentation des plantes... 27	
III-2-1-3- Rôle physiologiques du potassium dans la plante.....	28
III-2-1-3-1- Effet du potassium sur la croissance.....	30
III-2-1-3-2- Potassium et potentiel de rendement.....	30
III-2-1-3-3- Potassium et qualité gustative du fruit.....	31
III-2-1-3-4- Potassium et maturité des fruits.....	31
III-2-1-3-5- Potassium et proportion de fruit creux.....	32
III-2-2- Nutrition azotée des plantes.....	33
III-2-2-1- Rôle de l'azote dans la croissance et le développement des plantes.....	33
III-2-2-2- Métabolisme azoté respiration et photosynthèse.....	34
III-2-2-3- Effet de l'azote sur la qualité des fruits.....	34
III-2-2-4- Effet de l'azote sur la croissance et le développement de la tomate.....	35
III-2-3- Influence de l'équilibre azote-potassium sur la tomate.....	36
Chapitre IV : Matériels et méthodes.....	38

Table des matières

IV-1- Objectif de l'expérimentation.....	38
IV-2- Matériel végétal.....	38
IV-3- Lieu de l'expérience.....	38
IV-4- Essai de germination et repiquage.....	39
IV-5- Substrat et conteneurs.....	41
IV-6- dispositif expérimental.....	41
IV-7- Description des différents traitements pour la synthèse des différents traitements...	42
IV-7-1- Caractéristiques de l'eau utilisée.....	42
IV-7-2- Composition et techniques de préparation des différents traitements.....	44
IV-7-2-1- Composition de la solution nutritive standard T0 (témoin) à base d'eau de Blida	44
IV-7-2-2- Composition du traitement T1 à base d'eau de Blida.....	47
IV-7-2-3- Composition du traitement T2	48
IV-7-2-4- Composition du traitement T3.....	48
IV-7-2-5- Composition du traitement T4.....	49
IV-7-2-6- Composition du traitement T5.....	50
IV-7-2-7- Composition du traitement T6.....	51
IV-7-2-8- Composition du traitement T7.....	52
IV-8- Entretien de la culture.....	53
IV-8-1- Irrigation et estimation des besoins hydrominéraux journaliers des plantes....	53
IV-8-2- Les traitements phytosanitaires.....	54
IV-8-3- Palissage.....	54
IV-8-4- Ebourgeonnage	55
IV-8-5- Etêtage	55
IV-9- Paramètres étudiés.....	55
IV-9-1- Paramètres de croissance mesurés.....	55

Table des matières

IV-9-2- Paramètre de production et de qualité.....	55
Chapitre V : Résultats et discussions.....	59
V-1- Paramètres de croissance.....	59
V-1-1- Hauteur des plantes (cm).....	59
V-1-2- Nombre des feuilles.....	60
V-1-3- Diamètre des tiges (mm).....	61
V-1-4- Poids frais des plants (g).....	62
V-1-5- Poids sec des plants (g).....	63
V-2- Paramètres de production et de qualité.....	64
V-2-1- paramètres de production.....	64
V-2-1-1- Nombre de fleurs par plant.....	64
V-2-1-2- Nombre des fruits par plant.....	65
V-2-1-3- Taux d'avortement (%)......	65
V-2-1-4- La production par plant en (g).....	66
V-2-2- Paramètres de qualité.....	67
V-2-2-1- Taux de sucre des fruits (%)......	67
V-2-2-2- Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus).....	68
V-2-2-3- Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF).....	69
V-2-2-4- Matière sèche des fruits (%)......	70
Conclusion.....	71

Référence bibliographique

Annexes

Résumé

Ce travail a pour but d'étudier les effets de variations des besoins azoté et potassique d'une solution nutritive de base sur la croissance, la production et la qualité des fruits d'une variété de tomate (Saint-pierre) cultivée en hors-sol. Quatre augmentations de (10%, 20%, 30%, et 40%) et trois diminutions de (10%, 20% et 30%) ont été apportées sur les quantités d'azote et de potassium de la solution nutritive initiale.

Les principaux résultats obtenus montrent que les doses croissantes en azote et en potassium améliorent positivement les paramètres étudiés tels que le nombre des feuilles, poids frais et sec de la partie aérienne des plants et le poids frais total des fruits. Les meilleures moyennes ont été obtenues avec le traitement T4 (Augmentation de 40% a été réalisée sur la quantité d'azote et de Potassium).

Aussi il a été montré que le taux de sucre totaux ainsi que la teneur en vitamine C ont été améliorés quelque soit l'augmentation réalisée et que l'acidité titrable du jus de fruit a été diminuée avec les mêmes traitements. D'une manière générale les réductions d'azote et de potassium réalisées agissent défavorablement sur l'ensemble des paramètres mesurés.

Mots clés: Tomate- culture hors sol- solution nutritive- azote- potassium- nutrition minérale.

Summary

Summary

The purpose of this work is to study the effects of variations in the nitrogen and potassium requirements of a basic nutrient solution on the growth, production and quality of tomato (Saint-pierre) (10%, 20%, 30%, and 40%) and three decreases (10%, 20% and 30%) were made on the amount of nitrogen and potassium in the initial nutrient solution.

The main results show that the increasing doses of nitrogen and potassium positively improve the parameters studied such as the number of leaves, fresh and dry weight of the aerial part of the plants and the total fresh weight of the fruits. The best means were obtained with the T4(+40%) treatment.

Also it has been shown that the total sugar levels as well as the vitamin C content have been improved whatever the increase achieved and that the titrable acidity of the fruit juice has been decreased with the same treatments. In general, the reductions of nitrogen and potassium carried out adversely affect all the parameters measured.

Key words: Tomato- soil culture- nutrient solution- nitrogen- potassium- mineral nutrition.

ملخص

يهدف هذا العمل لدراسة تأثير التغيرات في احتياجات النيتروجين و البوتاسيوم لمحلول مغذي أساسي على النمو و الإنتاج و الجودة لصنف من ثمار الطماطم (سان بيار) مزروعة بتقنية خارج التربة.

أربع زيادات بنسبة (10% 20% 30% 40%) و ثلاث تخفيضات بنسبة (10% 20% 30%) اجريت على كمية النيتروجين و البوتاسيوم للمحلول المغذي الأساسي.

تظهر أهم النتائج أن الجرعات المتزايدة من النيتروجين و البوتاسيوم أثرت بشكل ايجابي على تحسين العوامل المدروسة مثل عدد الأوراق, الوزن الرطب و الجاف للنبات و الوزن الكلي للثمار.

أحسن المعدلات تم الحصول عليها مع العلاج T 4 (40%). كذلك لوحظ أن نسبة السكر و كمية الفيتامين ج قد تحسنت مع جميع الإضافات المطبقة و أن حموضة عصير الثمار قد انخفضت مع نفس العلاجات. بصفة عامة فإن التخفيضات في جرعات النيتروجين و البوتاسيوم قد أثرت سلبيا على جميع العوامل المقاسة.

مفاتيح :- الطماطم-الزراعة خارج التربة - محلول مغذي - النيتروجين- البوتاسيوم - التغذية المعدنية.

Introduction

Introduction :

Les légumes frais ont pris de nos jours, une importance prépondérante dans l'alimentation humaine. Il est en effet admis de manière incontestable aujourd'hui que l'usage abondant de légumes constitue un facteur essentiel d'un bon équilibre physiologique. La tomate est aujourd'hui l'une des cultures légumières les plus répandues et les plus importantes économiquement. On la cultive en annuelle dans la plupart des pays, et elle est constituée d'une source alimentaire riche en minéraux et en vitamine (LAUMONNIER, 1979).

En Algérie, la culture de la tomate possède un intérêt considérable puisqu'elle occupe la deuxième place en maraîchage après la pomme de terre. Les producteurs accordent une grande importance à cette culture. Celle-ci est cependant confrontée à une multitude de problèmes, parmi lesquelles nous citons: l'érosion des sols, les inondations, les maladies bactériennes, la grande variabilité saisonnière, l'absence ou l'utilisation irrationnelle et abusive des engrais chimiques et enfin la non maîtrise des techniques d'irrigation.

La production en quantité et en qualité d'une culture de tomate est fortement influencée par son alimentation en éléments minéraux. Ces éléments doivent être disponibles en quantité et proportions telles que la plante pourra s'approvisionner très facilement, quelque soit le rythme de croissance autorisé par les autres facteurs du milieu.

Le développement harmonieux de la plante ainsi que l'augmentation des rendements tant du point de vue de la qualité que de la quantité nécessite le suivi rigoureux de l'itinéraire cultural de la culture. La fertilisation est, parmi l'ensemble de tous les autres facteurs agrotechniques, le plus déterminant sur les rendements.

La fertilisation, est un facteur principal de production pour chaque culture, et doit être raisonnée pour permettre une bonne alimentation de la plante et d'assurer la disponibilité de tous les éléments nécessaires à la plante en période de forte consommation.

Le potassium est un élément majeur essentiel à la croissance et au développement des plantes. Sa teneur dans les tissus végétaux est élevée et représente 2 à 8% de la matière sèche (HELLER, 1977). Il faut souligner l'importance de cet élément par le fait que la plus part des plantes présentent un phénomène d'accumulation sélectif du potassium dans leur tissus (MORARD *et al.*, 1993). Selon (GREWAL *et al.*, 1991), le rendement des cultures légumières peut être augmenté de 50% par suite à l'application d'une bonne fertilisation potassique.

Introduction

De même l'azote est un facteur essentiel de la production végétale, il représente 1 à 4 % de la matière végétale des plantes. Les tissus jeunes au toujours plus riches en azote (BOKMAN et *al.*, 1990; VILAIN, 1993). Il occupe une place centrale dans tous les processus biologiques et joue un rôle déterminant au niveau du rendement et de la qualité des récoltes. (DIEHL, 1975 ; LACROIX, 1999). Mais pour une même espèce végétale, les diverses variétés peuvent présenter une capacité différente d'utilisation de l'azote, c'est-à-dire que le maximum de rendement est atteint avec des doses différentes.

La présence dans le sol d'une quantité suffisante d'azote n'est d'ailleurs pas sans effet sur l'utilisation de la potasse disponible. DIEHL, (1975), signale que d'une manière générale, l'azote est d'autant mieux utilisé par la plante que celle-ci dispose d'une quantité de potasse suffisante. Aussi selon LOUE, (1979), le potassium exercerait une fonction régulatrice sur l'effet de l'azote, qui entrainerait l'utilité d'appliquer une quantité suffisante de potasse en présence d'apport croissants d'azote.

En raison de l'importance de ces deux éléments à savoir l'azote et le potassium dans le développement de la culture de la tomate, notre travail vise à déterminer l'influence de la fertilisation azotée- potassique en différentes doses sur le comportement des plants d'une culture de tomate variété (saint pierre). L'approche expérimentale mise en œuvre repose sur le procédé hors-sol et ce afin de mieux cerner le contrôle de l'alimentation de la culture pratiquée.

Liste des figures

Liste des figures

Figure N° 01 : (A) Fleur de tomate à cinq pétales soudés, en anthèse. (C) Carte postale illustrant la diversité des formes, tailles et couleurs des fruits de tomate. (B) Schéma d'un fruit en coupe transversale représentant les différentes parties de la baie (BENARD, 2009).....	4
Figure N°02 : (A) Plant de tomate cerise, à croissance indéterminée, cultivé en pot sous serre. (B) Plant de tomate nain à croissance déterminée, cultivé en pot (BENARD, 2009).....	5
Figure N°03 : Composition moyenne de la matière sèche du fruit de tomate (adaptée de DAVIS et HOBSON, 1981).....	7
Figure N° 04: Différentes formes et dynamique du potassium dans le sol (DUTHION, 1968).....	28
Figure N°05: Effet de l'alimentation potassique sur la croissance des plantules de tomate (SAITOT et al., 1965).....	30
Figure N° 06: vue générale du lieu de l'expérimentation.....	38
Figure N° 07 : Essai de germination des graines de tomate.....	40
Figure N° 08 : Aspects des germes au moment de repicage.....	40
Figure N° 09 : Aspects des plantules au début d'irrigation avec la solution nutritive standard.....	41
Figure N° 10: Vue du dispositif expérimentale.....	42
Figure N° 11 : Schéma du dispositif expérimental.....	42
Figure N°12 : Hauteur finale des plantes en (cm).....	59
Figure N°13 : Nombre des feuilles.....	60
Figure N°14 : Diamètre des tiges finales (mm).....	61
Figure N°15 : Poids frais des plants (g).....	62
Figure N°16: Poids sec des plants (g).....	63
Figure N°17 : Nombre de fleurs par plant.....	64
Figure N°18 : Nombre des fruits par plant.....	65
Figure N°19 : Taux d'avortement.....	65

Liste des figures

Figure N°20 : la production par plant.....	66
Figure N°21 : Taux de sucre des fruits (%).....	67
Figure N°22 : Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus).....	68
Figure N°23 : Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF).....	69
Figure N°24 : Matière sèche des fruits (%).....	70

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau N° 1: Composition du fruit de tomate. Les données sont en grammes pour 100g de matière fraîche consommable.....	6
Tableau N° 02 : La production mondiale de tomate en 2011.....	10
Tableau N°03 : Évolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.....	11
Tableau N°04 : Effet de différentes doses de potassium sur la maturation incomplète des fruits de tomate.....	32
Tableau N° 05 : Effet de différentes doses de potassium sur la proportion de fruits immatures et de fruits creux de tomate.....	32
Tableau N° 06 : L'effet niveau d'azote sur la teneur en azote des feuilles et le prélèvement d'azote par la plante.....	35
Tableau N° 07 : Moyennes des températures par semaine enregistrées sous serre en (C°)..	39
Tableau N° 08 : Teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida (mg/l) et (meq/l).....	42
Tableau N° 09 : Composition de l'eau de Blida pH =7.8.....	46
Tableau N° 10 : Eau de Blida corrigée (T0) (traitement témoin) pH = 5.8.....	46
Tableau N° 11 : Composition du traitement T1.....	47
Tableau N° 12 : Composition du traitement T2.....	48
Tableau N° 13 : Composition du traitement T3.....	49
Tableau N° 14 : Composition du traitement T4.....	50
Tableau N° 15 : Composition du traitement T5.....	51
Tableau N° 16 : Composition du traitement T6.....	52
Tableau N° 17 : Composition du traitement T7.....	53
Tableau N° 18 : Doses et fréquence des irrigations.....	54
Tableau N° 19 : Traitements phytosanitaires réalisés.....	54

Chapitre I : La culture de tomate

I-1-Généralités et historiques

La tomate (*SolanumLycopersicum*) est originaire des vallées fertiles du Mexique. Elle a d'abord été cultivée et améliorée par les indiens du Mexique, sous le nom aztèque « tomatl » , avant d'être ramenée en Europe par les conquistadores. Neuf espèces sauvages peuvent être observées en Amérique du sud, dont seulement deux comestibles, la « tomate groseille » (*Solanum pimpinellifolium*) et la « tomate cerise » (*Solanum lycopersicum var cesariforme*) qui est l'ancêtre de nos tomates actuelles (DE BROGLIE et GUEROULT, 2005; RENAUD, 2006).

En Europe les italiens ont été les premiers à la consommer dès le 16^{ème} siècle, notamment en sauce, et c'est sous cette forme qu'elle atteint la France par la Provence au 17ème siècle, avant d'être popularisée à Paris lors de la révolution (SCHUMANN, 1996; DEGIOANNI, 1997). La tomate a longtemps été considérée comme toxique, et on lui associait tous types de vertus maléfiques à cause de sa ressemblance avec la mandragore. Elle a donc d'abord été utilisée en tant que plante ornementale, puis en 1778, elle a rejoint le catalogue de semence potagère deVilmorin-Andrieu (DEGIOANNI, 1997; MIKANOWSKI et MIKANOWSKI, 1999).

Les premières recherches variétales débuteront au 20ème siècle, pour produire des tomates plus régulières, plus productives, et plus résistantes aux maladies. Les modes de production évoluent également, la production de tomates sous serre toute l'année, notamment aux Pays-Bas prend de l'ampleur. Aux Etats-Unis par contre, les cultures restent davantage effectuées en plein champ de façon mécanisée. La production et la consommation mondiales de tomates sont devenues très importantes, et depuis les années 90, les consommateurs se plaignent de la standardisation de ce produit et de la perte de goût de la tomate (DEGIOANNI, 1997). Les recherches actuelles s'orientent donc plus vers une caractérisation et une amélioration de la qualité organoleptique du fruit de tomate.

I-2- Description botanique

La tomate (*Solanum lycopersicum L.*) est une plante climactérique, diploïde à $2n=24$ chromosomes (JUDD et *al.*, 2002), qui appartient à la famille des solanacées (ATHERTON et RUDICH, 1986). C'est une plante herbacée, vivace à l'état naturel, et annuelle en culture.

Ses feuilles sont alternes et sans stipule. Elles sont composées, pennées, à 7, 9 ou 11 segments ovales, incisés ou dentelés grossièrement et alternant avec des segments plus petits.

Les fleurs sont actinomorphes, autogames, de couleur jaune et réunies en inflorescences pentamères (Figure 1A), sauf le gynécée qui possède entre 2 et 5 carpelles (ABBAYES *et al.*, 1963). L'ovaire supère est formé d'au moins deux carpelles soudés, orientés obliquement par rapport à l'axe médian de la fleur, et comprend de très nombreux ovules en placentation axile (JUDD *et al.*, 2002). Le calice est à pièces partiellement soudées et la corolle est gamopétale (ABBAYES *et al.*, 1963) (Figure 1 A).

Le fruit est une baie plus ou moins grosse, de forme variable (sphérique, oblongue, allongée), et de couleurs variées (blanches, rose, rouge, jaune, orange, verte, noire) selon les variétés (Figure 1B) (RENAUD, 2003). Les graines sont réparties dans des loges remplies de gel. La paroi de l'ovaire évolue en péricarpe charnu et délimite des loges. Le placenta constitue la partie centrale du fruit et est à l'origine des tissus parenchymateux (Figure 1C). Le nombre de loges, l'épaisseur du péricarpe et l'importance du gel sont dépendants des variétés (GRASSELLY *et al.*, 2000).

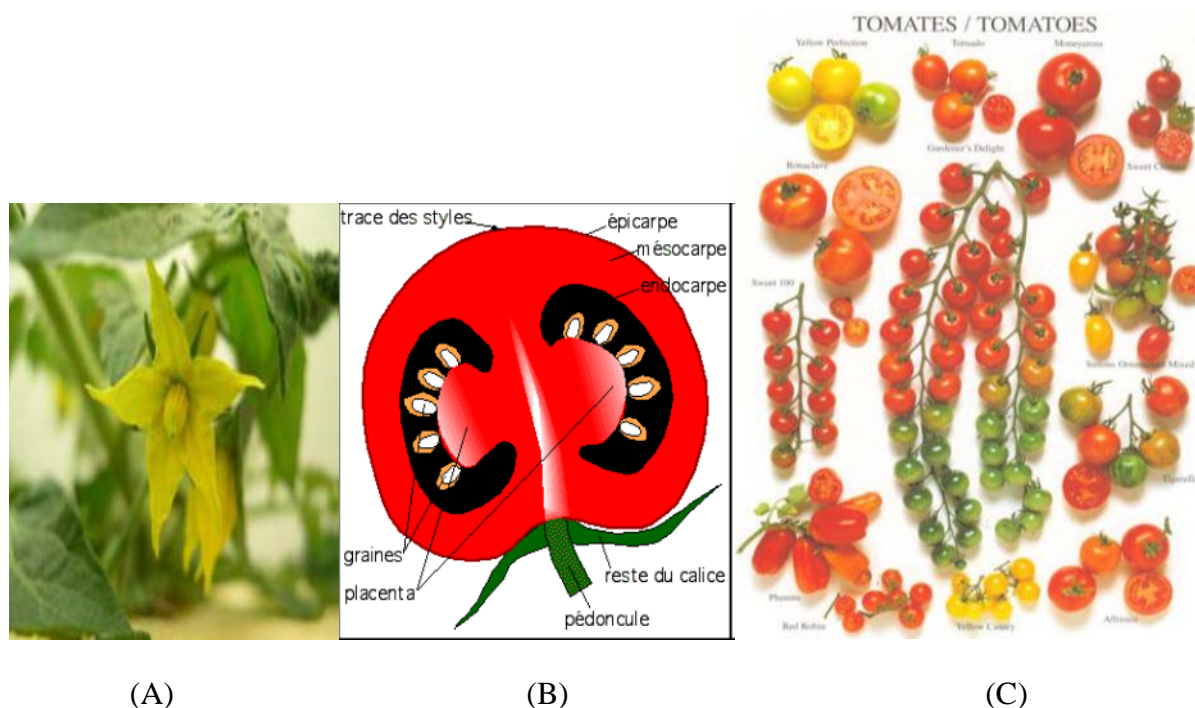


Figure 1 : (A) Fleur de tomate à cinq pétales soudés, en anthèse. (C) Carte postale illustrant la diversité des formes, tailles et couleurs des fruits de tomate. (B) Schéma d'un fruit en coupe transversale représentant les différentes parties de la baie (BENARD, 2009).

I-3- Croissance et développement

Les différentes variétés de tomates sont classées selon deux types : croissance déterminé et indéterminé (Figure 2), en fonction du développement de leur tige (ATHERTON et RUDICH, 1986).

La croissance déterminée est due à une mutation génétique : le self pruning factor. Chez les variétés à croissance déterminée, la tige après avoir donné un faible nombre de bouquets, se termine elle-même par une inflorescence. Les pousses latérales se terminent également par une inflorescence. Les plantes ont un port buissonnant, leur croissance est souvent compacte et la floraison se produit sur une période courte (MIKANOWSKI et MIKANOWSKI, 1999). Ce caractère déterminé est intéressant pour les cultures précoces et pour les cultures industrielles (PECAUT et PHILOUZE, 1968).

Les variétés à croissance indéterminée présentent un nombre indéfini d'inflorescences sur la tige principale comme sur les tiges latérales. Cette croissance peut cependant être interrompue par des facteurs extérieurs comme le gel, ou régulée en taillant les plantes (MIKANOWSKI et MIKANOWSKI, 1999). La plupart des cultivars disponibles sont des variétés à croissance indéterminée.

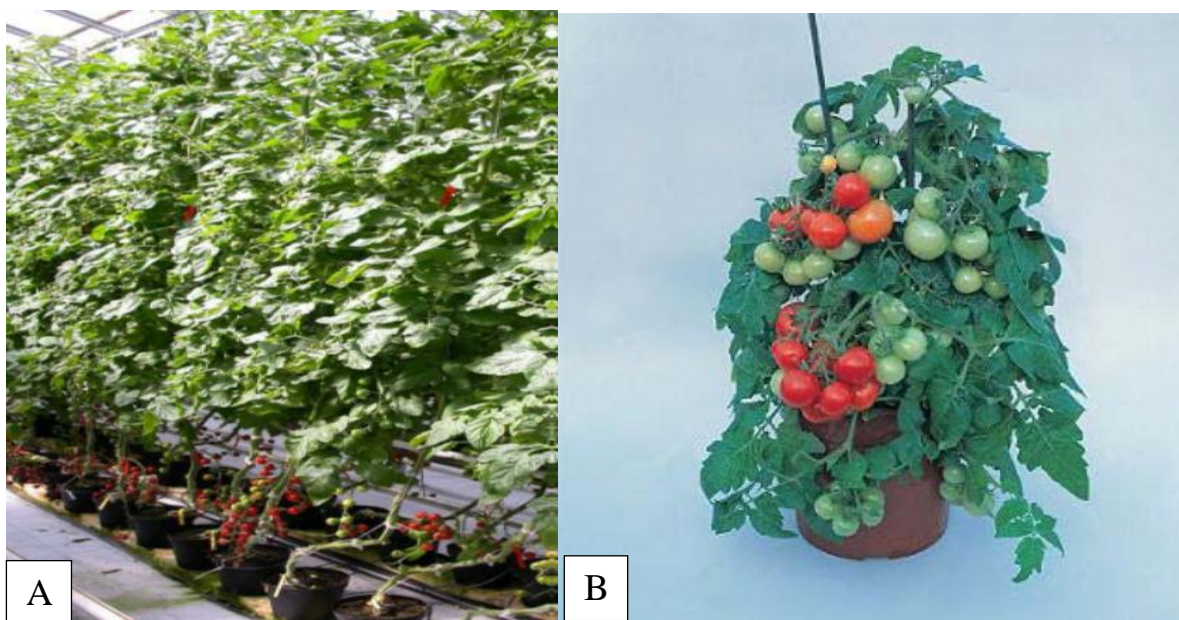


Figure 2 : (A) Plant de tomate cerise, à croissance indéterminée, cultivé en pot sous serre. (B) Plant de tomate nain à croissance déterminée, cultivé en pot (BENARD, 2009).

La fécondation des ovules et la maturation des fruits marquent respectivement le début et la fin du développement du fruit. Le nombre de fruits par grappe est fonction de la variété utilisée, et peut être déterminé en taillant les plantes, une fois la nouaison des fruits effectuée.

La courbe de croissance des fruits est d'allure sigmoïdale et comprend trois périodes :

- Une première phase de croissance lente d'une quinzaine de jours après anthèse, pendant laquelle a lieu la majorité des divisions cellulaires. Pendant cette période, se détermine le potentiel de croissance du fruit à travers le nombre de cellules formées.

- Une deuxième phase de croissance rapide jusqu'au stade vert mature. C'est pendant cette phase, dite de grandissement cellulaire, que le potentiel généré à la première étape est plus ou moins réalisé selon les conditions climatiques et les équilibres végétatifs / génératifs de la plante.
- Une troisième phase dite de maturation, caractérisée par une croissance lente ainsi qu'un changement brutal de la couleur, de la texture et de la composition chimique du fruit. En effet, c'est essentiellement une période de transformations biochimiques qui dépend des composés stockés et de l'environnement du fruit (GRASSELLY et *al.*, 2000).

La qualité d'un fruit s'élabore continuellement pendant son développement. Sa composition finale dépend de l'importation et du stockage des assimilats. La quantité d'assimilats disponible pour le fruit est liée au nombre d'organes puits (organe importateur) et de leur force de puits, et dépend de l'activité photosynthétique des feuilles fournissant le saccharose, principale forme d'importation d'assimilats par les fruits (organes sources) (GRASSELLY et *al.*, 2000). Il faut noter que les fruits verts sont également photosynthétiques et que cette activité est non négligeable (CARRARA et *al.*, 2001).

Tableau N° 1: Composition du fruit de tomate. Les données sont en grammes pour 100g de matière fraîche consommable.

(g)	Variations	Minéraux (mg)	Variations	Vitamines (mg)	Variations
Eau	93,4-95,2	Ca	9,7-15	Provitamine A	0,5-0,8
Protides	0,9-1,1	K	202-300	B1	0,04-0,06
Lipides	trace-0,3	Na	3-11	B2	0,02-0,05
Glucides	2,8-4,7	P	20-27	B6	0,08-0,1
Fibres	0,5-1,5	Fe	0,2-0,6	C	15-23
Minéraux	0,6	Mg	3-11	E	0,04-1,2

(GRASSELLY et *al.*, 2000)

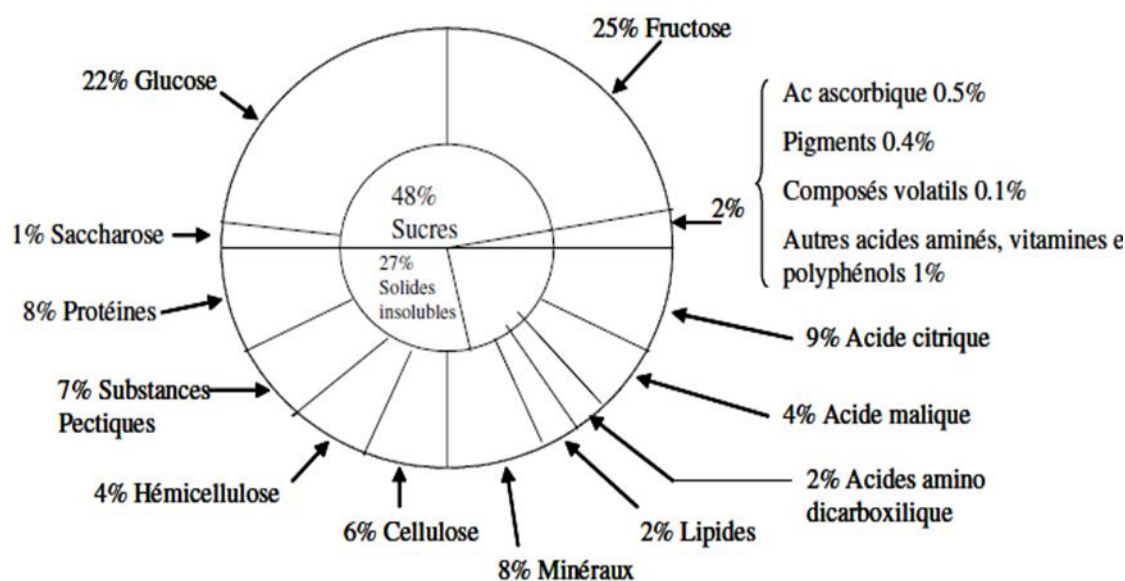


Figure 3 : Composition moyenne de la matière sèche du fruit de tomate (DAVIS et HOBSON, 1981).

I-4- Composition du fruit et des feuilles de tomates

I-4-1- Composition des feuilles

Les feuilles de tomates sont toxiques à cause des quantités importantes d'alcaloïdes qu'elles contiennent. Par exemple, la déhydro-tomatine et l' α -tomatine sont des glycoalcaloïdes présents en grande quantité dans les feuilles et les tiges de tomate (KOZUKUE et *al.*, 2004). Ces composés sont intéressants pour la plante puisqu'ils interviennent dans la résistance contre certains pathogènes fongiques, comme le *Botrytis*, bactériens comme *Clavibactermichiganense* (agent du chancre bactérien), et viraux comme le virus de la mosaïque du tabac (TMV) (FRIEDMAN, 2002). Les feuilles de tomate contiennent également d'autres métabolites secondaires, comme les composés phénoliques. Les principaux sont la rutine et l'acide chlorogénique, ces deux molécules sont également impliquées dans la résistance des plantes contre certaines maladies, voire contre des herbivores (JOHNSON, 2005; MITTELSTRAB et *al.*, 2006). Les feuilles sont des organes puits au début de leur développement, puis des organes sources qui vont accumuler du saccharose via leur activité photosynthétique. Les feuilles possèdent donc des pigments photosynthétiques : de la chlorophylle a et b et des caroténoïdes dont le bêta-carotène et la lutéine (KHAVARI-NEJAD et MOSTOFI, 1998; MORTAIN-BERTRAND et *al.*, 2008). Les teneurs en saccharide y sont relativement importantes, l'amidon et le saccharose étant

majoritaires, mais des hexoses (fructose et glucose) sont également présents (KHELIL *et al.*, 2007; MORTAIN-BERTRAND *et al.*, 2008). Elles contiennent également des acides organiques, les acides citrique et malique étant les plus abondants (MADSEN, 1974).

I-4-2- Composition des fruits

Les fruits de tomate sont majoritairement composés d'eau, environ 95%, et possèdent peu de lipides et protides, ce qui en fait un aliment peu calorique, 15 à 20 calories pour 100g (Tableau 1).

La matière sèche des fruits est principalement composée de sucres, environ 50% de la MS (BLANC, 1986) (Figure 3). Le saccharose importé des feuilles, est hydrolysé dans les fruits en glucose et fructose. Le jeune fruit peut également stocker des sucres sous forme d'amidon qui sera dégradé au cours de la maturation. La cellulose et l'hémicellulose représente environ 10% de la MS et les acides organiques 13% (BLANC, 1986). L'acide citrique est l'acide le plus présent dans le fruit mûr de tomate, suivi de l'acide malique (GRASSELLY *et al.*, 2000). Les teneurs en sucres et en acide sont soumises à de nombreuses régulations, ainsi leur évolution au cours de la maturation du fruit n'est pas établie et est dépendante des conditions de culture.

Les tomates possèdent également de nombreuses vitamines : A, B1, E et C, ainsi que des fibres (1.8g pour 100g MF), des acides aminés essentiels, des sels minéraux (potassium, chlore, magnésium, phosphore) et des oligoéléments (fer, zinc, cuivre, cobalt, bore, nickel, iode) (Tableau 1), ce qui en fait un aliment particulièrement recommandé par les diététiciens (DE BROGLIE et GUEROULT, 2005). L'intérêt nutritionnel de la tomate réside également dans le fait que ce fruit contient de nombreux métabolites secondaires, et des antioxydants. En effet, la tomate contient des polyphénols, des flavonoïdes comme la rutine et des dérivés d'acides hydroxy cinnamiques comme l'acide chlorogénique (MOCO *et al.*, 2006). Cet aspect de la composition du fruit sera détaillé plus loin. Le fruit de tomate contient également des caroténoïdes, comme le lycopène et le bêta-carotène, responsables de la couleur rouge et jaune respectivement de la tomate. Les teneurs en lycopène et en bêta-carotène sont respectivement d'environ 3 et 1 mg pour 100g de MF, ces teneurs sont très dépendantes des cultivars et des conditions de culture (GRASSELLY *et al.*, 2000). Enfin des alcaloïdes ont également été mis en évidence dans les fruits de tomate, leur concentration diminuant nettement avec la maturation du fruit (KOZUKUE *et al.*, 2004). En effet les teneurs en α -tomatine sont de 500 mg/kg de MF dans les fruits verts et d'environ 5 mg/kg MF dans les fruits rouges. Ces composés sont également impliqués dans la valeur santé du fruit de tomate,

puisque par exemple la tomatine (mélange de déhydrotomatine et de l' α -tomatine) diminue les taux de triglycérides, voire de cholestérol dans le sang. Les processus d'action de ces molécules sont en cours d'étude (FRIEDMAN, 2002).

I-5- Qualité et valeur santé du fruit

La qualité est une notion complexe puisque sa définition varie selon que l'on se place dans la situation du producteur, du distributeur ou du consommateur. Pour le producteur les critères importants sont le rendement, la résistance aux maladies, et les capacités d'adaptation aux contraintes pédo-climatiques (KALUZNY-PINON et *al.*, 2001). Le distributeur s'intéresse plus à la durée de vie du produit, l'homogénéité des lots, et à sa bonne tenue lors de la conservation et du transport (GUICHARD, 1999). Enfin pour le consommateur, la qualité du fruit est l'association de plusieurs paramètres : son aspect (couleur), sa texture (fermeté), son goût (saveur, arôme) et, depuis peu, sa valeur-santé (KALUZNY-PINON et *al.*, 2001). La qualité gustative des fruits peut se décomposer en trois parties : la texture, la saveur et les arômes. La texture est principalement caractérisée par la fermeté du fruit. L'arôme du fruit est défini par la concentration en composés aromatiques volatiles, sachant que plus de 400 composés ont été identifiés chez la tomate, et enfin la saveur est relative aux teneurs en sucre et acide (GRASSELLY et *al.*, 2000).

Plusieurs études associent la consommation de tomates et de ses produits dérivés à une réduction des risques de contracter des cancers et des maladies cardiovasculaires. En effet ils sont riches en substance potentiellement actives, comme les vitamines, les minéraux, les micronutriments ou les fibres (BERRINO et VILLARINI, 2008). La médecine chinoise associe plusieurs vertues à la tomate, et lui associe des saveurs douces, acides et légèrement froides. Les méridiens destinataires étant le foie, l'estomac et les poumons (SIONNEAU et CHAPELLET-LOPEZ, 2004).

I-6- Importance économique

I-6-1- Dans le monde

La tomate est une culture importante de l'économie mondiale. Elle représente l'un des légumes les plus consommés car elle fournit des nutriments essentiels dans l'alimentation humaine (RAZDAN et MATTOO, 2007).

La tomate est cultivée dans plusieurs pays et à travers le monde entier. En ce qui concerne la consommation en frais, la production mondiale de tomates s'élevait en 2010 à 620.28 millions de tonnes pour une surface de 4.63 millions d'hectares, soit un rendement

moyen de 27.3 tonne à l'hectare. Le tableau 02 donne la production en tonne des 10 premiers pays producteurs (FAO STAT, 2012).

Tableau N° 02 : La production mondiale de tomate en 2011.

Pays	Production(T)	Pays	Production(T)
1- Chine	48576853	11- Mexique	2435790
2- Inde	16826000	12- Russie	2200590
3- USA	12624700	13- Ukraine	2111600
4- Turquie	11003400	14- Nigéria	1504670
5- Egypte	8125260	15- Tunisie	1284000
6- Iran	6824300	16- Portugal	1245360
7- Italie	5950220	17- Maroc	1236170
8- Brésil	4416650	18- Grèce	1169900
9- Espagne	3821490	19- Syrie	1154990
10- Ouzbékistan	2585000	20- Iraq	1059540

(FAO STAT, 2012)

I-6-2- En Algérie :

La tomate occupe une place remarquable dans l'économie agricole algérienne. C'est une culture très répandue, des milliers d'hectares y sont consacrés chaque année. C'est un légume de base pour la population algérienne. Elle prend le deuxième rang en cultures maraichères après la pomme de terre. Le tableau suivant montre l'évolution de la superficie, de la production et du rendement de la tomate fraîche en Algérie durant les dix dernières années (MADR, 2013).

Tableau N°03 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012

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

(MADR, 2013).

Chapitre II : Généralité sur la culture hors-sol**II-1- Définition**

La culture hors sol est définie comme une technique des cultures dont les racines sont placées dans un milieu autre que le sol. Aussi, le support solide n'est pas nécessaire et s'il existe, est qualifié de substrat car il n'intervient pas dans la nutrition, cette dernière est assurée par un liquide minéral appelé : solution nutritive. (MORARD, 1995).

Au sens strict, la culture hors-sol est la culture dans un milieu racinaire qui n'est pas le sol naturel, mais un milieu reconstitué et isolé du sol.

On parle souvent de cultures sur substrat, car ce milieu reconstitué repose souvent sur l'adoption d'un matériau physique stable: le substrat, parfois d'origine manufacturé et industriel, parfois d'origine naturelle.

Il existe cependant des cas de cultures hors-sol n'utilisant pas de substrats: cultures sur film d'eau ou hydroponiques (ALAIN, 2003).

II-2- Historique

Cette technique est pratiquée depuis XVII^{ème} siècle ; Ce n'est qu'en 1860, que deux chercheurs Allemande KNOP et SACHS ont réussi à faire croître des plantes sur un milieu liquide constitué d'eau et de sels minéraux : solution nutritive(MORARD, 1995 ; BLANC, 1985).Il a fallu attendre l'année 1929 pour la production de cultures maraichères et ornementales avec une diffusion commerciale sous le nom « hydroponic », en produisant des plants de tomate dans une solution nutritive en Californie (RESH, 1978). Ce n'est que durant la période 1975 à 1980 que la culture hors-sol a connu un essor et un véritable développement en France et en Europe, surtout pour les cultures sous serres (MORARD, 1995).

Les premiers essais sont très anciens: ils ont été effectués par des chercheurs travaillant sur la fertilisation des plantes et la mise en évidence du rôle de l'eau et de l'air dans le sol. En cherchant le rôle de chacun des éléments constituant le sol, on s'est aperçu que celui-ci pouvait être entièrement reconstitué de façon artificielle. Il fallait seulement retrouver toutes les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol (ALAIN, 2003).

II-3-Avantages et inconvénients de la culture hors-sol**II-3-1 Avantages**

Il y'a plusieurs causes au succès de la technique du hors sol, URBAN, (1997) et TEXIER, (2014), citent quelques-unes d'entre elles qui sont:

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

II-3-2- Les inconvénients

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

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

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

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

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

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

II-4- Les différents systèmes de la culture hors sol :

Selon URBAN, (1997), on distingue :

- **La culture aéroponique :**

Dans laquelle les racines sont placés dans un brouillard nutritif, c'est un système de type de culture sur solution circulante.

- **La culture hydroponique :**

Dont les racines baignent dans un liquide nutritif, on a :

*L'aquaculture, dans laquelle les racines sont émergées dans une solution non circulante.

*La NFT (Nutrient Film Technic) qui est un système de culture sur filme de solution nutritive circulante.

- **La culture sur substrat inerte :**

Dans laquelle les racines sont placés dans des bacs, des pots ou des sacs remplis d'un matériau naturel ou artificiel (sable, gravier, ...) qui est périodiquement irrigué soit par percolation, soit par sub-irrigation à la solution nutritive, laquelle peut être récupérée pour la réutiliser (système de circuit fermé), ou non récupérée (système de circuit ouvert).

II-5- Les composantes de la culture hors-sol :

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

II-5-1- Substrat :

Selon BLANC, (1987), le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pur ou en mélange permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle du support

Selon ZIEGLER, (2008), C'est une substance inerte chimiquement (qui est incapable de réagir avec d'autres substances), qui remplace la terre, et qui est utilisée comme support de

culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Mais le substrat véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes.

Selon LEMAIRE, (1989), avant d'utiliser le substrat, il est nécessaire d'avoir des connaissances sur les caractéristiques physiques et chimiques du substrat. Il faut que le substrat soit en compatibilité avec les exigences propre du végétal, et du type de culture.

II-5-1-1- Les critères de choix d'un substrat :

Selon ZUANG et *al.*, (1986) les critères de choix des substrats se basent sur les critères économiques et techniques suivants :

- *Ne pas se tasser ;
 - *Ne pas se dégrader ;
 - *Ne pas blesser les racines ;
 - *Ne pas contenir d'éléments toxiques pour les racines ;
 - *Etre chimiquement inerte ;
 - *Avoir une capacité d'échange nulle ou faible ;
 - *Ne pas renfermer d'organismes pathogènes ;
 - *Etre facile à désinfecter ;
 - *Etre disponible et pas cher.
- *Les substrats peuvent avoir plusieurs origines. Selon BLANC, (1987), on peut utiliser comme substrat des :
- *Matériaux minéraux naturels : sables, graviers, pouzzolanes et les tufs volcaniques.
 - *Matériaux minéraux traités : laine de roche, perlite, vermiculite et argile expansée.
 - *Matériaux organiques naturels : les tourbes, les écorces et les déchets cellulo-ligneux.

II-5-2- Conteneurs :

D'après FEVERAU, (1976), ce sont des récipients qui contiennent la plante et, le substrat isolement du sol. Le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. En général les conteneurs sont en matière plastique chimiquement inerte, étanche, durable et facile à installer.

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

- *Evacuation rapide des eaux en excès.

*Circulation facile dans les cultures.

*Protection contre le vent.

*Protection contre le froid.

II-5-3- La solution nutritive :

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

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

En hors sol, il n'y a pas d'apport d'éléments minéraux par le substrat. Ces derniers doivent donc être fournis par la solution nutritive, en même temps que l'eau et doivent être suffisants pour couvrir à chaque instant les besoins de la plante (URBAN, 1997).

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

Les mêmes auteurs affirment que les solutions nutritives seront composées d'eau et de sels dissous apportant les ions indispensables.

Le rôle de la solution nutritive est d'apporter l'eau, les éléments minéraux et les oligo-éléments nécessaires à la culture (ZUANG *et al.*, 1986).

La solution nutritive est caractérisée par trois paramètres : le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE) et l'équilibre ionique.

a) Le pH :

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

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

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

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

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

Selon LESAIN et COIC, (1983); lors de la préparation des solutions nutritives, il faut prendre en considération le pH, qu'il doit être adapté à la nature des plantes (Neutrophiles ou acidophiles). Le pH dépend des sels utilisés pour la réparation.

L'optimum physiologique du pH pour la majorité des espèces cultivées se situe entre 5,5 et 6,5 (BLANC, 1987).

En ce qui concerne la mesure du pH, plusieurs méthodes existent, Le papier indicateur par exemple est imprégné de substances qui changent de couleur selon le pH de la solution. Cette méthode fournit une valeur approximative et ne peut être utilisée à des fins d'analyses rigoureuses. La méthode la plus précise et la plus simple consiste à utiliser un pH-mètre qui représente un appareil électronique muni d'une sonde (HADE, 2003).

b) La conductivité électrique :

Elle représente la concentration totale en éléments minéraux contenus dans la solution (LETARD et al., 1995).

BLANC, (1987), montre que la concentration en sel de la solution nutritive joue un rôle primordial dans l'alimentation hydrique de la plante parce qu'elle détermine la pression osmotique de la solution. Cette dernière doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire, afin de permettre à l'eau présente dans la solution de se déplacer vers la plante. Cette concentration saline s'exprime en grammes de sels par litre d'eau et est contrôlée par la mesure de la conductivité électrique.

Une diminution de la conductivité au-delà des seuils bas correspond à un apport insuffisant en éléments minéraux, une absorption hydrique faible ou à un excès d'arrosage. Une augmentation de la CE au-delà des seuils élevés correspond à un apport excessif d'éléments minéraux, une absorption minérale et hydrique élevée ou à un manque d'arrosage (LE QUILLEC, 2002).

c) L'équilibre ionique :

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

En effet, COÏC, (1984) et CHAUX et FOURY, (1994), L'égalité équivalente entre les anions et cations est obligatoire dans la solution. Les équilibres ioniques pour l'alimentation hydrique et minérale ne sont pas indifférents et pourront être modulés en fonction des stades de développement de la plante.

Chapitre III: La nutrition hydrominérale des plantes**III-1- La nutrition hydrominérale des plantes**

Les plantes ont besoin des éléments simples : eau, CO₂ et un certains nombres d'éléments minéraux, en présence de la lumière pour synthétiser elles-mêmes leurs substances organiques dont elle a besoin (COIC, 1984 ; LABERCHE, 1999).

Les plantes parvient à satisfaire leurs besoins minéraux essentiellement pour la croissance et le développement par absorption raculaire, à partir de la solution du sol soit par transport passif : passage avec l'eau, diffusion, échange et adsorption ; soit par transport actif par des processus métaboliques avant d'être transportées vers organes aériens (VILAIN, 1993).

Selon HELLER (1977), les plantes possèdent la propriété de sélectivité, dont les cellules peuvent parmi les éléments extérieurs, choisir ceux qu'elles absorbent et même accumulent, et ceux au contraire qu'elles laissent dans le milieu où absorbent très peu.

Le système racinaire doit assurer la fonction d'alimentation hydrominérale de la plante dans les meilleures conditions afin de couvrir la totalité de ces besoins (MORARD, 1995).

III-1-1- La nutrition hydrique

MARTINEZ (2000), souligne que les fonctions physiologiques vitales de la plante et son développement sont assurés par une source indispensable qui est l'eau. Grâce à cet élément toutes les réactions biochimiques de la cellule sont effectuées (MORARD, 1995).

Selon LABERCHE (1999), l'eau se trouve à l'état liquide dans les membranes, le cytoplasme et le suc cellulaire, aussi à l'état gazeux dans les espaces intercellulaire (méats et chambres sous stomatique).

L'eau intervient par ses propriétés physiques et mécaniques, mais aussi par ses propriétés chimiques. Ses rôles sont nombreux ; c'est le moyen de transport des éléments nutritifs (sèves brute et élaborée), rentre dans plusieurs réactions du métabolisme cellulaire (LAFON et *al*, 1996). Il permet le soutien de la structure des sites fonctionnels de la plante, en particulier de la structure colloïdale du cytoplasme

et le maintien de la rigidité de la plante grâce au phénomène de turgescence (OZENDA, 1982 ; LEBERCHE, 1999).

VILAIN (1987), indique que la transformation des substances nutritives et la dissociation électrolytique en ions nécessaires à la nutrition des plantes se réalise dans un milieu liquide (eau).

Les besoins en eau dépendent de plusieurs facteurs tels que le sol (substrat utiliser), le climat (température, humidité), la culture (CORNILLON, 1985). Ces besoins peuvent être estimés par l'évapotranspiration potentielle (BRUN et SETTEMBRINO, 1994).

Selon CORNILLON (1985), les conditions climatiques sont responsables de la consommation variable des plantes en eau, ou l'abaissement de la température des racines au-dessous d'un certain seuil réduit fortement l'absorption d'eau.

La tomate contient 90 à 95% d'eau et 5 à 10% de la matière sèche. Pour sa transpiration, elle peut s'évaluer de 700 à 800 m³/ha/an, soit 12 à 15 fois plus que le poids d'eau dans la matière fraîche (LETARD *et al.*, 1995). Il faut 500 kg d'eau pour obtenir 1 kg de matière sèche (MORARD, 1995).

L'eau intervient par ces propriétés physiques et mécaniques, mais aussi par ses propriétés chimiques. De ce fait, par ses rôles physiologiques nombreux et complexes, il entre dans :

La rigidité de la plante.

- Le maintien des structures chimiques et biochimiques.
- Le transport des éléments minéraux et des substances élaborées.
- La régulation thermique grâce à l'évapotranspiration potentielle (ETP)
- La source d'éléments essentiels.

Quand l'alimentation en eau par les racines ne parvient plus à compenser les pertes dues à la transpiration de la partie aérienne, la plante subit un stress hydrique (MORARD, 1995).

III-1-2- La nutrition minérale

Toute plante a besoin pour vivre d'un apport d'éléments nutritifs. Ceux-ci sont absorbés essentiellement sous forme minérale. On distingue entre les éléments principaux –parmi lesquels on compte l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et le soufre- et les oligo-éléments comme le bore, le fer, le cuivre, le manganèse, le molybdène et le zinc, dont la plante n'a besoin qu'en quantité très faible.

III-1-2-1- Importance des éléments minéraux

L'alimentation minérale est l'un des facteurs limitant du fonctionnement de la plante, elle a une action sur la vigueur, la floraison, la coloration et le calibre (ZUANG *et al.*, 1986).

Selon COIC (1989), chaque élément est indispensable car son déficit rend la plante incapable d'accomplir la phase végétative ou reproductive de sa vie.

Le végétal a besoin d'éléments minéraux qui participent à ses structures et contribuent à ses activités (BRUN et SETTEMBRINO, 1994). Presque 95% de la matière sèche de la plupart des plantes, est composée de quatre éléments : C, H, O, N environ 4% est constituée de K, P, Ca, Mg, Si, Al, S, Cl, Na. Le reste est constitué de micro éléments Fe, Cu, Mo, Zn, B (COIC et LESAIN, 1975).

III-1-2-2- Les constituants minéraux des plantes

URBAIN (1997), classe les éléments minéraux en deux groupes en fonction de leur teneur dans la plante.

a) Le premier groupe

Ce premier groupe contient les macroéléments, qui sont de l'ordre de 1% de la matière sèche. Il s'agit de l'azote (N), du phosphore (P), du potassium (K), du soufre (S), du calcium (Ca), et du magnésium (Mg). Ils sont nécessaires à la synthèse de la matière organique cellulaire.

b) Le deuxième groupe

C'est celui des micros éléments ou encore des oligo-éléments. Leur teneur est très faible. Elle s'exprime en partie par million (ppm). On trouve dans ce groupe: le bore (Bo), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), et le zinc (Zn). Ils sont indispensables à l'activité d'enzymes car ils ont le rôle catalytique.

A. Les éléments majeurs (macroéléments)**a) L'azote (N)**

L'azote est un facteur essentiel de la production végétale, il est l'élément constitutif le plus important après le carbone (LEVEQUE et MOUNOLOU, 2008).

L'azote représente 1 à 4 % de la matière végétale des plantes. Les tissus jeunes au toujours plus riches en azote (BOKMAN et *al*, 1990; VILAIN, 1993).

Il occupe une place centrale dans tous les processus biologiques et joue un rôle déterminant au niveau du rendement et de la qualité, il agit en augmentant le volume des organes végétatifs, la qualité de chlorophylle et alors la photosynthèse (DIEHL, 1975 ; LACROIX, 1999).

D'après SOLTNER (2000), l'azote favorise la multiplication cellulaire, la synthèse des glucides, ainsi que la constitution des réserves azotées dans la graine.

Selon HOPKINS (2003), la plupart des plantes absorbent l'azote contenu dans le sol sous forme d'ions inorganiques, le nitrate (NO_3^-), et dans quelque cas rares, l'ammonium (NH_4^+). Une fois dans la plantes, le (NO_3^-) est réduit-en (NH_4^+), avant d'être incorporé dans les acides aminés, les protéines ou des composés azotés organiques tels que certain hormones.

En cas de carence, l'ensemble de la plante présente une végétation chétive, rabougrie, naine et retardée. Les feuilles sont d'abord vert pâle, jaunâtres, puis elles deviennent jaunes, avec quelques fois des teintes rouges. Les feuilles âgées meurent prématurément. Il y a des perturbations dans la croissance des organes végétatifs de la plante.

b) Le phosphore (P)

Le phosphore joue un rôle fondamental dans le métabolisme de toutes les catégories de substances biochimique en tant qu'élément essentiel dans le transport d'énergie ainsi qu'il favorise le métabolisme des glucides et des protides (COIC et LESAIN, 1983 ; BOKMAN, 1990).

Le phosphore représente 0.2 à 0.9 % de la matière sèche (DIEHL, 1975). C'est un élément constitutif des acides nucléiques (ARN et ADN), des phosphoprotéines et phospholipides qui constituent les membranes végétales et des cofacteurs transporteurs d'énergie (Adénosine Triphosphate, ATP) (SOLTNER, 2000 et VILAIN, 1993).

ROLAND et CALLEN (2007) et ANGELIER (2008), notent que cet élément sous la forme d'ATP, d'ADP et Pi, joue également un rôle central dans le métabolisme énergétique des cellules. En plus, selon LABERCHE (2000), ce macroélément est un activateur de plusieurs enzymes. Aussi, il assure le bon développement des racines et stimule la résistance aux maladies, ainsi que la fécondation. Il favorise en effet la formation des graines et des fleurs (GEDDA, 2007).

Selon HOPKINS, (2003), le phosphore est disponible dans la solution du sol surtout sous la forme d'un triacide (H_3PO_4). Dans la plante, le phosphore se trouve surtout sous la forme de phosphoesters, comprenant les glucides phosphorylés qui jouent un rôle extrêmement important dans la photosynthèse.

c) Le potassium (K)

Le potassium n'est pas un élément constitutif des hydrates de carbone, des lipides ou des protéines, mais il joue un rôle dans l'activation de nombreuses enzymes en particulier celles impliquées dans la photosynthèse et la respiration. La synthèse de l'amidon et les protéines sont également affectées par des carences en potassium (HOPKINS, 2003).

Selon WIEDENHOEFT, (2006), il intervient dans la régulation des stomates, le maintien de la turgescence cellulaire et l'augmentation de la pression cellulaire. En plus, il assure l'équilibre acido-basique de la cellule (égalité des charges + et -). Il accompagne ainsi les anions dans leur accumulation et leur migration, notamment les ions (NO_3^-) jusqu'à leur lieu de réduction (racine ou feuille) (HELLER et *al.*, 1998).

Le potassium régularise l'économie de l'eau dans la plante et réduit l'évaporation, il en accroît donc la résistance à la sécheresse, il accélère le transfert des glucides vers les fruits et les racines et intervient dans le transport des nitrates (SOLTNER, 1998 ; HENNION, 2003). Les plantes bien alimentées en k ont des parois cellulaires plus épaisses, ce qui augmente leur résistance à la verse ainsi qu'aux attaques de champignons et d'insectes (GEDDA, 2007).

BENMIMOUNE, (2002), évoque que le potassium à un effet sur coloration et la qualité gustative des fruits (effet favorable sur l'accumulation des acides organique).

d) Le calcium (Ca)

HOPKINS (2003), dit que le calcium est absorbé sous la forme du cation bivalent (Ca^{2+}). Il est abondant dans la plupart des sols et rarement insuffisant dans les conditions naturelles.

Le calcium joue un rôle important à l'extérieur des cellules, il crée des liens entre les parois des cellules. Il maintient la structure entre les cellules en les cimentant les unes aux autres, il intervient dans l'hydratation et la perméabilité cellulaire (LACROIX, 2011).

Selon AUZAC (1994), il joue un rôle dans la régulation de la transpiration par la fermeture des stomates. Il active certaines enzymes telles que les ATP ases qui hydrolysent l'ATP (HELLER et *al.*, 1998).

e) Le magnésium (Mg)

Comme le calcium, le magnésium est également abordé sous la forme d'un cation divalent (Mg^{2+}). D'une façon générale, le sol contient moins de magnésium que de calcium, cependant les besoins des plantes sont relativement importants (HOPKINS, 2003).

D'après CALLEN (2007), le magnésium est un constituant de la chlorophylle. Il facilite le métabolisme du phosphore (transformation de sels minéraux phosphatés en combinaisons organique), il renforce la turgescence des cellules végétales et il participe aux phénomènes de fécondation (POUSSET, 2002).

Les plantes carencées en cet élément présentent des chloroses plus ou moins vert-jaune entre les nervures des feuilles âgées, suivies parfois de nécrose, Les feuilles

restent souvent vertes à la périphérie. Les extrémités et les bords sont en partie bombés vers le haut. (EL ALAOUI, 2009).

f) Le soufre (S)

Le soufre entre dans la composition de deux acides aminés soufrés : la cystéine et la méthionine, il a un rôle parallèle à celui de l'azote, bien qu'il soit absorbé en quantité moins abondante (SOLTNER, 1998 ; MAYOUF et REYNOUD, 2007).

Les plantes prélèvent par leurs racines l'essentiel du soufre de la solution du sol sous la forme de sulfate (SO_4^{2-}) (DAVIDIAN, 2007).

Le soufre est considéré comme un élément peu mobile dans la plante. Les effets de sa carence se manifestent d'abord sur les jeunes organes qui présentent une chlorose liée à une diminution de la teneur en chlorophylle. (EL ALAOUI, 2009).

B. Les éléments mineurs (microéléments)

a) Le fer (Fe)

De tous les microéléments, le fer est celui dont les plantes ont le besoin le plus important. Le fer peut être absorbé sous la forme de l'ion ferrique (Fe^{3+}) ou ferreux (Fe^{2+}) bien que ce dernier qui est plus soluble, soit trouvé plus fréquemment (HOPKINS, 2003).

Selon HENNION, (2003), le fer est indispensable pour plusieurs activités métaboliques comme la photosynthèse, la réduction des nitrates, la respiration et dans la fixation de l'azote.

D'après HOPKINS, (2003), cet élément fait partie du groupement catalytique de nombreuses enzymes qui catalysent des réactions d'oxydoréductions, en plus WIEDENHOEFT (2006), évoque que le fer intervient dans la synthèse de la chlorophylle.

b) Le manganèse (Mn)

D'après JOHNSON, (2007), le manganèse est absorbé sous la forme de Mn^{2+} , sa déficience affecte la formation des chloroplastes, l'intensité de la photosynthèse et l'activité de nitrate réductase.

EL ALAOUI (2007), rapporte que cet oligoélément est reconnu comme important activateur d'enzyme d'oxydoréduction, de décarboxylation et de transfert des radicaux libre.

De plus il est impliqué dans la régulation de l'absorption de l'eau par la plante. Il peut même confère aux plante la résistance contre certaines maladies.

Sa carence provoque une décoloration internée vairé diffuse sur les feuilles âgées. (SKIREDJ, 2006).

c) Le molybdène (Mo)

Le molybdène est un constituant de l'enzyme impliqué dans la fixation de l'azote gazeux chez les légumineuses (SOLTNER, 1988 ; EL ALAOUI, 2007).

La biodisponibilité du molybdène dans le sol dépend du PH. Le molybdène est ainsi moins disponible à bas PH ou à des taux élevés de sulfates (CALMON et METIVIER, 2003).

d) Le bore (Bo)

Le bore un élément important dans la division cellulaire, la synthèse des protéines et la migration et l'utilisation des glucides (DANIET et KAREL, 1986 ; EL ALAOUI, 2007).

D'après JOHNSON et *al.*, (2007), les plantes absorbent le bore sous forme de BO^{3-} .

e) Le cuivre (Cu)

Dans les sols bien aérés, le cuivre est généralement disponible pour la plante sous la forme de l'ion bivalent Cu^{2+} (HOPKINS, 2003).

WIEDENHOEFT (2006), souligne que cet élément intervient dans le transfert d'électron au niveau des réactions énergétiques des cellules. En plus POUSETT (2002), note que le cuivre joue surtout un rôle de catalyseur en favorisant la formation de la chlorophylle, l'apparition substances de croissances et la synthèse d'acide aminé tel que la tyrosine.

III-2- Nutrition potassique et azotée des plantes

III-2-1- Nutrition potassique des plantes

Le potassium a été un des premiers éléments reconnus comme essentiels pour la croissance des plantes (BIRNER et LACANUS, 1969 in MORARD, 1974).

Le rôle du potassium dans la nutrition des plantes est spécifique. On lui attribue des fonctions importantes dans l'économie de l'eau, la photosynthèse, le métabolisme des hydrates de carbone et des protéines (AMBERGER, 1968).

III-2-1-1- Importance du potassium en production végétale : cas des cultures légumières

Les exigences nutritives globales des cultures maraîchères en potassium et notamment celles de la tomate sont très élevées. C'est l'élément prépondérant de la fertilisation minérale. Bien qu'il ait posé et pose toujours des problèmes difficiles à l'agronome, les recherches de ces dernières décennies ont précisé la diversité des rôles physiologiques du potassium vis à vis de la plante à savoir :

- Ajustement des mouvements stomatiques aux états hydriques de la feuille.
- La régulation de l'activité des divers éléments
- Son action de diverses enzymes et le maintien de l'équilibre ionique.

On conçoit aisément son importance, ou il constitue un des éléments majeurs des fumures minérales.

III-2-1-2- État du potassium dans le sol et conséquences sur l'alimentation des plantes

La teneur en potassium du sol est élevée puisque les roches contiennent en moyenne 2.6 % de cet élément. La libération de 1% de ces réserves correspond à environ 200 kg/ha de potassium échangeable, ce qui correspond à une quantité non négligeable pour la nutrition des plantes, et ce pour une couche de terre arable de 10 cm environ. Les travaux de CALLOT et *al.*, (1982), ont montré, que dans un sol humide, un engrais potassique se dissocie dans la phase aqueuse en anion (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) et en cation K^+ . Ce dernier, par sa charge électrique positive, est en majeure partie absorbé par les colloïdes électronégatifs du sol (les argiles). Ce phénomène de partage entre la solution du sol et les colloïdes est extrêmement rapide. Une extraction du potassium à l'aide des végétaux ou par un réactif employé dans l'analyse (acétate d'ammonium normal à Ph 7), comparée à celle de la même extraction faite avant l'apport d'engrais, on ne retrouve pas la totalité du potassium ajoutée. La partie non

retrouvée est passée sur les sites non accessibles, appelée potassium fixé (ou rétrogradé), ou encore non échangeable. Selon QUEMENER, (1984), lorsqu'une plante puise du potassium dans le sol, la séquence des phénomènes est la même avec cependant appauvrissement de la solution du sol, ou encore désorption du potassium et récupération d'une partie du potassium de réserve. Cette dernière est habituellement qualifiée de libération de K^+ . Mais la libération de K^+ peut indépendamment de l'action des racines être le fruit de l'altération des minéraux du sol, ou résulter simplement d'alternance dessiccation et d'humidification du sol.

DUTHION (1968), illustre les différentes formes de potassium dans le sol (figure N°04). Ainsi le potassium définitivement fixé est selon lui dans l'édifice cristallin des minéraux et sans doute définitivement soustrait à l'action de la végétation et représenté au moins 95% du potassium totale.

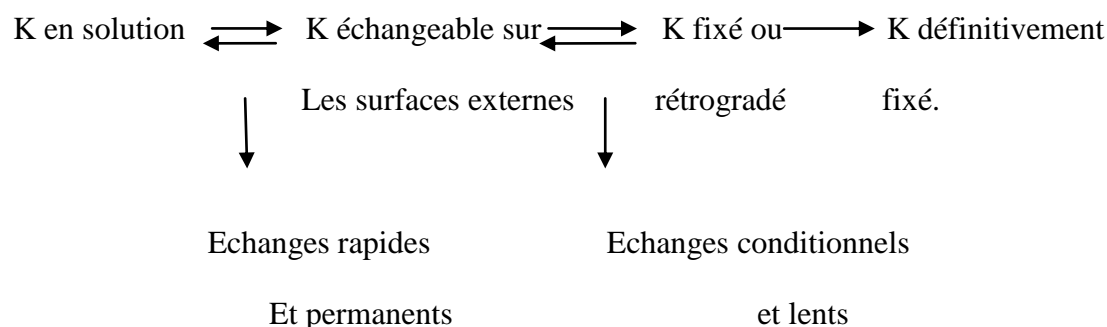


Figure N°04 : Différentes formes et dynamique du potassium dans le sol (DUTHION, 1968)

III-2-1-3- Rôle physiologiques du potassium dans la plante

Le rôle physiologique du potassium dans la plantes est important. De même que le calcium qui est le « maître cation » du sol, le potassium est le « maître cation » de la plante. Le potassium présente une mobilité fonctionnelle considérable, lui permettant de jouer un rôle d'activateur générale du métabolisme (MARTIN-PREVEL, 1978). Le potassium n'existe dans la plante que sous forme ionique et non dans les molécules organisées comme la majorité des autres éléments (azote, phosphore et magnésium). Il présente cependant plusieurs rôles fondamentaux :

1. Régulation de la circulation de l'eau dans la plante.
2. Action sur la photosynthèse.
3. Rôle dans la croissance méristématique.
4. Activateur d'enzymes.

Le potassium présent à l'état d'ion dans les sucs cellulaires modifie, en fonction de sa concentration dans la phase liquide, la pression osmotique de la cellule. En fonction de la valeur de cette pression osmotique, on obtiendra une plus ou moins grande circulation de l'eau à travers les membranes cellulaires, à savoir la concentration la plus faible vers la concentration la plus forte où la teneur en sels, et principalement en K^+ est la plus élevée. On assiste par ce mouvement continu de cellule à cellule, à un véritable effet de pompage de l'eau de la plante depuis les racines jusqu'aux extrémités supérieures (FELLAHI, 1995).

En ce qui concerne le rôle de potassium dans l'économie de l'eau, MORARD (1974), souligne, son rôle important chez la luzerne et la betterave sucrière du point de vue agronomique. Cet auteur remarque que chez la luzerne, une bonne alimentation potassique permet d'obtenir une réduction de 20% de la consommation en eau. Aussi chez la betterave sucrière la consommation d'eau ramenée à l'unité de poids de betterave diminue avec l'augmentation de la concentration en potassium des solutions nutritives. Ce même auteur signale que dans les plantes déficientes en potassium, les glucides synthétisés restent dans les feuilles au lieu de migrer vers les racines, or une migration de ces produits est nécessaire pour maintenir une activité photosynthétique élevée.

De ce fait, une carence potassique qui diminue l'exportation des produits élaborés, favorise leur accumulation dans les feuilles et entraîne par conséquent une chute de l'activité photosynthétique. Le potassium joue aussi un rôle important dans la division cellulaire, ce qui explique son abondance préférentielle dans les tissus méristématique. Les teneurs décroissent régulièrement avec l'âge (MARTIN-PREVEL, 1981). En fin tous ces rôles qui semblent presque tous indirects s'expliquent mieux, quand on prend en considération une des fonctions fondamentales du potassium qui est celle d'être l'activateur de nombreuses enzymes, appartenant à des groupes différents : synthétase, hydrolase, oxydoréductase, transférase.

A ce propos, MARTIN-PREVEL (1978), note qu'il n'est pas toujours possible de distinguer s'il s'agit d'un effet direct et spécifique de l'ion K^+ ou d'un effet indirect ; mais qu'en dernier ressort cet élément paraît activer avec une intensité variable de nombreuses enzymes *in vivo*. Selon MENGEL (1984), il y a environ 60 enzymes qui sont activées par l'élément potassium.

III-2-1-3-1- Effet du potassium sur la croissance

L'importance du potassium dans l'alimentation minérale des plantes est capitale. La tomate est très exigeante en cet élément.

SAITOT *et al.*, (1965), notent que la croissance des plantes de tomate dans la pépinière s'accroît plus vigoureusement avec une forte alimentation potassique (60 ppm), surtout en ce qui concerne la hauteur des plantes et le poids de la partie aérienne (figure N°05). Au-delà de cette dose la croissance est réduite.

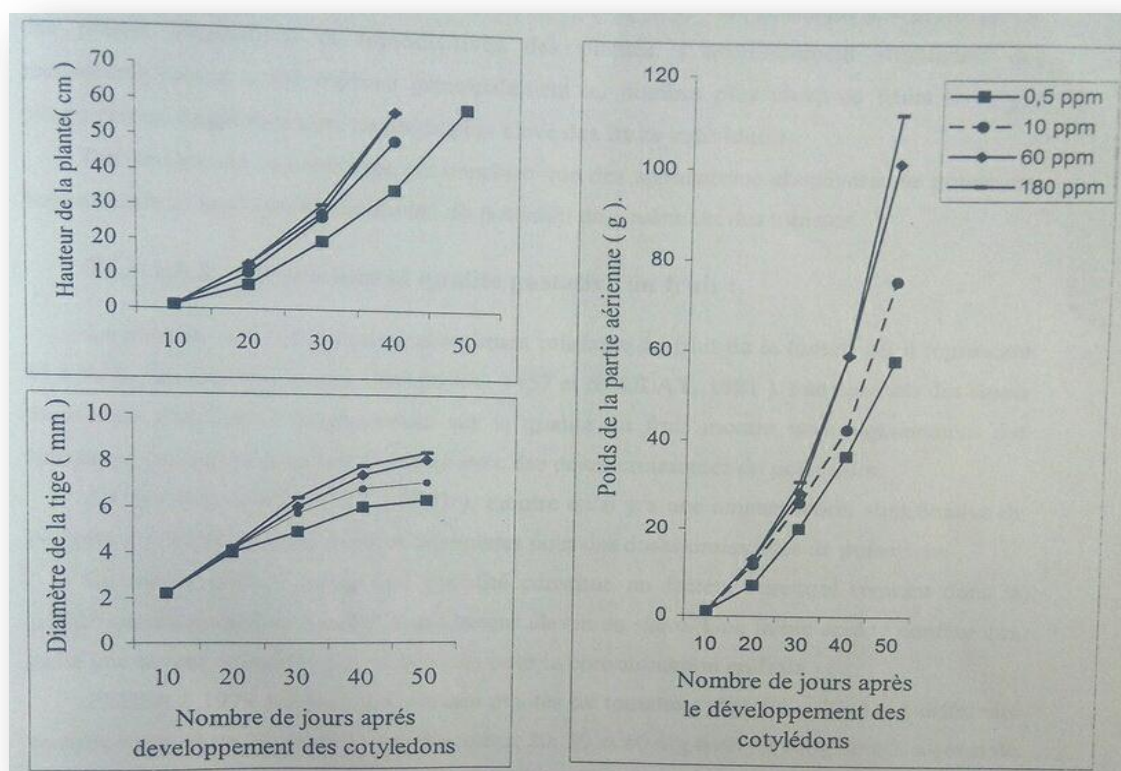


Figure N°05: Effet de l'alimentation potassique sur la croissance des plantules de tomate (SAITOT *et al.*, 1965)

III-2-1-3-2- Potassium et potentiel de rendement

Des études sur l'exploitation du potentiel de rendement de la culture de tomate sous serre au moyen d'applications appropriées d'éléments fertilisants, révèlent leurs besoins élevés en potassium pour un rendement élevé et l'amélioration de la qualité des fruits (ZEHLER et FORSTER, 1972).

ZEHLER et FORSTER (1972), ont étudié l'influence de la nutrition potassique sur la nouaison de tomate et l'effet de celle-ci sur le rendement et la date

de récolte. Cette étude a été réalisée à l'aide d'un essai en pot avec des doses croissantes de potassium (K_0 à K_3 , correspondant respectivement à 0.60, 240, et 900 kg de k/ha).

Dans les séries K_0 et K_1 la maturation des fruits commercialisables s'est terminés plus tôt, tandis que les doses plus élevées de potassium (K_2 et K_3) ont provoqué une prolongation des phases végétatives et reproductives des plantes. L'accroissement significatif des rendements totaux a été attribué principalement au nombre plus élevé de fruits murs par plante et à un degré moindre, au poids plus élevé des fruits individuels.

Sur la base de ces résultats, on conclure que des applications abondantes de potassium permettent une exploitation améliorée du potentiel de rendement des tomates.

III-2-1-3-3- Potassium et qualité gustative du fruit

Le potassium est le principal constituant minéral du fruit de la tomate où il représente 85 à 90% des cations totaux (BRADLEY, 1957 et BOULAY, 1981). Les résultats des essais traitant de l'influence du potassium sur la qualité du fruit montre une augmentation des teneurs en sucres réducteurs et l'acidité avec des doses croissantes du potassium.

Les travaux de BOULAY (1981), montre qu'il y a une augmentation significative de l'acidité des fruits de deux variétés de tomates pour des doses croissantes de potassium.

Le même auteur, ajoute que l'acidité constitue un facteur essentiel rentrant dans la qualité gustative du fruit associé à une teneur élevée en sucre. Une faible acidité confère aux fruits une saveur douceâtre peu recherchée pour la consommation en frais.

FEHER (1979), travaillant sur des plantes de tomates ayant été cultivées à différents niveaux nutritifs de 20, 40 et 50 mg d'azote et 20, 30 et 60 mg de $K_2O/100g$ de sol, a constaté que le niveau nutritif K_{60} représente la teneur la plus élevée en sucres réducteurs et en acide.

III-2-1-3-4- Potassium et maturité des fruits

Les fruits des plantes déficientes en potassium présentent une qualité particulièrement faible de part leur maturation incomplète (BRADLEY, 1957). Les variétés de tomate, potentat, J 168 et Money maker ont été cultivées en présence de doses croissantes de K_2SO_4 .

Les résultats obtenus présentés dans le tableau 2 montrent l'effet du potassium sur la réduction du taux de fruits présentant une maturité incomplète. (WINSOR in BOULAY, 1981).

Tableau N°04 : Effet de différentes doses de potassium sur la maturation incomplète des fruits de tomate

paramètre	variété	Doses de potassium kg/ha		
		1000	2000	3000
Maturité incomplète	Potentat	69.4	28.7	21.1
	J 168	26.4	10.2	4.9
	Money maker	38.9	14.9	6.1

(WINSOR in BOULAY, 1981)

III-2-1-3-5- Potassium et proportion de fruit creux

Le symptôme « fruit creux » résulte d'un remplissage incomplet des loges du fruit, ce qui lui donne une forme irrégulière, réduisant sa fermeté et sa densité en même temps que l'épaisseur des parois, ce qui diminue la qualité des fruits récoltés (BOULAY, 1981).

WINSOR (1973), a étudié la variation des pourcentages de fruits immatures et de fruits creux chez deux variétés de tomate (J168 et Mony maker), sous l'effet des doses croissantes de potassium. Les résultats trouvés sont présentés dans le tableau 3 où on constate que la proportion de fruits creux et immatures est réduite par des apports plus élevés de potassium.

Tableau N°05 : Effet de différentes doses de potassium sur la proportion de fruits immatures et de fruits creux de tomate

paramètre	variété	Doses de potassium kg/ha		
		65.77	131.54	263.10
Fruits immatures(%)	J168	17%	11%	9%
	Moneymaker	22%	14%	11%
Fruits concaves(%)	J168	56%	23%	10%
	Moneymaker	32%	14%	9%

(WINSOR 1973)

III-2-2- Nutrition azotée des plantes

L'azote est un des éléments majeurs de la croissance des plantes, la maîtrise de ces effets sur le rendement des cultures a été un des enjeux importants dans l'agriculture. Bien que représente que 2 à 6 % de la matière sèche végétale, l'azote entre dans la fabrication des acides nucléiques, aminés, protéines, chlorophylle, substances de croissance, alcaloïdes, molécules indispensables à la croissance et au développement des plantes (JEAN-FRANÇOIS, 1997).

III-2-2-1- Rôle de l'azote dans la croissance et le développement des plantes

L'azote occupe une place particulière dans la nutrition des plantes. Son apport se traduit généralement par une meilleure croissance et un supplément de rendement (VILAIN, 1989).

Le premier effet de nutrition azotée est d'agir sur la croissance des plantes en favorisant l'organogénèse et la croissance des parties aériennes, en particulier celle des feuilles (LONGNECKER, 1994).

Selon (GERARD et *al.*, 1997), l'apport d'azote augmente la croissance végétative ce qui se traduit par une augmentation de la surface photosynthétique. L'activité photosynthétique des feuilles est fortement liée à leur teneur en azote.

Selon LEMAIRE (1975), la croissance racinaire est beaucoup moins sensible à la nutrition azotée que celle des organes aériennes car la distribution des photoassimilats entre les deux parties de la plante est différente. Sur des plantes cultivées en conditions artificielles, il a été décrit une diminution de la proportion

d'assimilats alloués aux racines par rapport aux d'assimilâtes alloués aux organes aériens (INGESTAD et AGREN, 1991).

Bien que son rôle et peu important sur la croissance racinaire, l'azote peut favoriser la ramification racinaire, et accélère la croissance des racines secondaires et dans le même temps ralentir la croissance des racines principales.

III-2-2-2- Métabolisme azoté respiration et photosynthèse

La capacité photosynthétique des feuilles est fortement dépendante de la nutrition azotée. Chez les plantes supérieures 75% environ de l'azote foliaire sont stockés dans la machinerie photosynthétique (JEAN FRANÇOIS, 1997).

Chez les plantes cultivées, l'apport d'azote favorise le flux de carbone vers les voies de synthèse des acides aminés aux dépend des voies de synthèse des glucides, saccharose notamment (CHAMPINGNY *et al.*, 1991, HUPPE et TRUPIN, 1994).

(GASTAL et NELSON, 1994, LEMAIRE et NICOLARDOT, 1996) ont montré que la qualité d'azote et la forme d'azote fournie (NO_3^- , NH_4^+) peuvent modifier le devenir du carbone photosynthétique. Un excès d'ammonium peut orienter le carbone photosynthétique vers la synthèse des acides aminés aux dépend de la synthèse des glucides.

Par contre un déficit en azote affecte plus la production des acides aminés que celle de l'appareil photosynthétique, et se traduit par une augmentation relative des quantités de glucides et une baisse du rapport N/matière sèche produite.

WEGER et TURPIN (1989), ont observé chez des plantes cultivées avec déficit azotée, que l'apport de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ augmentent l'activité respiratoire. La respiration est connue pour fournir l'énergie (pouvoir réducteur NADH et ATP) et les squelettes carbonés (α -cétoglutarate) nécessaire à l'assimilation de l'azote.

La stimulation de l'activité respiratoire est plus importante en présence de NO_3^- qu'en présence de NH_4^+ (WEGER et TRUPIN 1989). De plus, la valeur du quotient respiratoire CO_2/O_2 est plus élevée lors de l'assimilation de NO_3^- que lors de l'assimilation de NH_4^+ (BLOOM *et al.*, 1991). Ceci signifie que la réduction de NO_3^- en NH_4^+ consomme plus de pouvoir réduction que l'assimilation de NH_4^+ .

III-2-2-3- Effet de l'azote sur la qualité des fruits

La nutrition azotée peut en effet influencer sur les composantes de la qualité par son action sur l'alimentation carbonée du fruit, par son implication dans la physiologie du fruit (LEMAIRE et NICOLARDOT, 1996).

La capacité photosynthétique des feuilles est fortement dépendante de la nutrition azotée. La teneur en azote des feuilles augmentant avec la fertilisation, celle-ci agit positivement sur la production des assimilats et ainsi sur la qualité des fruits car certaines composantes de la qualité (poids, teneurs en sucres et acides) sont étroitement liées à l'alimentation carbonée (GERARD *et al.*, 1997).

L'action de l'azote sur la physiologie du fruit concerne en premier lieu la multiplication cellulaire, dont l'intensité augmente avec la fertilisation azotée sans que ceci n'ait forcément d'effet sur la taille du fruit. Les cellules pouvant être plus petites et plus nombreuses. Aussi la teneur en acides aminés impliqués dans la synthèse protéique tels que l'asparagine augmente avec la fertilisation azotée. La taille et la composition du pool des acides aminés sont susceptibles d'affecter la synthèse et le turn-over des enzymes impliquées dans le métabolisme du fruit (LEMAIRE et NICOLARDOT, 1996).

III-2-2-4- Effet de l'azote sur la croissance et le développement de la tomate

ADAMS *et al.*, (1973), ont examiné les effets des concentrations d'azote de la solution nutritive sur les teneurs de cet élément au niveau des feuilles, et la consommation totale d'azote.

Tableau N°06 : L'effet niveau d'azote sur la teneur en azote des feuilles et le prélèvement d'azote par la plante

Azote dans la solution nutritive (ppm)	Azote dans les feuilles (% P.S)	Consommation d'azote g/plante		
		Fruit	Organes végétatifs	Total
N ₁ = 100	2.36	0.15	0.10	0.25
N ₂ = 150	3.00	0.48	0.42	0.90
N ₃ = 200	3.90	0.93	0.84	1.77
N ₄ = 250	4.88	1.01	0.85	1.86

(ADAMS *et al.*, 1973)

Selon les résultats de l'expérience de ADAMS *et al.*, (1973), il en ressort que la consommation d'azote augmente remarquablement de N1 à N4 aussi bien dans le fruit que dans les parties végétatives de la plante.

Des résultats similaires ont été obtenus par MASSEY et WINSOR (1977), où ils ont noté que la consommation totale d'azote par plant de tomate est plus élevée lorsque la solution nutritive est plus concentrée en azote.

MASSEY et WINSOR (1977), cultivant des plants de tomate sur des solutions nutritives contenant 100, 150, 200 et 250 ppm d'azote ont trouvé que la hauteur de plant (six semaines après semis) et la longueur des feuilles étaient plus grandes aux concentrations d'azote plus élevées.

ADAMS *et al.*, (1973), ont constaté que les plants de tomate cultivés sur des solutions nutritives contenant 200 ppm d'azote étaient plus précoces (12 jours) que ceux alimentés par une solution nutritive contenant uniquement 100 ppm.

Les mêmes auteurs ont constaté aussi que le rendement en fruits par plant de tomate augmente de façon significative avec la quantité d'azote appliquée.

III-2-3- Influence de l'équilibre azote-potassium sur la tomate

L'équilibre nutritif à adopter et en particulier l'équilibre azote-potassium dépend de plusieurs facteurs (VERDURE et FAUCHE, 1981). Par exemple, en période hivernale, quand les journées sont courtes, il est recommandé d'éviter une prédominance de l'azote pour ne pas rendre la plante fragile. D'autre part, une plante au stade formation des boutons floraux bénéficiera en général d'une nutrition équilibrée en faveur du potassium.

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, 1977).

Il peut y avoir synergie entre deux éléments : l'effet de l'élément A est amplifié par la présence de l'élément B. Dans l'antagonisme au contraire l'effet de A est atténué par la présence de B. Donc ces synergies et ces antagonismes entraînent la nécessité d'un certain équilibre entre les divers composants d'une solution nutritive (HOMES et VANSLOOR, 1969).

L'interaction azote-potassium est la plus fréquente, de ce fait, selon LOUE (1979), le potassium exercerait une fonction régulatrice sur l'effet de l'azote, qui entraînerait l'utilité d'appliquer une quantité suffisante de potassium en présence d'apport croissant d'azote par le fait qu'une absorption plus élevée de potassium entraîne un accroissement parallèle de l'absorption de l'azote. La déficience en potassium provoque des dérèglements du métabolisme azoté.

L'interaction azote-potassium diffère selon la forme de l'azote nitrique ou ammoniacale HELLER (1977), a noté que l'ion NH_4^+ se comporte comme un cation antagoniste de K^+ . Des excès de NH_4^+ peuvent provoquer une carence en potassium.

Par contre l'ion NO_3^- , étant qu'anion favorise la pénétration des cations et principalement celle de K^+ .

Lorsque le potassium est disponible au niveau des racines de la plante, il y a augmentation de la teneur en potassium de tous les organes de la tomate, ce qui montre que les autres éléments n'ont pas un fort antagonisme vis à vis du potassium (COIC *et al.*, 1966).

Toutefois, cela ne signifie nullement que dans tous les cas l'élévation systématique de l'élément potassium doit obligatoirement conduire à une amélioration du métabolisme de la plante. Il s'agit de respecter un équilibre entre les éléments (CHABOUSSOU, 1972).

ADAMS *et al.*, (1973), travaillant sur tomate cultivée dans des solutions nutritives contenant 100, 150, 200 et 250 ppm d'azote et 200, 300 et 400 ppm de potassium, ont constaté que le poids de la récolte totale augmentait de façon significative avec les concentrations de N et K utilisées. Les rendements les plus élevés et les fruits de meilleure qualité ont été obtenus avec des doses de 250 ppm d'azote et de 400 ppm de potassium dans la solution nutritive. Ils ont constaté aussi que le taux de fruits irrégulièrement mûrs obtenus était de 37.4, 28.1 et 21.2 pour les doses de 200, 300 et 400 ppm de potassium, respectivement. La même constatation a été faite pour l'azote augmenté. Les pourcentages de fruits irrégulièrement mûrs obtenus étaient de 63.5, 30.5, 19.8 et 8.2 pour les doses d'azotes de 100, 150, 200 et 250 ppm.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV-1- Objectif de l'expérimentation

L'objectif de ce travail consiste à étudier l'effet de variation des besoins azotés et potassiques d'une solution nutritive de base sur la croissance et le développement des plants de tomate cultivée en hors-sol sous serre.

IV-2- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation est la tomate la famille des solanacées (*Lycopersicon esculentum* Mill), variété Saint-pierre. Cette variété présente les caractéristiques suivantes:

- Fixée demi précoce et productive;
- Les fruits sont de forme cylindrique, à couleur rougeâtres;
- Moyennement tolérante à la salinité;
- Bonne aptitude à la fructification.

IV-3- Lieu de l'expérience

L'expérimentation a été réalisée à la station expérimentale du département de Biotechnologies de l'université Blida1 située dans la plaine de la Mitidja dans une serre en polycarbonate ayant une superficie de 382,5 m² (22.5mX17m) dont l'orientation est nord sud. L'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre. Des radiateurs sont installés au niveau de la serre pour assurer le chauffage pendant les périodes froides.



Figure 06: vue générale du lieu de l'expérimentation

Les variations de la température interne de la serre ont été contrôlées par un thermomètre disposé au centre de la serre.

Des relevés quotidiens de la température ambiante à l'intérieur de la serre ont été effectués durant trois moments de la journée (9h, 12h, 16h).et qui sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau N°07 : Moyennes des températures par semaine enregistrées sous serre en (C°)

périodes	Températures			périodes	Températures		
	09 ^h	12 ^h	16 ^h		09 ^h	12 ^h	16 ^h
08-01-2017 au 17-01-2017	11.3	22.4	24.2	19-03-2017 au 28-03-2017	18.7	28.6	28.7
18-01-2017 au 27-01-2017	10.1	21	24.4	29-03-2017 au 07-04-2017	21.6	28.2	29.8
28-01-2017 au 06-02-2017	14.8	22.6	23	08-04-2017 au 17-04-2017	23	30.5	31.7
07-02-2017 au 16-02-2017	17.4	24	28	18-04-2017 au 27-04-2017	23.7	29.2	30.2
17-02-2017 au 26-02-2017	16.7	24.4	26.4	28-04-2017 au 07-05-2017	22.1	27.8	28.8
27-02-2017 au 08-03-2017	18	29.8	31.2	08-05-2017 au 17-05-2017	26.4	32.5	31.2
09-03-2017 au 18-03-2017	19.2	29.2	29.8	18-05-2017 au 27-05-2017	27	33	31.8

Durant notre expérimentation, nous pouvons dire que les températures pendant le cycle végétatif répondaient aux besoins des plantes, mis à part durant les périodes froides ou on a enregistré quelques chutes de température qui n'ont causé aucun dégât physiologique sur les plants.

IV-4- Essai de germination et repiquage

La germination a été réalisée le **05/12/2016** dans des boîtes de pétri contenant du papier filtre imbibé d'eau et déposées dans une étuve réglée à 25°C pendant une semaine. L'eau est ajoutée en cas de dessèchement du papier filtre.

Après la germination des grains, un repiquage des jeunes germes en place définitive a été réalisé le **12/12/2016** à raison de deux germes par pot.

Les jeunes plantules sont irriguées jusqu'à l'apparition des deux feuilles cotylédonaires avec l'eau courant tiède pour favoriser la reprise des jeunes plantules. Après ce stade, les

jeunes plantules sont irriguées par une solution nutritive standard (T0) composée des macros et des micros éléments et ce dans le but d'avoir un matériel végétal vigoureux et homogène de départ.

A la date du **17/01/2017** soit **36** jours après le repiquage, nous avons procédé à l'application des différents traitements où les plantes semblaient être homogènes.



Figure 07 : Essai de germination des graines de tomate.



Figure 08 : Aspects des germes au moment de repiquage.



Figure 09 : Aspects des plantules au début d'irrigation avec la solution nutritive standard.

IV-5- Substrat et conteneurs

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est du gravier roulé d'oued 3 à 8 mm de diamètre. Il provient de la carrière de Chebli situé à 25 km d'Alger.

Afin d'écartier tous les risques de contamination, une procédure de désinfection du substrat a été effectuée comme suite :

- Lavage à l'eau afin de supprimer les particules terreuses et les débris végétaux
- Remplissage des pots avec le gravier lavé.
- Désinfection du gravier avec une solution d'Hypochlorite de sodium diluée de concentration initiale 12°, durant 24h.
- Rinçage abondant de tous les pots à l'eau courante pour éliminer toutes les traces de l'eau de javel fortement nocives pour les jeunes plantes.

Les conteneurs utilisés dans notre expérimentation sont des pots en plastique, de couleur marron ayant une capacité de 5 litre. Tous les pots présentent des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

IV-6- dispositif expérimental

Notre expérimentation a été menée selon un dispositif expérimental aléatoire en randomisation totale à un facteur. Il est composé de huit (8) traitements (T0, T1, ..., T8) qui ont été distribués selon la table de permutation des nombres aléatoires de 1 à 10. Chaque traitement est composé de six (6) observations, Soit 48 observation au total.



Figure 10 : Vue du dispositif expérimentale

	T1	T6	T4	T2	T5	T7	T3	T0
P1								
P2								
P3								
P4								
P5								
P6								

Figure 11 : Schéma du dispositif expérimental.

- T0, T2.....T7 : les traitements utilisés.
- P1, P2.....P5 : les observations par traitement.

IV-7- Description des différents traitements

IV-7-1- caractéristiques de l'eau utilisée pour la synthèse des différents traitements

Nous avons préparé toutes les solutions avec l'eau potable de Blida.

Tableau N° 08: Teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida (mg/l) et (meq/l).

Elément	Teneur en mg/l	Teneur en meq/l
K ⁺	00.00	00.00
Ca ⁺²	56.00	2.80
Na ⁺	29.90	1.30
Mg ⁺²	21.60	1.80
NO ₃ ⁻	21.70	0.35
SO ₄ ⁻²	38.40	0.80
CL ⁻	21.30	0.60
HCO ₃ ⁻	245.00	4.08
Total	433.90	11.73

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 favorable pour la tomate.

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

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique (HNO₃) et l'acide phosphorique (H₃ PO₄). 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 :

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

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

- **H₃PO₄ = 1.1 méq/l** (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 méq/l de phosphore) compte tenu que H₃PO₄ est trivalent.
- **HNO₃ = 3.3 – 1.1 = 2.2 méq/l** (besoin partiel en nitrates).

IV-7-2-Composition et techniques de préparation des différents traitements

IV-7-2-1- Composition de la solution nutritive standard T0 (témoin) à base d'eau de Blida

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles (KNO_3^-). Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures aux besoins des plantes.

D'une façon générale, pour une eau peu chargée en sels, on peut rajouter des éléments pour corriger les déficits et équilibrer la balance ionique.

La formule de solution nutritive peu chargée en sels correspond à la solution nutritive de base synthétisée avec l'eau de Blida selon les normes définies par (COIC et LESAIN, 1975).

Les différentes étapes adoptées pour la réalisation de cette solution sont les suivantes :

a) Sur les tableaux 09 et 10 suivants, on reporte les anions et les cations selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en méq/l.

b) L'apport d'azote est fixé à 12 méq/l

{	10.2 méq/l NO_3^- représentant 85%
	1,8 méq/l NH_4^+ représentant 15 %

c) L'apport de chlore et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0.2 meq /l) aucun apport complémentaire n'est nécessaire.

d) L'apport du phosphore est fixé à 3.3 méq /l de H_3PO_4^- . En comptant de façon théorique, le phosphore présent sous la forme trivalent PO_4^{3-} , 1.1 méq /l de H_3PO_4 satisferont les besoin en phosphore.

La quantité d'acide nécessaire pour ajuster le pH de l'eau à 5.8 est de 3.3 méq/l ceci permet de satisfaire la totalité des besoins en phosphore en apportant 1.1 méq /l de H_3PO_4 , et un apport partiel de 2.2 méq/l de NO_3^- .

e) A ce niveau, on fait le bilan des anions restant à introduire dans la solution nutritive :

Nitrate :

- Besoins : 10.2 méq/l

- déjà disponibles: 0,35 méq / l (eau) + 2,29 méq / l (correction de pH par HNO₃-) + 1,8 NH₄NO₃ = 4,44 méq / l.
- à apporter: 10,2 - 4,44 = 5,76 méq / l.

Sulfate :

- déjà disponibles : 0.8 méq/l.
 - à apporter : 1.5 – 0.8 = 0.7 méq/l.
- f) L'apport d'ammonium (1.8 méq/l de NH₄⁺) est assuré par l'emploi de NH₄NO₃ qui assurera en même temps l'apport de 1.8 méq/l de NO₃⁻. Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont les suivants :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nitrate : } (7.65 - 1.8) \text{ NO}_3\text{NH}_4 = 5.85 \text{ méq/l} \\ \text{Sulfate} = 0.7 \text{ méq/l} \end{array} \right\} \text{ Total} = 6.55 \text{ méq/l}$$

- g) Somme totale des cations K, Ca et Mg dans la solution nutritive final = (K + Ca + Mg) déjà présents dans l'eau + (K + Ca + Mg) apportés sous forme de nitrate et de sulfates

$$\text{Total} = (0 + 2.8 + 1.8) + 6.55 = 11.15 \text{ méq/l.}$$

Selon les normes définies par COIC et LESAINTE, (1983), les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être proches des valeurs suivantes :

$$\text{K : } 39.6\% \quad \text{Ca : } 47.6\% \quad \text{Mg : } 12.8\%$$

Ce qui donne dans le cas présent :

$$4.41 \text{ méq/l (K)} + 5.31 \text{ méq/l (Ca)} + 1.43 \text{ méq/l (Mg)} = 11.15 \text{ méq/l.}$$

Apport à réaliser, sous déduction de ce qui est déjà présent dans l'eau.

$$\text{K (4.41 méq/l), Ca (2.52 méq/l), Mg (0 méq/l).}$$

L'apport de Mg n'étant pas nécessaire compte tenu que : la teneur de l'eau est supérieur à l'apport souhaitable. Les 11.15 méq/l – 1.8 méq/l (Mg) = 9.35 méq/l d'anions sont donc à partager entre K et Ca uniquement et en respectant les proportions K + Ca = 87.2% soit :

$$K = 9.35 \times \frac{9.6}{39.6 + 47.6} = 4.25 \text{ méq/l}$$

$$Ca = 9.35 \times \frac{47.6}{39.6 + 47.6} = 5.10 \text{ méq/l}$$

Tous les résultats sont reportés dans les tableaux suivants :

Tableau N° 09 : Composition de l'eau
de Blida pH =7.8

Eau de Blida	NO ₃ 0.35	PO ₄ ³⁻ 0	SO ₄ ⁻ 0.80	Cl ⁻ 0.60	Total
K ⁺ 0					0
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8					2.80
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
Nh ₄ ⁺ 0					0
HCO ₃ 4.08					4.08
Total	0.35	0	0.80	0.60	

Tableau N°10 : Eau de Blida corrigée (T0)
(traitement témoin) pH = 5.8

Eau de Blida	NO ₃ 0.35	PO ₄ ³⁻ 0	SO ₄ ⁻ 0.80	Cl ⁻ 0.60	Total
K ⁺ 0	3.55		0.70		4.25
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	2.30				5.10
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
Nh ₄ ⁺ 0	1.80				1.80
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	10.20	3.30	1.50	0.60	

Les différents traitements sont élaborés à base de solutions mères de macroéléments puis diluées au moment de la préparation de la solution prête à l'utilisation. Un certain ordre de dissolution doit être respecté afin d'éviter toute précipitation et ceci en commençant par les produits à fonction acide et les plus solubles, ensuite on rajoute au fur et à mesure les autres produits. En dernier lieu, nous avons rajouté une solution d'oligoéléments composée de deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par Coic et Lesaint (Auder et Warrence, 2002). Le contrôle de pH et de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

Quantité et ordre de dissolution des sels du traitement T0 (témoin)

- $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138,6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 2.30 \times 118.04 = 271.4 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 3.44 \times 101.09 = 348.86 \text{ mg/l}$ Total = 1530.37 mg/l
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80 = 144 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.70 \times 87.12 = 60.98 \text{ mg/l}$
- Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l

- Concentration en oligo-éléments = 14.8 mg/l

La solution nutritive de base renferme aussi des Oligo –éléments qu'ils sont dissous en dernier lieu et séparément sous forme de solution A et solution B (COCI et LESSAINT, 1975).

Solution A : Le fer est apporté à raison de 4 ml / l de solution de concentration (2g/l) de séquestrée de fer.

Solution B : Les autres Oligo – éléments contenant le Molybdate d'ammonium (0,4 g / l), l'acide borique (14 g / l), le sulfate de manganèse (20 g / l) et le sulfate de cuivre (2,4 g / l) + sulfate de zinc (10 g / l) sont apportés à raison de 0,1 ml / l.

IV-7-2-2- composition du traitement T1 à base d'eau de Blida

Le traitement T1 est obtenu par augmentation de 10% de la quantité d'azote et de potassium au niveau du témoin T0.

Tableau N° 11: Composition du traitement T1:

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ³⁻ 0	SO ₄ ⁻ 0.80	Cl ⁻ 0.60	Total
k ⁺ 0	3.97		0.70		4.67
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	2.70				5.50
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	1.98				1.98
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	11.20	3.30	1.50	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T1

- HNO₃⁻ = 2.20×63 = 138.6 mg/l
- H₃PO₄ = 1.10×98 = 107.8 mg/l
- Ca (NO₃) = 2.70×118 = 318.6 mg/l
- KNO₃ = 3.97×101.10 = 401.36 mg/l
- NH₄NO₃ = 1.98×80.04 = 144.07 mg/l
- K₂SO₄ = 0.7×87 = 60.9 mg/l
- Composition de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
- Concentration en oligo-éléments = 14.8 mg/l

IV-7-2-3- Composition du traitement T2

Le traitement T2 est obtenu par augmentation de 20% de la quantité d'azote et de potassium au niveau du témoin T0.

Tableau N° 12 : Composition du traitement T2

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ³⁻ 0	SO ₄ ⁻ 0.80	Cl ⁻ 0.60	Total
k ⁺ 0	4.40		0.70		5.10
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	3.13				5.93
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	2.16				2.16
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	12.24	3.30	1.50	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T2

- $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 3.13 \times 118 = 369.34 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 4.40 \times 101.10 = 444.84 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 2.16 \times 80.04 = 172.88 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.7 \times 87 = 60.9 \text{ mg/l}$

IV-7-2-4- Composition du traitement T3

Le traitement T3 est obtenu par augmentation de 30% de la quantité d'azote et de potassium au niveau du témoin T0.

Tableau N°13 : Composition du traitement T3

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ³⁻ 0	SO ₄ ⁻ 0.80	Cl ⁻ 0.60	Total
k ⁺ 0	4.82		0.70		5.52
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	3.55				6.35
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	2.34				2.34
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	13.26	3.30	1.50	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T3

- $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 3.55 \times 118 = 418.90 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 4.82 \times 101.10 = 487.30 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 2.34 \times 80.04 = 187.29 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.7 \times 87 = 60.9 \text{ mg/l}$

IV-7-2-5- Composition du traitement T4

Le traitement T4 est obtenu par augmentation de 40% de la quantité d'azote et de potassium au niveau du témoin T0.

Tableau N°14 : Composition du traitement T4

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
0.35	0	0.80	0.60		
k ⁺ 0	5.25		0.70		5.95
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	3.96				6.76
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	2.52				2.52
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	14.28	3.30	1.50	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T4

- $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 3.96 \times 118 = 467.28 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 5.25 \times 101.10 = 530.77 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 2.52 \times 80.04 = 201.70 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0.7 \times 87 = 60.9 \text{ mg/l}$

IV-7-2-6- Composition du traitement T5

Le traitement T5 est obtenu par diminution de 10% de la quantité d'azote et de potassium au niveau du témoin T0.

Tableau N°15 : Composition du traitement T5

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
0.35	0	0.80	0.60		
k ⁺ 0	2.71		1.11		3.82
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	2.30				5.10
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	1.62				1.62
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	9.18	3.30	1.91	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T5

- $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 3.96 \times 118 = 467.28 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 2.71 \times 101.10 = 273.98 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.62 \times 80.04 = 129.66 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 1.11 \times 87 = 96.57 \text{ mg/l}$

IV-7-2-7- Composition du traitement T6

Le traitement T6 est obtenu par diminution de 20% de la quantité d'azote et de potassium au niveau du témoin T0.

Tableau N°16 : Composition du traitement T6

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0.35	PO ₄ ³⁻ 0	SO ₄ ⁻ 0.80	Cl ⁻ 0.60	Total
k ⁺ 0	1.87		1.53		3.40
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	2.30				5.10
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	1.44				1.44
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	8.16	3.30	2.33	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T6

- $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 3.96 \times 118 = 467.28 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 1.87 \times 101.10 = 189.05 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.44 \times 80.04 = 115.25 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 1.53 \times 87 = 133.11 \text{ mg/l}$

IV-7-2-8- Composition du traitement T7

Le traitement T7 est obtenu par diminution de 30% de la quantité d'azote et de potassium au niveau du témoin T0.

Tableau N°17 : Composition du traitement T7

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
0.35	0	0.80	0.60		
k ⁺ 0	1.03		1.94		2.97
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8	2.30				5.10
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	1.26				1.26
H ⁺	2.20	1.10			3.30
Total	7.14	3.30	2.74	0.60	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T7

- $\text{HNO}_3^- = 2.20 \times 63 = 138.6 \text{ mg/l}$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.10 \times 98 = 107.8 \text{ mg/l}$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3) = 3.96 \times 118 = 467.28 \text{ mg/l}$
- $\text{KNO}_3 = 1.03 \times 101.10 = 104.13 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.26 \times 80.04 = 100.85 \text{ mg/l}$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 1.94 \times 87 = 168.78 \text{ mg/l}$

IV-8-Entretien de la culture

IV-8-1-Irrigation et estimation des besoins hydrominéraux journaliers des plantes

Il est important dans la culture hors sol de connaître les besoins journaliers en eau des cultures, pour pouvoir rationaliser les besoins selon les stades de développement du végétal et pour éviter les déficits et les éventuels excès de la solution nutritive.

Les doses et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les différentes conditions microclimatiques telles que la température. Le tableau 18 donne les doses et fréquence des irrigations appliquées.

Tableau N°18 : Doses et fréquence des irrigations

Période	Stade physiologique	La dose d'irrigation	La fréquence
07/02/2017 au 14/02/2017	Germination au stade cinq feuilles	30 ml	2 fois / jours
15/02/2017 au 26/02/2017	Stade cinq feuilles au début floraison	60 ml	3 fois / Jours
27/02/2017 au 11/03/2017	Début floraison au début nouaison	100 ml	3 fois / jours
12/03/2017 au 01/04/2017	Début nouaison à pleine fructification	150 ml	4 fois / jours
02/04/2017 au 15/04/2017	Stade maturation des fruits	200 ml	5 fois / jours

IV-8-2- Les traitements phytosanitaires

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs toutes les semaines pour écarter toute attaque cryptogamique ou d'insectes nuisibles, en alternant les deux produits présentés dans le tableau N° 16.

Tableau N°19: Traitements phytosanitaires réalisés:

Produit	Matière active	Désignation	Dose	Fréquence
Duresban	Chorpyriphos- éthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3 g / l	1 fois/ semaine
Medomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g / l	1 fois/ semaine

IV-8-3- Palissage

A un moment donné, nous avons remarqué que les plantes avaient tendance à se recourber ce qui nous a permis de confectionner un tuteur permettant à maintenir les plantes dressées.

IV-8-4- Ébourgeonnage

Cette opération consiste à supprimer les bourgeons axillaires se développant à l'aisselle de feuilles.

L'ébourgeonnage a été effectué régulièrement sur les plantes au cours de sa croissance et son développement végétatif.

IV-8-5- Etêtage

Cette opération consiste à faire éliminer le bourgeon terminal au-dessus de 2^{ème} bouquet florale et laissant deux feuilles au-dessus du 3^{ème} bouquet floral.

IV-9- Paramètres étudiés

IV-9-1- Paramètres de croissance mesurés

- **Hauteur des plantes :**

Les hauteurs finales ont été mesurées au moment de la coupe à l'aide d'un ruban mètre.

- **Nombre de feuille :**

Le nombre de feuille a été comptabilisé au moment des coupes, pour chaque plant au niveau de chaque traitement.

- **Diamètre des tiges :**

La mesure du diamètre finale des tiges a été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse au moment de la coupe finale par plante.

- **Biomasse fraîche produite :**

Lors de la coupe, nous avons pesé la partie aérienne de la plante à l'aide d'une balance, afin d'avoir pour chaque plante le poids frais.

- **Biomasse sèche produite :**

Après le séchage de la matière fraîche dans une étuve à 70°C jusqu'à stabilité du poids sec, nous avons pesé la partie aérienne des plantes à l'aide d'une balance, afin d'avoir le poids sec de chaque plante.

IV-9-2- Paramètre de production et de qualité

A) Paramètre de production

- **Taux d'avortement des fleurs :** Le taux d'avortement est exprimé par la différence entre le nombre total des fleurs apparues et le nombre total des fruits récoltés.

- **Nombre de fleur et nombre de fruit par plante**
- **Poids frais des fruits par traitement de chaque plant:**

Le pois a été mesuré grâce à une balance.

B) Paramètre de qualité

- **Dosage de la vitamine « C » dans les fruits de tomate**

La teneur en vitamine « C » dans les fruits de tomate est déterminée comme suit :

- Une quantité de 10g de fruits frais est réduite en pâte
- Ajouter 50ml l'acide chlorhydrique (HCl 2%)
- Laisser en repos pendant 10 minutes
- Faire filtrer le mélange dans un bécher de 100ml

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

1^{ère} Etape :

- Prélever 10ml d'extraits filtrée et mettre dans un erlenmeyer
- Ajouter 30ml d'eau distillé
- Ajouter 1ml de solution d'iodure de potassium (KI 1%)
- Additionne 2ml de solution d'amidon 5%
- La solution préparée est titrée à l'iodate de potassium (KINO₃ N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu
- Enregistrer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage

2^{ème} Etape :

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

Les calculs :

$$X = \frac{N.V_1 - 0.88}{G.V_2} \times 100 \text{ Ou :}$$

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

- **Détermination de l'extrait sec**

On opérant cette dessiccation (à 70°C) jusqu'à la stabilité du poids sec. On obtient des produits en apparence secs.

Ramener la valeur obtenue à celle du produit totalement desséché, ce qui revient à la réduire de $1/10^{\text{ème}}$ de la valeur.

Paramètre	La valeur
Capsule vide (tare)	
Tare + échantillon frais	
Tare + échantillon sec	
Extrait sec primaire	
$1/10^{\text{ème}}$	
Extrait sec secondaire	
Poids sec en % du poids frais	

- **Détermination de l'acidité titrable dans les fruits de tomate**

Mode d'opérateur :

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

Dosage :

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

Expression des résultats : $N_1V_2 = N_2V_1$

- En g d'acide citrique / 100g de jus
- En g d'acide citrique / kg de fruits frais
- En g d'acide malique / 100g de jus
- En g d'acide malique / kg de fruit frais

$N_1 = N_2V_2/V_1$ où

- N_1 : La normalité de la soude utilisée pour le titrage = 0.1
- Volume de soude versé en [ml] pendant le titrage

- Volume de surnagent prélevée = 100ml

Dosage des sucres dans les fruits de tomate

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

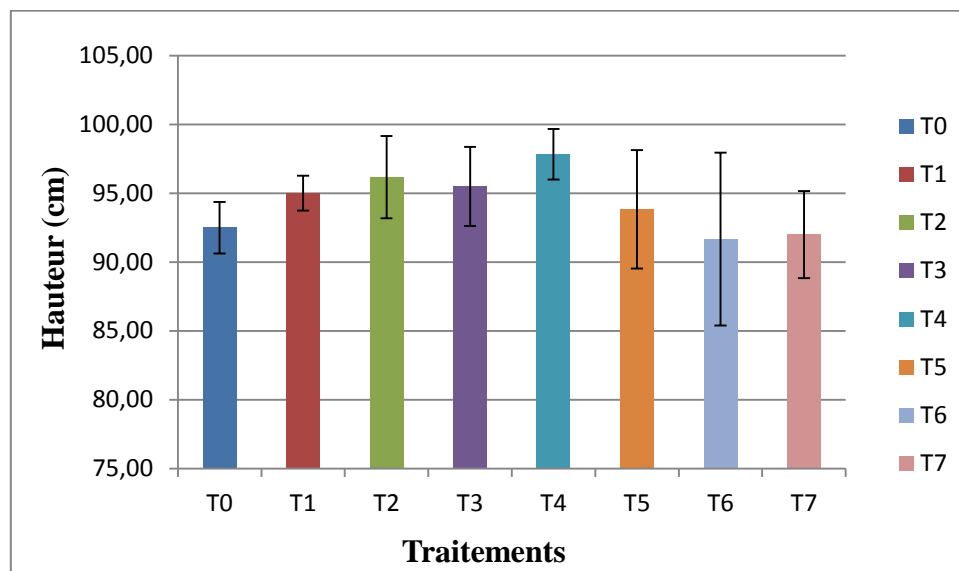
Chapitre V : Résultats et discussions**V-1- Paramètres de croissance****V-1-1- Hauteur des plantes (cm)**

Figure N°12 : Hauteur finale des plantes en (cm).

L'analyse de la variance des résultats montre que l'effet traitement exerce une influence non significative sur la croissance en longueur des tiges.

Les hauteurs des tiges finales les plus longues ont été obtenues par les plants du traitement T4 présentant une moyenne de 97,83 cm. Par contre Les hauteurs des tiges finales les plus courtes ont été obtenues par les plants du traitement T6 (91,67 cm).

V-1-2- Nombre des feuilles

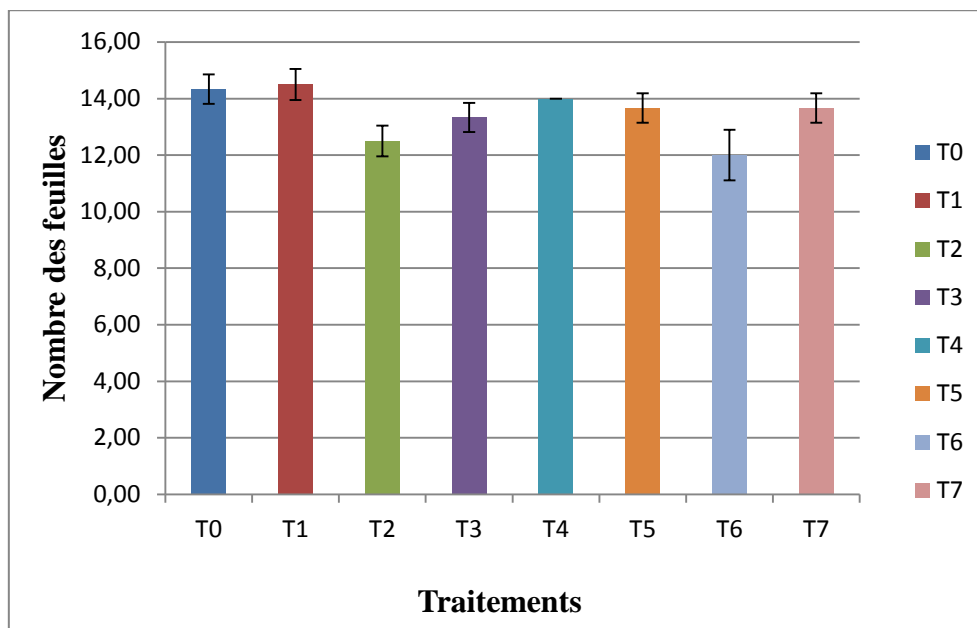
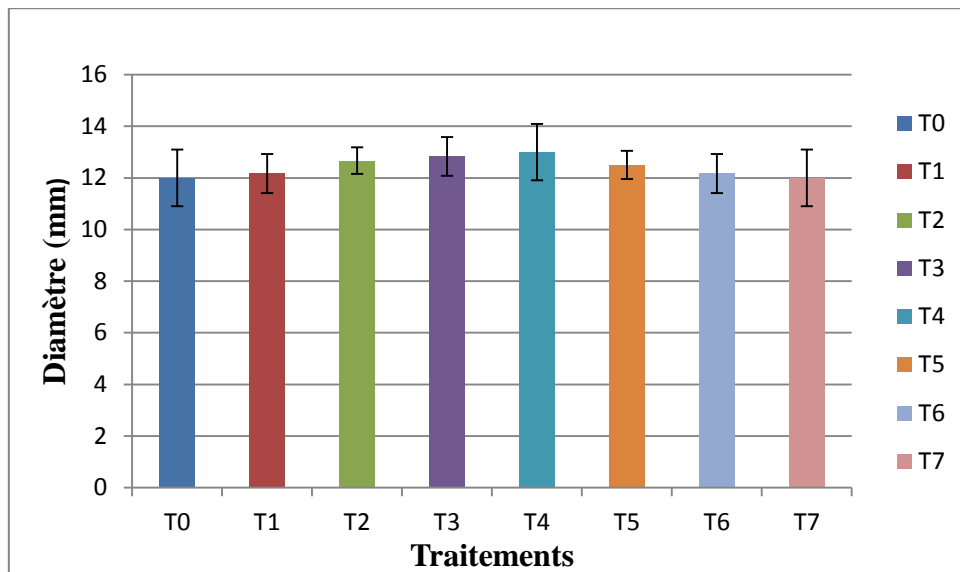


Figure N°13 : Nombre des feuilles.

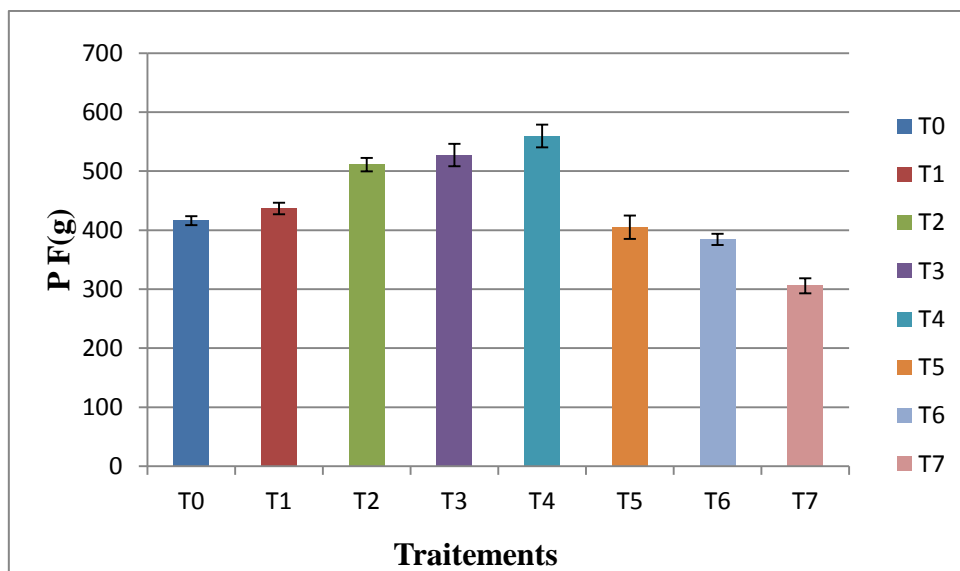
Les résultats obtenus montrent que l'effet traitement exerce une action significative sur le nombre des feuilles.

Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre séries de groupes homogènes. Le premier groupe (a) est représenté par le témoin ainsi que le traitement T1 où l'on enregistre le nombre de feuilles par plant le plus important, le deuxième groupe (ab) est représenté par les traitements T4, T5 et le T7, le troisième groupe (b) est représenté par le traitement T3, le quatrième groupe (c) est représenté par les deux traitements T2 et T6 manifestant le nombre de feuilles le plus faible. (Tableau N°19, annexes 01 a).

Selon les travaux JOSEPH et *al.*, (2015) qui a comparé le comportement de trois variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) soumis à Trois doses, seules ou combinées, d'azote et de potassium. Les résultats obtenus montrent qu'en apport combiné, la hauteur des plants ainsi que l'émission des feuilles et des rameaux ont été améliorées pour les trois variétés testées. Il a été démontré que l'azote est le moteur de la croissance végétale et contribue au développement végétatif de toutes les parties aériennes de la plante, feuilles, tiges (SADIQ, 1976).

V-1-3- Diamètre des tiges (mm)**Figure N°14 : Diamètre finale des tiges (mm)**

L'analyse de variance a révélé une différence non significative des traitements sur le diamètre des tiges, néanmoins il semble que les diamètres les plus vigoureux sont ceux des plantes irriguées par le traitement T4 élevé (13 mm).

V-1-4- Poids frais des plants (g)**Figure N°15 : Poids frais des plants (g).**

Les résultats obtenus montrent que la croissance pondérale de la partie aérienne varie en fonction des traitements appliqués. D'une façon générale, le traitement (T4) a répondu par une production de biomasse fraîche très marquée (la moyenne la plus élevée 559,55g),

alors que les faibles valeurs sont obtenues par le traitement T7 (305,81g). L'analyse de la variance confirme ces variations de la biomasse en montrant une différence de moyennes très hautement significative ($p < 0,001$). Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir sept groupes homogènes. (Tableau N°21, annexe 01 a).

SHEIKH et KHALID, (2004), ont étudié l'effet de la nutrition azotée sur la croissance des cultivars de haricots en grappe. Les résultats obtenus ont montrés un effet très important des traitements appliqués sur le rendement en fourrage vert.

Selon la FAO, (2005), l'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. C'est le constituant numéro un des protéines, composants essentiels de la matière vivante. Il s'agit donc d'un facteur de croissance, mais aussi de qualité (teneur en protéines des céréales par exemple). Le potassium (K) joue un rôle particulièrement important dans la croissance et le métabolisme des plantes, et il contribue grandement à la survie des plantes sous différents contraintes biotiques et abiotiques. L'importance de l'engrais K pour la formation de la production végétale et sa qualité est connue. En conséquence, la consommation de potasse a considérablement augmenté dans la plupart des régions du monde (PETTIGREW, W.T., 2008).

V-1-5- Poids sec des plants (g)

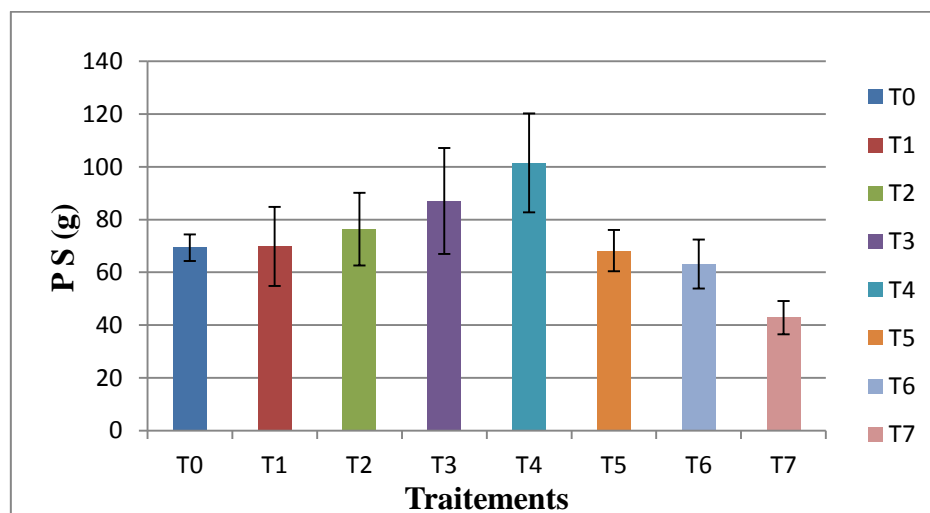


Figure N° 16 : Poids sec des plants (g).

Selon les résultats de l'analyse statistique nous remarquons l'existence d'une différence très hautement significative entre les différentes moyennes mesurées du poids sec des plants.

Le teste de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq groupes homogènes dans la première position le traitement T4 représenté par le groupe homogène (a) qui reflète une augmentation de 40% d'azote et de potassium, et en dernière position les traitements T6 et T7 représenter par le groupe homogène (c) reflétant une diminution de 20%, et 30% respectivement.(Le tableau N° 22, annexe 01 a).

les augmentation des quantités d'azote et de potassium de 10%, 20%, 30% et 40% dans la solution nutritive de base manifestent un gain notable du poids de la matière sèche totale (feuilles + tiges). Les réductions de la fourniture d'azote et de potassium réalisé au niveau des traitements T6 et T7 aboutis à une baisse du paramètre mesuré. Beaucoup de travaux et résultats similaires ont été trouvés par divers auteurs:

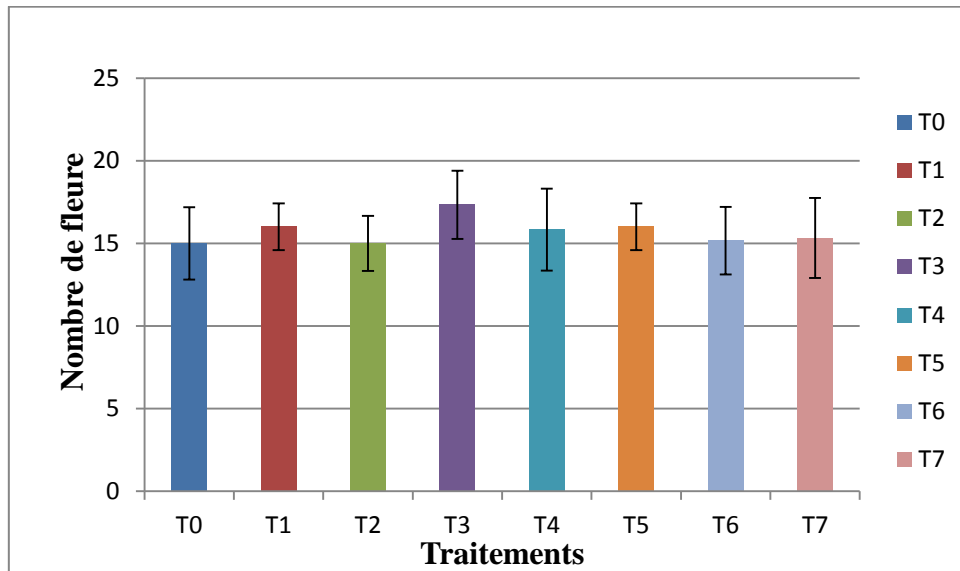
Selon LINDHAUER, (1985), une augmentation de la nutrition potassique se traduit par une amélioration de la masse sèche totale des plantes et la surface foliaire.

Les travaux d'EGILLA J.N. et *al.*, (2001), que des quantités suffisantes de K peuvent améliorer l'accumulation totale de la masse sèche des plantes d'*Hibiscus rosa-sinensis* cv cultivées sous stress hydrique par rapport aux concentrations inférieures de potassium.

La fertilisation azoté chez le haricot a considérablement augmenté le rendement en grains et le poids sec (IHSANULLAH et *al.*, 2008).

les travaux réalisé par AYUB et *al.*, (2010), sur le sorgho fourragère montrent que Les paramètres de qualité tels que la teneur en protéines brutes, en fibres brutes, en cendres totales et en matières sèches ont été amélioré de manière significative par l'application de l'azote sur le contrôle.

aussi les travaux de MBEKE et *al.*, (2014) réalisé sur le haricot avec différents niveaux d'azote 1gN, 1,5gN, 2.0gN, 2.5gN, 5gN, 10gN et 15gN ont montré une augmentation de la croissance végétative, la production de matière sèche, la production de semences et de gousses.

V-2- Paramètres de production et de qualité**V-2-1- paramètres de production****V-2-1-1- Nombre de fleurs par plant****Figure N°17 : Nombre de fleurs par plant.**

Les résultats de l'analyse de la variance montrent une différence non significative du facteur étudié sur le nombre de fleurs des plants. Mais on peut remarquer que les plants irrigués par le traitement T3 donnent le nombre des fleurs le plus élevé (17,33) alors que le nombre des fleurs le plus faible est obtenu par les plants irrigués par les traitements témoin T0 et T2 (15,00). Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir un seul groupe homogène (a). (Tableau N°23, annexe N° 02 a).

V-2-1-2- Nombre des fruits par plant

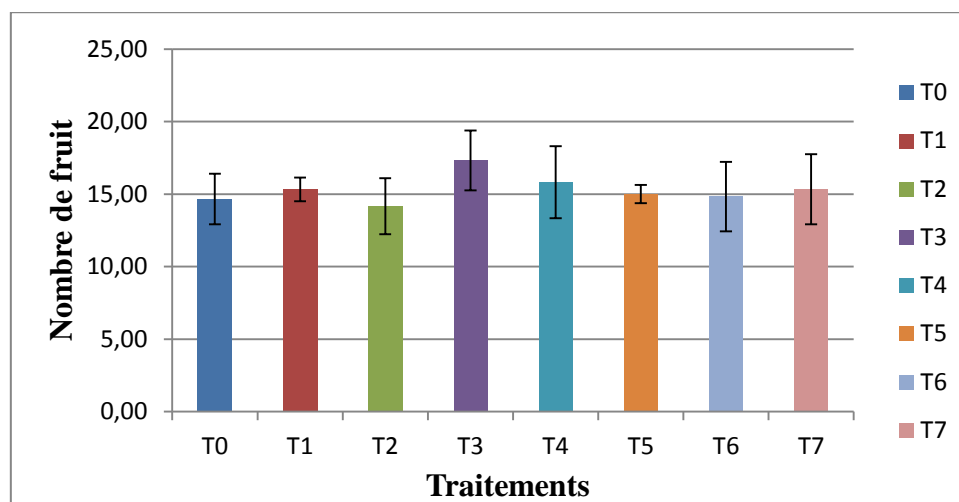


Figure N°18 : Nombre des fruits par plant.

Selon les résultats de l'analyse de la variance nous remarquons que l'effet traitement n'exerce aucune différence significative sur le nombre des fruits par plant. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ présente un seul groupe homogène (a). (Tableau N°24, annexe N° 02 a). Ces résultats ne sont pas en concordance avec ceux obtenus par ZEHLENER et FORSTER, (1972) et WINSOR et *al.*, (1973) qui ont noté un nombre de fruits plus grand avec des applications accrues d'azote et de potassium. De même HATAMI et *al.*, (2006) ont démontré que l'utilisation d'engrais azoté pourrait affecter de manière significative le nombre de gousses dans les espèces de soja.

V-2-1-3- Taux d'avortement (%)

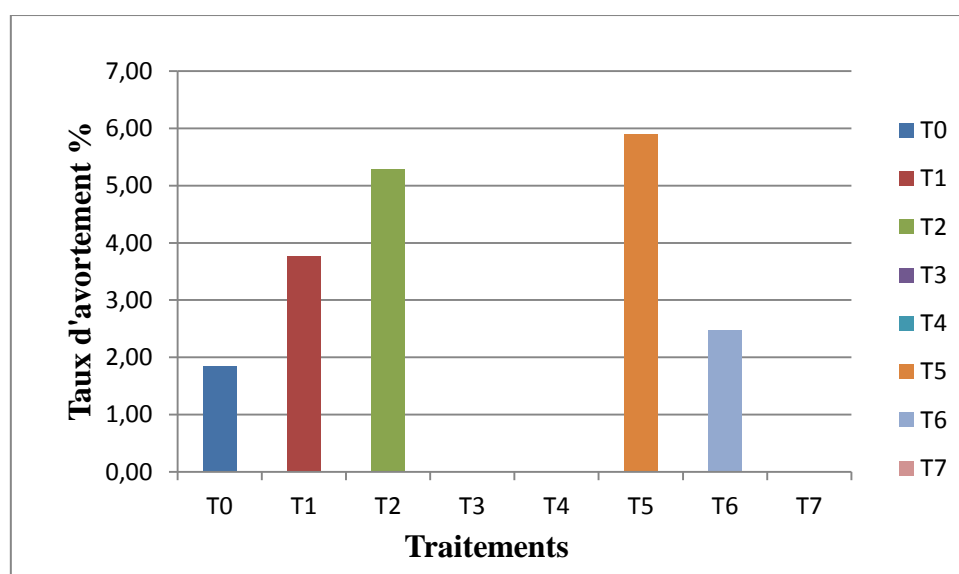


Figure N°19 : Taux d'avortement.

Les résultats obtenus durant notre expérimentation montrent qu'il n'y avait pas des chutes de fleurs au niveau des traitements T3, T4 et T7 ce qui signifie un taux d'avortement nul et que toutes les fleurs ont été transformé en fruits. On peut remarquer aussi que le traitement T5 présente le taux d'avortement le plus élevé par rapport au témoin (T0). (Voir tableau N°25, annexe N° 02 a.)

V-2-1-4- La production par plant en (g)

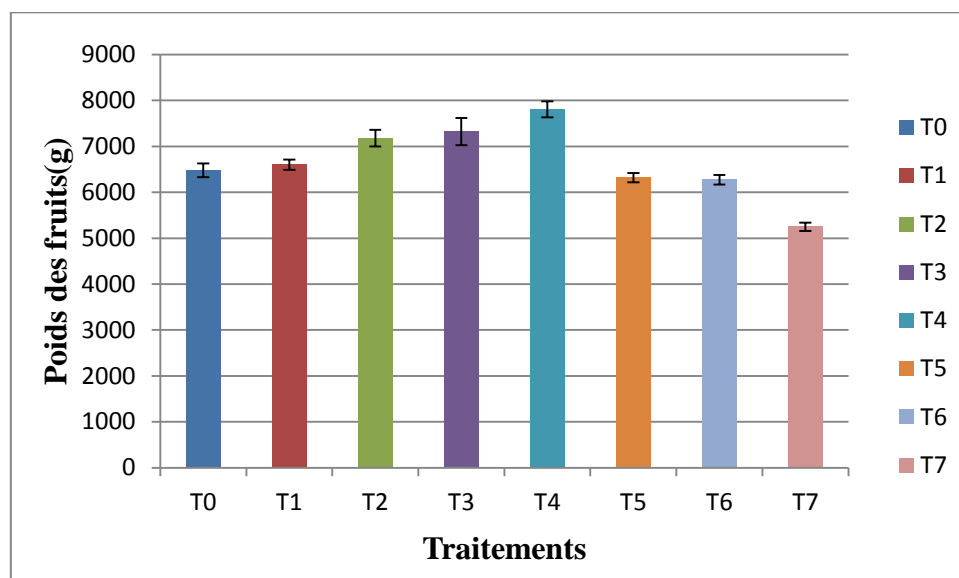


Figure N°20 : La production par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent une différence très hautement significative du facteur traitement sur le poids total des fruits par plant. Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir six groupes homogènes où le premier groupe (a) représente la moyenne la plus élevée (7807,67g) issues des plantes alimentées par le traitement (T4) et classe le traitement (T7) toujours en dernière position avec une moyenne de (5246,35g). (Tableau N°26, annexe N° 02 a).

Ainsi l'augmentation des doses d'azote et de potassium influe directement sur le paramètre mesuré se traduisant par une augmentation du poids frais total des fruits récoltés.

Les rendements obtenus avec les traitements T5 et T6 sont proches de ceux obtenus avec le traitement T0 (témoin), ce qui signifie qu'une réduction de 10% et 20% des besoins en azote et en potassium du T0 n'influe pas remarquablement sur la production totale en fruits.

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par ZEHLE et FORSTER (1972) qui trouvent, qu'avec des applications accrues d'azote et de potassium le rendement en matière fraîche et sèche augmente avec un nombre plus grand de fruits.

Selon (RANA GHASEMPOUR et MAJID ASHORI, (2014) L'azote est un élément qui affecte considérablement les rendements des cultures. De nombreux auteurs ont montré un effet bénéfique du nitrate d'ammonium sur le rendement en graines de luzerne (RUSZKOWSKA et *al.*, 1992), faba bean (BOCHNIARZ et *al.*, 1987; PIZTO et *al.*, 1991) et d'autres légumineuses (WOJCIESKA et *al.*, 1994; PREMARATNE & OERTLI, 1994).

HONEYCUTT et *al.*, (2006), NASRI et KHALATBARI, (2015), ont montré que le rendement du haricot était fortement influencé par l'application de l'azote.

PRZEMYSŁAW et *al.*, (2014), ont montré que l'absorption le potassium augmentait le rendement des haricots verts

(DONG H. et *al.* 2010).ont étudié l'effet de la nutrition azotée et potassique sur la croissance d'une culture de coton. Les résultats obtenus ont montrés que la fertilisation K était extrêmement importante pour maintenir un rendement élevé, bien que La consommation de luxe se soit produite dans le domaine de la fertilité plus élevée.

Selon les travaux JOSEPH et *al.*, (2015), qui a comparé le comportement de trois variétés de tomate (*Lycopersicum esculuntum* Mill) soumis à Trois doses, seules ou combinées, d'azote et de potassium. Les résultats obtenus montrent que l'apport combiné d'azote et de potassium améliore la croissance et le rendement des variétés « locale » de tomate étudiées.

V-2-2- Paramètres de qualité

V-2-2-1- Taux de sucre des fruits (%)

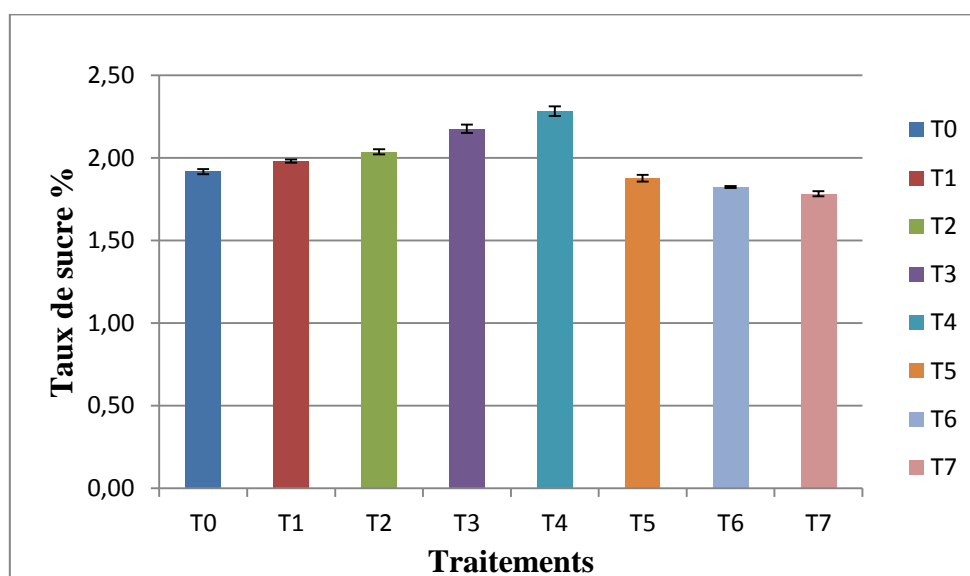


Figure N°21 : Taux de sucre des fruits (%).

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative de l'effet du milieu sur la teneur en sucre dans les fruits. Le test de Newman-Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir huit groupes homogènes. (Tableau N°27, annexe N° 02 a)

Les fruits récoltés à partir des plantes traitées par les traitements (T1, T2, T3, T4) où les doses d'azote et de potassium ont été augmentées ont permis d'améliorer la teneur en sucre totaux des fruits avec des valeurs qui correspondent à (1,98%, 2,04%, 2,18%, 2,28%) respectivement, suivi par les plantes alimentées par les traitements (T5, T6, T7) qui ont manifestés des diminutions du paramètre testé avec les taux suivants (1,88%, 1,82%, 1,78%) respectivement et ce par rapport au témoin.

La fertilisation potassique, est essentielle à la synthèse des sucres simples et de l'amidon, en plus d'être impliqué dans les mécanismes de translocation des hydrates de carbone (HAEDER 1973; SMITH 1987). Le potassium pourrait même améliorer le calibre des fruits (TINDALL et WESTERMANN 1995; WARD 1959). Aussi selon SHEIKH, (2004) et KHALID, (2004), des applications d'azote augmentait les protéines brutes, les teneurs en fibres brutes, le pourcentage de cendres, les glucides.

V-2-2-2- Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus)

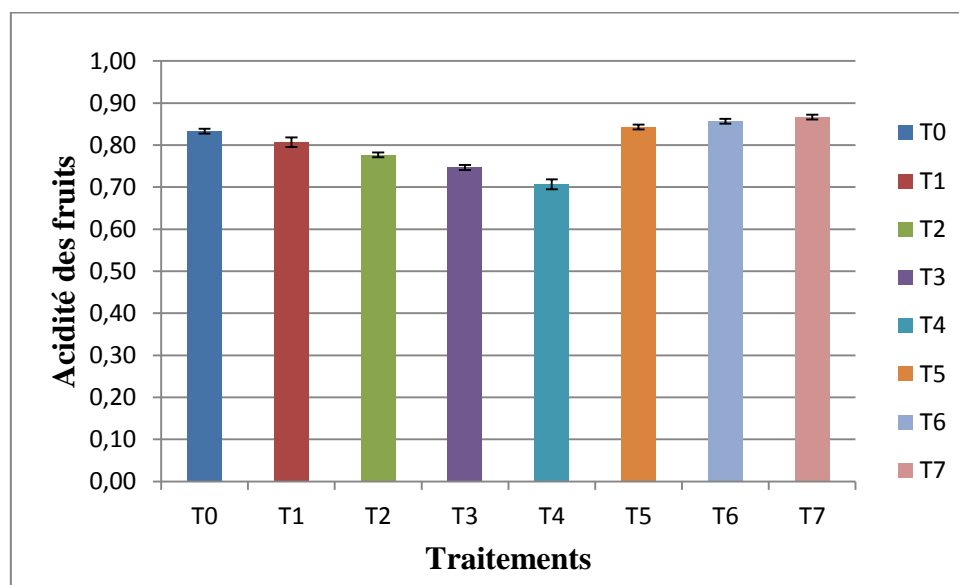


Figure N°22 : Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus)

Les résultats concernant l'acidité titrable des fruits montrent que la variété étudiée est influencée significativement par l'effet des traitements adoptés. Les augmentations de 10%, 20%, 30%, et 40% des besoins azoté et potassique par rapport au témoin montrent des chutes notables de l'acidité titrable. A l'inverse les diminutions de 10%, 20% et 30%,

manifestent un accroissement du paramètre mesuré. A cet effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir six groupes homogènes. (Tableau N°28, annexe N° 02 a)

V-2-2-3- Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF).

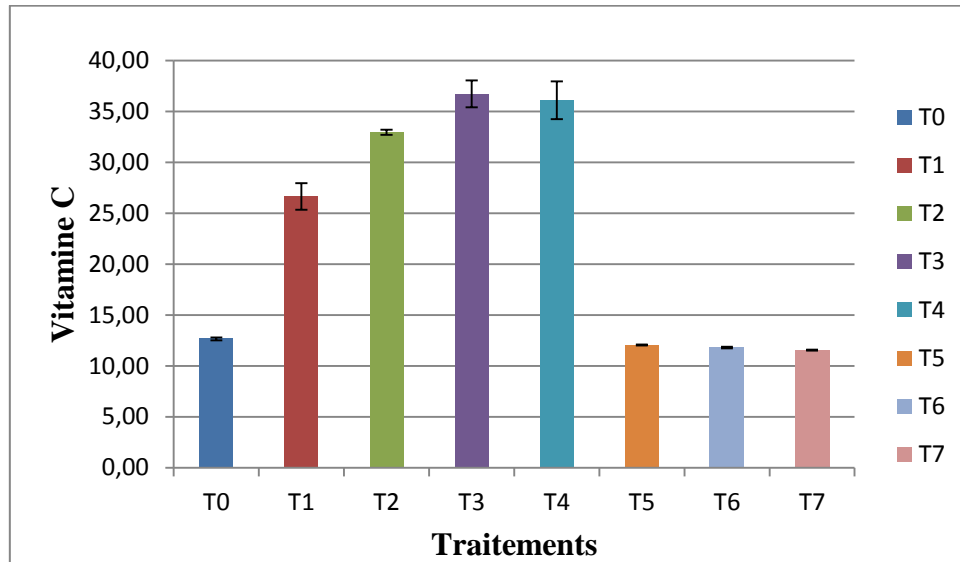


Figure N°23 : Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF).

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de la teneur en vitamine « C » dans les fruits de tomate. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes. . (Tableau N°29, annexe N° 02 a).

Les fruits récoltés à partir des plants qui sont alimentés par le traitement T3 sont les plus riches en acide ascorbique avec une valeur de 36,73 %, En revanche le traitement T7 manifeste les teneurs en vitamine C les plus faibles où on enregistre 11,56%.

L'azote, un élément nutritif de la plante est requis par les plantes en quantités comparativement plus importantes que d'autres éléments. Selon (MARSCHNER, 1995) l'azote est un composant essentiel de nombreux composés de la plante, tels que la chlorophylle, les nucléotides, les protéines, les alcaloïdes, les enzymes, les hormones et les vitamines.

Selon la FAO, (2005), Le potassium est très mobile dans la plante. Il joue un rôle primordial dans l'absorption des cations (par exemple. NH_4^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cu^{++} , Fe^{++}), dans l'accumulation des hydrates des protéines, dans l'activation des enzymes de la photosynthèse, dans le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie en eau de la plante (régulation des stomates). Il est essentiel pour le transfert des assimilats

vers les organes de réserve (bulbes et tubercules) et il participe activement à améliorer la qualité des fruits et la taille des grains et des semences.

MODAIHSH *et al.*, (2007) et MORSHED *et al.*, (2008) ont également signalé une augmentation des teneurs en protéines avec une augmentation de l'application de l'azote.

Les protéines brutes ont été fortement influencées par l'application d'azote. Les teneurs en protéines brutes ont été significativement augmentées à chaque niveau d'azote augmenté. L'azote étant le composant structurel des acides aminés pourrait avoir amélioré le contenu protéique. (AYUB *et al.*, 2010).

V-2-2-4- Matière sèche des fruits (%)

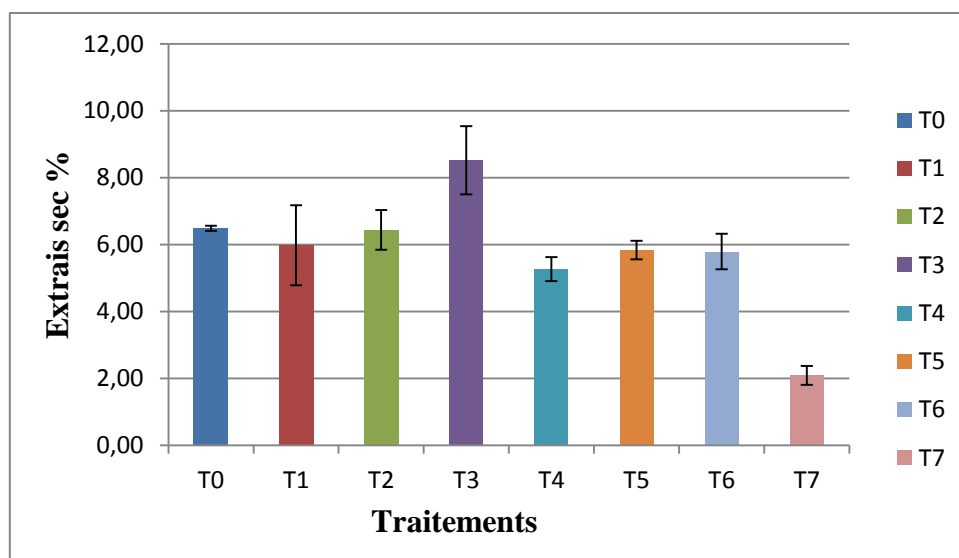


Figure N°24 : Matière sèche des fruits (%).

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des traitements sur le paramètre étudié. Une augmentation de 30% d'azote et de potassium dans la solution nutritive standard a amélioré de manière positive l'extrait sec des fruits par contre une diminution de 30% des mêmes éléments a provoqué une diminution du paramètre testé et ce par rapport au témoin. A cet effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes.

Conclusion

Conclusion

A travers ce travail nous avons étudié le comportement d'une variété de tomate " Saint-pierre" en réponse à la variation des besoins azotée-potassique d'une solution nutritive de base. L'ensemble des résultats présentés nous permet de noter quelques conclusions et de faire ressortir les points essentiels suivants:

L'étude des paramètres tels que la hauteur finale des plants et le diamètre des tiges montre que la variété étudiée n'est pas influencé par l'effet des différents traitements néanmoins les plants du traitement T4 semblent présenter les valeurs les plus élevées (97,83cm et 13 mm) respectivement.

Les résultats concernant le nombre des feuilles, montrent que les plants issus du traitement T1 enregistre le nombre de feuilles par plant le plus important(14,5).

En ce qui concerne les poids de matière fraîche et sèche on remarque que les plants alimentés par les solutions nutritives riches en azote et en potassium manifestent les biomasses les plus élevées. Aussi, il est constaté que la réduction de ces deux éléments au niveau milieux testés aboutie à une réduction des paramètres précités ceci est lié au rôle l'azote qui est fondamentale dans l'augmentation de la biomasse, du fait qu'il intervient dans l'accroissement des organes, de la qualité de chlorophylle et donc la photosynthèse.

Quand aux paramètres de production, il a été constaté que les augmentations de potassium et d'azote réalisées au niveau des solutions nutritives ont considérablement influencé significativement et d'une manière positive le poids total des fruits par plant. Par contre les traitements ayant fait l'objet des restrictions potassiques et azotées à savoir T5, T6 et T7 ont affectés négativement le paramètre précité.

Les résultats concernant les paramètres de qualités des fruits montrent que les apports croissant d'azote et de potassium améliorent significativement le taux de sucres totaux et la vitamine C. A l'inverse une baisse de l'acidité titrable du jus des fruits a été remarquée avec les mêmes traitements

les résultats obtenus, dans ce travail, nous ont permis d'établir un certain nombre de conclusions qui méritent d'être poursuivies et confirmées à travers d'autres essais similaires ou complémentaire afin de mieux comprendre l'interaction azote-

Conclusion

potassium, au vue d'obtenir des informations simultanées sur la physiologie des plantes cultivés en milieux enrichi ou dépourvu d'azote et de potassium.

Annexes

Annexe N°1 a : Paramètres de croissance

1- Hauteur des plantes (cm)

Tableau N°12 : Hauteur finale des plantes en (cm).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
92,5	95	96,17	95,5	97,83	93,83	91,67	92
±	±	±	±	±	±	±	±
1,87	1,26	2,99	2,88	1,83	4,31	6,28	3,16
a	a	a	a	a	a	a	a

2- Nombre des feuilles

Tableau N°13 : Nombre des feuilles.

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
14,33	14,5	12,5	13,33	14	13,67	12	13,67
±	±	±	±	±	±	±	±
0,52	0,55	0,55	0,52	0	0,52	0,89	0,52
a	a	c	b	ab	ab	c	ab

3- Diamètre des tiges (mm)

Tableau N°14 : diamètre des tiges finales (mm).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
12	12,17	12,67	12,83	13	12,50	12,17	12
±	±	±	±	±	±	±	±
1,10	0,75	0,52	0,75	1,10	0,55	0,75	1,10
a	a	a	a	a	a	a	a

4- Poids frais des plants (g)

Tableau N°15 : Poids frais des plants (g).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
416,15	436,75	510,87	527,15	559,55	405,09	384,17	305,81
±	±	±	±	±	±	±	±
7,72	10,00	11,34	18,96	19,40	20,00	9,50	12,81
d	c	b	b	a	de	e	f

5- Poids sec des plants (g)

Tableau N° 16: Poids sec des plants (g).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
69,34	69,78	76,395	87,025	101,46	68,215	63,135	42,83
±	±	±	±	±	±	±	±
5,00	14,98	13,74	20,12	18,77	7,81	9,28	6,26
bc	bc	b	ab	a	bc	c	c

Annexes

Annexe N°2 a : Paramètres de production et de qualité

1- paramètres de production

1-1- Nombre des fleurs par plant

Tableau N°17 : Nombre des fleurs.

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
15	16	15	17,33	15,83	16	15,17	15,33
±	±	±	±	±	±	±	±
2,19	1,41	1,67	2,07	2,48	1,41	2,04	2,42
a	a	a	a	a	a	a	a

1-2- Nombre des fruits par plant

Tableau N°18 : Nombre des fruits.

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
14,67	15,33	14,17	17,33	15,83	15	14,83	15,33
±	±	±	±	±	±	±	±
1,75	0,82	1,94	2,07	2,48	0,63	2,40	2,42
a	a	a	a	a	a	a	a

1-3- Taux d'avortement (%)

Tableau N°19 : Taux d'avortement.

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
1,85	3,76	5,28	0,00	0,00	5,90	2,47	0,00

1-4- Le rendement par plant en (g)

Tableau N°20 : la production par plant.

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
6477,74	6600,7	7179,48	7322,52	7807,67	6316,34	6272,64	5246,35
±	±	±	±	±	±	±	±
147,93	113,75	179,45	295,67	177,53	100,96	104,35	89,62
e	d	c	b	a	e	e	f

Annexes

2- Paramètres de qualité

2-1- Taux de sucre des fruits (%)

Tableau N°21 : Taux des sucres des fruits (%).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
1,92	1,98	2,04	2,18	2,28	1,88	1,82	1,78
±	±	±	±	±	±	±	±
0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02
e	d	c	b	a	f	g	h

2-2- Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus)

Tableau N°22 : Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0,83	0,81	0,78	0,75	0,71	0,84	0,86	0,87
±	±	±	±	±	±	±	±
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
b	c	d	e	f	b	a	a

2-3- Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF)

Tableau N°23 : Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
12,67	26,67	32,97	36,73	36,10	12,06	11,82	11,56
±	±	±	±	±	±	±	±
0,15	1,31	0,25	1,32	1,85	0,06	0,08	0,05
d	c	b	a	a	d	d	d

2-4- Matière sèche des fruits (%)

Tableau N°24 : Matière sèche des fruits (%).

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
6,49	5,98	6,44	8,52	5,26	5,83	5,79	2,09
±	±	±	±	±	±	±	±
0,08	1,20	0,60	1,02	0,36	0,28	0,53	0,28
b	b	b	a	b	b	b	c

Annexes

Annexe N°01 b : Paramètres de croissance

1- Hauteur des plantes (cm)

Tableau N°12 : Hauteur finale des plantes en (cm).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	201,4792	7	28,7827	2,4557	0,0341	3,7765021
Var résiduelle	468,8333	40	11,7208			
Var total	670,3125	47				

2- Nombre des feuilles

Tableau N°13 : Nombre des feuilles.

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	31,6667	7	4,5238	14,6718	< 0,0001	0,96755889
Var résiduelle	12,3333	40	0,3083			
Var total	44,0000	47				

3- Diamètre des tiges (mm)

Tableau N°14 : Diamètre des tiges finales (mm).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	6,3333	7	0,9048	2,4557	0,0341	0,87
Var résiduelle	29,3333	40	0,7333			
Var total	35,6667	47				

4- Poids frais des plants (g)

Tableau N°15 : Poids frais des plants (g).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	307693,71	7	43956,2448	209,4923	< 0,0001	82,0076
Var résiduelle	8392,9081	40	209,8227			
Var total	316086,62	47				

5- Poids sec des plants (g)

Tableau N° 16 : Poids sec des plants (g).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	10055,28	7	1436,4683	8,3187	< 0,0001	18,9975
Var résiduelle	6907,176	40	172,6794			
Var total	16962,45	47				

Annexes

Annexe N°02 b : Paramètres de production et de qualité

1- paramètres de production

1-1- Nombre des fleurs par plant

Tableau N°17 : Nombre des fleurs.

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	25,5833	7	3,6548	0,9118	0,5074	1,9888875 68
Var résiduelle	160,3333	40	4,0083			
Var total	185,9167	47				

1-2- Nombre des fruits par plant

Tableau N°18 : Nombre des fruits.

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	38,4792	7	5,4970	1,4675	0,2066	2,0016615 44
Var résiduelle	149,8333	40	3,7458			
Var total	188,3125	47				

1-3- Le rendement par plant en (g)

Tableau N°20 : la production par plant.

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	22066576,8	7	3152368,11	117,2544	< 0,0001	701,69962
Var résiduelle	1075394,061	40	26884,8515			
Var total	23141970,86	47				

2- Paramètres de qualité

2-1- Taux de sucre des fruits (%)

Tableau N°21 : Taux de sucre des fruits (%).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	0,6349	7	0,0907	265,4756	< 0,0001	0,166863109
Var résiduelle	0,0055	16	0,0003			
Var total	0,6404	23				

Annexes

2-2- Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus)

Tableau N°22 : Acidité titrable des fruits (acide citrique/100g de jus).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	0,0679	7	0,0097	166,1939	< 0,0001	0,054691162
Var résiduelle	0,0009	16	0,0001			
Var total	0,068	23				

2-3- Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF)

Tableau N°23 : Teneur en vitamine C des fruits (mg d'acide ascorbique/100gFF).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	2861,564	7	408,7948	468,8686	< 0,0001	11,18133875
Var résiduelle	13,9500	16	0,8719			
Var total	2875,514	23				

2-4- Matière sèche des fruits (%)

Tableau N°24 : Matière sèche des fruits (%).

Source de variation	SCE	DDL	CM	Test F	PROBA	ET
Var Facteur 1	67,1073	7	9,5868	22,5527	< 0,0001	1,792601693
Var résiduelle	6,8013	16	0,4251			
Var total	73,9087	23				

Chapitre II :

Généralité sur la culture hors-sol

Chapitre IV :

Matériels et méthodes

Chapitre I :

La culture de tomate

Liste des figures

Chapitre III :

Nutrition hydrominérale



Table des matières

Table des matières



Liste des tableaux



Annexes



Conclusion



Références

bibliographiques

Chapitre V :

Résultats et discussions



Introduction



Partie expérimentale



Partie bibliographique

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abayomi Y.A., Ajibade T.V., Sammuel O.F. and Saadudeen B.F., 2008- Growth and yield responses of cowpea (*vignaunguiculata* (L) Walp) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the southern guinea savanna zone of nigeria, 7:170-176.
2. Abbayes H., Chadefaud M., Ferre Y., Feldmann J., Gausсен H., Grasse P. P., Leredde M. C., Ozenda P., Prevot A. R., 1963- Botanique Anatomie_Cyclesevolutifs_systématique, Masson et Cie.
3. Adams P., Winsor G. W., Donald J. D., 1973- The effect of nitrogen, potassium and sub-irrigation on the yield, quality and composition of single-stress tomatoes. *J. Hort. Sci*, 48: 123-133.
4. ALAIN V., 2003- Fondements & principes du hors-sol. *HRS 12 Ind A*, 3(1) :1-10.
5. Amberger A., 1968- Fonction du potassium dans la plante. *Revue de la potasse section 1*(3).
6. Angelier E., 2008- Les sciences de la complexité des vivants, Ed. Tec et Doc Lavoisier, 22p.
7. Atherton J. C. et Rudich J., 1986- *The tomato crop: a scientific basis for improvement*. Ed. Chapman and Hall, London, 661 p.
8. Auzac J., 1994- Le calcium : un messenger dans la réponse aux plantes aux stimili. *Plantation, recherche, développement*, 1(1) : 22-27.
9. Beheshti A., and Soltanian B., and SadrabadiHaghighi R., 2010-The effect of density and various ratios of cultivation of seed yield and biomass in planting of sorghum and pinto beans. *Iran's Agricultural Researches Journal*,8(1):167-176.
10. Bénard C., 2009- *Etude de l'impact de la nutrition azotée et DES conditions de culture sur le contenu en polyphenols chez la tomate*. Thèse de doctorat, UMR 1121 Nancy Université – INRA, Agronomie et Environnement, Ecole doctorale RP2E. 260p.
11. Benmimoune B., Daguin F., et Kaid-Harche M., 2008- Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*PistaciaveraL.*). Université « Abou Bekr Bel Kaïd », Tlemcen, Algérie. *Comptes rendus Biologie. Agronomie*. 331(2) : 164-170.
12. Berrino F, et Villarini A., 2008- Fruit and végétales and cancer. Improving the health promoting properties of fruit and végétale products. *Tomas-Barberan, F AGil, M I. Cambridge, UK., New York, USA, Woodhead publishing limited, CRC press.*, 4: 75-94.
13. Blanc D., 1985- Les cultures hors sol. *Horticole, P.H.M.* (253): 19-20.

Références bibliographiques

14. Blanc D., 1986- The influence of cultural practices on the quality of production in protected cultivation with special references to tomato production. *ActaHorticulturae*, 191: 85-98.
15. Blanc D., 1987- *Les cultures hors sol*. Ed. INRA, Paris, 409 p.
16. Bloom A. J., Sukrapanna S. S. and Warner R. L., 1991- Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant physiol*, 99: 1294-1301.
17. Bochniarz J., Bochniarz M., and Lenartowicz W., 1987- Effect of potassium and nitrogen fertilization on productivity of faba bean (*Vicia faba minor*) grown for seeds. *Pare. Pul.*, 89: 57-66 (in Polish).
18. Bokman O., 1990- *Agriculture et fertilisation*. Ed. Norsk Hydro, 171p.
19. Boulay H., 1981 - Pour la qualité de la tomate, primauté au potassium. *PHM. Revue horticole*. n°216.
20. Bradley D. B., 1957 - Tomato acidity and its relation to acid constituents mineral nutrition. Ph. D. Thesis, Rutgers. Univ-New jersey. 261-264.
21. Brun R., et Settembrino A., 1994- le pilotage de la fertilisation des cultures hors sol, *Revu., P.H.M.*, pp 8-15.
22. Callen J., 2007- *BIOLOGIE CELLULAIRE*. Ed. Dunod 2^{ème} édition, Paris, 307p.
23. Calmon P., Métivier J., 2003- Molybdène et environnement, Direction de l'environnement et de l'intervention-Service d'études du comportement des radionucléides dans les écosystèmes, 6 p.
24. Carrara S., Pardossi A., Soldatini G. F., Tognoni F., Guidi L., 2001– Photosynthetic activity of ripening tomato fruit. *Photosynthetica*, 39(1): 75-78.
25. Chaboussou F., 1972- Le rôle du potassium et de l'équilibre cationique dans la résistance de la plante vis-à-vis des maladies. *Revue de la potasse*, 23 : 1-9.
26. Champigny M. L., Vanquy L., et Valadier M. H., 1991- effet immédiat des nitrates sur la photo assimilation du CO₂ et la synthèse de saccharose dans les feuilles de blé. *C. R. Acad. Sci* 312 : 469-476.
27. Chaux C. et Foury, C., 1994- Production légumières, tome 3 (légumineuses potagères légumes fruits). Ed. Lavoisier Tec & Doc., 145-230p.
28. Coic Y. et Coppenet M., 1989- *Les oligo-éléments en agriculture et élevage*. Ed. INRA, Pris, 73-74 p.

Références bibliographiques

29. Coic Y. Et Lesaint C., 1975- La nutrition minérale en eau de plantes horticulture avancée, *Document Technique S.C.P.A, N °23, Versailles*, 21p.
30. Coic Y., 1984- Les cultures sans sol. *Revue science et vie*, 146: 68-75.
31. Coïc Y., et Coppenet M., 1989- *Les oligo-éléments en agriculture et élevage*. Ed. INRA. Paris. 73-74 p.
32. Coic Y., Lesaint C., Provot M. et Leroux F., 1966- Comparution de l'antagonisme des cations dans la nutrition minérale du maïs et de la tomate. *Ann, physiol. Veg.* 8: 87-100.
33. Coici Y., 1984- Les cultures sans sol. *Revue science et vie*, 146 : 68-75.
34. Cornillon P., 1985- Culture hors sol. Forum Graines de chercheurs, ENSAT. 165p.
35. Daniet R and Karel B., 1986- *Fundamentals of plant pathology*. Ed. W.H. Freeman, 523p.
36. Davidian J., 2007- Le soufre dans le sol et ces roles dans la physiologie de la plante. Académie d'Agriculture de France, 1-2 p., davidian@supagro.inra.fr
37. De Broglie L. A., et Guérout D., 2005- *Tomates d'hier et d'aujourd'hui*. Ed. Hoëbeke, Paris, 143 p.
38. Degioanni B., 1997- *La tomate*. Ed. Hatier, Paris, 96 p.
39. Deibert, E.J. and Utter R.A., 1997- Dry edible bean production under high residue and nitrogen fertilizer management system.
<http://www.soilsci.ndsu.nodak.edu/deibert/deibert.html#publications>.
40. Diehil R., 1975- Agriculture générale. Ed. J.B. Bailliére, *Document technique SCP. Versailles*, 23(21) : 396.
41. Dong H., Kong X., Li W., Tang W., Zhang D., 2010- Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility. *Field Crop Res*, 119: 106–113.
42. Duthion C., 1968- Le potassium dans le sol. *Revue de la potasse*, 4 : 11-19.
43. Egilla J.N., Davies F.T., Drew M.C., 2001- Effect of potassium on drought resistance of *Hibiscus rosa-sinensiscv*. Leprechaun: plant growth, leaf macro- and micronutrient content and root longevity. *Plant Soil*, 229: 213–224.
44. El Alaoui A., 2007- La fertilisation minérale des cultures, Les éléments secondaires et oligo-éléments. Bulletin mensuel d'information et de liaison, institut agronomique et vétérinaire Hassan 2, Rabat, 2-4 p.

Références bibliographiques

45. El Alaoui S. B., 2009- Référentiel pour la conduite technique de tomate. Pp 15.
46. Erard P., Jeannequin B., et Letard M., 1995- Maitrise de l'irrigation fertilisante, tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ed.Tec& Doc.
47. FAO, 2005- *Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, manuel de formation*, Projet Intrants/FAO, 25p.
48. FAO. 2012: WWW. FAOSTAT.FAO.org.
49. Feher B., 1979- Effect of nutrient supply and plant density on tomato fruit composition. *Kerteszeti Egyetem Foiskolaikara, Kecskemet, Hungary*, 11(3): 29-38.
50. Fellahi A., 1995- Influence de la température des racines sur la nutrition potassique de la tomate en condition contrôlées. Thèse d'état, Université de droit d'économie et de sciences d'Aix Marseille_3 pp 75-86.
51. Fevère J., 1976- Culture en containers. *Revue horticole*, 14 : 68-75.
52. Friedman M., 2002- Tomato glycoalkaloids: role in the plant and in the diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(21): 5751-5780.
53. Gedda A., 2007- *Le potager bio*. Ed. Eyrolles, 105p.
54. Gerard M., Souty M., Reich M., et Laurent R., 1997- Modelling the carbon use for sugar accumulation and synthesis in peach fruit. *Acta. Horticulturae*. 416p (sous presse).
55. Grasselly D., Navez B., et Letard M., 2000- *Tomate, pour un produit de qualité*. 112 p.
56. GREWAL et al., 1991- Phosphorus and potassium nutrition of potato. Central Potato Research Institute, Shimla, India. Technical Bulletin N° 31.
57. Guichard S., 1999- Flux hydriques, croissance et qualité du fruit DE TOMATE (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) En conditions estivales sous serre. *Université aix Marseille III*: 118.
58. Haeder, 1973- The effect of potassium on translocation of photosynthetic and yield pattern of potato plants. *J. SciFd. Agric.*, 1479-1487 p.
59. Heller R., 1977- *Physiologie végétale. Tome I. nutrition*. Ed. Masson et SCI, 332 p.
60. Heller R., Esnault R. et Lance C., 1998- *Physiologie végétale : nutrition*. 6ème édition. Ed. Dunod. Paris. 323p.
61. Hennion B., 2003- « Le kiwi », Ed Ctifl, pp 170-177.
62. Hezhong Dong, Xiangqiang Kong, Weijiang Li, Wei Tang, Dongmei Zhang, 2010- Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major

Références bibliographiques

- nutrients in two fields with varying fertility . *rev. (Elsevier) Field Crops Research*, 119 (2010): 106–113.
- 63.** Homes M. V et Vanshoor G. M., 1969- *La nutrition minérale des végétaux*. Ed. Masson et CIE, Paris, 162 p.
- 64.** Honeycutt C.W., Trusty G.M., 2006- *Leaf chlorophyll relationships with n status, yield and specific gravity in bean*. Plant protection research U.S. nutrition LAB., Tower.
- 65.** Hopkins W.G., 2003- *Physiologie végétale*. Ed. De Boeck. Paris.
- 66.** Huppe H. C., Turpin D. H., 1994- Integration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells. *Ann, Rev, Plant, physiol, plant Mol, Biol*, 45: 577-607.
- 67.** Ihsanullah D., HASAN SEPETOĞLU, Khan Bahadar M., GUL H., and Ijaz AHMAD KHAN, 2008- Effect of different levels of nitrogen on dry matter and grain yield of faba bean (*ViciaFaba L.*), *Pak. J. Bot.*, 40(6): 2453-2459.
- 68.** Ingestad T., etAgren G. I., 1991- The influence of plant nutrition on biomass allocation. *Ecological. Appl*, 1 (2): 168-174.
- 69.** Jean-Francois M. G., 1997- Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed, INRA, Paris, 422 p.
- 70.** Johnson G., 2007- *Biologie*. Ed. De Boeck, 782p.
- 71.** Johnson K. S., 2005- Plant phenolic as radical scavengers in the context of insect (*Manduca Sexta*) hem lymph and midgut fluid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 10120-10126.
- 72.** Joseph Mpika, Attibayeba, Alaric Makoundou, Donald Minani, 2015- Influence d'un apport fractionné en potassium et en azote sur la croissance et le rendement de trois variétés de tomate de la zone périurbaine de Brazzaville en république du Congo. *Journal of Applied Bioscience* , 94:8789 – 8800.
- 73.** Judd W. S., Cambell C. S., A. K. E.et P. S., 2002- *Botanique systématique une perspective phylogénétique*. Ed. Boeck Université, Paris, 467 p.
- 74.** Kaluzny-Pinon L., Letard M., Zambujo C., 2001- La tomate se concentre sur le goût. *Culture Légumière*, 61: 25-31.
- 75.** Khalid M., 2004- *Effect of different levels of nitrogen and seeding density on fodder yield and quality of cluster bean*. M.Sc. Thesis, Dept. Agron., Univ. of Agric. Faisalabad, Pakistan.

Références bibliographiques

- 76.** Khavari-Nejad R. A., Mostofi Y., 1998- Effects of nacl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. *Photosynthetica*, 35(1): 151-154.
- 77.** Khelil A., Menu T., Ricard B., 2007- Adaptative response to salt involving carbohydrate metabolism in leaves of a salt-sensitive tomato cultivar. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 551-559.
- 78.** Kozukue N., Han J., Lee K., Friedman M., 2004- Dehydrotomatine and alpha-tomatine content in tomato fruits and vegetative plant tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7): 2079-2083.
- 79.** Laberche J.C., 1999- *Biologie végétale*. Ed. Dunod, paris, 240p.
- 80.** Lacroix C. 1999- *Azote, culture légumières et fraisier, environnement et qualité*. Ed. Ctifl, pp 09-205.
- 81.** Lacroix M., 2011- *Nutrition en calcium, problème et prévention*. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, Québec, Ed. Ctifl, 65p.
- 82.** Lafon J.P., et Tharaud-Prayer C., 1996- *Biologie des plantes cultivées*. Ed.2, Ed. Lavoisier Tec. Et Doc., Paris, 233p.
- 83.** Laumonier R., 1979- *Culture légumière et maraichères*. Tome III. Ed. J.B. Bailliére, Paris 1276p.
- 84.** Lemaire F., 1975- Action comparée de l'alimentation azotée sur la croissance du système racinaire et des parties aériennes des végétaux. *Annals Agronomiques*, 26 : 59-74.
- 85.** Lemaire F., 1989- *Culture en pots et conteneurs*. Ed. INARA, Paris, 184p.
- 86.** Lemaire F., Dartigues A., Riviere L.M., Charpentier S., 1989-Cultures en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications. *Revue Horticole, Paris-Limoges, INRA-PHM*, 184p.
- 87.** Lemaire G., Nicolardot B., 1996- Maitrise de l'azote dans les agro systèmes. Ed. INRA, Paris, 120-135p.
- 88.** Lesaint C., 1974- Evolution de la fertilisation et de l'irrigation vers l'utilisation des solutions nutritives équilibrées. évaluation de l'état actuel des techniques et perspectives. Ed. INRA. Versailles, 2-10p.
- 89.** Lesaint C., et Coïc Y., 1983- *Cultures hydroponiques*. Ed. La maison rustique Paris, 118p.
- 90.** 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.

Références bibliographiques

91. Lévêque C., et Mounolou J., 2008- *Biodiversité, dynamique biologique et conservation*. Ed. Dunod, Paris, 132p.
92. Lindhauer M.G., 1985- Influence of k nutrition and drought on water relations and growth of sunflower (*Helianthus-annuus L.*). *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 148: 654–669.
93. Longnecker N., 1994- Nutriments deficiencies and vegetative GROWTH. In: mechanisms of plant growth and improved productivity, A. S. Basra Ed, Marcel Dekker Inc, New-York (USA), 137-172p.
94. Loue A., 1986- *Les oligo-éléments en agriculture*. Ed. SCRA, Agronathan International, 307 p.
95. MADR., 2013- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.
96. Madsen E., 1974- The effect of co₂-concentration on the occurrence of a number of acids from citric acid cycle in tomato leaves. *PhysiologiaPlantarum*, 32(1): 10-13.
97. Marschner H., 1995- *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, (London).
98. Marschner Horst and Marschner Petra, 2012- *Marschner's mineral nutrition of higher plants*: Academic press.
99. Marschner P., 2012- *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 3rd ed.; Academic Press: London, UK, 178–189.
100. Martens C., 1979- Amélioration minérale par les racines dans le sol, Station d'agronomie de Toulouse, Tech. Agri, 121p.
101. Martinez S., 2000- Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol, Forum Graines de Chercheurs, ENSAT, Toulouse.
102. Martin-Prevel P., 1978- Rôle des éléments minéraux chez les végétaux. 5 : 8-9.
103. Martin-prevel P., 1981- Rôle des éléments minéraux chez les végétaux. *Revue de la potasse*, 1(3) : 12-15.
104. Mayouf A. et Reynoud J., 2007- *La botanique de A à Z*, Ed. Dunod, Paris, pp 278-279.
105. Mbeke A.M., Kirui S.C., Kibet N.C., Welinga A.M., Musyoki S.K., Nguta C.M., 2014- Effects of nitrogen application on snap beans production in koibatek district kenya, *International Journal of Development and Sustainability*, 3 (5):1013-1025.

Références bibliographiques

106. Mengel P., 1984- Le potassium en physiologie végétale. *C.R.Academie de France*, 70: 1365-1376.
107. Mikanowski L. et Mikanowski P., 1999- *Tomate*, Ed. chêne-Hachette, Paris, 192 p.
108. Min Wang, QingsongZheng, QirongShen and ShiweiGuo, 2013- the critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14:7371-7390.
109. Mittelstraß K., Treutter D., Pleßl M., Heller W., Elstner E. F., Heiser L., 2006- Modification of primary and secondary metabolism of potato plants by nitrogen application differentially affects resistance to phytophthora infesting and alternaria solani. *Plant Biology*, 8: 653-661.
110. Moco S., Bino R. J., Vorst O., Verhoeven H. A., De Groot J., Van Beek T. A., Vervoort J., De Vos C. H. R., 2006- Liquid chromatography-mass spectrometry-based métabolome database for tomato. *Plant Physiology*, 141:1205-1218.
111. Modaihsh A.S., Taha A.A., and Mahjoub M.O., 2007- Effect of phosphorus and nitrogen fertilization and irrigation intervals on guar crop under calcareous soil, 31: 4031-4039.
112. Mohammadzadeh, Arash Majnon Husseini, Moghadam H., and Akbari M., 2012- Effect of drought tension and levels of nitrogen fertilizer on physiologic features of two genotypes of red beans, *Iran Agricultural Sciences Journal*, 14(3) 294-307.
113. Morard P., 1974- rôle physiologique du potassium chez les végétaux. *Revue de la potasse*, 10 (3) : 19-23.
114. Morard P., 1995- *Les cultures végétales hors sol*. Ed. Publication Agricoles Agen., Paris, 304 p.
115. Morard P., Berdadac A., Bertoni G., 1993- *An overall approach to plant nutrition through the use of square diagram*. 261-267. in optimization of plant nutrition, 682 p.
116. Morshed R.M., Rahman M.M., and Rahman M.A., 2008- Effect of nitrogen on seed yield, protein content and nutrient uptake of soybean (*Glycine max L.*). *Agric. Rural Dev.*, 6:13-17.
117. Mortain-Bertrand A., Stammitti L., Telef N., Colardelle P., Brouquisse R., Rolin D., Gallusci P., 2008- Effects of exogenous glucose on carotenoid accumulation in tomato leaves. *Physiologia Plantarum*, 134: 246-256.

Références bibliographiques

118. Muhammad Ayub, Muhammad Tahir, Muhammad AtherNadeem, Muhammad ArifZubair, Muhammad Tariq and Ibrahim M., 2010- Effect of nitrogen applications on growth, forage yield and quality of three cluster bean varieties, 8(2): 111-116.
119. Nasri et Khalatbari, 2015- L'effet de différentes valeurs des engrais azotés, de potassium et de zinc sur les caractéristiques physiologiques du haricot vert (*vulgaris sténopénique* Sunray). *Biological Forum - An International Journal*, 7 (2): 467-472.
120. Ozenda P. 1982- *LES VEGETAUX DANS LA BIOSPHERE*. Ed., Doins, Paris, 431p.
121. Pecaut P., Philouze J., 1968- Les variétés de tomate cultivées en France. *PHM*, 87: 4959-4973.
122. Pettigrew W.T., 2008- Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol. Plantarum*, 133: 670–681.
123. Pizto H., Borecka-Jatnro D., and Rzitsa B., 1991- Effect of NPK fertilization on yield and quality of faba bean seeds (cv. Tibo) in the conditions of south-east of Poland. *Zesz. Nauk. A.R. w Krakowie*, 262: 215-221. (in Polish).
124. Pousset J., 2002- *Engrais verts et fertilité des sols*, Ed. Agridécisions, 32-60 p.
125. Premaratne K.P., and Oertli J.J., 1994- The influence of potassium supply on nodulation, nitrogenase activity and nitrogen accumulation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grown in nutrient solution. *Fertiliser Research*, 38: 95-99.
126. Przemysław B., Alicja N., and Katarzyna A., 2014- Effect of sulphur fertilization on seed yield and yield component of broad bean on the background of different levels of potassium content in soil. *Fragm. Agron.*, 31(2): 7–17.
127. Rana Ghasempour and Majid Ashori, 2014- Impact of various planting spaces and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of green beans [cultivated] under the weather of Guilan [province]. *Centre for Info Bio Technology (CIBTech)*, 4 (S4): 2950-2956.
128. Razdan M. K. etMattoo A. K., 2007- Genetic improvement of solanaceous crops. *Tomato*, 2:637.
129. Renaud V., 2003- *Tomate. Tous les légumes courants, rares ou méconnus cultivables sous nos climats*. Ed. Ulmer, Paris, 135-137 p.
130. Renaud V., 2006-*Les tomates qui ont du gout*. Ed. Eugen Ulmer, Paris, 95 p.

Références bibliographiques

131. RESH H., 1978- *Hydroponic food production*. Ed. Woodbridjie press, Publishing company publisher, U.S.A., 287p.
132. Roland J., et Callen J., 2007- *Biologie cellulaire*, Ed. Dunod, Paris, 70p.
133. Ruskowska M., Zinkiewicz E., Wo-jcieszka U., and Giza A., 1992- Effect of ammonium nitrate on seed yield and nitrogen accumulation in two biotypes of lucerne (*Medicago media* Pets.). *Pare. Pul.*, 101: 71-87 (in Polish).
134. Sadiq E., 1976- *Interaction results of irrigation water and fertilizer on tomatoes*. Agricultural Research Center of Khorasan, Mashhad, Iran.19p.
135. Schumann E., 1996- *Tomates*. Ed. Chantecler, Belgique, 79 p.
136. Sheikh A.A., 2004- Effect of irrigation intervals, nitrogen and phosphorus application on forage yield, carbohydrates and protein contents of guar in the central region of Saudi Arabia, 11: 3-9.
137. Sionneau P., Chapellet-Lopez J., 2004- *Ces aliments qui nous soignent, la diététique alimentaire chinoise*. Paris, La Maisnie-Tredaniel, 586p.
138. Skiredj A., 2006- Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs fustigations : guide pour améliorer la production des cultures. Rabat, 1-9p.
139. Smith, 1987- Effect of cultural and environmental conditions on potatoes for processing. Dans: Talburt, W.F. et Smith O. (ed.). *Potato processing* (fourth edition). Van Nostrand ReinholdCompany, New-yok 73-146p.
140. Soltner D., 1988- *Les bases de la production végétale*, Tom II. Le sol, Coll. Sci. Agro, 453p.
141. Soltner D., 1998- *Les bases de la production végétale*, Tom III, le sol, 16ème Ed., Coll. Sci et Tech. Agri, 453p.
142. Soltner D., 2000- *Les bases de la production végétale*, Tome I : le sol et son amélioration. Ed. Coll, Sci et Tech. 472p.
143. Suzuki M., Miyakawa H., and Sato Y., 1991- Measures against decreasing yields in continuously cropped soybean. *The Crop Sci. Soc. Japan*, 34: 65.
144. Texier W., 2014- *L'hydroponie pour tous tout sur l'horticulture à la maison*. Ed. Mama, paris, 235p.
145. TindalletWestemann, 1995- Potatoes and potassium for irrigated southern Idaho soils. *Better Crops*, 4: 8-11.

Références bibliographiques

146. Urban L., 1997- Introduction à la production sous serre (l'irrigation fertilisante en culture hors-sol). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210p.
147. Verdure M., et Fauche P., 1981- Guide de fertilisation des tourbes, terreaux et autres substrats. *PHM, Revue horticole*, 220 :215 p.
148. Vilain M., 1987- *La production végétale. les composantes de la production*. Tome I. Techniques et documentation. Ed. Lavoisier. Paris, 416 p.
149. Vilain M., 1989- La production v végétale. *La maîtrise technique de la production*. Ed J.B. Bailliére, Paris, II: 109-120.
150. Vilain M., 1993- Production végétale. *Les composantes de la production*. Ed. J.L. Bailliére. Paris. 1: 458p.
151. Vilain M., 1997- *La production végétale, la maitrise technique de la production*. Ed. : Tec. et Doc., Paris, 378-427p.
152. Ward, 1959- Potassium in plant metabolism (II). *Can. J. PlantSci.*, 39: 246-252.
153. Weger H.G., Turpin D.H., 1989- Mitochondrial respiration can support no₃⁻ and no₂⁻ reduction during photosynthesis. *Plant physiol*, 89: 409-415.
154. Wiedenhoeft A., 2006 - *Plant nutrition*, Ed. Chelsea House, New York, 22-30 p.
155. Winsor G.W., 1973- *Nutrition. The U.K. Tomato manual*. Ed Grower books. London, 35-42p.
156. Wojcieszka U., Mroczkowski W., Podlena A., and Kocofi A., 1994- Effect of ammonium nitrate on nitrogenize activity in pea varieties Ramir and Koral. *Bull. Pol. Acad. Sci.* 42: 189-193.
157. Zaoui B., 2010- Tomate raisonnement de la fertilisation. *Agriculture au Maghreb*, 47 : 140p.
158. Zehler E, Forster, 1972- Potentiel de rendement des tomates en relation avec la nutrition potassique. *Revue de la potasse*, (8): 36-45.
159. Ziegler, 2008-*L'hydroponie ou culture hydroponique » maladies des plantes*. Agriculture et écologie, 16p.
160. Zuang H., Joubert G., Wacquant C. et Musard M., 1986- Tomate, quelques caractéristiques des variétés cultivées en France pour marche frais. *Revu., Horticole, P.H.M.*, 263: 22-30.