



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT : BIOLOGIE ET ECOLOGIE VEGETALE

قسم بيولوجيا و ايكولوجيا النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science biologique

Spécialité : Biologie et écologie végétale

Option : Biologie et physiologie de la reproduction

Intitulé :

**La culture hydroponique sur quelques variétés de la
tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).**

Présenté et soutenu par :

GHARBI KHAOULA BELGAT SORAYA

Jury d'évaluation :

Président du jury : Pr CHOUGUI SAIDA

Université Mentouri Constantine

Encadreur : MCA. BOUCHAREB RADIA

Université Mentouri Constantine

Examineurs : MCB. DJEROUNI AISSA

Université Mentouri Constantine

*Année universitaire
2018-2019*

Remerciements

Nous remercions, tout d'abord, Allah tout puissant, qui nous a éclairci le chemin du savoir et nous a donné la volonté et la patience nécessaire pour la réalisation de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre professeur Madame « BOUCHARB RADIA » MCA à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université des Frères Mentouri Constantine ; d'avoir accepté de diriger et d'orienter ce travail de recherche ; nous la remercions aussi pour son accueil ; son aide et ses conseils très précieux dans l'exploitation des résultats. Il est agréable d'exprimer notre pleine gratitude pour votre simplicité et votre générosité preuve de votre qualité humaine et scientifique.

Nous tenons à remercier Madame CHOUGUI SAIDA pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant d'évaluer ce travail et de présider ce jury, qu'il soit ici remercié de l'intérêt qu'il a porté à ce travail, et également Monsieur DJAROUNI AISSA d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent à tous les enseignants du département de Biologie et écologie végétale pour leurs aides et encouragements au cours de nos études.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à tout l'équipé de CRBT et les ingénieurs de laboratoire 12 surtout madame CHAREB Noura pour sa gentillesse et pour son aide.

Nos remerciements vont à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Au nom d'ALLAH Je dédie ce modeste mémoire à :

Ma chère maman Safia TLILANI (رحمة الله تغشاك)

Je dédie cet événement marquant de ma vie à la mémoire de ma précieuse perle, ma très chère maman disparu trop tôt. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, elle apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui toujours prie pour le salut de son âme jusqu'au on se rencontrera au paradis. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

Mon cher Papa Ahmed

Ma précieuse perle, qui m'a guidé vers la voie de la réussite, pour ses conseils et ses encouragements Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Puisse Dieu, le Très Haut, t'accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne te déçoive.

Mes très chères sœurs

Nassima ma soeur aînée la généreuse, Amina dont je puise ma force, Hind la douce au cœur si grand, Ma petite Rayane la prunelle de mes yeux, Dounia Ines mon âme soeur

Mon frère unique

Abdelmoumene , ma source de lumière que j'aime profondément.

Mes chers petits nièces

Hayame ,Mouhamed Adem, Siraf El Rahmane, Sadjia chemse El Acile, Ilel el Rahmane

Mes amis de toujours

Merieme , Rokia , Romiessa , Salwa

Mes collègues et mes amis de ma promotion

Surtout ma chère Nesrine et mon chère binôme Khawla

Soraya

Dédicace

*A mes chères parents ; Papa ABD EL HAMID et ma chère maman FATIMA
EL ZOHRA qui j'ai la perdu depuis longtemps, mais toujours elle était avec moi
et dans mon cœur (ربي يرحمها ان شاء الله)*

*la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ;
maman que j'adore. Qui a œuvré pour ma réussite*

*Ma meilleur chouchou d'amour ma seule sœur LAMIA qui m'encourage tout le
temps*

A toute ma grande famille

Ma deuxième mère ma chère tante NANOU

Mes chères tentes ; NANOU, NACIRA, NOURA, ZAHIRA et MONIRA

Mes oncles, mes cousins mes cousines (maternelle et paternelle)

Ma grande mère .j'espère que mon dieu l'a protégé

*Mes cousines : DHJIHANE, AMIRA, NARIMAN, NOUHA, FINICIA,
BASSMALA, TESSNIM et AFNANE*

SOFIA et ses meilleurs enfants CHAMSSOU, CHOUMAÏSSA et NOUR

Mes princesses : MOUNA ET ZAYNOUBA

Mes meilleures copines intimes : SOROUR, IMEN ET ROMAYSSA

Ma chère binôme SOREYA BELGAT

*A mes très chères amie : DJIHANE ET HOUDA et sans exceptions les ami (es)
de la promotion 2018/2019*

Enfin à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Khaoula

Résumé

La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains fruits et légumes. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nycthéral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an. Cette recherche a été faite dans une serre en verre université des frères Mentouri Constantine1.

Dans le système NFT (Nutrient Film Technique), sur quatre variétés de la tomate : Campbell33 (Inde), Super Strwh(USA), Cœur de boeuf (Algérie), Heinz1350 (USA). Le but de notre expérience est de cultiver ces variétés de tomate aux conditions de la culture hydroponique, ainsi qu'à la solution nutritive diverse avec un substrat de biles d'argile (un support naturelle), et d'étudier les paramètres morphologiques (hauteur de la plante, nombre de feuilles, surface foliaire), et les paramètres phénologiques vis-à-vis au système installé et comparées le développement des variétés entre elles.

Les résultats obtenus ont justifié le rôle prépondérant des solutions nutritive sur la croissance et le développement des variétés cultivées notamment la variété Campbell 33 et la variété Coeur de boeuf qui ont donné un bon résultat pour leur développement et surtout la précocité de la fructification qui n'a pas dépassé les deux mois par rapport la culture au sol.

De manière générale, on peut dire que l'effet direct de ce système résulte un bon développement Végétatif de plantes, traduite essentiellement par une nutrition minérale des plantes satisfaisante.

Mots clé : système NFT, culture hydroponique, paramètres morphologiques, paramètres phénologiques.

Abstract

The Hydroponic culture is very present in horticulture and in the forced cultivation of certain fruits and vegetables. It accelerates the process of fruit ripening thanks to a faster nycthemeral rhythm and allows several harvests a year.

This research was done in a glass greenhouse university of the Mentouri Constantine 1, In the Nutrient Film Technique (NFT) system, four varieties of tomato: Campbell33 (India), Super Strwh (USA), Beef Heart (Algeria), Heinz1350 (USA).

The aim of our experiment is to cultivate these varieties of tomato under the conditions of the hydroponic culture, as well as to the various nutritive solution with a substrate of clay bile (a natural support), and to study the morphological parameters (height of the plant, number of leaves, leaf area), and the phenological parameters and compared the development of varieties between them.

The results obtained justified the preponderant role of nutritive solutions in the growth and development of cultivated varieties, in particular the Campbell 33 variety and Coeur de boeuf which gave a good result for their development and especially the precocity of fruiting which does not has not exceeded two months by bringing the crop to the ground.

In general, it can be said that the direct effect of this system results in a good vegetative development of plants, essentially translated by a satisfactory mineral nutrition of the plants.

Key words: NFT system, hydroponics, morphological parameters, phenological parameters.

ملخص :

تستعمل الزراعة المائية بشكل واسع وفي الزراعة القسرية لبعض الفواكه والخضروات. فهي تسرع من عملية إنضاج الثمار كما تسمح بتوفير عدة محاصيل في السنة

تم إجراء هذا البحث بالمجمع البيولوجي شعبة الرصاص بالبيت زجاجي، كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة الأخوة منتوري قسنطينة 1 على أربعة أصناف من الطماطم في نظام (NFT) Nutrient Film Technique :
Campbell33 (Inde), Super STRHW(Californie), Cœur de bœuf (Algérie), Heinz1350 (USA).

الهدف من هذه التجربة هو زراعة هذه الأصناف من الطماطم في ظروف الزراعة المائية، مع مختلف المحاليل الغذائية مع كريات من الطين (قوام طبيعي) ودراسة المقاييس المورفولوجية (ارتفاع النبات، عدد الأوراق، مساحة الورقة)، و كذلك المعايير الفينولوجية و الكيميائية. بالتوازي مع النظام المثبت NFT، والنتائج الملاحظة تيرر دور هذا الأخير في نمو وتطور الأصناف المدروسة. اعطت هذه التغيرات المدروسة نتائج مبهرة في مدة تتراوح بين شهرين، حيث الصنف 1 campbell 33 هو الافضل مقارنة بالأصناف الاخرى من حيث (التغيرات المورفولوجية) و صنف 3 Cœur de bœuf الذي أعطى نتيجة جيدة من حيث محتوى أزوت و الفسفور على مستوى ورقة.

بشكل عام، يمكن القول أن الطماطم المزروعة في النظام المائي أسرع من تلك المزروعة في التربة، بصفة عامة نستطيع القول أن الفائدة المباشر لهذا النظام هي التطور النباتي الجيد و الحد من الأمراض النباتية.

الكلمات المفتاحية: نظام NFT، الزراعة المائية، القياسات الكيميائية، المعايير الفينولوجية.

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

PARTIE I : Synthèse bibliographique

I. La tomate (*Solanum lycopersicum L.*)

I.1. Généralité sur la tomate.....	3
I.2. Classification botanique de la tomate.....	3
I.3. Classification génétique La tomate.....	4
I.3.1. Variétés fixées.....	4
A. La tomate Campbell 33.....	4
I.3.2. Variétés hybrides.....	5
A. La tomate Cœur de Bœuf.....	5
B. La tomate Heinz 1350.....	6
I.4. Cycle biologique de la tomate.....	6
I.4.1. Phase de germination.....	6
I.4.2. Phase de croissance.....	6
I.4.3. Phase de floraison et la pollinisation.....	7
I.4.4. Phase de fécondation, de nouaison et de fructification.....	7
I.4.5. Phase de développement et de maturation des fruits.....	7
I.5. La morphologie de la tomate.....	8
I.5.1. Le système racinaire.....	8
I.5.2. Feuillage.....	8
I.5.3. Fleurs.....	9
I.6. Exigences culturales de la tomate.....	10
I.6.1. Exigences climatiques.....	10
I.6.2. Exigences écologique.....	10
I.6.3. Fertilisation.....	10
I.7. Importance économique et production actuelle de la tomate.....	10
I.7.1. La production dans le monde.....	11
I.7.2. Au niveau de l'Algérie.....	12

II. Généralité sur la culture hydroponique

II.1. Aperçus générale sur la culture hydroponique.....	13
II.2. Historique de la culture hydroponique.....	13
II.3. Différents systèmes de la culture hydroponique.....	14
II.3.1. Système hydroponique actifs et passifs.....	14
A. Un système hydroponique passif.....	15
B. Un système hydroponique actif.....	15
II.3.2. Système de table à marées (Flux-reflux).....	15
II.3.3. Système de goutte à goutte.....	16
II.3.4. Système à flux continu.....	17
II.3.5. Technique du film nutritif (N.F.T.).....	18
II.5. Exigences de la culture hydroponique.....	19
II.5.1. Les substrats.....	19
A. L'origine organique.....	20
B. L'origine minérale.....	20
II.5.2. Solution nutritive.....	21
A. Besoins en éléments nutritifs.....	21
B. Gestion de la solution nutritive.....	22
II.6. Espèces cultivées en hors-sol.....	23
II.6.1. Cultures légumiers sous serres.....	23
II.6.2. Les cultures florales.....	23
II.6.3. Arbres fruitières nains.....	23
III. La tomate en culture hydroponique	
III.1. Aperçus.....	24
III.2. Rendement en Algérie.....	24
III.2. Rendement dans le monde.....	25

IV. La culture en terre vs la culture en hydroponie

IV.1. Avantage et inconvénients de la culture en terre.....	25
---	----

IV.2. Avantage et inconvénients de la culture hydroponique.....	26
---	----

PARTIE II : Matériel et Méthode

1. Objectif de l'essai.....	27
2. Equipements et installation.....	27
2.1. Lieu de l'expérimentation.....	27
2.2. Description de système.....	27
3. Matériels utilisés.....	28
3.1. Matériels végétales.....	28
3.2. Substrat.....	29
3.3 La solution nutritive.....	29
4. Méthode de travail.....	30
4.1. Repiquage et plantation.....	30
4.2. Maintenance de la culture.....	31
5. Paramètres étudiés.....	31
5.1. Les paramètres morphologiques.....	31
5.2. Les paramètres phénologiques.....	31
5.3. Les paramètres chimiques.....	32
5.3.1. Détermination d'azote :(selon la méthode de KJELDAHL).....	32
a) Minéralisation.....	32
b) Distillation.....	32
c) Titration.....	33
5.3.2. Détermination du phosphore.....	34
a) Méthode de calcination au four à moufle.....	34
b) Dosage du phosphore par spectrophotométrie visible.....	34

PARTIE III : Résultat et Discussion

I. Paramètres morphologique.....	37
I.1. Hauteur de la tige.....	37
I.2. Nombre de feuille et Surface foliaire.....	38
II. Paramètres phénologiques.....	39
III. Paramètres chimiques.....	40
III.1. Détermination d'Azote.....	40
III.2. Détermination de Phosphore.....	40
Conclusion générale.....	42

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification botanique de la tomate (APG III).....	2
Tableau 02 : Températures requises pour les différentes phases de développement de tomate.....	8
Tableau 03 : Production mondiale de la tomate en 2016.....	9
Tableau 04 : les Avantages et les Inconvénients du système de table à marées.....	14
Tableau 05 : Les Avantages et les Inconvénients du système goutte à goutte.....	15
Tableau 06 : les Avantages et les Inconvénients du système à flux continu.....	15
Tableau 07 : les Avantages et les Inconvénients du système NFT.....	19
Tableau 08 : Inconvénients et avantage de la culture terre.....	25
Tableau 09 : Inconvénients et avantage de la culture hydroponique.....	26
Tableau 10 : Fiche technique de la tomate « Campbell 33 ».....	28
Tableau 11 : Fiche technique de la tomate « Cœur de Bœuf ».....	28
Tableau 12 : Fiche technique de la tomate «Heinz 1350».....	29
Tableau 13 : composition de solution nutritive.....	29

Liste des figures :

Figure 01 : Variété Campbell 33	3
Figure 02 : La variété Cœur de Bœuf.....	3
Figure 03 : Variétés Heinz 1350.....	4
Figure 04 : Développement du fruit de tomate.....	7
Figure 05 : Cycle de vie de la tomate.....	7
Figure 06 : Principaux pays producteurs de la tomate dans le monde.....	10
Figure 07 : Evolution des quantités transformées depuis 1989.....	10
Figure 08 : jardine suspendus de Babylone.....	12
Figure 09 : Un système hydroponique passif.....	13
Figure 10 : Un système hydroponique actif.....	13
Figure 11 : Système de table à marées.....	14
Figure 12 : Un système de goutte à goutte.....	15
Figure13 : Système NFT.....	16
Figure 14 : Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique.....	21
Figure 15 : le système NFT en serre.....	27
Figure 16 : Le semis des grains de la tomate et la germination des plantules.....	30
Figure 17 : le repiquage et plantation.....	30
Figure 18 : l'emplacement des plantules dans les conteneurs.....	31
Figure 19 : Le minéralisateur.....	32
Figure 20 : L'appareil de KJALDHL.....	33
Figure 21 : le titrage.....	33
Figure 22 : La filtration.....	34

Figure 23 : La solution de réactif Nitro-Vanado-Molybdique.....	35
Figure 24 : La solution préparée	35
Figure 25 : courbe d'étalonnage pour le dosage de phosphore P.....	36
Figure 27 : Hauteur finale (cm) des plantes de la tomate pour les 4 variétés cultivées pendant 8 semaines	37
Figure 28 : Nombre des feuilles de la plante de Tomate pour les 4 variétés.....	38
Figure 29 : Surface foliaire (cm ²) de la tomate pour les 4 variétés cultivées.....	38
Figure 30 : Les stades phénologiques de la tomate variété 1.....	39
Figure 31 : Le taux d'Azote en %.....	40
Figure 32 : Le taux de phosphore dans les feuilles de tomate en %.....	41

Liste des abréviations :

NFT : Nutrient Film Technique

N : Azote

Mt : Tonnes métriques

P : Phosphore

PH : Potentiel d'hydrogène

Qx/Ha : Quintaux / Hectare

CE : Conductivité électrique

FAO : Food and Agriculture Organization

NASA : L'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace

I.T.C.M.I : L'institut technique des cultures maraichères et industrielles

V : Volume

N : normalité

PE : prise d'essai

Introduction

Introduction :

L'agriculture est une activité pratiquée par l'homme depuis des milliers d'années, pour répondre à ses besoins alimentaires, Elle utilise le sol comme milieu ou substrat contenant les éléments nécessaires pour la croissance des plantes. Avec la maîtrise de cette activité grâce au progrès scientifique et technologique qu'a connu le secteur agricole, il est devenu possible de mener cette activité en utilisant autres substrats, voire sans substrat. Ainsi est née la culture hors sol. Ce type de culture regroupe plusieurs techniques innovantes qui se différencient par le mode d'apport des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour leur croissance. **(Essadaoui, 2013).**

De façon plus réalisée, les cultures hors-sol se sont développées parce que les performances agronomiques obtenues étaient supérieures aux performances des cultures traditionnelles en sol : la réduction du milieu racinaire associée à l'irrigation localisée, la possibilité de mieux maîtriser la température des racines, la souplesse et la mobilité des systèmes proposés permettent une meilleure maîtrise des facteurs de production. Aujourd'hui, on peut dire que c'est ce dernier critère de performance agronomique qui conduit les producteurs à se convertir à l'hors-sol. **(Alain, 2003)**

La culture hydroponique est la culture de plantes réalisée sur substrat neutre et inerte (de type sable, billes d'argile, etc.). Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et nutriments essentiels à la plante. **(William, 2013).**

La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains fruits et légumes. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nyctéméral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an **(Anonyme, 2014).**

La culture hors sol a remplacé progressivement la culture traditionnelle d'un certain nombre de légumes dans le monde. Dans les pays ensoleillés. Comme la culture de la tomate

La tomate cultivée, *lyopersicum esculentum* Mill, une plante herbacée annuelle est une plante Solanale de la famille de la solanacée.

La tomate compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde. Selon le fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), elle occupe la première place dans la production maraîchère après la pomme de terre et elle est cultivée dans plus de 170 pays. En 2009, la production mondiale de tomates s'élevait à plus de 141 millions de tonnes métriques (Mt). Cette production continue d'augmenter tous les ans de plusieurs millions de tonnes, sans tenir compte des stocks issus des cultures vivrières. **(Viron, 2010).**

Beaucoup d'expérience de physiologie végétale ont utilisé la Tomate comme matériel. Par ailleurs, il s'agit d'une plante cultivée qui a des exigences particulières, notamment de température : aussi les physiologistes et les horticulteurs ont accumulé l'observation, et l'on connaît assez bien les conditions de milieu qui permettent un développement optimum et une bonne production de fruits.

Les tomates que vous trouvez sur vos étals proviennent largement de cultures hydroponiques. Ces plantes poussent dans des systèmes N.F.T ou en goutte à goutte dans des serres de production de plus en plus modernes (gestion climatique par ordinateur, irrigation automatisée) et de moins en moins polluante (recyclage des solutions nutritives, amélioration de l'isolation pour réduire la consommation d'énergie). Ainsi, on présente les grands traits de la culture hydroponique de ce fruit venu du continent américain. C'est une plante vigoureuse mais sensible aux maladies que l'on peut guider sur un fil à la manière d'une liane Ici, on vous donne des informations sur la culture de ce légume qui peuvent être mis en pratique. **(Gilberto, 2013)**

Le but de notre travail est de réaliser une implantation dans un système hydroponique (**NFT**) et suivre les étapes de développement de la tomate du semis jusqu'à la fructification avec de comparaison avec un témoin cultivé en sol.

Ce mémoire structuré en trois grandes parties :

Partie I : Représente une synthèse bibliographique qu'il se base sur la plante de tomate en général et la culture de tomate en culture hydroponique et la description de la culture hydroponique.

Partie II : Représente une partie pratique qu'il se base sur les informations détaillées concernant la démarche et l'ensemble des méthodes et matériel utilisés pour la réalisation de ce travail.

Partie III : consacrée à la présentation des différents résultats ainsi leur discussion.

Et la fin la conclusion générale qui englobe le travail et qui conclut nos résultats.

Partie I

Synthèse bibliographique

I. La tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

I.1. Généralité sur la tomate :

La tomate appartient à la famille des solanacées, est une espèce annuelle, dicotylédone herbacée, sensible au froid et vivace en climat chaud. (Grasselley et al., 2000). D'ailleurs, elle est originaire des vallées fertiles du Mexique. Elle a d'abord été cultivée et améliorée par les indiens du Mexique, sous le nom aztèque «tomate», avant d'être ramenée en Europe par les conquistadors. 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 *cerasiforme*) qui est l'ancêtre de nos tomates actuelles. (De Broglie et Guérault, 2005).

En Algérie, se sont les cultivateurs du sud de l'Espagne, qui l'ont introduite en raison des conditions climatiques qui sont propices pour sa culture. Quand à sa consommation, elle a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'est étendue vers le centre, notamment au littoral Algérois. (Latigy, 1984).

La tomate compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde. Selon le Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), elle occupe la première place dans la production maraichère après la pomme de terre et elle est cultivée dans plus de 170 pays. Cette production continue d'augmenter tous les ans de plusieurs millions de tonnes, sans tenir compte des stocks issus des cultures vivrières. (Viron, 2010).

I.2. Classification botanique de la tomate :

La tomate dont l'appartenance à la famille des solanacées a été classée par Linné en 1753, dans le genre *Solanum* en se basant sur leurs caractéristiques visibles avec le nom scientifique *Solanum lycopersicum* L. 1753. En 1768, Philip Miller, a classé les tomates dans le genre *Lycopersicon*. Il pensait que les tomates appartenaient à un genre différent et la nommèrent *Lycopersicon esculentum* Mill. 1768. Plus récemment, les taxonomistes ont reclassé l'espèce la remettant dans le genre *Solanum* en se basant sur les techniques modernes de biologie moléculaire. (Munroe et Small, 1997).

Tableau 01 : Classification botanique (APG III) de la tomate. (Mark et James , 2009.).

Classification APG III (2009).	
Clade	Angiospermes
Clade	Eudicotyledones
Clade	Eudicotylédones supérieures
Clade	Asteridees
Clade	Lamiidees
Ordre	Solanales
Famille	Solanaceae
Genre	<i>Solanum</i>
Espèce	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

I.3. Classification génétique La tomate :

La tomate est une espèce diploïde avec $2n = 24$ chromosomes. C'est une plante autogame mais on peut avoir une proportion de fécondation croisée par laquelle la plante peut se comporter comme plante allogame. (Gallais et Bannerot, 1992).

Selon le mode de fécondation, on distingue deux types de variétés de tomates

I.3.1. Variétés fixées :

Il existe plus de cinq cent variétés (conserver les qualités parentales). Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative. (Polese, 2007).

A. La tomate Campbell 33 :

Lycopersicon Lycopersicum (L.) Karsten Ex. Farw, une variété fixée, sélectionnée par la compagnie Campbell, inscrite au catalogue européen: Campbell 33, originaire des USA. le semis des graines se fait en Janvier à Mars et le récolte Juin à septembre. Cette variété atteint une hauteur en moyenne 1,50 mètre. Elle produit de petits fruits ronds aplatis. (Anonyme, 2013).



Figure 01 : variété Campbell 33.

I.3.2. Variétés hybrides :

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (**Polese, 2007**).

A. La tomate Cœur de bœuf :

Il s'agit en fait de variétés hybrides, récentes, totalement créées par le marketing agroalimentaire Italienne 1980, sous le nom originel de *cuor di bue* pour soi-disant répondre aux goûts des consommateurs. Elles n'ont donc d'anciennes que le nom. Elle est aujourd'hui inscrite au catalogue officiel français des semences en tant que : « variétés exclusivement réservées aux amateurs ». Le semis des graines se fait en Février à Mai et le récolte des tomates d'août à Septembre. Cette variété atteint une hauteur en moyenne 1 mètre. Elle produit de gros fruit dont la forme rappelle celle d'un cœur de bovin. (**Nadasto, 2013**).



Figure 02 : La variété Cœur de Bœuf (**Nadasto, 2013**).

B. La tomate Heinz 1350 :

Est une variété très homogène, de grande vigueur, naturellement résistante aux maladies et d'un meilleur rendement. Découverte en 1963 par Henry John Heinz, d'origine États-Unis. Le semis des graines se fait en février à avril et le récolte de fin juillet à fin septembre. Cette variété atteint une hauteur en moyenne de 80 - 120 cm. Elle produit des fruits ronds, lisses, rouge, résistants au cracking. (Guinot, 2014).



Figure 03 : variétés Heinz 1350.

I.4. Cycle biologique de la tomate :

Chez la tomate, la durée du cycle végétatif complet varie selon : les variétés, l'époque et les conditions de culture. Il s'étend généralement de 3,5 à 6 mois, du semis jusqu'à la dernière récolte, et dans la culture hydroponique la durée du cycle est plus courte 3 mois au maximum. (Gallais et Bannerot, 1992).

I.4.1. Phase de germination :

C'est le passage de la graine de la vie ralentie à la vie active qui se traduit par la sortie des racines radicales et l'émergence de l'hypocotyle en surface. Les réserves sont hydrolysées et fournissent à l'embryon les métabolites nécessaires à ses synthèses et ses divisions cellulaires. La germination effectue au bout de 6 à 8 jours après le semis. (Heller, 1996).

I.4.2. Phase de croissance :

La croissance déroule en deux phases dans deux milieux différents :

A. En pépinière : la croissance dure de la levée jusqu'au stade 6 feuilles, où la plante assure la formation de racines fonctionnelles qui vont assurer l'alimentation à la plante en eau et éléments nutritifs. À la partie aérienne, la tige s'allonge et forme des feuilles.

B. En plein chaud ou serre : à partir du stade six feuilles la plante est transférée de la pépinière pour être repiquée en plein champ et continuer ainsi sa croissance. La tige augmente et le nombre de feuilles va progresser. (Laumonier, 1979).

I.4.3. Phase de floraison et la pollinisation :

C'est le développement des ébauches florales, par transformation du méristème apical, de l'état végétatif à l'état reproducteur. À un certain moment de la croissance de la plante qui dure environ un (01) mois, la tomate entre en parallèle avec la mise à fleur. Ces fleurs étaient auparavant des boutons floraux. La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante. (Shankara *et al.*, 2005). La pollinisation nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui provoque la vibration des anthères, libérant ainsi le pollen pour la pollinisation. (Chaux et Foury, 1994).

I.4.4. Phase de fécondation, de nouaison et de fructification :

Le temps écoulé entre la pollinisation et la fécondation est 2 à 3 jours. Une bonne nouaison se produit à une température nocturne comprise entre 13°C et 15°C. Les nuits chaudes à l'inférieur 22 °C sont défavorables à la nouaison. (Rey et Costes, 1965).

I.4.5. Phase de développement et de maturation des fruits :

La maturation de fruit se caractérise par grossissement du fruit, changement de couleur, du vert ou rouge. Le pistil qui se développe pour former le fruit. La paroi de l'ovaire s'épaissit et les ovules qui ont été fécondés se transforment en graines qui contiennent les embryons. Le reste du pistil (style et stigmate) disparaît, ainsi que les pétales et les étamines qui tombent (Shankara *et al.*, 2005).

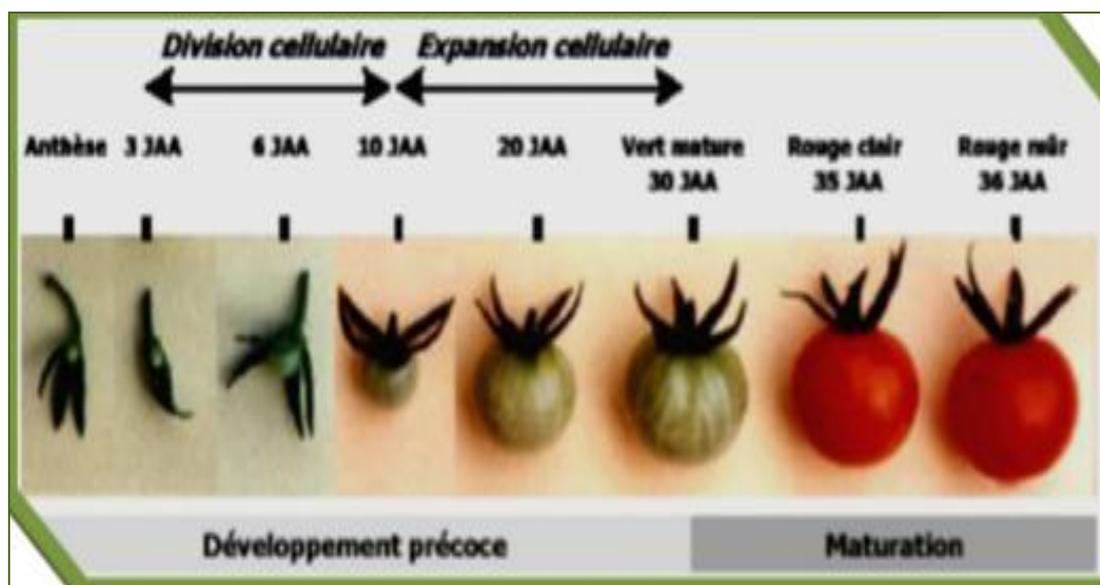


Figure 04 : Développement du fruit de tomate. (Gillapsy *et al.*, 1993).

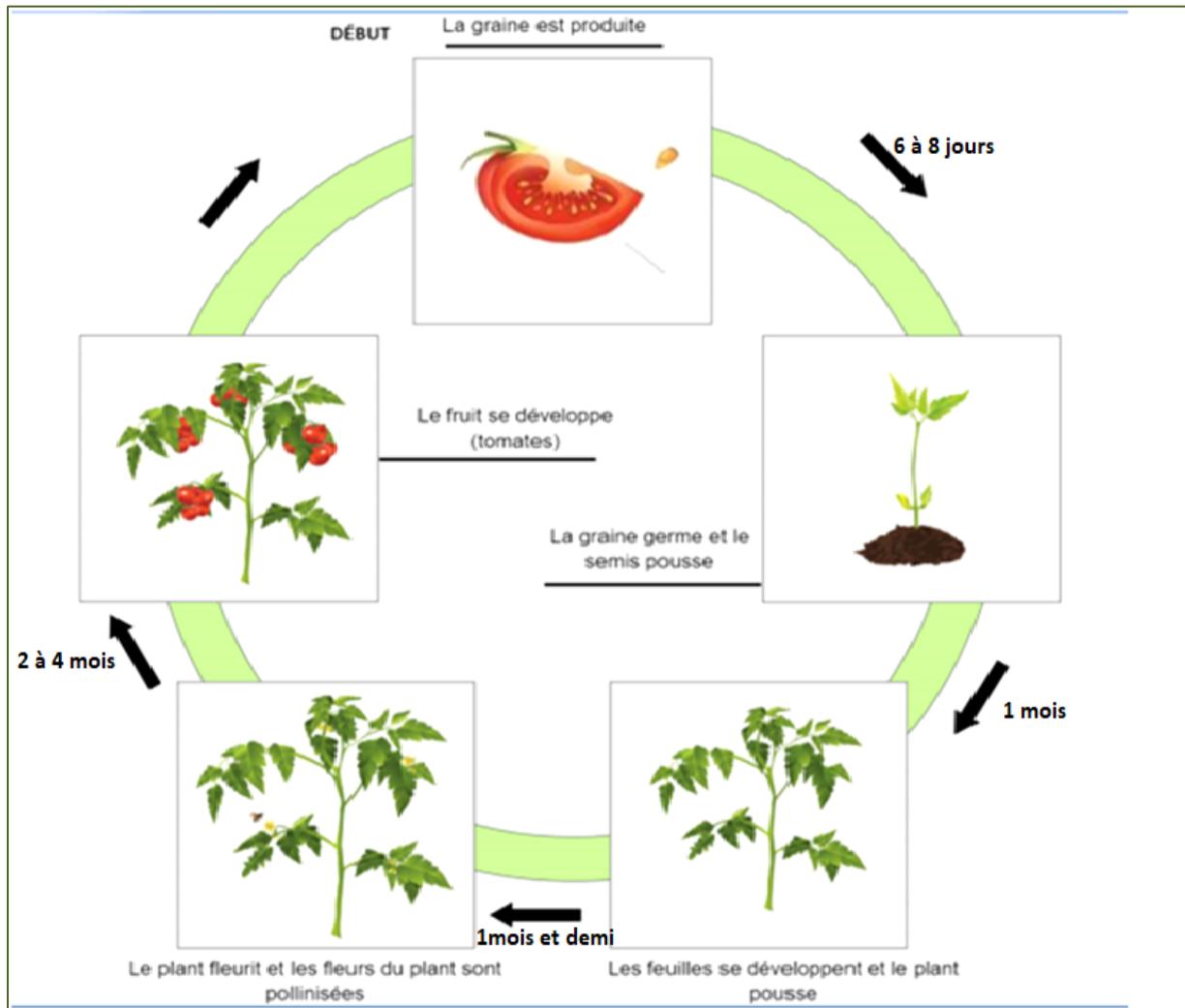


Figure 05 : Cycle de vie de la tomate. (Gillapsy et al., 1993).

I.5. La morphologie de la tomate :

I.5.1. Le système racinaire:

Forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices. (Shankara et al., 2005).

I.5.2. Feuillage :

- Feuilles disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm. (Shankara et al., 2005).

- 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. (Mortain, Bertrand *et al.*, 2008).

- Les feuilles de tomates sont toxiques à cause des quantités importantes d'alcaloïdes qu'elles contiennent. Par exemple, déhydrotomatine 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 et le virus de la mosaïque du tabac. (Friedman, 2002).

- Les parties végétatives de la tomate (racine, tiges et feuilles) sont les compartiments les plus riches en azote, elles contiennent environ 6g d'azote pour 100g de MS. (Toor *et al.*, 2006). Les concentrations en polyphénols des feuilles étaient accrues par une diminution des apports en azote. (Stewart *et al.*, 2001).

- Au niveau de la plante de tomate, l'accumulation du phosphore se fait de façon égale dans les feuilles et dans les ramifications. En cas de pH faible (4,6), la teneur du phosphore accumule dans les feuilles est de 0,5 %, l'élévation du pH à 6,2 par chaulage, réduit cette teneur dans les feuilles de 30%. (Anonyme, 2018).

I.5.3. Fleurs :

Bisexuées, régulières de 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. En général il y a 5 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres. Il y a 5 étamines et les anthères ont une couleur jaune. L'ovaire est supère avec 2 à 9 carpelles, de formule florale suivant : $(5S) + (5P) + (5E) + (2C)$. En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu. (Shankara *et al.*, 2005).

I.5.4. Fruits :

Baie charnue de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. (Shankara *et al.*, 2005).

I.6. Exigences culturales de la tomate :

I.6.1. Exigences climatiques :

Tableau 02 : Températures requises pour les différentes phases de développement de tomate. (ITCMI, 2015).

Stade de croissance	Temperature du sol	Temperature de l'air	humidite de l'air
Germination	20 à 30°C	20°C	60 à 65 %
Croissance des semis	20 à 25°C	26°C jour, 20°C nuit	60 à 65 %
Floraison	15 à 18°C	23°C Jour, 17°C nuit	60 à 65 %
Fécondation	15 à 20°C	25°C jour, 17°C nuit	60 à 65 %
Développement	18 à 20°C	20 à 23°C	60 à 65 %

I.6.2. Exigences écologique :

➤ Sol :

La tomate préfère des sols riches en matières organiques, meubles et profonds, à forte capacité de rétention en eau, mais bien aérés. Elle tolère modérément l'acidité du sol ou son optimum est entre 5,5 et 6,8. (Naika *et al.*, 2005).

➤ pH :

La tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH (niveau d'acidité, mais pousse le mieux dans des sols où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8 et où l'approvisionnement stimule une bonne croissance. (Shankara *et al.*, 2005).

➤ Eau :

Les besoins en eau de la tomate se situent entre 4000 et 5000 m³/Ha. (ITCMI, 2015).

I.6.3. Fertilisation :

On admet que la production d'une tonne de tomate requiert environ : 2,2 à 2,7 kg d'azote, 0,7 à 0,9 kg de phosphate 3 à 3,9 kg de potasse 0,5 à 1 kg de magnésium. (ITCMI, 2015).

I.7. Importance économique et production actuelle de la tomate :

La tomate occupe une place très importante dans l'agriculture mondiale. Elle est cultivée dans presque tous les pays du monde; sa production est répartie dans toutes les zones climatiques, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri. (Desmas, 2005).

I.7.1. La production dans le monde :

La tomate est la 2eme culture légumière après la pomme de terre par sa production au niveau mondial. (FAOSTAT, 2016).

Une production de plus de 34 millions de tonnes sur 4,98 millions ha annuellement. La production mondiale de tomates a battu un record historique en 2016, dépassant les 177.000 millions de kilos, selon les données de FAOSTAT. Plus précisément, au cours de cette année, il y avait une production totale de 177.042 millions de kilos, soit 29,08% de plus qu'il y a dix ans. Dont la superficie consacrée à la production était de 4 782 754 hectares avec un rendement moyen de 3,7 kilos/m2. (FAOSTAT, 2016).

Tableau 03 : Production mondiale de la tomate en 2016. (FAO Stat, 2016).

Payes	Production (T)
Chine	56 308 910 T
Inde	18 399 000 T
Etats-Unis	13 048 410 T
Turquie	12 600 000 T
Egypte	7 943 000 T

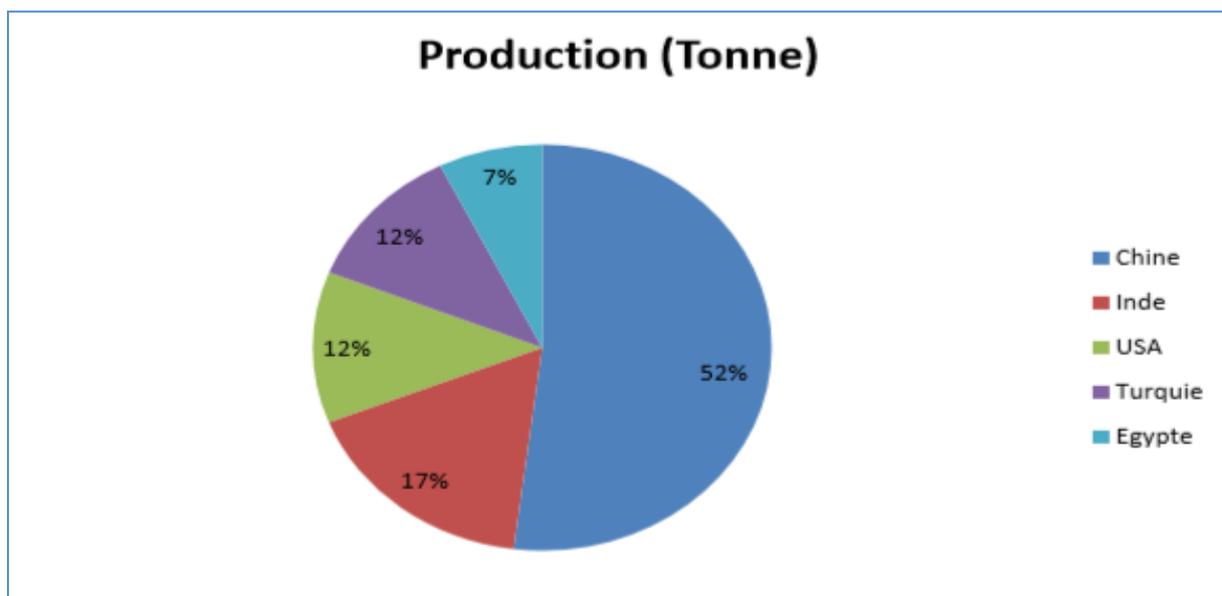


Figure 06 : Principaux pays producteurs de la tomate dans le monde (FAO stat, 2016).

I.7.2. Au niveau de l'Algérie :

Selon l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI), les superficies plantées cette année avoisinent les 23 000 ha pour une production attendue d'environ 14.000.000 de quintaux. (Imene A., 2018).

Le rendement a été de 428 qx/hectare pour la tomate plein champ et 1.225 qx/hectare pour la tomate sous serre. Les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont Biskra avec une production de 2,33 millions de qx, Mostaganem avec une production de 1,33 million de qx, Tipaza avec 1,04 million de qx et Ain Defla avec 728.250qx. (Amokrane, 2018).

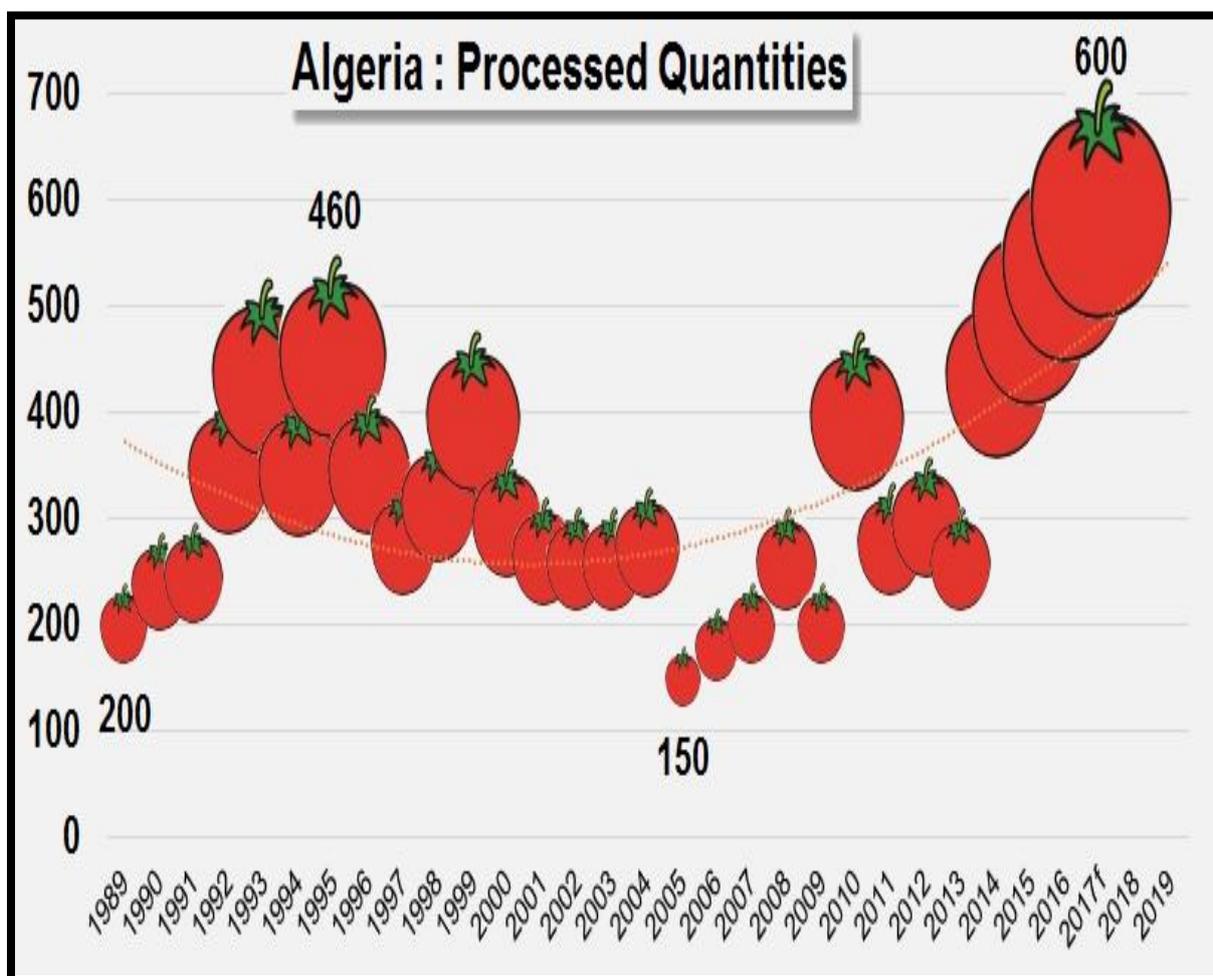


Figure 07 : Evolution des quantités transformées depuis 1989. (Branthôme, 2017).

II. Généralité sur la culture hydroponique

II.1. Aperçus générale sur la culture hydroponique :

Le mot « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « travail ». On peut l'interpréter de différentes façons : « l'eau au travail », « le travail avec l'eau », ou encore « le travail de l'eau ». (William, 2013). 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. (Alain, 2003).

Cette technologie de production végétale caractérisée par une alimentation minérale des racines avec une solution nutritive ne nécessitant pas de support solide. Si, par contre, un support est utilisé, celui-ci est qualifié du terme général de « substrat ». (Yves, 2008). La culture hydroponique est la culture de plantes réalisée sur substrat neutre et inerte (du type sable, billes d'argile, etc.). Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et nutriments essentiels à la plante. La culture hydroponique permet également une automatisation de la culture : température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide «EC », ventilation. Cette technique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nyctéméral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an. (William T., 2013).

II.2. Historique de la culture hydroponique :

La culture des plantes dans des conteneurs par-dessus du sol a été tentée à différentes époques à travers l'histoire.

Les célèbres jardins suspendus de Babylone (600 avant J.-C.), auxquels il est souvent fait référence comme à la première utilisation connue de l'hydroponie. En réalité, ce n'est pas tout à fait exact : les plantes y poussaient bien dans des rigoles, leurs racines étaient bien irriguées d'un filet d'eau ininterrompu, mais les rigoles étaient remplies de terre. En 1100 certaines tribus d'Amérique du Sud et du Mexique, mais aussi et surtout les Aztèques, mirent au point des structures flottantes appelées « chinampas » pour accroître la surface de leurs terres arables. 1699 John Woodward, membre de la Royal Society of England, historien, naturaliste et passionné de botanique, mena une expérience démontrant que les plantes tirent leur nourriture du sol et de l'eau. En 1860 un scientifique allemand, Julius Von Sachs, publia la formule d'une solution nutritive soluble dans l'eau destinée à favoriser la croissance des plantes. Avec l'aide d'un agrochimiste du nom de Knop, il posa les premières fondations de la culture à base d'eau. (William, 2013).

Dans les années 1929, William Frederick Gerick Berkeley a fait publiquement la promotion de cette culture comme solution utilisée pour la production agricole. Gerick a fait pousser des tomates à vingt-cinq pieds de haut dans des solutions nutritives minérales plutôt que le sol. Il a aussi inventé le terme de la culture hydroponique en 1937 pour la culture des plantes dans l'eau. En 1960, Allen Cooper en Angleterre a développé la technique du film des éléments nutritifs. En 1980, de nombreuses fermes hydroponiques automatisées et informatisées ont été établies dans le monde entier. Au cours des dernières décennies, la NASA a effectué des recherches approfondies en hydroponie pour leur système contrôlé de soutien à la vie écologique ou CELSS. (Jorge, 2013).



Figure 08 : jardine suspendus de Babylone.

II.3. Différents systèmes de la culture hydroponique :

Tous les systèmes hydroponiques sont plus ou moins composés des mêmes éléments: un réservoir, une pompe, un système de support, des tuyaux d'arrivée d'eau, des tuyaux d'évacuation et un conteneur de culture, qu'il s'agisse d'une rigole ou d'un plateau. Néanmoins, il existe de nombreuses façons de concevoir et d'organiser ces différents éléments. Ils peuvent être classifiés en fonction de plusieurs critères : pompe à air ou pompe à eau, à base de substrat ou sans substrat. (William, 2013).

II.3.1. Système hydroponique actif et passif :

Les systèmes hydroponiques se différencient par la façon dont la solution nutritive est distribuée. Une première distinction est faite entre les procédés d'absorption passive et les procédés actifs. (Jorge, 2013).

A. Un système hydroponique passif :

Un système à mèche fonctionne tout seul. La mèche remonte la solution nutritive aux racines par capillarité en l'absence de toute pièce susceptible de mal fonctionner. (Jorge, 2013).



Figure 09 : Un système hydroponique actif. (Jorge C., 2013).

B. Un système hydroponique actif :

Les systèmes hydroponiques actifs sont les plus performantes ; irrigation est déclenché quand il faut et à la juste quantité, conformément aux besoins des plantes. La circulation de la solution nutritive dans un système actif permet d'augmenter la concentration en dioxygène (O₂) et d'homogénéiser la soupe nutritive. Ils permettent aussi d'obtenir des cycles de saturation en eau/sècheresse du substrat, contrairement aux systèmes passifs. (Gilberto, 2013).



Figure 10 : Un système hydroponique actif. (Jorge, 2013).

II.3.2. Système de table à marées (Flux-reflux) :

Les tables à marées, basées sur l'alternance du remplissage et du drainage, sont populaires car elles ont largement démontré leur facilité d'utilisation et d'entretien. Les plantes, en pots individuels ou dans des cubes de laine de roche, sont installées sur une table spéciale. La table est en réalité un plateau de culture qui peut contenir de 2 à 5 cm de solution nutritive. En s'écoulant, l'eau crée un appel d'air riche en oxygène, qui entre en contact avec les racines. (Jorge, 2013).

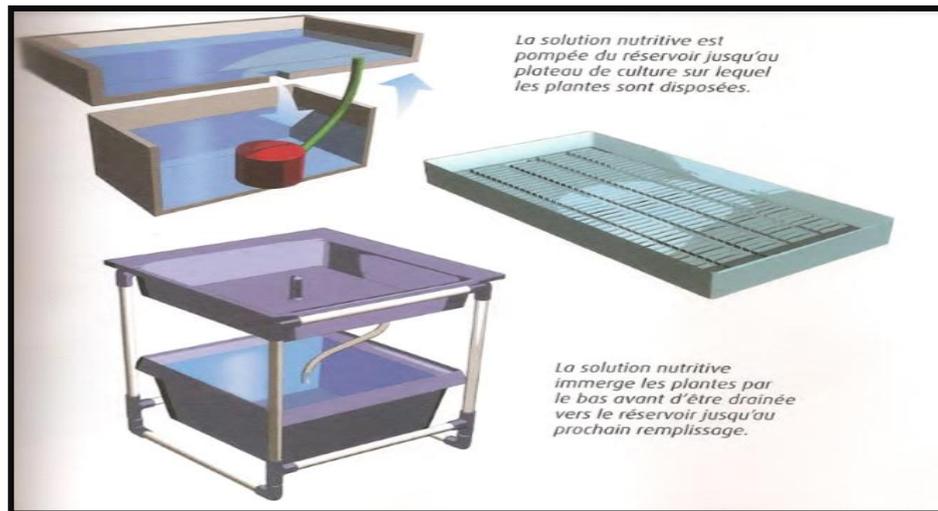


Figure 11 : Système de table à marées. (Jorge, 2013).

Tableau 04 : les Avantages et les Inconvénients du système de table à marées. (Lecter, 2004).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'achat assez réduit. • Facile à nettoyer entre 2 cycles. • Encombrement réduit en hauteur. • Facilité d'emploi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Légèreté du couvercle qui peut amener à le changer régulièrement. • Manque de brassage de la solution dans la cuve. • Nécessite un minuteur assez précis de façon à optimiser les cycles de marées.

II.3.3. Système de goutte à goutte :

Le Waterfarm ou système similaire de goutte à goutte est constitué de 2 bacs. Le bac inférieur contient la solution, le supérieur contient le substrat (bille d'argile en général) et les plantes. (Lecter, 2004).



Figure 12 : Un système de goutte à goutte (Jorge, 2013).

Tableau 05 : Les Avantages et les Inconvénients du système goutte à goutte. (Lecter, 2004).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'achat assez réduit. • Facilité d'emploi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite souvent une grande quantité de substrat. • Laborieux à vidanger vu la contenance.

II.3.4. Système à flux continu :

Cette technique permet aux plantes de s'épanouir pleinement. Les plantes poussent dans des bacs opaques remplis le plus souvent de billes d'argile, car ce substrat n'engendre pas de déchets et donc n'encrasse pas le réservoir qui est placé au-dessous. Le mouvement continu du flux de la solution fait se gorger d'oxygène et humidifie constamment les racines ; celles-ci y puisent la nourriture plus facilement. (Anonyme, 2011).

Tableau 06 : les Avantages et les Inconvénients du système à flux continu (Anonyme, 2011).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Simple d'installation • Diminue l'évaporation car l'arrosage se fait directement aux racines • Engendre de très grosses récoltes à petites échelles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il engendre une forte augmentation de l'humidité. • Il n'est pas économique en eau car ce système subit fort l'évaporation de sa solution.

II.3.5. Technique du film nutritif (N.F.T.) :

Le système Nutriments Film Technique (N.F.T.) a été inventé en 1979 par l'anglais Allen Cooper. Ce système de culture utilisé par les professionnels de l'horticulture ne requiert pas de substrat, mais demande une solution nutritive sans pathogène.

L'apport en éléments nutritifs provient d'une solution nutritive irriguant le substrat dans le cas des techniques de culture en eau profonde et sur film nutritif. Elle est composée des éléments nécessaires à la croissance de l'espèce cultivée. Cette dernière est composée spécifiquement pour apporter les éléments nécessaires à la croissance de la plante cultivée. Les plantes vont absorber ces éléments via leurs racines qui sont immergées dans la solution (Soucy, 2016). Les plantes sont disposées avec leurs mottes de substrats sur des plateaux de culture légèrement inclinés. Une bâche opaque assure l'obscurité nécessaire aux racines. Le liquide nutritif circule sur les plateaux sous la forme d'un fin film qui entre en contact avec les racines. Celles-ci se développent sur un tapis racinaire. L'oxygénation de la solution nutritive s'effectue par son déplacement dans les gouttières et par la grande surface d'échange du liquide avec l'air. (Gilberto, 2013).

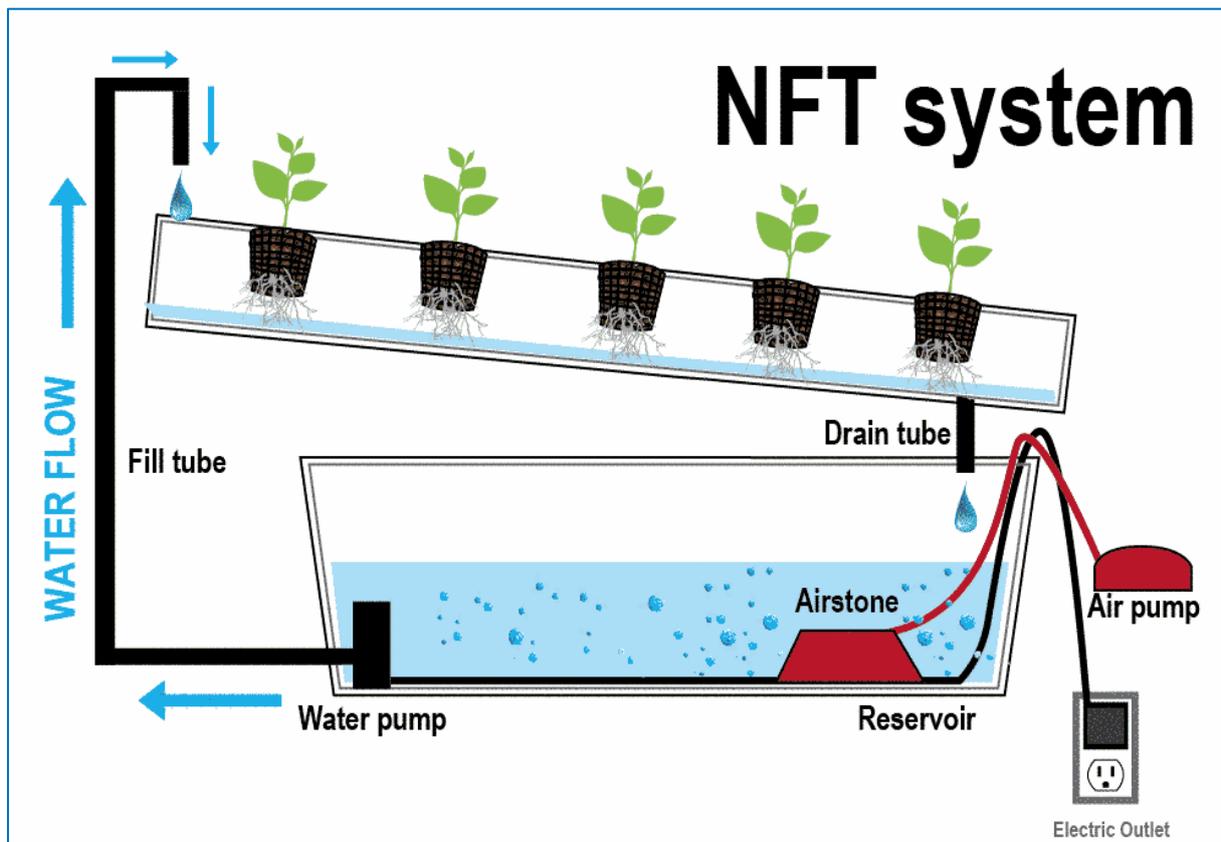


Figure13: Système NFT. (Anonyme, 2013).

Tableau 07 : les Avantages et les Inconvénients du système NFT. (Gilberto ,2013).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes N.F.T ont une hauteur limitée, ce qui permet d'optimiser l'espace en hauteur et éviter de brûler le sommet des plantes sous l'action de la chaleur des ampoules horticoles. • L'accessibilité aux plantes est bonne puisqu'il les gouttières sont généralement surélevées. • Le principal avantage réside dans les faibles volumes de solution nutritive nécessaire pour mener à bien une culture. Ce système «recycle » la solution nutritive donc on limite la consommation d'intrants (eau, engrais). • Il est également possible d'installer un dispositif de chauffage dans le réservoir et d'atteindre rapidement une température souhaité aux racines. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le cauchemar du cultivateur sur N.F.T, c'est la panne d'électricité prolongée, surtout pour les horticulteurs disposant de systèmes étendus (en surface). • L'inconvénient majeur propre aux systèmes en circuits fermé est la propagation des maladies /agents pathogènes d'une plante sur l'ensemble de la culture. • Quand les températures sont élevées dans l'espace de culture. Le réservoir étant rempli d'un petit volume de solution nutritive. • L'absence de substrats impose une surveillance quotidienne du fonctionnement du système.

II.5. Exigences de la culture hydroponique :

II.5.1. Les substrats :

Le terme de substrat en agriculture s'applique a 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 de support. (Blanc, 1987).

En culture hors-sol, les substrats ont un rôle de support solide. Ils n'ont pas de rôle nutritionnel direct puisque l'intégralité de l'alimentation en eau et de la nutrition minérale est apportée par la solution nutritive. Le choix d'un substrat se fait donc en fonction de ses propriétés mécaniques, physiques, chimiques et biologiques. (Serge et Janice, 2009).

En culture hors-sol, une multitude de matériaux sont disponibles afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique ou organique. (Valerie, 2015).

A. L'origine organique :

- **Tourbe** : L'appellation générale « tourbe » regroupe un grand nombre de matériaux qui renferment au minimum 75% de matière organique (sur base poids sec). (**Morel et al. 2000**). Ce sont des matériaux d'origine végétale, essentiellement organiques mousses, plantes vasculaires, plantes à fleurs et feuillus. Les propriétés fondamentales des tourbes sont : le comportement mécanique (élasticité, retrait), (rétention d'eau, aération) et chimique (teneur en azote et rapport carbone/azote).(**Bottraud, 1980**).
- **Fibre de coco** : La fibre de coco ou moelle est une ressource naturelle et renouvelable produite à partir de cosse de noix de coco. Les cosses sont broyées, les fibres longues et moyennes sont enlevées, le coir restant étant constitué d'une moelle granulaire avec des fibres courtes. Il a de grandes capacités de rétention d'eau et de nutriments mais a une faible capacité d'échange de cations. Avec un pH de 5,7 à 6,5, le chaulage n'est pas requis. (**Anonyme, 2012**).
- **Sphaigne** : C'est une plante aquatique, mousse, hydrophyte qui peut être partiellement décomposée. Son poids frais représente 10 fois de son poids sec grâce à une bonne rétention de l'eau (**Kyngjae, 2014**).

B.L'origine minérale:

- **Graviers** : Ces granulats minéraux destinés à la construction et aux travaux publics sont tirés des carrières (granite, basalte, calcaires durs) concassés puis calibrés pour donner des grains anguleux aux arêtes vives, d'autres sont tirés de rivières une fois calibrés, les grains sont arrondis ou émoussés. Ce sont en général des produits siliceux contenant des matériaux calcaires. (**Titouna, 2010**).
- **La vermiculite** : Est une argile phylliteuse (en feuillet ou mica) qui contient de l'eau. Lorsqu'elle est traitée à une chaleur d'environ 1100°C, l'eau comprise entre les feuillets provoque un gonflement de 10 à 12 fois l'épaisseur initiale produisant des fragments de 1 à 6 mm. (**Morard, 1995**).
- **La perlite** : Est un sable siliceux d'origine volcanique chauffé à plus de 1000°C qui fond et gonfle d'environ vingt fois son volume. Il en résulte des perles blanches vitreuses, légères, très poreuses, contenant 75% de silice initiale. (**Morard, 1995**).
- **Les billes d'argile** : Ce matériau ressemble à de petites boules brunes que l'on utilise pour recouvrir les pots de fleurs, les granulés sont obtenus par un traitement de forte chaleur de l'argile. L'argile expansée possède un bon pouvoir isolant, ce qui est nécessaire pour protéger les racines des changements de température. Il est composé de

silice, d'alumine, d'oxydes de fer, et de soufre. Sa capacité de rétention en eau est de 15% en masse. (Anonyme, 2011).

Les substrats organiques	Les substrats minéraux
<p data-bbox="435 479 587 510">Polystyrène</p> 	<p data-bbox="1018 490 1222 521">Argile expansée</p> 
<p data-bbox="448 824 574 855">La tourbe</p> 	<p data-bbox="1023 808 1209 840">Laine de roche</p> 
<p data-bbox="459 1243 563 1274">Terreau</p> 	<p data-bbox="1042 1243 1193 1274">Vermiculite</p> 

Figure 14 : Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique. (Bedrane, 2016).

II.5.2. Solution nutritive :

Une solution nutritive est une solution de sels minéraux contenant à l'état dissout toutes les éléments minéraux dont la plante a besoin. Ce qui implique que les besoins en eau et les ions minéraux soutiennent parallèles. Cette solution nutritive doit être complétée équilibrée « équilibre entre l'eau et chaque un des ions suivant les besoins relatifs de la plante, en plus une égalité équivalente entre anions et cations » (Bouhadja, 2008).

A. Besoins en éléments nutritifs :

Un élément essentiel est un élément chimique dont une plante a besoin durant son cycle de développement, qui consiste à passer de l'état de graine à la production d'une autre génération de graines. (El Houssine, 2006).

On divise généralement les éléments essentiels à une plante en :

- **Éléments majeurs ou macroéléments :** Azote(N), potassium(k) et le phosphore (P)

Ce sont ceux dont la plante a besoin en plus grande quantité.

- **Les nutriments ou les éléments secondaires :** le calcium Ca, le magnésium Mg et le soufre S, ils sont nécessaires en moins de quantité par apport aux les macroéléments.

Éléments mineurs ou oligoéléments (macroéléments) : le fer le zinc le manganèse Bore chlore. (Jorge, 2013).

A. Gestion de la solution nutritive :

La nutrition optimale soit facile à réaliser dans la culture hors-sol, la gestion incorrecte de la solution nutritive peut endommager les plantes et conduire à un échec complet. Manipuler avec précaution le niveau de pH de la solution nutritive, la température et la conductivité électrique et le remplacement de la solution à chaque fois que c'est nécessaire conduira à la réussite d'un jardin de culture hors-sol.(Sonneveld et Voogt, 2009).

➤ **Le pH :**

La gamme de pH optimale pour la solution nutritive de culture hors-sol est comprise entre **5,8-6,5**. Plus le pH d'une solution nutritive dépasse la gamme de pH recommandée, plus on a de chances d'échouer. chaque espèce cultivé a un ph spécifique la tomate entre **5.5-7.5**. (Sonneveld et Voogt, 2009).

➤ **Conductivité électrique (CE) :**

La conductivité électrique indique la concentration de la solution nutritive, elle mesurée par un conductimètre. L'unité de mesure de la CE est le dS/m. La CE idéale est spécifique à chaque culture et dépend des conditions environnementales. Pour les systèmes hydroponiques les valeurs de la CE sont de 1,5 à 2,5 ds/m. (Sonneveld et Voogt, 2009).

➤ **Température :**

La température de la solution nutritive présente une relation directe avec la quantité d'oxygène consommée par les plantes, et une relation inverse de l'oxygène dissous en elle. (Samarakoon et al., 2006).

II.6. Espèces cultivées en hors-sol :

Avec un système hydroponique, vous n'êtes pas vraiment limité dans le type de plante que vous souhaitez cultiver, avec un conteneur assez grand, vous pouvez toujours faire pousser un arbre en leur sein, il s'agit de vérifier les exigences de la plante elle-même pour assurer un milieu pour la croissance et les niveaux de nutriments appropriés dans la solution utilisée. (Morrow, 2015).

II.6.1. Cultures légumiers sous serres :

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

- **La tomate :** Est largement cultivée en hors-sol: laine de roche, fibres de coco, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes.
- **Le concombre, l'aubergine, le poivron :** n laine de roche principalement et aux Pays-Bas surtout (+ France, Belgique, Danemark et Grande-Bretagne pour le concombre)
- **La laitue** sur bandes de laine de roche ou en hydroponique mais de façon très peu développée compte-tenu de la faible rentabilité économique du hors-sol sur cette production (il existe cependant des productions hydroponiques de laitues en Belgique et au Québec).
- **Le fraisier:** en laine de roche, en coco ou en conteneurs de terreaux tourbeux en Belgique, Grande-Bretagne et aux Pays-Bas. (Alain, 2003).

II.6.2. Les cultures florales :

Les premiers essais remontent au début des années 80, d'abord sur œillets en sacs de tourbe puis en laine de roche, puis sur gerberas et roses. (Alain, 2003).

II.6.3. Arbres fruitiers nains :

Les travaux de montrent que. On peut aussi cultiver des choses plus exotiques comme les orangers nains ou même les citrouilles, vous devrez juste vous assurer que vous avez le bon milieu et les nutriments nécessaires. (Morrow, 2015).

III. La tomate en culture hydroponique :

III.1. Aperçus sur la tomate cultivée en hydroponie :

Les tomates que vous trouvez sur vos étals proviennent largement de cultures hydroponiques. Ces plantes poussent dans des systèmes N.F.T ou en goutte à goutte dans des serres de production. Les principaux substrats utilisés pour la culture de la tomate sont la laine de roche, aussi depuis quelques années la fibre de coco fait une belle percée dans le monde horticole notamment pour ses caractéristiques chimiques et physiques mais aussi pour son côté propre, écolo. **(Gilberto, 2013).**

La culture sous serre présente de nombreux avantages. Elle permet un contrôle des conditions climatiques dans le but d'optimiser la production en augmentant les rendements, en améliorant la qualité commerciale et en allongeant les périodes de production. D'un point de vue social, elle permet également d'obtenir des conditions de travail plus agréables pour les ouvriers. C'est donc un avantage certain, notamment dans le cas de la tomate qui nécessite des températures assez chaudes pour se développer. Cela demande cependant une technicité élevée puisqu'il faut rentabiliser cet investissement. Cependant, la serre est un outil qu'il faut maîtriser pour qu'il soit intéressant. En effet, l'installation d'une serre représente un investissement important. C'est une technologie qui va nécessiter du personnel qualifié et qui va évoluer rapidement : elle doit donc être bien utilisée pour obtenir une rentabilité correcte pour le producteur. La concurrence internationale étant rude, il est nécessaire pour les producteurs de réduire au maximum leurs coûts de production pour être compétitif tout en conservant une certaine rentabilité. **(Thybaud, 2015).**

III.2. Rendement de la tomate cultivée en hydroponie :

- **En ALGERIE :**

Selon les responsables du ministère de l'agriculture, la superficie réservée à la culture de la tomate industrielle a connu une « évolution sensible », favorisée par le recours au système d'irrigation localisé «goutte à goutte» (l'hydroponie) qui a permis l'économie de l'eau et a répondu aux préoccupations des producteurs. Selon les données présentées au ministère, pas moins de 3200 hectares réservés à la tomate industrielle à El Tarf ont été irrigués en année 2018 par le système goutte à goutte sur un total de 4170 ha, soit un taux de 77%, contre 2 600 ha en 2017 dont 1500 ha irrigués en goutte à goutte. **(Imene A.,2018).**

- **Dans le monde :**

culture hydroponique, on réalise 90 à 120 tonnes par hectare pour un cycle de culture de trois mois à un niveau. (Kouassi, 2009).

IV. La culture en terre vs la culture en hydroponie :

IV.1. Inconvénients et avantage de la culture terre :

Tableau : Inconvénients et avantage de la culture terre. (William, 2013 et Jorge, 2013)

avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Goût un peu plus « roots » parfois. • Coût de revient d'une installation de départ moindre. • Consommation d'engrais inférieure à celle de la culture hydroponique. • Possibilité de pratiquer une culture bio. • Entretien simplifier du matériel. • Récolte plus importante si c'est en extérieur. • Pas de vérification du PH ni de l'EC à effectuer régulièrement. • Limitation des problèmes de PH dû à l'effet tampon de la terre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Saleté accrue due à la manipulation de terre. • Obligation d'arroser régulièrement. • Présence accrue de « squatteurs » dans le substrat. • Difficulté d'apprécier l'arrosage pour un débutant. • Difficulté pour gérer les engrais pour un débutant. • Difficulté d'éradiquer les maladies et autre champignon. • Demande un minimum d'expérience pour élaborer un bon terreau. • Rempotages à effectuer. • Rendement inférieur à celui d'une culture hydroponique.

IV.2. Avantage et inconvénients de la culture hydroponique :

Tableau : Inconvénients et avantage de la culture hors sol.
(William, 2013 et Jorge, 2013).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Possibilité de s'absenter quelques jours grâce à l'automatisation relative d'un ● Rendements souvent supérieurs à celui d'une culture en terre (suivant l'expérience bien sûr) ● Traitement simplifié des carences, maladie ou champignons par rapport à la terre. ● Propreté optimale. ● Substrat réutilisable à l'infini (billes d'argile). ● Pas de souci de sur/sous arrosage. ● Un seul système est nécessaire pour tout le cycle. ● Moins d'attaques nuisibles du sol. ● Meilleure maîtrise de la précocité. ● Intense agriculture à forte production à la récolte. ● Meilleurs rendements surtout pour la culture de la tomate et autres cultures maraîchères. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Coût élevé au commencement de la culture dû à l'achat du matériel. ● Obligation de surveiller régulièrement le PH et l'EC. ● Consommation accrue d'engrais. ● Obligation d'accroître la sécurité à cause de la proximité de l'eau et des câbles. ● Nécessite l'utilisation des bacs de qualité suffisante pour éviter les fuites pendant l'absence du cultivateur.

Partie II

Matériel et Méthode

1. Objectif de l'essai :

L'objectif de l'essai, est d'étudier l'effet de la culture hydroponique sur la croissance de la plante de la tomate dans un système de production en hors-sol. Notre étude est basée sur le suivi des paramètres morphologiques, phénologique et chimique.

2. Equipements et installation :

2.1. Lieu de l'expérimentation :

L'expérimentation se déroulait dans une serre en verre au sein de Chaabat El-Rssas à l'université Mentouri Constantine 2018/2019. et ans le centre de recherche de biotechnologie CRBT



Figure 15 : le système NFT en serre

2.2. Description de système :

Notre expérimentation est assurée par un système de culture fermé NFT qui est constitué par un réservoir de la solution nutritive, des conteneurs, des tuyaux d'irrigation et d'une pompe.

- **Réservoir de la solution** : le réservoir utilisé dans notre système est une deux citernes en plastique opaque d'une capacité de 40 L.
- **Les tuyaux d'irrigation** : les tuyaux utilisés sont des tuyaux flexibles qui assurent l'alimentation et la distribution de la solution nutritive.
- **Les conteneurs** : sont des tuyaux en plastique de 80mm de diamètre assurant le placement des pots des plantules.

- **La pompe à eau** : Une petite pompe

3. Matériels utilisés :

3.1. Matériels végétales :

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation est la tomate (*Solanum Lycopersicum L.*). Les variétés utilisées sont cultivées au système de culture hydroponique, Et le témoin cultivé en sol.

Variété 1 : Campbell 33 (Inde).

Variété 2 : Super STRHW(Californie).

Variété 3 : Cœur de bœuf (Algérie).

Variété 4 : Heinz 1350 (USA).

Tableau 10 : Fiche technique de la tomate « Campbell 33 ».

Caractéristiques	Valeurs
Couleur	Rouge
Floraison	Non renseigné
Pays d'origine	Le Pays d'Origine de cette variété USA
Non traité	Semences non traitées de culture conventionnelle
Forme des tomates	Rond lisse aplatie
Précocité	Demi-précoce
Endroit de culture	Jardin, Abri froid
Tuteur	Oui
Port	Semi-déterminé

Tableau 11 : Fiche technique de la tomate « Cœur de Bœuf ».

Caractéristiques	Valeurs
Variété	Cuor di Bue
Disponibilité	Annuelle
Cycle de vie	Précoce
Port de la plante	Indéterminé
Label	Agriculture biologique
Nom Latin	<i>Solanum lycopersicum</i>
Type	Semences reproductibles

Tableau 12: Fiche technique de la tomate «Heinz 1350»

Caractéristiques	Valeur
Couleur	Rouge
Floraison	Non renseigné
Pays d'origine	Le Pays d'Origine de cette variété sont les États-Unis.
Non traité	Semences non traitées de culture conventionnelle !
Forme de fruit	Rond lisse
Précocité	Moyenne
Port	Déterminé

3.2. Substrat :

➤ Biles d'argile :

L'argile expansée possède un bon pouvoir isolant, ce qui est nécessaire pour protéger les racines des changements de température. et Comme un support porte les plantes. Parmi les avantages des biles d'argiles sont :

- un support naturel
- haute capacité de rétention d'eau
- bonne aération
- disponible localement

3.3. La solution nutritive :

Tableau 13 : composition de solution nutritive.

Solution mère	Composition
Flora Gro	-Azote total N 3% -K ₂ O 6% -Azote ammoniac 1% -MgO 0,18% -Azote nitrique 2% -P ₂ O 1%
Flora Micro	-N 5% - CaO 1.4% -NH ₄ 1.5% - Bore 0.001% -NH ₃ 3.5 % - Cu 0.01 % -K ₂ O 1.3% -Fe 0.12 % -Mn 0.05% -Zn 0.015% -Mo 0.002%
Flora Bloom	-P ₂ SO ₄ 5% -Mg 3% -SO ₃ 5% - K ₂ O 4%

L'utilisation de ces solutions nutritives a été faite ; durant le jour de repiquage des plantules et l'activation du système ; avec des volumes connus pour chaque phase de développement (chaque phase avec son volume) .On a ajouté la solution FLORA Gro et le 2ème solution FLORA Micro en même temps dans l'eau avec l'agitation pendant 2min, puis on a ajouté la 3ème solution FLORA Bloom.

La solution nutritive utilisée est de pH entre [6 – 6,5] et la conductivité électrique est 1,4 dS/m.

4. Méthode de travail :

4.1. Repiquage et plantation :

La plantation se fait après le semis des grains de la tomate qui a été effectué le **13/02/2019** dans des gobelets, le repiquage a été réalisé le **17/03/2019** où l'apparition de 2 feuilles de chaque plantule pour les 4 variétés.



Figure 16 : Le semis des grains de la tomate et la germination des plantules



Figure 17 : le repiquage et plantation

Après le repiquage on a mis-en-place chaque plantule dans les conteneurs



Figure 18 : l'emplacement des plantules dans les conteneurs.

4.2. Maintenance de la culture :

Après la plantation, nous avons effectué les travaux d'entretien et de maintenance suivants :

- ❖ Vérification de la solution nutritive elle-même pour assurer qu'elle atteigne les niveaux requis (mesure de pH et conductivité).
- ❖ La maintenance de système en cas des fuites.
- ❖ L'aération de la serre dans les journées chaudes si température dépasse 25°C.
- ❖ Les suivis du paramètre phénologique et morphologique de la plante : (la hauteur de la plante, nombre des feuilles)

5. Paramètres étudiés :

5.1. Les paramètres morphologiques :

Depuis une semaine après le jour du repiquage jusqu'à la fin de la durée de culture.

1. Hauteur de la tige) (cm)
2. Nombre des feuilles
3. La surface foliaire (cm²)
4. Nombre des fleurs
5. Nombre de fruits

5.2. Les paramètres phénologiques :

On a suivi la plante de tomate jusqu'à la date d'apparition de la première fleur de chaque variété 50%

- **V1 et V4: le 28/04/19**
- **V3 : le 07/05/19**

Et la date d'apparition du premier fruit 50%

- **V1 : le 22/05/19**

5.3. Les paramètres chimiques :

5.3.1. Détermination d'azote :(selon la méthode de KJELDAHL) :

La teneur en matière azotées totales ou en protéines brutes d'un échantillon peut être obtenue en dosant l'azote total (N) qu'il contient selon la méthode de Kjeldahl. Cette technique a été mise au point pour la première fois en 1883 par Johan Kjeldahl. (AOAC, 1990; 1995; 1999).

Elle est réalisée sur trois étapes principales et successives :

- a) **Minéralisation** : l'azote organique que contient l'échantillon est transformé en azote minéral et ce en présence de H₂SO₄ concentré (95% au minimum).
 - Dans notre expérience, on a fait pour chaque variété 2 répétitions appart la variété V2 et V3 sol (Témoin)
 - Dans des Matras on ajoute L'échantillon +10 ml H₂SO₄+ 0.2 g catalyseur
 - On place les Matras dans un minéralisateur (il est nécessaire de travail dans la hotte)
 - Pendant 2h à 400 c°
 - Après le refroidissement, nous ajoutons 20ml d'eau distillé et 20 ml NaOH

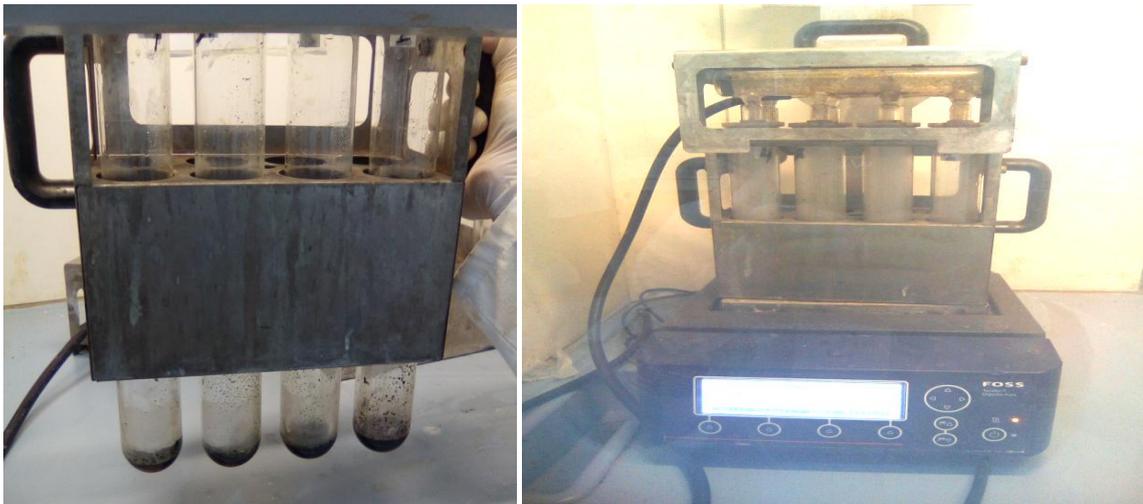


Figure 19 : Le minéralisateur

- b) **Distillation** : consiste à déplacer l'azote minéral formé en présence de la soude NaOH (30%) et par entrainement à la vapeur puis recueilli quantitativement dans une solution standard de réception, d'acide borique 4% + 3 gouttes d'indicateur.
 - Nous arrêtons la distillation au moment que nous recueillons 100 ml de distillat
 - Cette étape est réalisée par l'intermédiaire d'un distillateur qui est l'appareil de KJALDAHL



Figure 20 : L'appareil de KJALDHL

- c) **Titrage** : pour la quantité d'azote recueillie est titré par l'acide sulfurique H_2SO_4 ayant une normalité connue, l'acide s'écoule goutte à goutte dans la fiole contenant le distillat, jusqu'au virage de la couleur. on lit sur la burette le volume

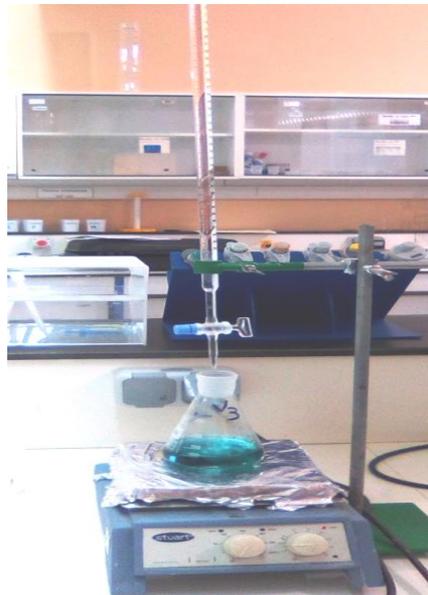


Figure 21 : le titrage

La teneur en azote ou en MAT de l'échantillon est ainsi calculée comme suit:

$$N\% = ((V - V_0) * N * 0,014) / PE$$

$$MAT\% = N\% * 6,25$$

- V₀ : ml d'HCl utilisé pour la titrage
- V : ml d'HCl utilisé pour la titrage de l'échantillon
- N : normalité de l' HCl utilisé
- 14,01 : facteur d'équivalence, 1ml d'HCl 1N titre 14,01 mg d'azote
- PE : prise d'essai (en mg)

5.3.2. Détermination du phosphore :

a) Méthode de calcination au four à moufle :

La matière végétative préalablement séché environs 500mg, sont introduits dans des creusets ; les derniers sont placées dans un four à moufle à 450°C pendant 2h .on obtiens des cendres. Après le refroidissement, les cendres sont humectées avec quelque goutte d'eau, puis on ajoute 2mlde HCL.

On laisse en contact 10min et on filtre dans des fioles à jaugées de 50ml



Figure 22 : La filtration

b) Dosage du phosphore par spectrophotométrie visible :

1. On introduit une pris d'essai de 5ml à 10ml suivant la solution présumée en phosphore de la solution de cendre dans un ballon jaugé de 25ml
2. Puis on ajoute 5ml de réactif **Nitro-vanado-molybdique** (molybdate d'ammonium+ Vanadate d'ammonium + HNO₃)

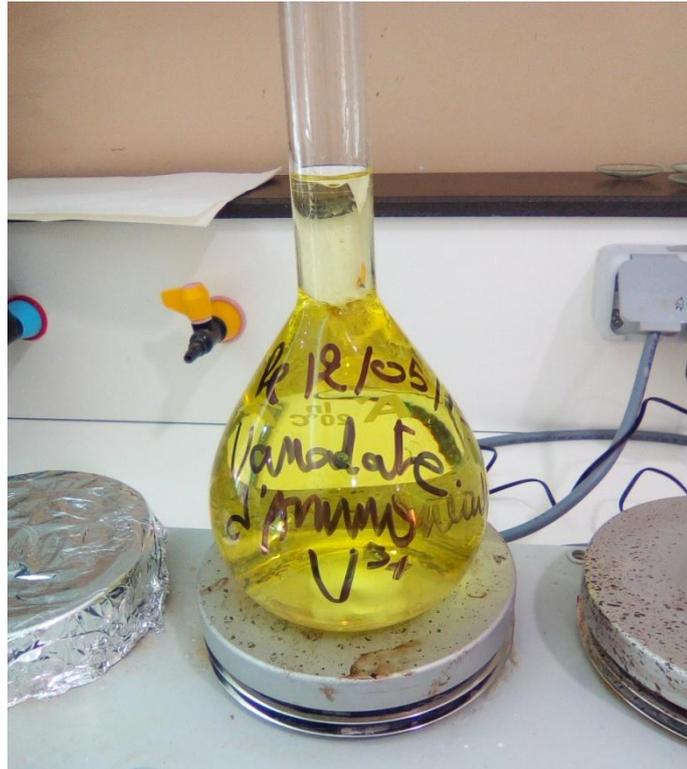


Figure 23 : La solution de réactif Nitro-Vanado-Molybdatique.

3. Compléter le volume avec l'eau distillé ; on attend 1h du temps avant de passer au spectrophotomètre ; on mesure la densité optique 430nm.

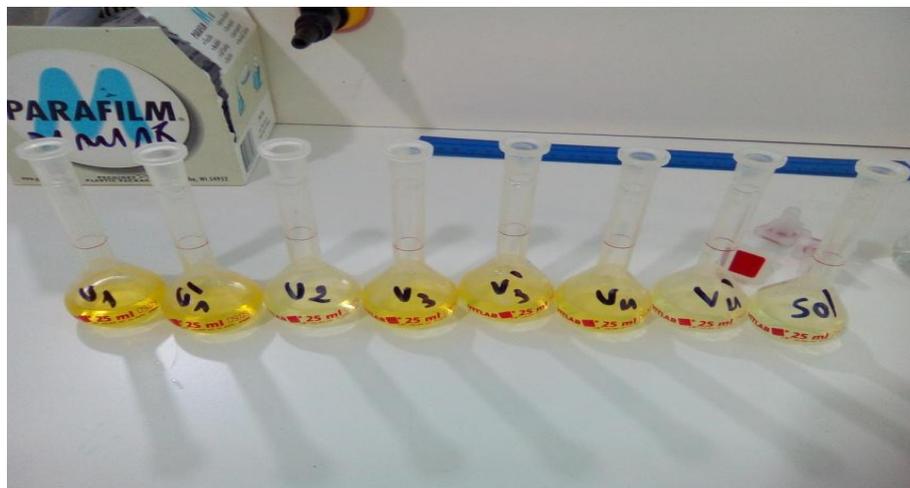


Figure 24 : La solution préparée

Le teneur de phosphore en % de matière sèche est donnée par :

$$P\% = n * 25 * v / 10^5 * P$$

- V** : Le volume de solution minéralisée
n : la concentration de P en $\mu\text{g/ml}$ dans la solution photométrée
p : la prise d'essai en gramme

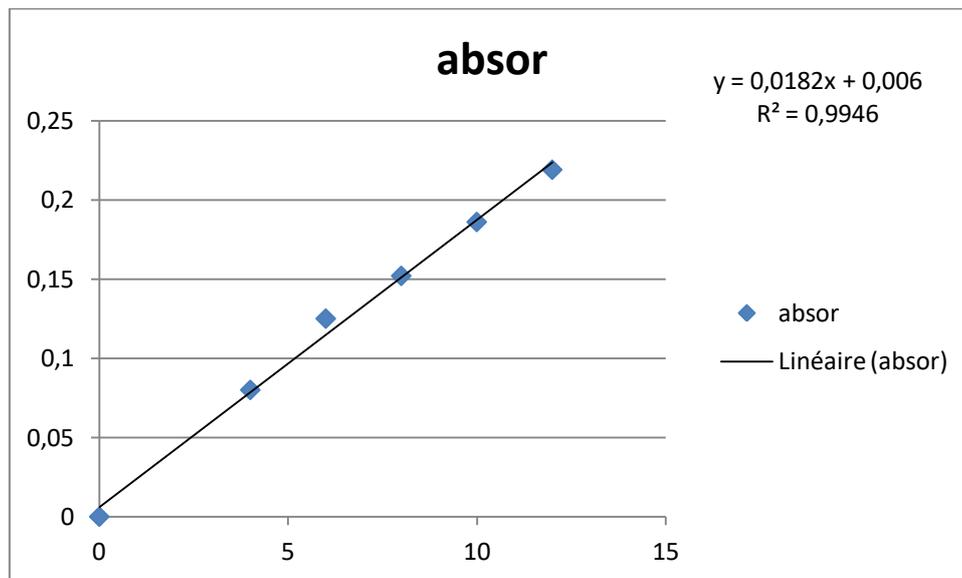


Figure 25 : courbe d'étalonnage pour le dosage de phosphore P

Partie III

Résultat et Discussion

I. Paramètres morphologiques :

I.1. Hauteur de la tige :

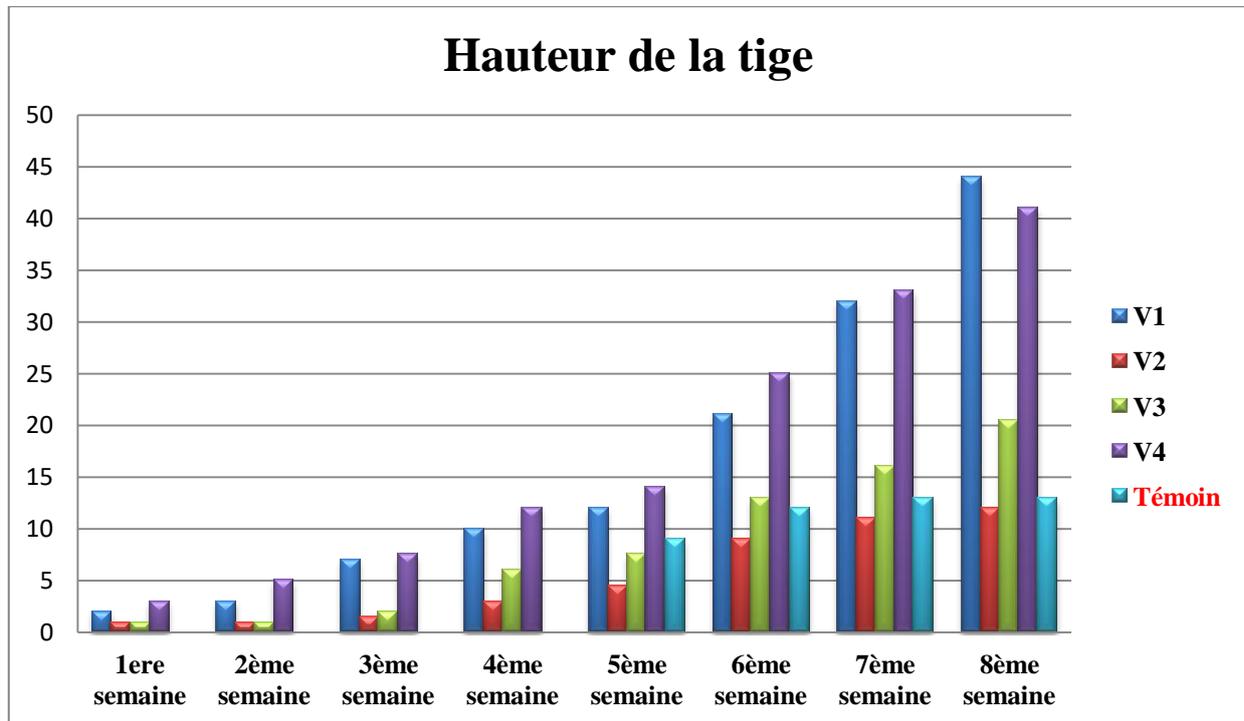


Figure 26 : Hauteur finale (cm) des plantes de la tomate pour les 4 variétés cultivées pendant 8 semaines.

D'après les résultats obtenus dans la figure N° 25 : on a remarqué une grande variabilité chez les 4 variétés pendant les 8 semaines dont la valeur maximale est de 44 cm chez la variété 1 (Campbell 33) et la valeur minimale 12,5 cm chez la variété 2 (Super STRHW) par rapport au témoin.

* La variété **CAMPBELL 33** ; cette variété atteint une hauteur en moyenne 1,50m dans le sol (Anonyme, 2013) ; par rapport au système hors-sol qui donne la même hauteur en 2-3 mois.

* La variété **Cœur de bœuf** : d'après (Nadasto, 2013), cette variété atteint une hauteur en moyenne 1m en 4-5 mois en culture en sol, par rapport à notre résultat dans le système hors-sol qui donne 20 cm pendant 2-3 mois.

I.2. Nombre de feuille et Surface foliaire :

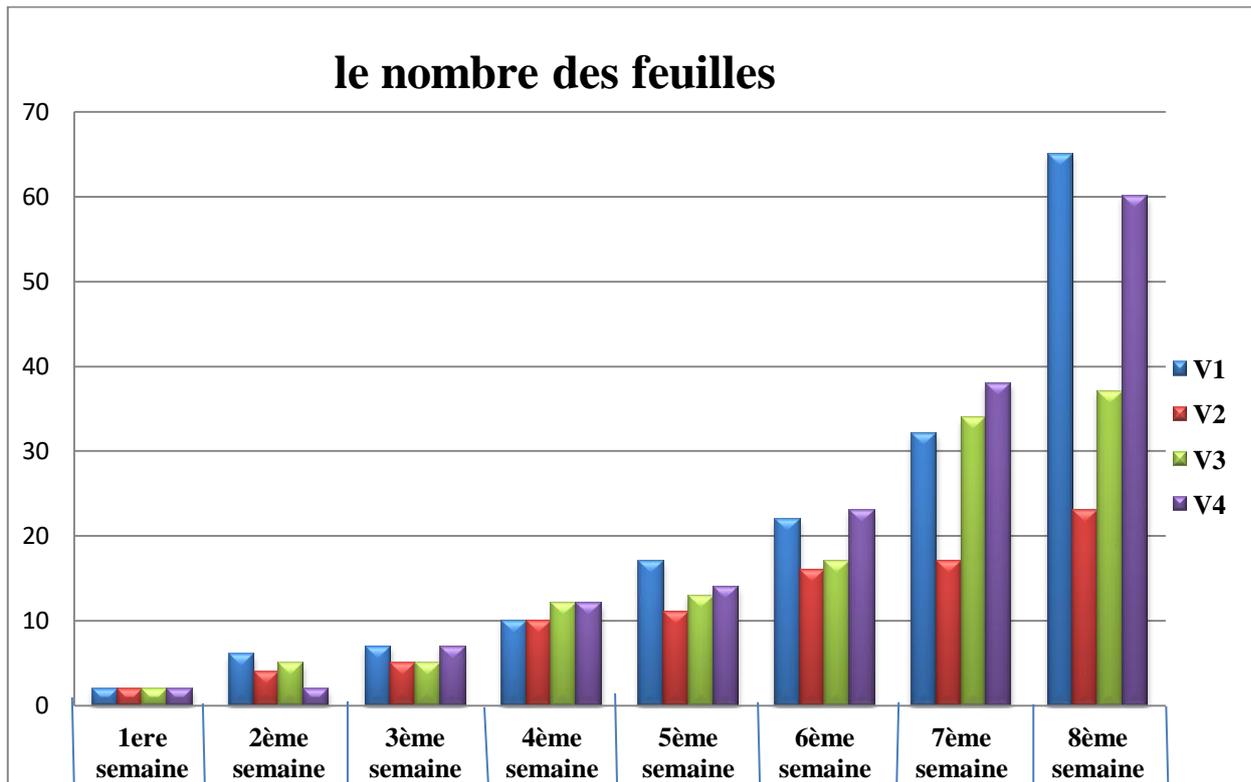
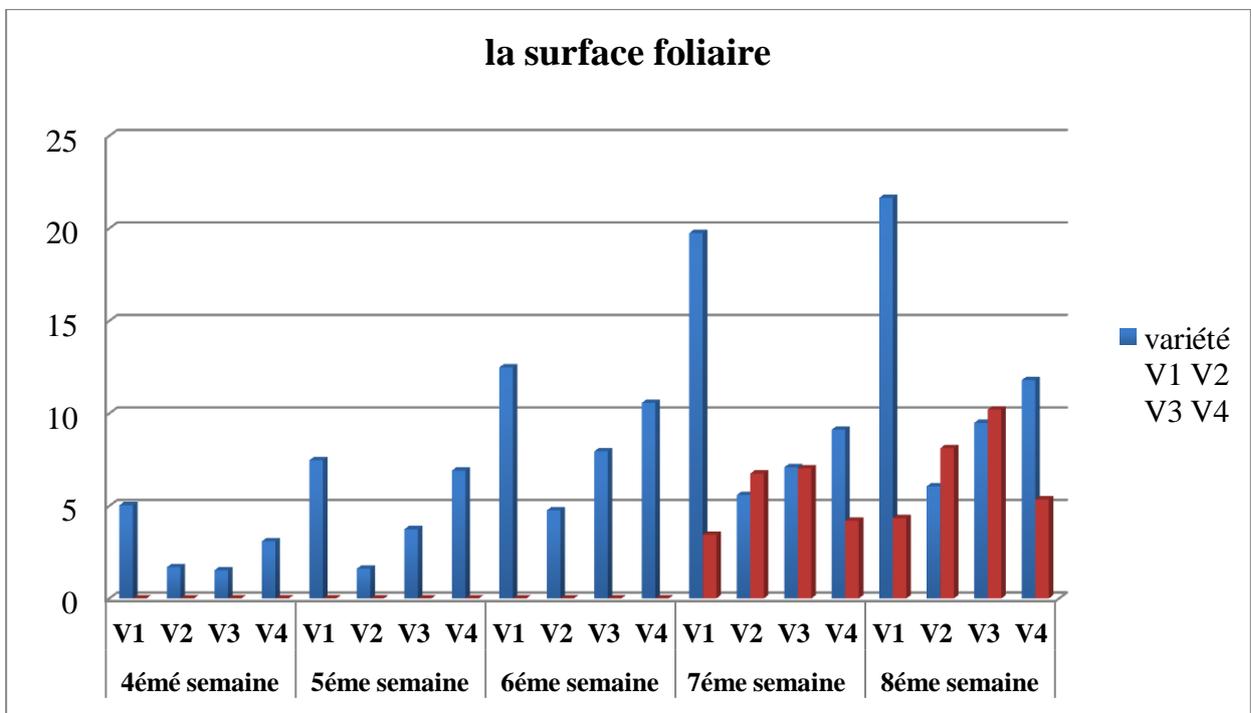


Figure 28 : Nombre des feuilles de la plante de Tomate pour les 4 variétés.

Figure 29 : Surface foliaire (cm²) de la tomate pour les 4 variétés cultivées.

Selon les résultats dans les figures N°26 : on a remarqué que la variabilité de nombre des feuilles et la surface foliaire sont bien marquées à partir de la 5ème semaine dans la valeur maximale a été enregistré chez la V1 (Campbell 33) soit pour la surface foliaire de 21,65 cm² et

le nombre des feuilles de 65 feuilles, par contre la valeur minimale a été enregistré chez la variété V2 6,06 cm² et 23 feuilles par apport au témoin.

* Les feuilles sont des organes puits au début de leur développement, puis des organes sources qui vont accumuler du saccharose via leur activité photosynthétique. (Mortain *et al.*, 2008).

II. Paramètres phénologiques :

L'évaluation de cycle de développement de la tomate, par le suivi de ses stades phénologiques montre que les plantes de la tomate surtout la variété 1 (CAMPELL 33) à été développés rapidement avec un cycle de 60 jours seulement par rapport aux autres variétés (les photos montrent la différence).

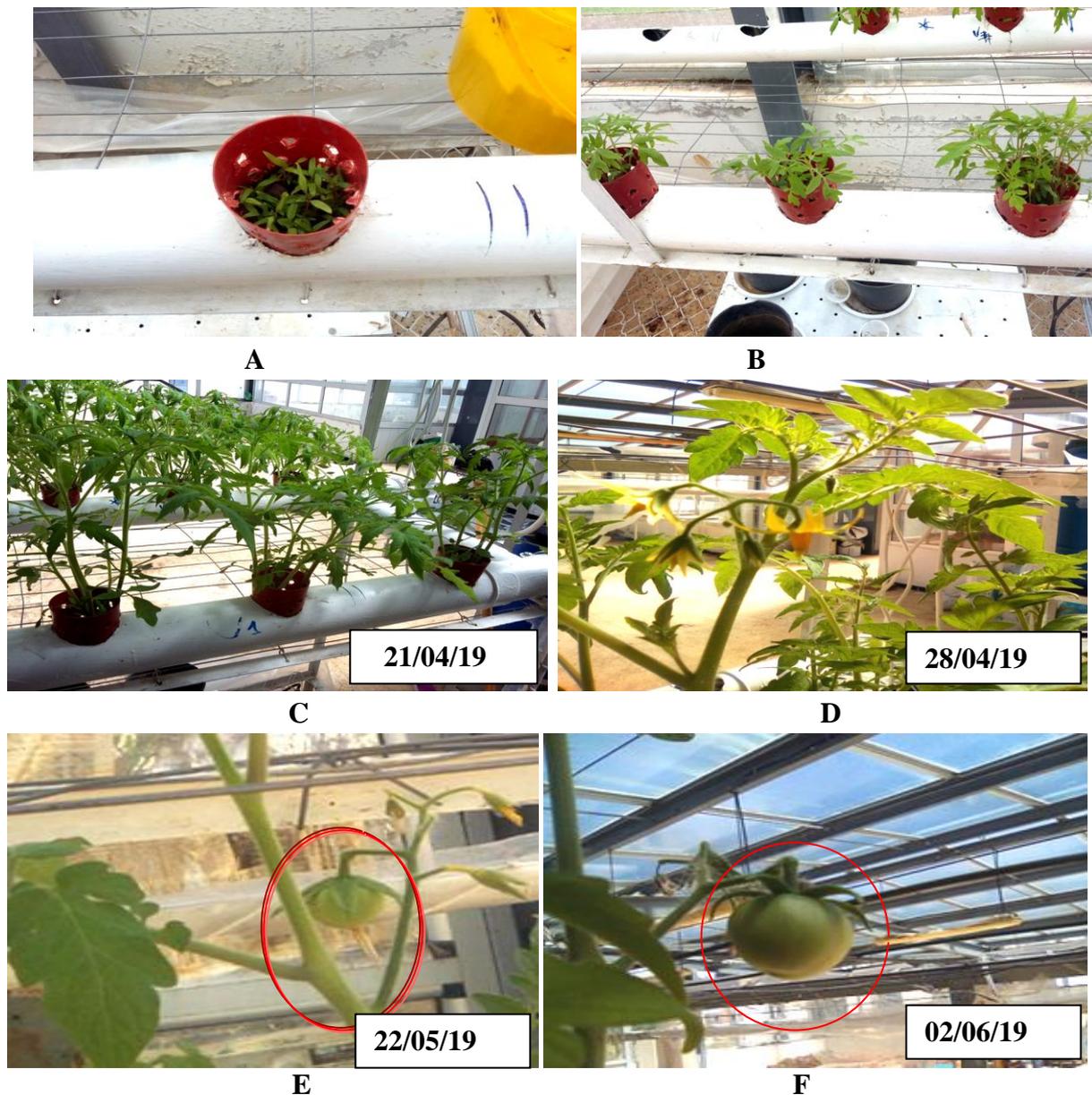


Figure 30 : Les stades phénologiques de la tomate variété 1

A : la transplantation. **B** : stade de deux feuilles. **C** : stade de développement végétatif.

D : stade de floraison. **E** : début d'apparition de 1^{er} fruit. **F** : développement du fruit.

* La durée de la croissance levée jusqu'au stade 6 feuilles, où la plante assure la formation des racines fonctionnelles qui vont assurer l'alimentation à la plante en eau et éléments nutritifs. A la partie aérienne, la tige s'allonge et forme des feuilles. (**Laumonier, 1979**).

Chez la tomate, la durée du cycle végétatif complet (de la graine) varie selon : les variétés l'époque et les conditions de culture. Il s'étend généralement de 3,5 à 6 mois, du semis jusqu'à la dernière récolte. (**GALLAIS et BANNEROT, 1992**). D'autre part dans la culture hydroponique la durée du cycle de la tomate est courte, ne dépasse pas 3mois.

III. Paramètres chimiques :

III .1. Détermination d'Azote :

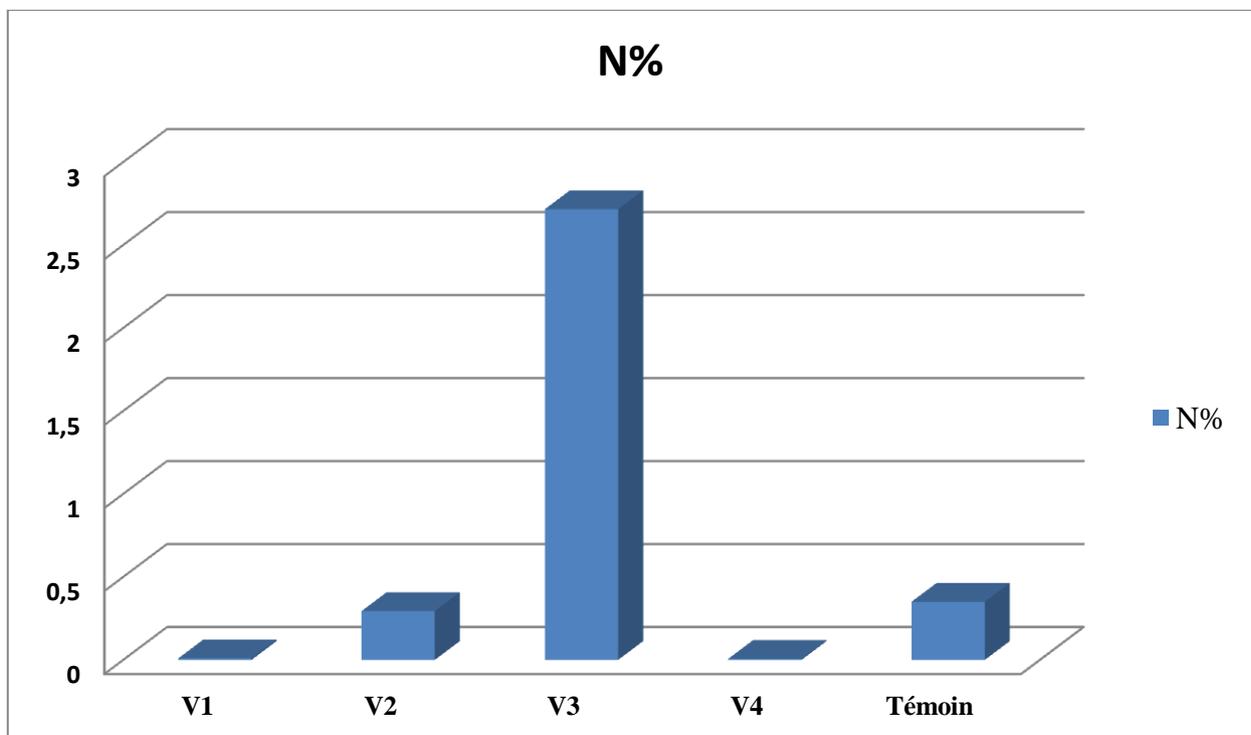


Figure 31 : Le taux d'Azote (N) en %

Selon les résultats, on a remarqué que le taux d'azote représente avec une valeur maximale chez la V3 (Cœur de Bœuf) 2,7% en 100mg la variété locale, et la valeur minimale chez V1 et V4 de 0,007%.

* Les parties végétatives de la tomate (racine, tiges et feuilles) sont les compartiments les plus riches en azote, elles contiennent environ 6g d'azote pour 100g de MS. (**Toor et al, 2006**). Les concentrations en polyphénols des feuilles étaient accrues par une diminution des apports en azote. (**Stewart et al, 2001**).

III.2. Détermination de Phosphore :

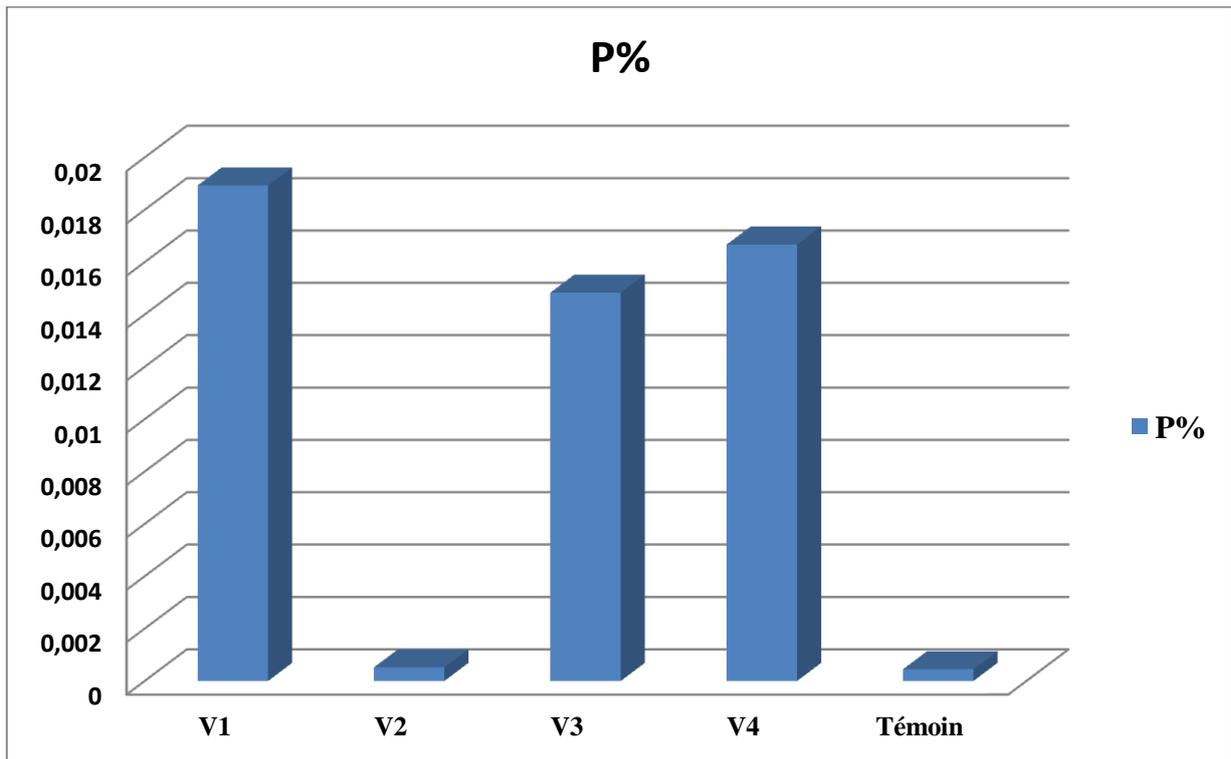


Figure 32 : Le taux de phosphore (P) dans les feuilles de tomate en %

Les résultats montrent que le taux de phosphore est présent chez les 4 variétés cultivées V1, V2, V3et V4 avec une valeur maximale remarqué chez la V1 (Campbell 33) de 0.01892955% est une valeur minimale chez la V2 : 0.0005192 par apport au témoin.

* Au niveau de la plante de tomate, l'accumulation du phosphore se fait de façon égale dans les feuilles et dans les ramifications. En cas de pH faible (4,6), la teneur du phosphore accumule dans les feuilles est de 0,5 %, l'élévation du pH à 6,2 par chaulage, réduit cette teneur dans les feuilles de 30%. (Anonyme, 2018).

Conclusion générale :

Cette étude a été réalisée sur l'essai de l'hydroponie dans le système NFT chez quelques variétés de tomates ; pendant notre étude nous avons pu ressortir quelques observations et apporter une meilleure compréhension de la précocité de la culture hydroponique surtout le système NFT. Notre étude a été faite sur 4 variétés de tomates locales et importées.

À ce titre, les paramètres morphologiques étudiés (hauteur de la plante, nombre de feuille, surface foliaire) vis-à-vis au système installé et les résultats obtenus ont révélé le rôle prépondérant de ce dernier sur la croissance et le développement des variétés testées ; notamment la variété Campbell 33. Et la variété Cœur de bœuf qui a donné un bon résultat pour son contenu en Azote et Phosphore.

Nous avons noté que l'effet direct de ce système résulte un bon développement végétatif des variétés testées par rapport au témoin qui est cultivé dans le sol, traduite essentiellement par une nutrition minérale des plantes satisfaisantes.

Le suivi de nos cultures et les résultats obtenus ont montré par ailleurs que la consommation de la solution nutritive ; c'est lent au début de la culture et rapide avec l'accroissement des variétés, mais en générale cette culture reste la moins consommée d'eau comparativement à l'agriculture traditionnelle.

La culture hors sol constitue une innovation en Algérie surtout dans les zones arides et semi arides qui souffrent de la haute température et du manque d'eau, cette étude augure une bonne perspective pour la sécurité alimentaire de notre pays.

Par conclusion, notre expérience a montré l'efficacité de la culture hydroponique et la solution nutritive par le système NFT ; qui a été donner des bons résultats avec une récolte précoce.

Références bibliographiques

A

- **Alain Vitre (2003)**. Fondements théoriques du hors sol. Page 03 – 10.
- **Amokrane, (2018)**. ALGERIE: Production de tomates fraîche et industrielle: Plus de 29 millions de quintaux durant la campagne 2017-2018. (publiée le 31/10/2018 à 16h54) <http://www.algerie-dz.com/forums/showthread.php?t=431307>

B

- **Blanc D. (1987)**. Les cultures hors sol. Ouvrage collectif dirigé par Denise Blanc, les a.t.p. de l'INRA, 2eme Ed. Paris, France, 361p.
- **Bouhadj H,(2008)**. Amélioration et stimulation de la croissance végétative par le procédé fertirrigation en arido- culture. Thèse de magistère INA (El-Harrach), ALGER. 40P.
- **Bottraud, J.C. (1980)**. Relations entre la composition micro-morphologique des tourbes et leurs comportements hydrique, mécanique et physico-chimique. DDAENSA. Montpellier. 52P .

C

- **Chaux C. et Foury Cl. ,(1994)**. Productions légumières. Tome 3 : Légumineuses potagères, légumes fruits. Ed : Lavoisier, Paris, 477p.

D

- **De Broglie L A, Guérault D, (2005)**. Tomates d'hier et d'aujourd'hui. Paris, Hoëbeke. 143.
- **Desmas S., (2005)**. Analyse comparative de compétitivité : le cas de la filière tomate dans le contexte euro-méditerranéen. Thèse D.A.A., Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 68 p.

E

- **El Houssine Z. (2006)**. Complément de cours de physiologie végétale. 11P
- **ESSADAoui M. (2013)**. Industrie Agroalimentaire, Bulletin édité par l'Institut Marocain de l'Information scientifique et technique IMIST, N° 25. 34P

F

- **FAOSTAT, (2015)**. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Friedman M., (2002). "Tomato glycoalkaloids: role in the plant and in the diet." Journal of Agricultural and Food Chemistry 50(21): 5751-5780.

Références bibliographique

- **Friedman M, (2002).** "Tomato glycoalkaloids: role in the plant and in the diet." Journal of Agricultural and Food Chemistry 50(21): 5751-5780.

G

- **Gallais A. et Bannerot H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Ed. INRA. Paris.
- **Guinot Danièle, (2014).** Le ketchup Heinz, toujours le même 138 ans après
(Publié le 25/08/2014 à 19:43) www.lefigaro.fr/societes/2014/08/25/20005-20140825ARTFIG00290-le-ketchup-heinz-toujours-le-meme-138ans-apres.php

- **Gillapsy G., Ben-David H., Gruissem W.,(1993).** Fruits à développemental perspective. Plant Cell 5,1439-1451.
- **Gilberto, (2013).** Système hydroponique : actif ou passif (Publiée le 3 juillet 2013). <http://hydroponie.fr/systeme-hydroponique-actif-passif>
- **Grasselley.D., Navez B. et Letard M., (2000).** tomate : pour un produit de qualité. Ed. Ctifl, paris, 222p.

H

- **Heller R., Esnault R. et Lance C.,(1996).** Physiologie végétale nutrition. 7ème Ed. Masson. 294p.

I

- **Imene A., (2018).** Tomate: une production 14 millions de quintaux est prévue cette année (publiée le 21 septembre 2018 / 11 :47). <https://www.algerie/2018/09/21/tomate-une-production-14-millions-de-quintaux-est-prevue-cette-annee/>
- **I.T.C.M.I., (2015).** (l'institut technique des cultures maraichères et industrielles)-Guide pratique la culture de la tomate sous serres. BP50Route de Moretti staouéli-Alger , 3p.

J

- **Jorge Cervantes, (2013).** Culture en intérieur - La bible du jardinage indoor, Mama Editions, 1 rue Pétion, 75011 Paris (France) , p 195-202

Références bibliographique

K

Kouassi S. (2009).Culture hydroponique de la tomate, Fiche Technico-économique. Génie Agro. BEREP.11P.

• **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.

• **Kyungjae L. (2014).**Hydroponie : guide de culture légumière. RDA, KOPIA, Algérie. 23P

L

• **Latigy A., (1984).** Effects des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée. Thèse de Magister. INRA El-harrach, Algérie.

• **Laumonier R., (1979).** Cultures légumières et maraichères. Tome 3, Ed : J-B Baillièrre, Paris, 240p.

• **Lecter, (2004).** CULTURE ; Comparatif : Terre VS hydroponie (publiée le 03 mai 2004, 23:22). <https://www.cannaweb.info/fcf/viewtopic.php?t=23545>

M

• **Morard P. (1995).** Les cultures végétales hors sol Ed. Lavoisier, développent, génétique et amélioration Ed Lavoisier p 75-78.

• **Morel Ph, Poncet L., Riviere L. (2000).** Les supports de culture horticoles. INRA Editions. 87P.

• **Morrow E. (2015).**Hydroponics for Beginners: Essential Hydroponic Gardening Guide. Copyright, First Published. Printed in the United States of America. 16P.

• **Mortain-B, 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.

• **Munro B. et Small E. (1997).** Les légumes du Canada. Edition. Val. Morin, Québec, Canada. p:1- 436.

N

• **Naika S. De Jeude JVL., De Goffau M., Hilmi M. et Van Dam B. (2005).** La culture de la tomate (production, transformation et commercialisation) cinquième édition. Edition : Wageningen. Pays-Bas. 105 p.

• **Nadastro (2013).** gourmandisesansfrontieres.fr/2013/09/la-vraie-tomate-coeur-de-boeuf

P

Références bibliographique

- **Polese.J.M.(2007).** La culture de la tomate. Ed. Arthémis.95p.

R

- **Rey Y. et Costes C, (1965).** La physiologie de la tomate, étude bibliographique INRA. 111p.

S

- **Samarakoon UC, Weerasinghe PA, Weerakkody AP (2006).** Effet de la conductivité électrique [EC] de la solution nutritive sur l'absorption, la croissance et le rendement nutritif de la laitue frisée (*Lactuca sativa* L.) en culture stationnaire . Trop Agric Res 18 : 13-21.
- **Serge S et Janice M. (2009).**Guide de la tomate hors sol à La Réunion, CIDAR. La Réunion, France.188P : www.cirad.fr/reunion.
- **Shankara N., Van lidt de jeud J., de Goffau M., Hilmi M., Van Dam B. et Florijin. A.,(2005).** La culture de la tomate : production, transformation et comercialisation. 5eme (ed).foundation agromisa et CTA, Wageningen.
- **Sonneveld, C. et Voogt, W. (2009).** Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Science and Business Media .431P..
- **Stewart A J, Chapman W, Jenkins G I, Graham I, Martin T, Crozier A, (2001).** " The effect of nitrogen and phosphorus deficiency on flavonol accumulation in plant tissues." Plant, Cell and Environment 24: 1189-1197.

T

- Thybaud Brazeau. (2015).**Impacts et analyse technico-économique de différentes conduites climatiques en tomate hors-sol sous serre. 52P.
- **Titouna D. (2011).**Etude numérique de la solution nutritive dans un milieu poreux : cas de la laine de roche floriculture et expert. Thèse doctorat ès Sci ; Univ EL HADJ LAKHDAR BATNA. 106P.
- **Toor, R.K., Savage, G.P., Heeb, A. (2006).** Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. Journal of Food Composition and Analysis 19, 20-27

V

- **VALERIE P. (2015).** Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée, mémoire Maître ès sciences (M. Sc.), Univ Québec, canada. 67P
- **Viron Nicolas, (2010).** Identification et validation de nouveaux gènes candidats impliqués dans la régulation du développement du fruit de tomate, N° d'ordre : 4209.

Références bibliographique

W

- **William Texier, (2013).** L'hydroponie pour tous. Mama editions, 7 rue Pétion, 75011 Paris France. 13-20.

Y

- **YVES. (2008).** **OUARET W.(2013).** Etude de substrats pour la production de la tomate en hors sol. Thèse Ing. Nat. Agro., EL-HARACH. 135p

Site web

- **Anonyme, (2011).** <http://www.dorffer-patrick.com>
- **Anonyme, (2013).** <https://hydroponicsinfomation.wordpress.com/2013/04/21/nfthydroponic>
- **Anonyme, (2013).** <http://www.infos-tomates.com>
- **Anonyme, (2018).** <https://www.bio-enligne.com>
- **Anonyme, (2019).** <https://www.graines-baumaux.fr>

Annexe 01 : la hauteur de la tomate (cm) pour les variétés pendant les 8 semaines

	V1	V2	V3	V4	Témoin
1ere semaine	2	1	1	3	
2ème semaine	3	1	1	5	
3ème semaine	7	1,5	2	7,5	
4ème semaine	10	3	6	12	
5ème semaine	12	4,5	7,5	14	9
6ème semaine	21	9	13	25	12
7ème semaine	32	11	16	33	13
8ème semaine	44	12	20,5	41	13

Annexe 02 : le nombre des feuilles de la tomate

	V1	V2	V3	V4
1ere semaine	2	2	2	2
2ème semaine	6	4	5	2
3ème semaine	7	5	5	7
4ème semaine	10	10	12	12
5ème semaine	17	11	13	14
6ème semaine	22	16	17	23
7ème semaine	32	17	34	38
8ème semaine	65	23	37	60

Annexes 03 : Le nombre de la fleur

Date	Variété	Valeur
28/04/2018	V1	3
	V2	0
	V3	0
	V4	3
07/05/2019	V1	5
	V2	0
	V3	2
	V4	5
16/05/2019	V1	10
	V2	0
	V3	3
	V4	8

Annexes 04 : la surface foliaire des feuilles de la tomate pour les 4 variétés

	variété	valeur	témoin
4^{ème} semaine	V1	5,04	0
	V2	1,69	0
	V3	1,52	0
	V4	3,09	0
5^{ème} semaine	V1	7,47	0
	V2	1,61	0
	V3	3,74	0
	V4	6,91	0
6^{ème} semaine	V1	12,49	0
	V2	4,76	0
	V3	7,95	0
	V4	10,57	0
7^{ème} semaine	V1	19,75	3,44
	V2	5,59	6,75
	V3	7,09	7,03
	V4	9,12	4,2
8^{ème} semaine	V1	21,65	4,34
	V2	6,06	8,12
	V3	9,49	10,21
	V4	11,8	5,35

Annexes 05 : la hauteur finale de la tomate pour la variété 1 Campbell 33



Annexe 06 : la hauteur finale pour les 4 variétés de tomate dans le système NFT



Annexe 07 : maturation de la tomate variété 1 Campbell 33



Annexe 08 : la solution d'acide borique 4% + 3 gouttes d'indicateur avant la distillation



Annexe 09 : la solution distillée



Annexe 10 : Tableau déterminé la teneur d'Azote N

Èche	N	ml (H2SO4)	P (g)	Azote N en (mg/100g)	N %	Protéine totales en (mg/100g)	Protéine totale en %
V1	0,01	0,4	1	5,6	0,0056	35	0,035
V1	0,001	5	1	7	0,007	43,75	0,04375
V2	0,001	2,1	1	29,4	0,294	183,75	1,8375
V3	0,001	126,1	1	1316	1,316	8225	8,225
V3	0,1	5	1	2800	2,8	17500	17,5
V4	0,001	3	1	4,2	0,0042	26,25	0,02625
V4	0,001	3	1	4,2	0,0042	26,25	0,02625
SOL	0,001	2,5	1	35	0,35	218,75	2,1875

Annexe 11: Tableau déterminé la teneur e phosphore (P)

Èche		[C]µg/ml (n)	poids (g)	P%	
V1	0,37709	20,3895604	0,5	0,01274348	
V1	0,3721	20,1153846	0,5	0,01257212	
V2	0,0816	4,15384615	0,1	0,00051923	0,00259615
V3	0,2998	16,1428571	0,5	0,01008929	
V3	0,2822	15,1758242	0,5	0,00948489	
V4	0,3158	17,021978	0,5	0,01063874	
V4	0,3573	19,3021978	0,5	0,01206387	
sol	0,0709	3,56593407	0,1	0,00044574	0,00222871

Intitulé :

**La culture hydroponique sur quelques variétés de la tomate
(*Lycopersicon esculentum* Mill.).**

**Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en :
Biologie et physiologie de la reproduction.**

Résumé :

La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains fruits et légumes. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nycthéral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an. Cette recherche a été faite dans une serre en verre université des frères Mentouri Constantine 1.

Dans le système NFT (Nutrient Film Technique), sur quatre variétés de la tomate: Campbell 33 (Inde), Super Strwh (USA), Coeur de boeuf (Algérie), Heinz 1350 (USA).

Le but de notre expérience est de cultiver ces variétés de tomate aux conditions de la culture hydroponique, ainsi qu'à la solution nutritive diverse avec un substrat de billes d'argile (un support naturelle), et d'étudier les paramètres morphologiques (hauteur de la plante, nombre de feuilles, surface foliaire), et les paramètres phénologiques vis-à-vis au système installé et comparées le développement des variétés entre elles. Les résultats obtenus ont justifié le rôle prépondérant des solutions nutritives sur la croissance et le développement des variétés cultivées notamment la variété Campbell 33 et la variété Coeur de boeuf qui ont donné un bon résultat pour leur développement et surtout la précocité de la fructification qui n'a pas dépassé les deux mois par rapport à la culture au sol.

De manière générale, on peut dire que l'effet direct de ce système résulte un bon développement végétatif de plantes, traduit essentiellement par une nutrition minérale des plantes satisfaisante.

Mots clé: système NFT, culture hydroponique, paramètres chimiques, paramètres phénologique

Jury d'évaluation :

Président du jury : Pr CHOUGUI SAIDA
Encadreur : MCA. BOUCHARB RADIA
Examineurs : MCB. DJEROUNI AISSA

Université Mentouri Constantine
Université Mentouri Constantine
Université Mentouri Constantine

Date de soutenance : 26 juin 2019