

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BENDIFF Abderrahmane

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : AMÉLIORATION DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

THEME

**Étude comparative de différents substrats pour la
production de tomate hors sol**

Soutenu publiquement le 21/ Juin /2016

DEVANT LES JURY

Mr. LABDAOUI Djamel

Président

M.A.A U. Mostaganem

Mr. DEBBA Bachir

Encadreur

M.A.A U. Mostaganem

Mr. TADJA Abdelkader

Examineur

M.C.B U. Mostaganem

Année universitaire : 2015/2016.

Remerciements

*Avant tout, je remercie **ALLAH** de nous avoir donné la force, la volonté et le courage grâce auxquels nous avons pu réaliser ce travail.*

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à :

***Mr. DEBBA Bachir** mon promoteur de ses connaissances et par ses conseils qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Je souhaite remercier les membres de juré : **Mr. TADJA Abdelkader** et **Mr. LABDAOUI Djamel**. pour le temps qu'ils mettent à corriger ce mémoire.*

*J'aimerais exprimer mes gratitudes à Monsieur le directeur **Mr. CHETTOUH Abdelhamid** et à toute l'équipe de la station « ZERALDA » de « ITCMI » pour leur accueil chaleureux, ainsi que pour leur aide précieuse qu'ils nous ont donnée tout au long de mon stage.*

Un grand merci pour tous mes chers amis et spécialement à qui ont toujours été à mon côtés, pour leur aide précieuse et leur soutien.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chères parentes qu'ils ont été toujours présents à mon côté.

*A mes chères frères et sœurs qu'ils m'encourageaient tout au long
de mon cursus universitaire, et pour leur soutien moral et matériel.*

SOMMAIRE

Liste des figures

Listes des tableaux

Introduction

Partie I : Etude bibliographique

CHAPITRE I : Biologie de la tomate

| | |
|--|----|
| 1. Description sommaire de la plante | 03 |
| 2. Description botanique de la plante de la tomate | 03 |
| 3. Classification botanique de la tomate | 03 |
| 4. Classification génétique..... | 04 |
| 4.1.Variétés fixées | 04 |
| 4.2.Variétés hybrides | 04 |
| 5. Caractéristiques morphologiques de la tomate | 04 |
| 5.1.L'appareil végétatif..... | 04 |
| 5.1.1. Le système racinaire | 04 |
| 5.1.2. La tige | 05 |
| 5.1.3 La feuille..... | 05 |
| 5.2.L'appareil reproducteur | 06 |
| 5.2.1. La fleur | 06 |
| 5.2.2. Le fruit | 07 |
| 6. Cycle biologique de la tomate | 07 |
| 6.1. Phase de germination..... | 07 |
| 6.2.Phase de croissance | 08 |
| 6.3.Phase de floraison et la pollinisation | 08 |
| 6.4.Phase de fécondation, de nouaison et de fructification | 08 |
| 6.5.Phase de développement et de maturation des fruits | 08 |
| 7. Ecologie de la tomate | 09 |
| 7.1.Les exigences climatiques | 09 |
| 7.1.1. La température..... | 09 |
| 7.1.2. La lumière..... | 09 |
| 7.1.3. L'humidité | 10 |
| 7.2.Les exigences édaphiques..... | 10 |
| 7.2.1. Le sol | 10 |

| | |
|--|----|
| 7.2.2. Le pH | 10 |
| 7.2.3. La salinité | 10 |
| 7.3.Exigences hydriques | 11 |
| 7.4.Exigence en éléments fertilisants | 11 |
| 8. Les maladies et ravageurs..... | 12 |
| 9. La valeur alimentaire et énergétique de la tomate | 18 |
| CHAPITRE II : Généralité sur la culture hors sol | |
| 1. Définition de la culture hors-sol | 20 |
| 2. Historique | 20 |
| 3. Le but de la culture hors sol..... | 21 |
| 4. Progression La culture hors sol | 21 |
| 4.1. Dans le monde | 21 |
| 4.2. En Algérie..... | 21 |
| 5. Espèces cultivées en hors-sol | 22 |
| 5.1. Cultures légumières sous serres..... | 22 |
| 5.2. Les cultures florales..... | 22 |
| 6. Avantages et inconvénients des cultures hors sol..... | 22 |
| 6.1. Les Avantages des cultures hors sol..... | 22 |
| 6.2.Inconvénients et contraintes des cultures hors sol | 23 |
| 7. Les systèmes de culture hors sol..... | 23 |
| 7.1. Système sans substrat | 23 |
| 7.1.1. Aquiculture | 24 |
| 7.1.2. Nutrient Film technique (NET) | 24 |
| 7.1.3. L'aéroponie..... | 25 |
| 7.2.Culture sur substrats | 26 |
| 7.2.1. Système à la goutte à goutte | 26 |
| 7.2.2. Technique de submersion « EBB and flow » | 27 |
| 8. Substrats utilisés | 27 |
| 8.1.Définition..... | 27 |
| 8.2.Caractéristique technique des substrats | 27 |
| 8.2.1. Propriétés mécaniques | 28 |
| 8.2.3. Priorités chimiques | 28 |
| 8.2.4. Propriétés biologiques | 30 |
| 9. Classification des substrats..... | 30 |

| | |
|---|----|
| 9.1. Selon RIVIERE et NICOLAS | 30 |
| 9.2. Selon l'origine | 31 |
| 9.2.1. Matériaux organiques naturels..... | 31 |
| 9.2.2. Matériaux minéraux naturels | 32 |
| 9.2.3. Matériaux minéraux artificiels ou traites | 33 |
| 10. Irrigation fertilisante ou « fertigation » | 34 |
| 10.1. Intérêt de la fertigation | 34 |
| 10.1.1. Avantages de la fertilisation | 34 |
| 10.1.2. Contraintes de la fertigation | 35 |
| 10.2. Mise en place de la fertigation..... | 35 |
| 10.2.1. Solution nutritive | 35 |
| 10.2.2. Engrais utilisés..... | 35 |
| 10.2.3. Composition de la solution nutritive | 35 |
| 10.3. Suivi de l'irrigation fertilisante..... | 39 |
| 10.3.1. Conductivité électrique et le pH de la solution nutritive | 39 |
| 10.3.2. Analyse des tissus conducteurs..... | 40 |
| 10.4. Principales règles de la fertigation..... | 40 |
| 10.5. Impact de la fertigation sur l'environnement | 41 |

Partie II : Partie expérimentale

CHAPITRE I : Matériels et méthodes

| | |
|---|----|
| 1. Objectif de l'essai | 42 |
| 2. Présentation du site d'étude | 42 |
| 3. Description de la serre d'étude | 43 |
| 4. Données climatiques de la station d'étude | 43 |
| 5. Matériels utilisés..... | 44 |
| 5.1. Matériel végétal | 44 |
| 5.2. Caractéristiques techniques | 45 |
| 6. Les données des substrats utilisés dans notre expérimentation..... | 45 |
| 6.1. Fibre de noix coco | 45 |
| 6.2. Pouzzolanes | 46 |
| 6.3. La fibre de palmier | 47 |
| 6.4. La Perlite..... | 48 |

| | |
|--|----|
| 7. Dispositif expérimentale..... | 49 |
| 8. Description des traitements | 52 |
| 9. les précédents culturaux..... | 53 |
| 10. la conduite de la culture..... | 54 |
| 10.1. Semis en pépinière..... | 54 |
| 10.2. Les différentes étapes réalisées pour la mise en place de l'essai..... | 54 |
| 11. Travaux d'entretien de la culture..... | 56 |
| 11.1. Le palissage | 57 |
| 11.2. L'ébourgeonnage | 57 |
| 11.3. L'effeuillage | 58 |
| 11.4. Le couchage | 59 |
| 11.5. L'étêtage | 59 |
| 11.6. La pollinisation | 59 |
| 12. la ferti-irrigation | 60 |
| 13. méthodes de protection (protection phytosanitaire) | 65 |
| 14. Les maladies observées sur la culture de tomate | 66 |
| 15. la récolte | 67 |
| 16. Les paramètres étudiés..... | 68 |
| 16.1. Paramètre de croissance..... | 68 |
| 16.1.1. Le nombre de fleurs par bouquet et par plant | 68 |
| 16.1.2. Taux d'avortement..... | 68 |
| 16.1.3. Hauteur des plants | 68 |
| 16.2. Paramètre de production..... | 68 |
| 16.2.1. Le nombre de fruits par bouquet et par plant..... | 68 |
| 16.2.2. Le poids moyen des fruits par bouquet et par plant..... | 68 |
| CHAPITRE II : Résultats et discussion | |
| 1. Paramètre de croissance..... | 69 |
| 1.1. Nombre de fleurs par bouquet | 69 |
| 1.2. Nombre de fleurs par plante | 70 |
| 1.3. Taux d'avortement par bouquet..... | 71 |
| 1.4. Taux d'avortement par plant..... | 72 |
| 1.5. La hauteur finale des plants | 73 |
| 2. Paramètre de production..... | 74 |
| 2.1. Nombre de fruits par bouquet..... | 74 |

| | |
|--|----|
| 2.2. Nombre de fruits par plant..... | 75 |
| 2.3. Poids moyen des fruits par bouquet..... | 76 |
| 2.4. Poids moyen des fruits par plant..... | 77 |

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Listes des figures

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Système racinaire de la tomate | 05 |
| Figure 02 : Tige de la tomate au stade de croissance. | 05 |
| Figure 03 : Feuilles de la tomate au stade de croissance..... | 06 |
| Figure 04 : Fleur de tomate | 07 |
| Figure 05 : schéma représentant la technique..... | 24 |
| Figure 06 : Schème de la conduite en Nutrient Film technique (NET)..... | 25 |
| Figure 07 : dispositif de l'aéroponie..... | 26 |
| Figure 08 : localisation de la ITCMI Zéralda | 42 |
| Photo 09 : Serre de l'expérimentation | 43 |
| Figure 10 : Relevé de la température sous serre durant l'expérimentation | 44 |
| Figure 11 : palissage de la tomate | 57 |
| Figure 12 : Ebourgeonnage de la tomate..... | 58 |
| Figure 13 : effeuillage de la tomate..... | 59 |
| Figure 14 : Ruches de bourdons | 60 |
| Figure 15 : la tête de station | 65 |
| Figure 16 : insecte-proof inusitée | 66 |
| Figure 17 : fruits de la tomate récoltés de différents traitements utilisés dans notre expérience..... | 67 |
| Figure 18 : Nombre de fleurs par bouquet..... | 69 |
| Figure 19 : Nombre de fleurs par plant | 70 |
| Figure 20 : Taux d'avortement par bouquet | 71 |
| Figure 21 : Taux d'avortement par plant..... | 72 |
| Figure 22 : La hauteur finale des plants (m)..... | 73 |
| Figure 23 : Nombre de fruits par bouquet | 74 |
| Figure 24 : Nombre de fruits par plant | 75 |
| Figure 25 : Poids moyen des fruits des fruits par bouquet | 76 |
| Figure 26 : Poids moyen des fruits des fruits par bouquet | 77 |

Listes des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 01 : Exigences de la plante en température (Anonyme, 1995)..... | 09 |
| Tableau 02 : Exemple de solution nutritive de tomate en fonction de stade..... | 12 |
| Tableaux 03 : Les principales maladies et ravageurs de la tomate | 12 |
| Tableau 04 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate crue..... | 19 |
| Tableau 05 : Les macroéléments leur forme d'absorption et leur rôle dans la plante..... | 36 |
| Tableau 06 : Les microéléments, leur forme d'absorption et leur rôle | 37 |
| Tableau 07 : La compatibilité des engrais entre eux..... | 39 |
| Tableau 08 : Avantages et inconvénients de la fibre de coco | 46 |
| Tableau 09 : Avantages et inconvénients de la pouzzolane..... | 47 |
| Tableau 10 : Avantages et inconvénients de la fibre de palmier | 48 |
| Tableau 11 : Avantages et inconvénients de la Perlite | 49 |
| Tableau 12 : Tableau des différentes étapes réalisées pour la mise en place de l'essai | 54 |
| Tableau 13 : Tableau des différentes étapes réalisées pour la mise en place de l'essai pendant la culture..... | 56 |
| Tableau 14 : Tableau qui représente les éléments minéraux de la solution | 62 |
| Tableau 15 : Tableau qui représente les éléments contenus dans l'eau utilisée pour la préparation de solution nutritive..... | 63 |
| Tableau 16 : Les maladies observées et les traitements au cycle de vie de la plante..... | 66 |
| Tableau 17 : Nombre de fleurs par bouquet..... | 69 |
| Tableau 18 : Nombre de fleurs par plant..... | 70 |
| Tableau 19 : Taux d'avortement par bouquet | 71 |
| Tableau 20 : Taux d'avortement par plant | 72 |
| Tableau 21 : La hauteur finale des plants..... | 73 |
| Tableau 22 : Nombre de fruits par bouquet..... | 74 |
| Tableau 23 : Nombre de fruit par bouquet | 75 |
| Tableau 24 : Poids moyen des fruits par bouquet | 76 |
| Tableau 25 : Poids moyen des fruits par plant..... | 77 |

Introduction Général

Introduction

La culture en hors sol est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains à problèmes, où une meilleure productivité est impossible autrement qu'avec un substrat de culture artificiel.

En effet, le substrat est du sol naturel, juste isolé de la terre. Cette technique permet de gérer l'entretien de la terre : volume, écoulement des drainages, désinfections.

C'est l'unique solution lorsque le sol naturel souffre de contraintes incorrigibles (terrain rocailleux, hydromorphes, salés,...), alors que tous les autres facteurs (climat, disponibilité et qualité de l'eau, proximité et prix du marché,...) sont favorables.

L'idée de cultiver hors du sol apparaît au cours de recherches sur le rôle de l'eau, de l'air et de chacun des constituants du sol dans la fertilisation des plantes.

La culture hors sol représente aussi l'hydroponie ou culture hydroponique. C'est une culture dont les racines des plantes reposent dans un milieu reconstitué, détaché du sol. Le substrat, minéral ou organique, est neutre et inerte comme du sable, de l'argile ou de la laine de roche par exemple. Ce substrat peut être également d'origine industrielle. Ce milieu de culture est irrigué de façon régulière par des solutions nutritives adéquates à la plante cultivée.

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

La tomate cultivée, *lycopersicum esculentum* Mill, une plante herbacée annuelle est une plante Solanale de la famille de la solanacée. Cette espèce est originaire d'Amérique du sud (Pérou, Equateur, Bolivie), et après son introduction en Europe, Dans le monde entier, la tomate occupe la deuxième place après la pomme de terre, que ce soit dans la production ou la consommation. Rapport qu'il en existe plus de 700 variétés, sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, ce qui vaut près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes.

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. Dans la présente étude, d'après

les données de la bibliographie. Les particularités du « fonctionnement » d'une plante n'apparaissent d'abord que dans ses réactions aux diverses conditions de milieu.

Dans cette étude on s'est visé sur le milieu de culture une des composantes les plus opérantes du système de production « hors sol » sur la plant de tomate.

Première partie

Etude bibliographique

1. Description sommaire de la plante

La tomate *Lycopersicon esculentum* Mill appartient à la famille des solanacées, d'origine tropicale (Amérique latine). Comme c'est une culture à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie cultivée s'agrandit de jour en jour. La consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré, Le fruit est riche potassium, antioxydants, magnésium, phosphore, vitamines A-B-C et E, fibres et sels minéraux. La tomate est un allié de votre minceur car elle a un faible apport calorique.

2. Description botanique de la plante de la tomate

La racine de la tomate pivotante pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices. La tige présente un port de croissance entre érigé et prostré, elle pousse jusque à une longueur de 2 à 4 m, elle est pleine, fortement poilue et glandulaire. Les feuilles sont composées et velue.

Elle répand une odeur caractéristique, due à la solanine, si on la froisse. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires (**SHANKARA et al. 2005**).

Les fleurs sont de couleur jaunâtre, regroupées en cyme (**ANONYME, 1999**).

REY et COSTES (1965), rappellent que la formule florale de la fleur est la suivante 5 sépales+ 5 pétales+ 5 étamines + 2 carpelles.

Le fruit est une 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. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelé. Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g. (**SHANKARA et al. 2005**).

3. Classification botanique de la tomate

Selon **GUIGNARD (2000)**, la tomate appartient à la classification suivant :

| | |
|--------------------|---------------|
| Règne | Plantae. |
| Embranchement | Spermaphytes |
| Sous embranchement | Angiospermes. |
| Classe | Dicotylédones |
| Sous classe | Gamopétales |

| | |
|------------|-------------------------------|
| Ordre | Polémoniales |
| Sous ordre | Solanales |
| Famille | Solanacées |
| Genre | Lycopersicum |
| Espèce | Lycopersicum esculentum Mill. |

4. Classification génétique

La tomate cultivée *Lycopersicum esculentum* est une espèce diploïde avec $2n = 24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogéniques dont certains sont très importants pour la sélection. 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 tomate :

4.1. Variétés fixées

Il existe plus de cinq cent variétés (conservent 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**).

4.2. Variétés hybrides

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

5. Caractéristiques morphologiques de la tomate

5.1. L'appareil végétatif

5.1.1. Le système racinaire

La tomate présente un important système racinaire très ramifié et à tendance fasciculé. Il est très actif sur les 30 à 40 premières centimètres (zone active). De nombreuses racines primaires, secondaires et tertiaires prennent naissance sur un pivot puissant. Les racines peuvent atteindre une longueur de 85 à 90 cm en sol profond (**CHAUX et FOURY, 1994**).



Figure 01 : Système racinaire de la tomate

5.1.2. La tige

La tige est de forme anguleuse, épaisse aux entre nœud pubescent (couvert de poil), de consistance herbacée en début de croissance, se lignifie en vieillissant. Il n'y a qu'une tige par pied. Mais cette tige peut se ramifier et donner à la plante un aspect buissonnant. (KOLEV, 1976).



Figure 02 : Tige de la tomate au stade de croissance.

5.1.3 La feuille

La feuille de tomate présente une longueur de 10 à 25 cm. Composés de plusieurs folioles principales et intercalaires, à l'aisselle des feuilles se développent les bourgeons (CLIMENT, 1981).

Les feuilles sont alternes, simples, et sans stipules. Elles sont imparipennées (ABBAYES et al., 1963)



Figure 03 : Feuilles de la tomate au stade de croissance.

5.2. L'appareil reproducteur

5.2.1. La fleur

Les fleurs de tomate sont actinomorphes, de couleur jaune et réunies en inflorescences pentamères. Le gynécée possède entre 2 et 5 carpelles (**ABBAYES et al., 1963**). Le calice compte cinq sépales ou plus, de couleur verte. La corolle compte autant de pétales que de sépales, soudés à la base. L'androcée compte cinq étamines ou plus, à déhiscence latérales, introrse.

Les anthères sont allongées et forment un cône resserrée autour du pistil. Ce dernier est constitué de plusieurs carpelles soudés. Formant un ovaire supère biloculaire ou multiloculaire et à placentation centrale (**WELTY et al., 2007**).

Selon le cultivar et les conditions environnementales, le style peut être en position interne dans le cône d'étamine (fleurs brévistyle), affleurant, ou dépasser légèrement (fleur long style).

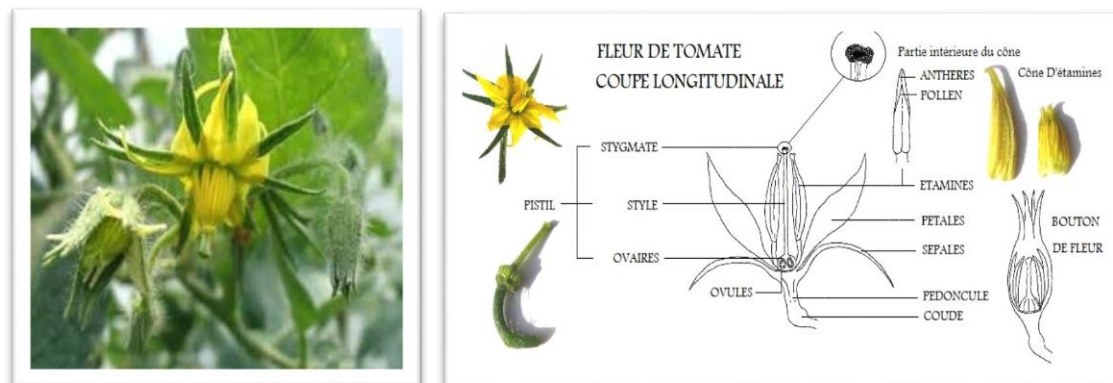


Figure 04 : Fleur de tomate

5.2.2. Le fruit

Le fruit de la tomate est une baie charnue. L'épiderme est lisse brillant et peut présenter sur des fruits murs des colorations très diverses, selon La variété. Mais le plus souvent du couleur rouge (**RENAUD, 2003**).

Le fruit présente en principe 2 loges. En section méridienne le fruit peut revêtir des formes très variées, ellipsoïdales, plus ou moins aplaties, globuleuses, ovales, plus ou moins allongées, voir cylindrique ou piriformes. La taille est extrêmement variable, allant de 1.5 cm de diamètre pour la tomate cerise à plus de 10 cm. La couleur du fruit varie du foncé, rose, bleuâtre, orange, jaune et même blanche.

6. Cycle biologique de la tomate

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**). Le cycle de la tomate comprend cinq phases :

6.1. 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 radicules 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 division cellulaires.

La germination effectue au bout de 6 à 8 jours après le semis à une température ambiante entre 18 et 24°C (**HELLER,1996**).

6.2. Phase de croissance

Selon (LAUMONIER 1979) la croissance déroule en deux phases dans deux milieux différents : à la pépinière et en plein champs ou sous serre.

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. A la partie aérienne, la tige s'allonge et forme des feuilles.

En plein champ ou serre : A 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.

6.3. Phase de floraison et la pollinisation

Selon REY et COSTAES (1965). La floraison correspond à l'apparition et le développement des ébauches florales qui se traduit par la transformation du méristème apical en passant de l'état végétatif à l'état reproducteur. L'apex s'aplatit, s'élargit et les protubérances formées sont des ébauches des pièces florales. Celle-ci se transforment par la suite en boutons floraux et s'épanouissent en fleurs. Ces transformations dépendent de plusieurs facteurs : notamment la photopériode, la température et les éléments nutritifs.

En conditions favorables, 6 à 7 semaines après le semis apparaissent les bouquets floraux groupés en inflorescences, durant cette phase les températures nocturnes et diurnes doivent être 13°C et 23°C.

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).

6.4. Phase de fécondation, de nouaison et de fructification

D'après REY et COSTES (1965), 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'inférieurs 22 °C sont défavorables à la nouaison.

6.5. 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.

La lumière intense permet la synthèse active des hydrates de carbone transportés rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour nécessaire. (REY et COSTES, 1965).

7. Ecologie de la tomate

7.1. Les exigences climatiques

Selon Chaux (1994), il existe trois facteurs essentiels qui interviennent, de façon variable, aux différents stades du développement : température de l'air et du sol, intensité et durée d'éclairement, hygrométrie de l'air.

7.1.1. La température

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

La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C. Les plantes peuvent surmonter un certain intervalle de températures, mais en-dessous de 10°C et au-dessus de 38°C les tissus des plantes seront endommagés.

La tomate réagit aux variations de température qui ont lieu pendant le cycle de croissance (SHANKARA *et al.*, 2005).

Tableau 01 : Exigences de la plante en température (Anonyme, 1995)

| Stades de croissance | Températures du sol | Températures de l'air |
|---|--------------------------|--|
| Germination (avant levée) | 30 à 20°C (décroissante) | 20°C (constante) |
| Elevage de plants en pépinière | 20 à 25°C | 26°C jour et 20°C nuit |
| Plante en culture : développement végétatif, floraison. | 15 à 18°C | Thermo-périodisme journalier 20 à 2°C jours, 15 à 17°C nuits |
| Fructification : pollinisation, fécondation, nouaison. | 15 à 20°C | 20 à 25°C jours et 15 à 17°C nuits |
| Développement des fruits | 18 à 20°C | 20 à 23°C |

7.1.2. La lumière

Comme pour tous les végétaux, le développement et la production de la tomate dépendent largement du rayonnement solaire reçu par la plante. Cette énergie agit en particulier sur la transpiration et la photosynthèse, cette dernière permet à la plante, à partir du gaz carbonique prélevé dans l'air et de l'eau puisée dans le sol, de synthétiser des sucres ou assimilât, base de la matière sèche. L'intensité de la photosynthèse est fonction de la

quantité d'énergie reçue et de l'interception de cette lumière par le feuillage. Elle est influencée par la température, la teneur en CO₂ de l'air et l'ouverture des stomates (**Navez 2011**).

7.1.3. L'humidité

Selon (**BOLLINGER 1970**), c'est une plante sensible à l'hygrométrie. Il faut éviter de mouiller le feuillage, afin de limiter les maladies cryptogamiques et d'éviter également la chute de fleurs. Les vents chauds et desséchants provoquent aussi la chute des fleurs.

7.2. Les exigences édaphiques

7.2.1. Le sol

La tomate pousse bien sur la plupart des sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau, une bonne aération et qui sont libres de sels. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées.

La couche superficielle du terrain doit être perméable. Dans les sols d'argile lourde, un labourage profond permettra une meilleure pénétration des racines.

En général, ajouter de la matière organique stimule une bonne croissance. Les sols qui contiennent beaucoup de matière organique, comme les sols tourbeux, sont moins appropriés, dû à leur forte capacité de rétention d'eau et à une insuffisance au niveau des éléments nutritifs (**SHANKARA et al., 2005**).

7.2.2. Le pH

La tomate tolère une large gamme de pH. Selon **CHAUX et FOURY (1994)**, ce taux de pH toléré 4,5 à 8,5 et le meilleur équilibre nutritionnel est assuré à des pH compris entre 6 et 7. Néanmoins sur des sols à pH basique certains microéléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles pour la plante. Aussi des valeurs plus basses ou plus élevées induisent des carences minérales ou des toxicités (**VAN DER VOSSSEN et al., 2004**).

7.2.3. La salinité

Elle est moyennement sensible à la salinité ; les engrais chlorurés semblent cependant ne pas lui convenir (**LERARD, 1995**).

La culture de tomate tolère une conductivité électrique (CE) de l'ordre de 3 à 4,5 mmohs/cm. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit. Donc elle doit être maintenue entre 1 et 2 mmohs/cm à 25°C en fonction du stade de la culture et de la saison (**SKIREDJ, 2006 in AMMARI, 2012**).

7.3. Exigences hydriques

L'eau est un facteur important du rendement et de la qualité du fruit (**CHAUX et FOURY, 1994**) la tomate requiert une quantité significative en eau (**JONES,2005**), ce besoin en eau est lié au climat, au stade de la plante et à son stade végétatif (**LETARD, 1995**). Tout stress hydrique à n'importe quel stade de croissance réduira le rendement et la qualité du fruit (**EZZAHIRI et al., 2004**). Cependant, les stades où les besoins en eau sont critiques sont la floraison, et le grossissement des fruit (**MERDACI et ATIA, 2006**).

La tomate demande 275 à 277 litres d'eau pour synthétiser un kilogramme de matière sèche, ces chiffres passent de 378 et 438 litres sous serre (**JACOB,1978**). Les besoins en eau peuvent être couverts par des apports de 25% des besoins globaux durant la phase végétative, 50% durant la première récolte et 25% durant la dernière phase de la culture (**SKIREDJ, 2005**).

7.4. Exigence en éléments fertilisants

La tomate est une plante facilement cultivable, qui peut se développer sous différentes conditions environnementales mais ses besoins en éléments minéraux sont assez grands (**JONES, 2005**). Ils demandent à être ajustés en fonction de la technique de production, de la nature du sol ou du substrat et de la stratégie d'irrigation ainsi que du rendement escompté (**PERON, 2006**).

- **Alimentation minérale de la tomate en hors sol**

L'alimentation minérale de la tomate en hors sol est assurée par la solution nutritive préalablement formulée pour répondre à ses besoins toute au long de son cycle de culture. La solution nutritive de la tomate varie selon la formulation adoptée lors de sa conception.

La distribution de la solution nutritive se fait par différents systèmes d'irrigation.

Elle doit être surveillée (dosée) périodiquement pour assurer constamment l'équilibre des concentrations. La composition de la solution nutritive ainsi que la fréquence d'apport et le temps de chaque apport sont conçus en prenant en compte le système de culture, le stade de développement et les conditions (**AMES et JOHNSON, 1986 ; JONES 2005**). Il y'a plusieurs formulations conçues pour la production de tomate en hors sol, que sont le plus souvent des variations de la formulation proposée par (**HOGLAND et ARNON 1950**).

Le tableau 02 donne l'exemple d'une solution nutritive de la tomate en fonction des stades de développement conduite assurant 20% de drainage réalisée par le CTIFL en 1995.

Tableau 02 : exemple de solution nutritive de tomate en fonction de stade

(Source : LATARD, 1995)

| ELEMENT OU RADICAUX EN (Meq/L) | | STADE | | | |
|-----------------------------------|---|--|-----------|------------|-----------------|
| | | Plantation à F2 | F3à F5 | F6 à R2 | R3 à Récolte |
| ANIONS | NO ₃ | 15 | 15 | 13 | 13 à 11 |
| | H ₂ PO ₄ ⁻ | 2 | 2 | 1,5 | 1,5 |
| | SO ₄ ⁻² | 6 | 6 | 5 | 4 |
| | CL ⁻ | 2 | 2 | 2 | 2 |
| CATIONES | NH ₄ ⁺ | 1,5 | 1,5 | 1 | 1 |
| | K ⁺ | 7,5 | 7,5 | 9,5 | 7,5 |
| | Ca ²⁺ | 12 | 12 | 10,5 | 7 à 9 |
| | Mg ²⁺ | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | K ⁺ /Ca ₂ ⁺⁺ /Mg ₂ ⁺ | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,6-0,75 |
| OLIGO-ELEMENTS | | En (Mg/L) Fe :0,8 ; Bo :0,3 ; Mn :0,55 ; Cu : 0,05 ; Mo :0,05 | | | |

8. Les maladies et ravageurs

Malgré l'utilisation de variétés hybrides, résistantes aux nématodes et aux maladies vasculaires (fusariose et verticilliose), la tomate demeure sujette aux attaques d'autres maladies et ravageurs occasionnant parfois des dégâts très importants. Les principaux symptômes et dégâts des maladies et ravageurs ainsi que leurs moyens de lutte sont récapitulés dans le tableau se dessus.

Tableaux 03 : les principales maladies et ravageurs de la tomate (source : bulletin mensuel d'information et de liaison, transfert de technologie en agriculture du PNTTA N° 57. Juin)

| Maladies et ravageurs de la tomate : Symptômes, dégâts et moyens de lutte | | |
|---|---|---|
| | Symptômes et dégâts | Moyens de lutte |
| Maladies cryptogamiques | | |
| Alternaria | Sur feuille : Apparition des taches arrondies | Utilisation des variétés résistantes, destruction des |

| | | |
|---------|---|---|
| | <p>noirâtres montrant des cercles concentriques.</p> <p>Des taches chancreuses peuvent se manifester sur tige.</p> <p>Sur Fruit : la maladie s'attaque en premier lieu aux sépales qui se nécrosent, puis passe aux calices.</p> | <p>fanés des cultures précédentes, rotation culturale adéquate, aération des tunnels, traitement chimique.</p> |
| Oïdium | <p>Apparition de taches jaunes sur la face supérieure des feuilles, et d'un duvet blanc sur la face inférieure, Après jaunissement des feuilles, elles se dessèchent et tombent. Une malnutrition minérale accentue la maladie.</p> <p>La maladie ne se manifeste jamais sur fruit.</p> | <p>Assurer une bonne aération des serres pour éviter l'excès de chaleur, éviter les assoiffement des plants, supprimer les feuilles. Basales attaquées par la maladie, stimuler la croissance par un apport azoté, traitements chimiques.</p> |
| Mildiou | <p>Apparition des taches jaunâtres qui brunissent rapidement. Sur la face inférieure des feuillaisons voit un duvet blanc, grisâtre qui déssimine les spores.</p> <p>Les tiges attaquées</p> | <p>Eviter les excès d'azote et d'eau, bonne aération des tunnels, Élimination des plants malades, effeuillage régulier, traitements chimiques préventifs, alterner les produits pour éviter l'accoutumance.</p> |

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| | noircissent et la plante meurt en quelques jours | |
| Botrytis (Ou pourriture Grise) | Sur feuille et tige : Apparition des taches brunâtres accompagnées d'un duvet grisâtre. Ces taches peuvent évoluer en chancre sur tiges et pétioles. Sur fruit, on observe une pourriture molle grise. Chute des fleurs et fruits. | Réduire les sources d'infection, destruction des débris végétaux, choix de variétés résistantes, éviter l'excès d'eau, éviter l'excès. D'azote, aération adéquate des serres, traitement chimique, en Préventif (essayer d'alterner les produits de la famille benzimidazoles et les dicarboximides). |
| Maladies bactériennes | | |
| Chancre Bactérien | Flétrissement unilatéral sur feuille, suivi d'un dessèchement total. Des coupes longitudinales sur tige et pétioles montrent des stries brunâtres. En cas de forte chaleur et HR élevée, on observe des chancres ouverts sur tiges et pétioles. Sur fruit, se forment des taches blanchâtres, dont le centre brunit et s'entoure d'un halo jaune clair, d'où le nom de "œil d'oiseau" | -Eviter les terrains infestés. -Aération convenable des serres. -Eviter l'apport excessif d'azote. -Eviter les excès d'eau. -Eliminer les plants malades. |

| | | |
|--|--|--|
| <p>Moucheture de la tomate</p> | <p>Sur feuillage : Apparition des taches noires de contour irrégulier entourées d'un halo jaune. Ces taches peuvent se joindre et forment une plage nécrotique brune-sombre.</p> <p>Les folioles se dessèchent et tombent. Si l'attaque est précoce, on assiste à une coulure importante des fleurs.</p> <p>Sur fruit, on observe des taches brunes nécrotiques.</p> | <p>-Appliquer des fongicides à base de cuivre qui ont un effet bactériostatique.</p> <p>-Désinfection des abris-serre avant plantation.</p> <p>- Utilisation de semences certifiées Traitement de semences Variétés résistantes.</p> |
| <p>Gale Bactérienne</p> | <p>Apparition des taches brunâtres relativement régulières entourées d'un halo jaune. De nombreuses taches entraînent le dessèchement de folioles et la chute des feuilles.</p> <p>Sur fruit, de petits chancres pustuleux apparaissent et prennent un aspect liégeux.</p> | |
| <p>Moelle Noire</p> | <p>Les plantes atteintes présentent des taches sombres sur tige, pétioles</p> | |

| | | |
|-----------------------|---|--|
| | et pédoncules. Une coupe longitudinale de la tige montre une moelle noire remplie de vacuoles. Les vaisseaux demeurent intacts, contrairement à ce qui se passe dans le cas d'une maladie vasculaire. | |
| Viroses (TYLCV) | Ralentissement de la croissance Jaunissement des folioles Fruits petits et nombreux Enroulement des feuilles en forme de cuillère Rabougrissement des plants infectés. | Lutte préventive contre le vecteur <i>Bemisia tabaci</i> Lutte biologique par l'utilisation de prédateurs naturels : <i>Eucarsia Formosa</i> contre la mouche blanche Lutte culturale : éliminer les sources primaires et secondaires du Virus, utilisation de filets étanches et utiliser les plants sains. |
| Nématodes à galles | Apparition de galles sur les racines des plants attaqués. La tige rabougrit, les feuilles jaunissent, puis la plante dépérit. | Eviter le sol infesté, désinfection avant plantation à l'aide de nématocides, utilisation de variétés résistantes, recours aux porte greffes résistants |
| Insectes et ravageurs | | |
| Acariens | La face inférieure des folioles devient brune à bronzée. Sur fruit, la peau devient suberifiée et présente des craquelures. | Aération des tunnels, éviter l'assoiement des plants par une irrigation régulière, assurer un bon binage pour éliminer les plantes hôtes, éviter l'excès |

| | | |
|--------------------------|---|---|
| | | de certains produits chimiques qui peuvent éliminer les prédateurs naturels et faire apparaître des résistances chez le ravageur, traitement chimique avec des acaricides |
| Noctuelles | Les jeunes chenilles dévorent le collet et entraînent la mort de la plante. Sur fruit, les larves creusent des galeries qui évoluent en pourriture, puis une chute prématurée des fruits attaqués. | Traitement insecticide à base de pérythrinoides (Deltametrine, permetrine etc..) en alternance avec les autres insecticides couramment utilisés. |
| Désordres physiologiques | | |
| Necrose apicale | Sur fruit, on observe une tache brunâtre qui se nécrose par la suite et provoque le dessèchement pistalaire du fruit qui devient sujette aux attaques des champignons. Les 2 ou 3 premiers bouquets sont les plus touchés par cette anomalie. | Apport d'engrais azoté à base de nitrates et de calcium. Irrigation régulière, ébourgeonnage et effeuillage à temps, éviter l'irrigation avec des eaux saumâtres, traitement chimique avec les nitrates de chaux ou le chlorure de calcium. |
| Tomate creuse | Le fruit prend une forme triangulaire ou cordiforme. Les loges sont vides, présentant parfois peu de graines. | Fertilisation potassique fractionnée, éviter l'apport excessif d'azote et de phosphore, Irrigation régulière, bonne fermeture des abris |

| | | |
|-----------------|--|---|
| | La chair est moins épaisse. | pendant la nuit au cours des mois les plus froids, amélioration de la nouaison par l'utilisation des vibreurs |
| Eclatement | Au cours du grossissement du fruit, on observe des gerçures au niveau du collet qui peuvent évoluer, si les conditions deviennent favorables, en éclatement circulaire ou radial. | Irrigation régulière, aération judicieuse des abris fertilisation rationnelle, utilisation de variétés tolérantes. |
| Blotchyripening | Les fruits affectés présentent des plages verdâtres, irrégulières qui persistent même à maturité complète. Une coupe longitudinale du fruit, montre un brunissement de péricarpe avec des vaisseaux liquéfiés. | Eviter l'excès d'azote, éviter l'excès d'eau, pratiquer un bon effeuillage et ébourgeonnage, surtout pour les variétés à forte densité de feuillage, aération régulière des abris-serres, éviter l'effet d'ombrage causé par des brise-vents ou des tunnels trop rapprochés |

9. La valeur alimentaire et énergétique de la tomate

D'après **KOLEV, (1976)**, la valeur alimentaire de la tomate est placée parmi les légumes les plus appropriés. Sa richesse en vitamines, en sels minéraux et en sucre lui ont donné sa place comme une nourriture excellente, surtout pour les enfants.

Depuis que la tomate a été classée parmi les plantes alimentaires majeures (début 20^{ème} siècle), sa place dans l'alimentation humaine n'est plus à démontrer. Elle est utilisée en frais en salade et en jus, ou transformée, sous forme de purée, de concentré, de condiment et de sauce (**BENTVERISEN et al., 1987 in KRAMOU, 2011**). Le tableau 04, donne la valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate crue.

Tableau 04 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate crue, (ARVY, 2007).

| | |
|-----------------------|-----------------|
| Energie | 18 Kcal (75 Kj) |
| Protides | 1 g |
| Lipides | 0,2 g |
| Glucides | 3 g |
| Fibres | 1,2 g |
| Eau | 93 % |
| Calcium | 10 mg |
| Fer | 0,4 mg |
| Magnésium | 10 mg |
| Phosphore | 24 mg |
| Potassium | 250 mg |
| Sodium | 5 mg |
| Carotènes | 0,6 mg |
| Vit. E | 1 mg |
| Vit. B1 (thiamine) | 0,05 mg |
| Vit. B2 (riboflavine) | 0,01 mg |
| Vit. B3 ou vit. PP | 0,6 mg |
| Vit. B5 | 0,3 mg |
| Vit. B6 vit. B9 | 25 mg |
| Vit. C | 20 mg |

CHAPITRE II

Généralité sur

La culture hors sol

1. Définition de la culture hors-sol

Le terme « culture hors-sol » signifie littéralement « faire croître des plantes sans sol ». Une définition plus complète nous est donnée par l'International Society for Soilless Culture qui décrit ces cultures comme étant "une technique de croissance de végétaux non aquatique dont les racines plongent dans un milieu entièrement organique ou inorganique, et sont alimentées grâce à une solution nutritive" (MAXWELL, 1986).

MORARD (1995) définit les cultures hors sol comme des « culture des végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol ».

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).

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 des cas de culture hors-sol n'utilisant pas des substrats : cultures sur film d'eau ou hydroponiques : l'aéroponie, dans lequel des racines sont placées dans un brouillard nutritifs (URBAN, 2010).

"Hydroponie" tire ces racines de deux mots grecs: **hydro** pour l'eau et **ponos** pour travail (DUDLEY, 1983).

2. Historique

La culture en hydroponie a été lancée par les Etats Unis pendant la deuxième guerre mondiale pour répondre aux besoins de leurs armées en légumes frais. La technique du hors sol a été introduite en Europe dans les années 70 ; appliqués à quelques cultures maraichères et florales sous serres, elle s'est ensuite développée à un rythme rapide (THIAULT, 2004).

La culture hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le fonctionnement des plantes (Robin, 1998). En Algérie l'initiation à la culture hydroponique sur deux solanacées fruits (tomate, poivron) a pu mettre en évidence par les travaux de DJOUDI et SNOUSSI en 1979 et 1980 respectivement (SNOUSSI, 1980).

3. Le but de la culture hors sol

Le principal objectif visé par la pratique des cultures hydroponiques est de remédier aux conditions aléatoires de la nutrition dans le sol et ceci par l'utilisation d'une solution nutritive contenant tous les éléments nécessaires (macro et micro éléments) à la croissance et au développement d'une plante (**SNOUSSI, 1980**).

Selon (**JEANNEQUIN, 1992**) les cultures hydroponiques sont développées pour :

- Eviter la fatigue rapide du sol de serre à cause des attaques parasitaires avec prolifération des nématodes et des champignons.
- Elles offrent la possibilité d'implanter des serres à des endroits où l'énergie est meilleur marché.
- A proximité d'usines ou sur des sites géothermiques pour profiter des eaux chaudes et de l'énergie solaire.
- Elles permettent de contrôler très précisément l'environnement racinaire assurant une précocité plus grande et une production en quantité et qualité.

4. Progression La culture hors sol

4.1. Dans le monde

En Europe, quatre pays concentrent la quasi-totalité des cultures hors sol sous serres. Ce sont les Pays-Bas, qui en possèdent les grandes surfaces, suivis de la France, la Belgique et la Grande-Bretagne. Il s'en trouve aussi en Suisse et dans certains pays de l'Est. Dans les autres pays, les surfaces les plus importantes sont recensées au Japon et Afrique du sud (**THIAULT, 2004**).

En particulier dans le bassin méditerranéen, et plus généralement dans les régions pénalisées par le manque d'eau (**URBAN, 1997**).

4.2. En Algérie

La situation des cultures hydroponiques en Algérie n'évolue guère si ce n'est qu'elle reste au stade expérimental dominé par quelques travaux de recherche.

En Algérie, la première expérience de culture hors sol a été la mise en place d'un système hydroponique à Beni-Abbes, au Sahara. Le but de ces travaux portait exclusivement sur l'étude de substrats sableux locaux (**CHOUARD et RENAUD, 1961**). Malgré le grand potentiel que nous possédons pour les cultures hydroponiques, les cultures hors sol restent peu développées. Elles se limitent à une seule entreprise (**Ceviagro**) qui produit en hors sol ne dépassant par les 100 ha.

Il existe quelques travaux de recherche au niveaux d l'INRA, l'ENSA et L'ITCMI, mais ces travaux ne sont pas exploités sur le terrain.

5. Espèces cultivées en hors-sol

5.1. Cultures légumières sous serres

Pratiquement, toutes les plantes peuvent être conduites en culture hors sol, mais sont principalement concernés les cultures légumières et les petits fruits. L'espèce majeure est la tomate suivie de la fraise qui a connu un très fort développement, du concombre, du poivron et de l'aubergine.

Depuis quelques années, se sont développé le melon, la courgette et la framboise.

5.2. Les cultures florales

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

Dans un but expérimental, les arbres fruitiers sont conduits de cette manière pour étudier leurs besoins en éléments nutritifs (**TIAULT ,2004**).

6. Avantages et inconvénients des cultures hors sol

6.1. Les Avantage des cultures hors sol

Selon (**URBAN 2010**), témoigne que les cultures hors sol ont connu un développement considérable dans ces deux dernières décades, dans les pays de l'Europe du nord, Grande Bretagne, pays bas et Allemagne ensuite partout dans le monde, et il distingue deux causes :

L'affranchissement des sols contaminés et la meilleure performance agronomique des cultures hors sol.

(**MORARD ,1995**) classe les avantages des cultures hors sol d'ordre décroissant comme suit :

- Elimination des problèmes liés au sol.
- Economie d'eau et d'engrais minéraux.
- Simplification des techniques culturales.
- Gain en précocité.
- Produit de meilleure qualité.

- Augmentation de rendement.
- Meilleure productivité de la plante

On peut ajouter un avantage qui est la suppression des travaux de préparation et d'entretien du sol, le labour, l'hersage, les binages, les désherbages (**URBAN,1997**).

6.2. Inconvénients et contraintes des cultures hors sol

- Coût d'installation et d'entretien élevé.
- Maitrise incomplètes des déchets (rejet de solution nutritive, certains substrats non recyclables).
- Contraintes liées à l'irrigation et à la fertilisation.
- La limitation du système racinaire
- Les besoins instantanés en irrigation
- Le renouvellement fréquent de la solution fertilisante
- L'absence du pouvoir tampon
- Le niveau élevé des compétences et connaissances requises.

7. Les systèmes de culture hors sol

Tout système de culture hors sol est caractérisé par trois composantes matérielles : le conteneur, le substrat et le réseau de distribution de la solution nutritive (**BLANC, 1987**).

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tous matériaux naturel ou artificiel qui placé en conteneur pur ou en mélange permet l'encrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support (**BLANC, 1987**).

Pour pouvoir véritablement revendiquer le label hors sol, la production faisant appel à des substrats de culture devrait utiliser de manière exclusive des matériaux chimiquement et biologiquement inertes (**URBAN 1997**).

7.1. Système sans substrat

Les systèmes de culture sans substrat sont considérés comme plus simple puisqu'ils mettent directement en contact la solution nutritive et les racines de la plante : ils évitent donc l'emploi de substrat et les contraintes qu'il occasionne (mise en place, renouvellement) (**MORARD,1995**).

Cette dernière technique facilite la désinfection des installations. Cependant, on doit résoudre les difficultés d'alimentation on oxygène des racines. En effet, ; une solution nutritive seule ne contenant pas assez d'oxygène dissous nécessite un dispositif pour

l'enrichir, pour cela, il existe trois dispositifs différents : l'Aquiculture, la technique film nutritive (NET), et l'Aéroponique (MORARD,1995).

7.1.1. Aquiculture

C'est la méthode la plus ancienne qui correspondait à l'utilisation des premières solutions nutritives, mises au point vers 1860 (MORARD,1995).

Initialement cette méthode était utilisée par les scientifiques comme outil de recherche pour comprendre la nutrition de la plante et le fonctionnement des racines. La culture est mise en eau sans l'utilisation d'un substrat solide (RAVIV et LITH,2008). Avec une solution nutritive non circulante.

Cette solution contenue dans un bac de culture, le contenant est un récipient en matière plastique opaque du commerce comme un bac, ou unseau (MORARD,1995).

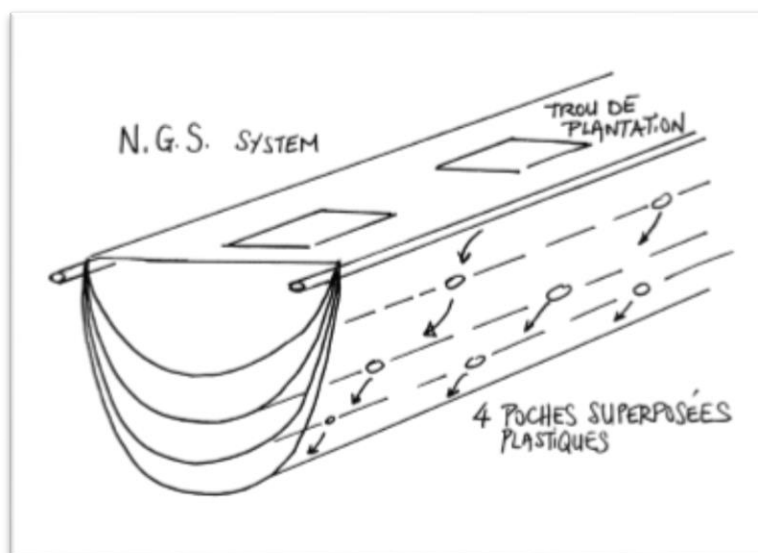


Figure 05 : schéma représentant la technique d'aquiculture (source : FONDAMENTS THEORIQUES DU HORS SOL Alain Vitre 11/11/2003 page 04 /10).

7.1.2. Nutrient Film technique (NET)

Le NFT, dans ce système la solution nutritive circule sous forme d'un film de très faible épaisseur. Elle fournit l'eau et les éléments nutritifs aux racines et leur assure une aération suffisante (Vilain, 1997).

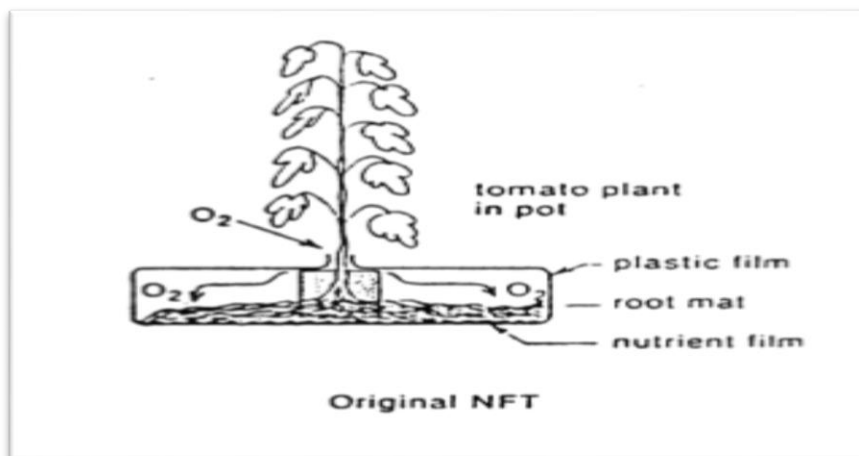


Figure 06 : Schème de la conduite en Nutrient Film technique (NET) (source : FONDLEMENTS THEORIQUES DU HORS SOL Alain Vitre 11/11/2003 page 03 /10).

7.1.3. L'aéroponie

Le système de culture aéroponique a été décrit pour la première fois par **ADI LIMITED (1982)** et **SOFFER (1985)** puis a été développé par **LEONI et al., (1994)**.

Les racines des plantes sont suspendues dans une fine brume de solution nutritive.

L'aéroponie représente l'évolution la plus récente et la plus sophistiquée des technologies de culture hors sol. En effet, les racines des plantes ne sont en contact ni avec un milieu solide ni même avec un milieu liquide, elles sont alimentées par un brouillard nutritif obtenu par nébulisation de la solution nutritive installée directement au fond de l'enceinte close. L'excès est récupéré puis recycle ; le système fonctionne en circuit fermé. L'atmosphère du milieu de culture où se trouvent les racines est saturée par un brouillard nutritif qui se dépose sur les racines, puis qui ruissellent sur ces dernières en assurent l'alimentation hydrique et minérale. Le système assure une excellente aération. En général, la pulvérisation est continue mais elle peut être intermittente par cycle d'un quart d'heure ou d'une demi-heure, avec des arrêts de quelques minutes, pendant la journée ; la nuit, les coupures sont beaucoup plus longues.

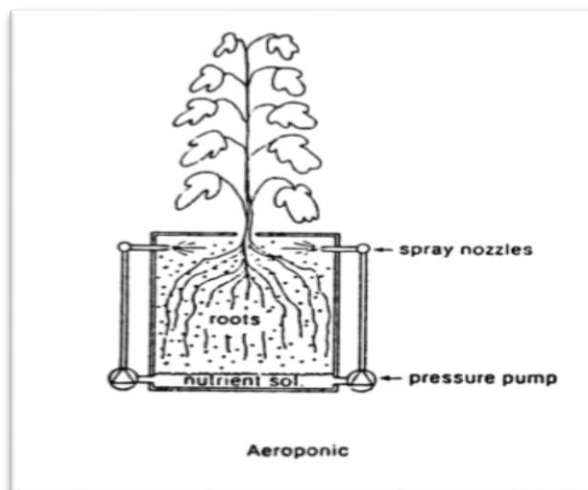


Figure 07 : dispositif de l'aéroponique (source : **FONDEMENTS THEORIQUES DU HORS SOL Alain Vitre 11/11/2003 page 03 /10**).

7.2. Culture sur substrats

La technique de culture sur substrat est la plus utilisée à ce jour ; elle fait appel à un support solide qui contribue à l'oxygénation du système racinaire entre deux irrigations.

C'est la technique qui se rapproche le plus de ce qui se passe dans le sol pour une culture traditionnelle, par l'alternance irrigation/drainage ; de plus, le substrat assure une réserve d'eau et élément nutritifs, contrairement aux techniques sans substrat.

(**MORARD 1995**) rapporte d'un matériau devrait avoir idéalement les caractéristiques suivantes :

- Une réactivité chimique négligeable.
- Une capacité d'échange cationique très faibles ou nulle.
- Une activité biologique nulle.

Les substrats sont généralement placés dans des contenants ou des supports en sacs souples fermes. La solution nutritive percole à travers le massif du substrat (**CHARLES, 1994**).

Selon le mode d'apport de la solution nutritive on distingue :

7.2.1. Système à la goutte à goutte

La solution nutritive est distribuée par irrigation discontinue à la surface supérieure du système puis percole vers le bas du substrat gravite où la solution est perdue ou recyclée selon le système adopté (**MORARD,1995**).

L'apport de la solution se fait généralement au pied de la plante par intermédiaire d'un goutteur ou un capillaire. La gestion de la distribution et de la composition de la

solution nutritive et les fréquences d'irrigation sont contrôlées par ordinateur (BAUERLE, 1990).

C'est la technique la plus utilisée actuellement en culture hors sol (VAN OS et al. 2008).

7.2.2. Technique de submersion « EBB and flow »

La submersion des pots de culture est réalisée sur un grand conteneur commun (table) submergée par une solution nutritive pendant une durée de temps déterminée la durée du temps de submersion dépend de la nature du substrat de culture, de la surface de la table et de la pente de la table où les pots sont placés. Les surfaces en pente et des rainures ou des canaux de drainage sont conçus dans ces système afin d'optimiser l'informité de la teneur en eau à travers un plancher ou un plateau entre tous les pots/conteneurs tout en facilitant le drainage rapide. Il est particulièrement important que l'eau s'écoule complètement afin d'éviter le développement d'algue et de maladies racinaires (VAN OS et al.,2008). Le recyclage de la solution nutritive peut être envisage pour cette technique.

8. Substrats utilisés

8.1. Définition

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pur ou en mélange, permet l'encrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support.

En tant que support de la plante, tout matériau solide peut éventuellement être utilisé comme substrat dans la mesure où il est compatible avec un développement normal du système racinaire (BLANC, 1987).

Le choix définitif d'un substrat par l'horticulture sera dicté par deux caractéristiques principales :

8.2. Caractéristique technique des substrats

Tous les substrats peuvent être également classes en fonction de leurs inerties physique, chimique ou biologique, c'est-à-dire sur leurs réactivités (VITRE, 2013).

8.2.1. Propriétés mécaniques

Pendant la durée d'utilisation, les propriétés mécaniques des substrats concernent essentiellement l'évolution de trois facteurs : la souplesse, le tassement et la dégradation (MORARD, 1995).

➤ **Souplesse et l'élasticité**, dépendent de la texture des particules élémentaires et de la granulométrie : l'objectif recherche est d'avoir un support qui ne traumatise pas et ne blesse pas les racines lors de la manipulation.

➤ **Tassement au bas de l'enveloppe**, qui correspond à une dégradation des propriétés structurales initiales du substrat en fonction du temps : cette évolution aboutit à une zone compacte au fond du substrat qui cause aux racines des difficultés à le traverser et où l'oxygénation devient impossible (RESH, 1989).

➤ **Dégradation**, est un phénomène assez proche du précédent, il correspond à la destruction de la structure qui peut se "déliter" (comme la perlite et la vermiculite) ou qui subit, sous l'action de la microflore, un début d'humification.

8.2.2. Propriétés physiques

Ce sont principalement les propriétés physiques des substrats qui optimisent l'absorption minérales et hydrique de la plante par a apport de solution nutritive et d'oxygène suffisant. Les principales propriétés physiques sont la porosité, la capacité de rétention d'air et la capacité de rétention de l'eau

- a) **Porosité** : tous les substrats sont poreux, comportant en leur sein des cavités des « vides » dans lesquels se trouvent des fluides (liquide, gaz) (BLANC, 1987).
- b) **Rétention d'eau** : il est essentiel de caractériser la quantité d'eau retenue et sa disponibilité dans le substrat, celles-ci jouant un rôle essentiel dans la capacité d'alimentation en eau des plantes et dans la stratégie d'irrigation (URBAN, 1997).
- c) **Teneur en air** : cette teneur est égale à la différence entre la porosité totale et la teneur en eau et inversement (URBAN, 1997).

8.2.3. Priorités chimiques

a) pH

Le pH est une abréviation du potentiel d'hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse. Il dépend de la concentration des ions $[H_3O^+]$ de la solution : $pH = -\log [H_3O^+]$. Le pH est mesuré sur une échelle allant de 0 à 14.

Les solutions acides ont un pH inférieur à 7, les solutions basiques ont un pH supérieur à 7 et les solutions neutres ont un pH égal à 7 (DINON, GERSTMANS, 2008).

Le pH est important en hydroponie vue l'absence de l'effet tampon que donne le complexe argilo-humique des sols classiques. C'est à cause du pH que les éléments nutritifs sont assimilables ou non par les plantes (**DUTHIL, 1973**).

Le pH de la solution nutritive doit être adapté à la nature des solutions neutrophiles ou acidophiles. Il dépend des sels chimiques utilisés pour la préparation (**Vilain, 1997**).

D'après (**MORARD, 1995**), on classe les végétaux en deux groupes :

- Les plantes « acidophiles » sont des espèces qui se développent de préférence en milieu acide (pH optimum compris entre 3,5 et 5).
- Les plantes « neutrophiles » ont une préférence pour une gamme de pH plus élevée voisine de la neutralité : entre 5,5 et 7,5.

b) Conductivité électrique

La conductivité est la mesure dans la solution du substrat de la concentration totale en engrais (salinité de la solution). Plus la solution est salée en engrais, plus la conductivité mesurée électriquement est grande. Normalement, on conduit l'irrigation fertilisante en adoptant une conductivité moyenne, propre à chaque espèce cultivée, permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritifs au niveau des racines (**VITRE, 2003**).

La CE est mesurée à l'aide d'un conductimètre. La mesure de CE est simple et rapide, à effectuer à chaque matin sur des échantillons et de solution drainée (**URBAN, 1997**).

Une argumentation de la conductivité électrique au-delà des seuils hauts, correspondant à un apport excessif d'éléments minéraux, une absorption hydrique élevée ou un manque d'arrosage. Si ces situations perdurent, la qualité et le rendement des récoltes sont affectés (**LE QUILLEC, 2002**).

c) Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (CEC), est la quantité de cation fixés par le sol ou le substrat. Elle est exprimée en équivalents par m³ de sol ou de substrat sec. Certains matériaux solides, utilisés pour la confection des substrats possèdent de nombreux cations fixés ou adsorbés sur leurs surfaces. Cette propriété est due à la présence de substances colloïdales minérales ou organique (**MATHEIEU et PIELTAIN, 1998**).

La fixation peut avoir plusieurs origines : la présence de la fonction chimique terminale, comme les fonctions acides organiques chez les matériaux tourbeux ou le déficit

de charges électriques, comme substituions isomorphes dans les cristaux des matériaux argileux (LEMAIRE et al., 2003).

8.2.4. Propriétés biologiques

a) Réaction de biodégradation

Les substrats d'origine minérale sont presque inertes biologiquement. A l'inverse des substrats d'origine organique contiennent des organismes vivants et sont susceptibles de se dégrader. Les bactéries et les champignons sont les principaux agents responsables de la décomposition de la matière organique (PERRIN et COMPOROTA, 1982).

La dégradation des protéines conduit plus spécifiquement à un dégagement d'ammoniac qui peut être à l'origine d'une intoxication ammoniacale et d'une augmentation de la sensibilité des plantes à certaines maladies. L'ammoniac est également responsable d'une augmentation du pH qui peut pénaliser l'absorption minérales, et en particulier celle des oligoéléments (DIGAT et LEMAIRE, 1993). Il est donc évident que le producteur doit éviter d'utilisation des substrats ayant une biodégradation excessive.

b) Rapport C/N

La mesure du rapport C/N (Carbone/Azote) a été proposé comme un indicateur de stabilité biologique des substrats d'origine organique. En effet le rapport C/N est généralement élevé au début du processus de décomposition, à la fin, il atteint valeurs beaucoup plus basses (LEMAIRE, 1993).

9. Classification des substrats

Il existe plusieurs méthodes de classement des substrats horticoles.

9.1. Selon RIVIERE et NICOLAS

Proposé de classer les substrats en quatre types, auxquels correspondent quatre comportements différents vis-à-vis de l'irrigation.

❖ Type 1 : substrats aérés à forte disponibilité en eau

Les substrats appartenant au premier type ont à la fois une teneur en air à $pF = 1$ supérieure à 20 % et une disponibilité en eau supérieure à 25% : la diminution de la teneur en eau se traduit par une forte augmentation des forces matricielles de rétention d'eau. Ces substrats ne craignent pas l'excès d'eau et supportent quelque défaut d'arrosage. Certaines tourbes blondes appartiennent au type 1.

❖ **Type 2 : substrats peu aérés à disponibilité en eau moyenne à forte**

Ce sont des substrats qui requièrent des irrigations fréquentes (pour éviter les dessèchements) avec des volumes unitaires par arrosages faibles (pour éviter l'asphyxie racinaire). C'est également dans cette catégorie deux qui l'on rencontre le plus fréquemment des matériaux qui se réhumectent difficilement, comme les tourbes (LEMAIRE et al., 1989).

❖ **Type 3 : substrats très aérés à faibles disponibilité en eau**

Il s'agit de matériaux à structure grossière, dont la porosité fine est négligeable. La quantité d'une retenue est très faible. On trouve dans cette catégorie la perlite, la pouzzolane, les gravés, mais aussi des substrats organiques comme les écorces grossières ou peu compostées. Ces substrats doivent être arrosés fréquemment avec des volumes d'une unitaire par arrosages faibles.

❖ **Type 4 : substrats aérés à forte disponibilité en eau et à faible pouvoir tampon**

L'eau est très faiblement retenue dans les substrats de type 4, avec comme conséquence une repartions inégale de l'eau depuis la base jusqu'au sommet du massif. L'absence de pouvoir tampon hydrique oblige à arroser fréquemment. La laine de roche, laine de verre et fibre de coco rentrent dans catégorie.

9.2. Selon l'origine

Il existe actuellement une douzaine de matériaux qui sont utilisables comme substrats en cultures hors sol. Ils sont classés en fonction de :

- L'origine soit naturelle ou industrielle.
- La nature soit minérale ou organique.

9.2.1. Matériaux organiques naturels

a) Les tourbes

Les tourbes proviennent de la décomposition incomplète de végétaux divers qui se sont développés en milieu aquatique ou marécageux, la tourbe blonde est celle qui présente le plus d'intérêt pour les cultures hors sol. Sa structure fibreuse, grossière, peu décomposée, lui confère une bonne rétention en eau associée a une structure souple et très aérée.

Malgré leur origine organique, les tourbes sont indemnes de pathogènes. Les principaux inconvénients de la tourbe est le problème d'humectation par l'eau et surtout de réhumecation : le dessèchement d'un support de tourbe entraine un important phénomène

de retrait et des difficultés lors de sa réhydratation. D'autre part, il faut prendre des précautions pour l'utilisation de tourbes acides qui doivent être préalablement neutralisées.

b) Les écorces

Pour leur utilisation comme substrat en culture hors sol, les écorces ne doivent pas être utilisées directement à l'état brut. En effet, elles peuvent être phytotoxiques du fait de la présence, au moment de l'écorçage, de résines, de tannins, de terpènes etc..... Il est fortement conseillé d'utiliser un matériau qui a subi une neutralisation à la chaux puis un compostage en tas à l'air libre pendant plusieurs mois.

c) La fibre de coco

La fibre de coco est le nom donné à la matière fibreuse que constitue le mésocarpe. Epais (couche intermédiaire) du fruit du cocotier (*Cocos nucifera*). La coque de la noix de coco contient environ 75 % de fibres dont 25 % de fibres fines. Depuis la fin des années 1980, ce matériau est utilisé comme un milieu de culture ou en tant que composant d'un milieu de culture la plupart du coco utilisé est exporté à partir du Sri Lanka, le Vietnam, l'Inde, les Philippines, le Mexique et le Côte-d'Ivoire (RAVIV et al, 2008).

Lorsque les niveaux de sodium, des chlorures et du potassium sont élevés dans la fibre de coco, ces éléments doivent être lessivés à partir du substrat avant qu'il puisse être utilisé en tant que substrats de culture.

Le milieu de croissance qui en résulte est ensuite sèche compressé en briques ou en blocs pour minimiser les couts d'expédition, de faciliter la mise en culture l'exportation du matériel sur de longues distances (CALKINS et al., 1997).

9.2.2. Matériaux minéraux naturels

a) Sables

Les sables proviennent de broyage des roches (granite, basalte, calcaires durs) ou sont extraits de sédiments de rivières. En cultures hors sol, on peut utiliser les sables grossiers, après élimination de sables fins et des graviers. Ce matériau est caractérisé par une bonne porosité et une excellente stabilité structurale. Par contre, sa capacité de rétention en eau est faible. Enfin, ce sont des matériaux à forte densité et leur capacité d'échange est nulle.

b) Pouzzolane

La pouzzolane est une roche volcanique obtenue après refroidissement de cendres projetées lors des éruptions. Constituée essentiellement de silice, d'alumine et d'oxydes de fer, la pouzzolane est chimiquement inerte, présente par une capacité d'échange très faible

ou nulle, et un pH proche de la neutralité. Ce matériau se caractérise par une faible rétention en eau, mais une très bonne stabilité structurale qui lui assure une grande durabilité.

c) Tufs volcaniques

Ce sont aussi des roches éruptives formées par des cendres volcaniques consolidées et sédimentées. Constituées de silice et d'oxyde d'aluminium et de fer, elles renferment des zéolites, petites formes sphériques ou granulaires constituées d'aluminosilicates qui ont une forte capacité d'absorption d'eau, les tufs volcaniques associent les qualités des pouzzolanes à une bonne capacité de rétention en eau.

9.2.3. Matériaux minéraux artificiels ou traités

a) Laine de roche

La laine de roche est obtenue par extrusion d'un mélange de basalte, de calcaire et de coke fondus à 1600°C. La coulée est éclatée en une multitude de fibres très fines qui, au refroidissement, sont encollées par une résine urée-formol et enrobées d'un mouillant hydrophile. Ces produits sont spécialement fabriqués en vue de leur utilisation comme substrat de culture hors sol.

Les laines de roche sont des matériaux légers, caractérisés par une bonne porosité et une capacité de rétention en eau élevée. Au contact de solution nutritive, les laines de roche libèrent des ions minéraux (Calcium, Magnésium, Fer et Manganèse) et alcalinisent légèrement le milieu. Il est donc conseillé de saturer le matériau pendant 48 heures avant la mise en culture. Après avoir effectué ce trempage, les laines de roche peuvent être considérées comme inertes.

b) Argile expansée

L'argile expansée se présente sous forme de granulats obtenus par traitement à haute température de nodules d'argile humide : on obtient ainsi des billes dures et poreuses qui ont gardé la couleur brune rouge du matériau d'origine. C'est un produit de grande durabilité, chimiquement inerte et présentant une faible capacité de rétention en eau.

Initialement utilisée pour la culture de plantes vertes ou de fleurs en pots, l'argile expansée est utilisée en horticulture professionnelles en mélange avec de la tourbe.

c) Vermiculite

La vermiculite est une argile phyliteuse (structure en feuillets) qui contient de l'eau. Traitée à la chaleur, la vaporisation brutale de l'eau comprise entre les feuillets provoque un gonflement de 10 à 12 fois l'épaisseur initiale.

La vermiculite expansée est un matériau léger, présentant une bonne capacité de rétention en eau tout en conservant une bonne aération. Par contre, elle est chimiquement active, est dotée d'une capacité d'échange et en raison de sa structure et à tendance à se tasser.

d) Perlite

La perlite est un sable siliceux d'origine volcanique contenant à l'état naturel de l'eau d'hydratation dans sa structure. Brutalement chauffées, elle gonfle d'environ 20 fois son volume initial. On obtient alors des flocons blancs et légers contenant 75% de silice, chimiquement inertes.

La perlite expansée à chaud présente une porosité ouverte élevée associée à une très bonne capacité de rétention en eau. Son principal inconvénient réside dans sa fragilité mécanique. Les grains de perlite expansée sont friables et ont tendance à se désagréger en poudre fine.

10. Irrigation fertilisante ou « fertigation »

La fertigation ou fert-igation correspond à un apport d'engrais, combinant l'irrigation et la fertilisation (YELLE, 2006).

La solution fertilisante est l'une des principales composantes de l'hydroponie, car tous les éléments nécessaires à la croissance et au développement de la plante y sont apportés en même temps que l'eau.

Le principe de l'irrigation fertilisante est que la solution doit satisfaire entièrement les besoins de la plante, tout au long du cycle de la culture.

10.1. Intérêt de la fertigation

Le maintien de l'eau et des éléments minéraux à un niveau optimal dans la rhizosphère nutritionnelle est important pour l'obtention des rendements élevés des cultures (SKIREDJ, 2005).

Egalement le fractionnement des doses d'engrais apportés lors de la fertigation permettent d'éviter les effets indésirables des apports massifs d'engrais, et les déséquilibres de croissance végétative, de salinité et toxicité (YELLE, 2006).

10.1.1. Avantages de la fertigation

➤ Cette technique permet de placer l'engrais dans la zone racinaire, et de faciliter son utilisation par la plante en apportant des éléments déjà en solution, en qui en favorise leur absorption (YELLE, 2006).

- Une grande efficacité de l'utilisation de l'eau et des engrais ; ainsi qu'une diminution du lessivage.
- On note un bon contrôle de l'eau ionique de la rhizosphère ; un bon contrôle de la ferme et l'équilibre ionique des fumures apportées.
- Une grande flexibilité des moments d'apports des fumures en relation avec les besoins de la plante (stade de développement).
- Economie de main d'œuvre pour l'application des engrais.

10.1.1.2. Contraintes de la fertigation

- Difficulté d'apport des engrais en cas de substrat saturé en eau (pluie, arrêt d'irrigation). Ce cas est rencontré avec les tunnels nantais (fraise ou melon) et avec les serres canariennes peu étanches et sans gouttières d'évacuation des excès d'eau (SKIREDJ, 2005).
- Obturation des orifices des distributeurs. Il est recommandé de les nettoyer et d'utiliser une solution acide (0,5% de HNO_3) afin d'enlever le colmatage.

10.2. Mise en place de la fertigation

10.2.1. Solution nutritive

C'est l'eau d'irrigation, filtrée, dans laquelle on apporte les éléments minéraux nécessaires à la plante.

Ce terme désigne les travaux de mise en solution des engrais, sous forme de solution concentrée dite « solution mère » qui sera au moment de son utilisation diluée pour obtenir la « solution fille » ou dite « solution standard ».

10.2.2. Engrais utilisés

Plusieurs possibilités s'offrent à l'utilisation de la technique de culture hors sol. Il peut utiliser des engrais simples et binaires. (Nitrate de potasse, Phosphate d'ammoniaque, Nitrate de l'ammoniaque ...etc.) par des mélanges adéquats. Il peut aussi préparer lui-même la solution mère il faut toutefois utiliser des engrais hautement solubles, en associant $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-MgO}$ et en additionnant les oligo-éléments.

10.2.3. Composition de la solution nutritive

Dans les cultures sur substrat inerte arrosé fréquemment avec des solutions nutritives, on assure aux racines un bon équilibre entre eau, ions nutritifs et air. La solution doit être la plus complète possible.

D'après (CHOARD,1952), il faut connaître les besoins des plantes avant de préparer les solutions nutritives. Au niveau des racines, la plante doit trouver les éléments

fertilisants (les macroéléments et les microéléments) en quantités suffisantes et nécessaires à sa croissance et à son développement.

a) Les éléments nutritifs

Pour une bonne alimentation et un bon développement toutes les plantes vertes à chlorophylle nécessitent 13 éléments minéraux qui sont subdivisé en macroéléments (Calcium (Ca), magnésium (Mg), Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K), Soufre (S)) et microéléments (Bore (B), Chlore (Cl), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Zinc (Zn) (ARNON et STOUT,1939).

En se basant sur les principaux travaux et ouvrages sur la nutrition des plantes (GLASS, 1989 ; MARSCHNER,1995 ; MORARD, 1995 ; JONES, 1998 ; MARSCHNER et al., 2001) on va regrouper la forme absorbée et le rôle de chaque élément dans deux tableaux, le tableau 05 regrouper les macroéléments et le tableau 06 regroupe les microéléments.

❖ Les macroéléments

Selon (PENNIGSFELD et KRUZMAN 1969), les six éléments les plus importants sont absorbé selon la hiérarchie suivante : N>K>P>Ca, Mg, S.

Les derniers éléments (Ca, Mg, S) sont absorbés) des quantités a peu près égales. Cette hiérarchie n'est valable que pour la quantité et non pour la vitesse d'absorption.

Tableau 05 : les macroéléments : leur forme d'absorption et leur rôle dans la plante.

| Elément | Forme absorbée | Rôle |
|-----------|---------------------------------|---|
| Azote | $\text{NO}^{-3}\text{NH}_4^{+}$ | Constituant essentiel des acides aminés ; de la chlorophylle ; primordial pour la croissance des plantes. |
| Potassium | K^{+} | Production de fruits ; transport des sucres ; turgescence et rigidité des tiges. |
| Phosphore | H_2PO_4 | Elément fondamental dans le métabolisme de la plante (ADN et ARN) ; important pour la croissance des racines. |
| Calcium | Ca^{+2} | Maintien la structure cellulaire ; très important pour la quantité des fruits. |
| Magnésium | Mg | Chlorophylle ; maturation des fruits. |
| Soufre | SO_4^{2-} | Rentre dans la composition des protéines. |

❖ Les microéléments ou oligo-éléments

Ils sont apportés sous forme de sels simples sauf pour le fer qui est souvent apporté sous forme de chélates.

Tableau 06 : les microéléments, leur forme d'absorption et leur rôle.

| Elément | Forme absorbée | Rôle |
|-----------|----------------|--|
| Fer | Fe^{2+} | Activités métaboliques : photosynthèse. |
| Cuivre | Cu^{2+} | Stabilité de la chlorophylle. |
| Zinc | Zn^{2+} | Synthèse des régulateurs de croissance AIA. |
| Molybdène | MoO_4^{6-} | Participe au métabolisme de l'azote |
| Manganèse | Mn^{2+} | Photosynthèse ; réductions nitrate. |
| Bore | BO_3^{3-} | Métabolisme de l'auxine ; la germination du pollen ; facilite le transfert des glucides. |

b) Formulation de la solution mère

Selon (**PENNINGSFELD et KRUZMAN 1969**), la solution nutritive doit contenir tous les éléments indispensables.

Les étapes à suivre pour la préparation de la solution nutritive sont les suivantes :

❖ Analyse chimique de l'eau utilisée

La première étape de la préparation d'une solution nutritive consiste à analyser l'eau disponible. L'analyse nous permettra de quantifier le taux de présence de chaque élément dans l'eau et d'en apporter la quantité souhaitée d'éléments minéraux manquants, ces dernières sont à déduire dans le calcul des quantités d'engrais à apporter. La teneur en carbonates de l'eau détermine la quantité d'engrais à apporter pour abaisser le pH. Si, au contraire, ce dernière est trop faible ; on peut ajouter du carbonate ou du bicarbonate de potasse (**URBAN, 2008**).

❖ Choix d'une formulation adaptée à la culture envisagée

Il existe de nombreuses formules de solution nutritives. Il faut noter qu'une formule ne constitue habituellement que le point de départ du programme de fertilisation. Elle est souvent destinée à être modifiée en cours de culture en fonction des analyses effectuées dans les eaux de drainage, à proximité des racines ou sur les plantes (**SILBER et BARTAL, 2008**).

❖ Calcul des quantités d'engrais apportées dans les bacs de solution-mère

Le calcul des quantités d'engrais à apporter dans les bacs de solution-mère doit tenir compte de la disponibilité et du coût des engrais utilisables, des résultats de l'analyse de l'eau de départ et de la concentration recherchée dans les bacs de solution-mère. (MORARD, 1995).

Le calcul de la quantité d'engrais peut se faire suivant plusieurs méthodes. Souvent on utilise des logiciels spécialisés tel que **HYDROPONIE** ou avec des feuilles de calcul programmées.

❖ Préparation des bacs de solution-mère :

Pour la préparation de la solution mère on distingue quatre cas de figure selon la méthode et le matériel employés (UBAN, 2010).

- Un bac contenant de la solution commerciale concertée prête à l'emploi, plus, éventuellement, un bac d'acide. Ce cas n'est pas vraiment réalisable en Algérie puisqu'on ne trouve pas sur le marché des engrais des solutions commerciales concentrées prêtes à l'emploi ;

Deux bacs d'engrais, appelés traditionnellement bacs A et B, dont l'un contient toutes la quantité d'acide destinée à corriger le pH de la solution fille ;

- 5 bacs dont 3 bacs d'engrais, un bac contenant iniquement l'acide et un bac de mélange. Cette méthode qui a été adoptée au de L'ITCMI et CEVI-AGRO ;

- Plusieurs bacs contenant des solutions simples ultra pures et concertées, destinées à réaliser des mélanges contrôlés par ordinateur.

Dans le cas des solutions nutritives préparées à partir de 2 ou 3 bacs, lors de la confection des solutions il faut tenir compte de la compatibilité des engrais utilisées.

Le tableau 07 met en évidence la compatibilité des engrais entre eux.

Tableau 07 : la compatibilité des engrais entre eux. (Source : URBAN,2008).

| Engrais | Nitrate de potassium | Nitrate de calcium | Phosphore de Mono-potassique | Sulfate de magnésium | Nitrate d'ammonium | Sulfate de potassium | Nitrate de magnésium |
|---------------------------|----------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Nitrate de potassium | | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Nitrate de calcium | Oui | | Non | Non | Oui | Non | Oui |
| Phosphate mono potassique | Oui | Non | | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Sulfate de magnésium | Oui | Non | Oui | | Oui | Oui | Oui |
| Nitrate d'ammonium | Oui | Oui | Oui | Oui | | Oui | Oui |
| Sulfate de potassium | Oui | Non | Oui | Oui | Oui | | Oui |
| Nitrate de magnésium | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | |

10.3. Suivi de l'irrigation fertilisante

10.3.1. Conductivité électrique et le pH de la solution nutritive

Les mesures d'EC et de pH sont des mesures simples et rapides à effectuer chaque matin sur des échantillons de solution apportée et de la solution drainée, collectés dans des contenants munis d'un col étroit pour limiter les pertes d'eau par évaporation, et opaques pour éviter le développement d'algues. Ces dernières sont en effet à l'origine de modification du pH de la solution. Les augmentations excessives de pH et d'EC doivent inciter le producteur à augmenter, respectivement, les apports d'acide et diminuer ceux d'engrais. Inversement, les diminutions excessives d'EC indiquent qu'il faut augmenter les apports d'engrais. Une augmentation du pH dans le drainage est normale, elle traduit le

bon fonctionnement des racines qui prélèvent des ions NO_3^- . Une diminution du pH est assez rare, qui peut être due à un défaut d'oxydation des racines.

Une augmentation de l'EC dans le drainage indique bien que les apports minéraux sont en excès, il faut alors les diminuer. (GERENDS *et al*, 1991) et (MARSCHNER 1995).

10.3.2. Analyse des tissus conducteurs

D'après (MORARD *et al*, 1991), l'analyse de la solution drainée ne fournit aucune information sur les quantités d'éléments minéraux réellement par les racines. Ces auteurs proposent donc d'analyser les plantes elles-mêmes. Ils préconisent d'analyser les tissus conducteurs plutôt que les feuilles dont la composition varie trop lentement par rapport à vitesse de croissance de la plante.

10.4. Principales règles de la fertigation

La fertigation est basée sur nombreuses règles à savoir :

- L'engrais utilisé doit être bien solubilité dans l'eau afin d'éviter le colmatage.
- Les filtres doivent être bien régulièrement nettoyer.
- Il faut étaler l'injection sur une certaine durée pour garder la sécurité d'une bonne uniformité d'irrigation.
- Le système de fertigation doit être muni d'un dispositif d'anti-retour pour empêcher que la solution nutritive ne revienne au puits ou à la source d'eau lors de l'arrêt de la distribution d'eau.
- Pour les pompes électriques, il faut que le système de fertigation soit commende à partie du système de pompage afin d'arrêter la fertigation en même temps que le pompage.
- Il faut faire un bon choix du système d'injection de l'engrais : généralement c'est la venturi qui le plus utilisé.
- Le bac de préparation de la solution nutritive doit être surélevé, muni d'un robinet en bas, à une dizaine de centimètres du font pour empêcher les précipitations des engrais de passer au bac suivant.
- Un autre bac, récoltant le surnagèrent, doit être positionné à un niveau au-dessous du premier. On prendra soin pour faire passer le surnageant de la solution nutritive à revers un filtre tamis très fin.

- Avec un pH mètre et un conductimètre, on contrôla les mesures d'acidité et de salinité du bac de la solution nutritive.
- Les apports d'eau et élément nutritifs doivent être repartis au cours du cycle biologique de la plante, suivant ses rythmes de croissance. Les doses des éléments seront traduites en doses d'engrais par secteur d'irrigation (SKIREDJ,2005).

10.5. Impact de la fertigation sur l'environnement

D'une des interrogations majeures du système de fertigation avec solution perdue est son impact sur l'environnement, concerne surtout l'azote et le phosphore qui sont mis à m'index en cas d'excès. Le préjudice porté à l'environnement est lié à la dégradation de la quantité d'eau. Si celle-ci est destinée à un usage domestique ou en subissant le phénomène d'eutrophisation aboutissant à la formation de marée vertes, d'eaux colorée, voire même à la dégradation du milieu aquatique par prolifération d'algue, désoxygénation et production de toxines (BONNEIEUX et al., 1996).

Deuxième partie
Etude expérimentale

CHAPITRE I

Matériels et Méthodes

1. Objectif de l'essai

L'objectif de l'essai, est d'étudier l'effet de différents substrats sur la croissance et la production de la tomate dans un système de production en hors sol.

Les substrats de culture actuellement utilisés à l'ITCMI sont la Fibre de coco, pouzzolane, Fibre de Palmier, substrat combiné de Fibre de Palmier et la Perlite mélangés aux proportions suivantes : 50-50 % ; 70-30 % ; 30-70%.

Dans cette étude on s'est focalisé sur le milieu de culture ou « substrat » une des composantes les plus opérantes du système de production « hors sol ».

2. Présentation du site d'étude

L'expérimentation est réalisée sous serre au niveau de la station ITCMI Zéralda, située dans la Mitidja wilaya d'Alger. Notre essai s'est déroulé dans une station d'une SAU (surface agricole utile) est de 07 ha, serre tunnels 7600 m². La serre multi chapelle (rosier) et 05 ha plein champs donc la surface agricole total (SAT) est de 11,96.



Figure 08 : localisation de la ITCMI Zéralda.

3. Description de la serre d'étude

Notre expérience a été réalisée dans une serre multi-chapelle composée par deux secteurs, la mise en place de la serre est faite en 2008, le premier secteur contient l'expérience de l'hors sol.

- Superficie de la serre est : $32 \times 35 = 1120 \text{ m}^2$.
- Superficie de chaque secteur est : $1120/2 = 560$.
- Nombre de l'ouvertures verticaux : 04.
- Nombre d'ouvertures latéraux : 02.
- Hauteur 06 m.



Photo 09 : Serre de l'expérimentation

4. Données climatiques de la station d'étude

Le climat de ZERALDA est du type méditerranéen, situé dans l'étage bioclimatique doux avec une pluviométrie de 600 à 800 mm/an

La station est éloignée de la mer de 3 Km, avec une pente de 1 à 2% et une altitude de 200 m.

Les données climatiques pour notre serre sont résumées dans la figure 10.

Nous remarquons qu'en début de la culture, les températures étaient conformes aux besoins de la tomate, mais à partir du mois de Mars nous observons une insuffisance en températures qui a causé un ralentissement de la végétation, puis une augmentation en températures qui a répondu largement aux besoins de la culture.

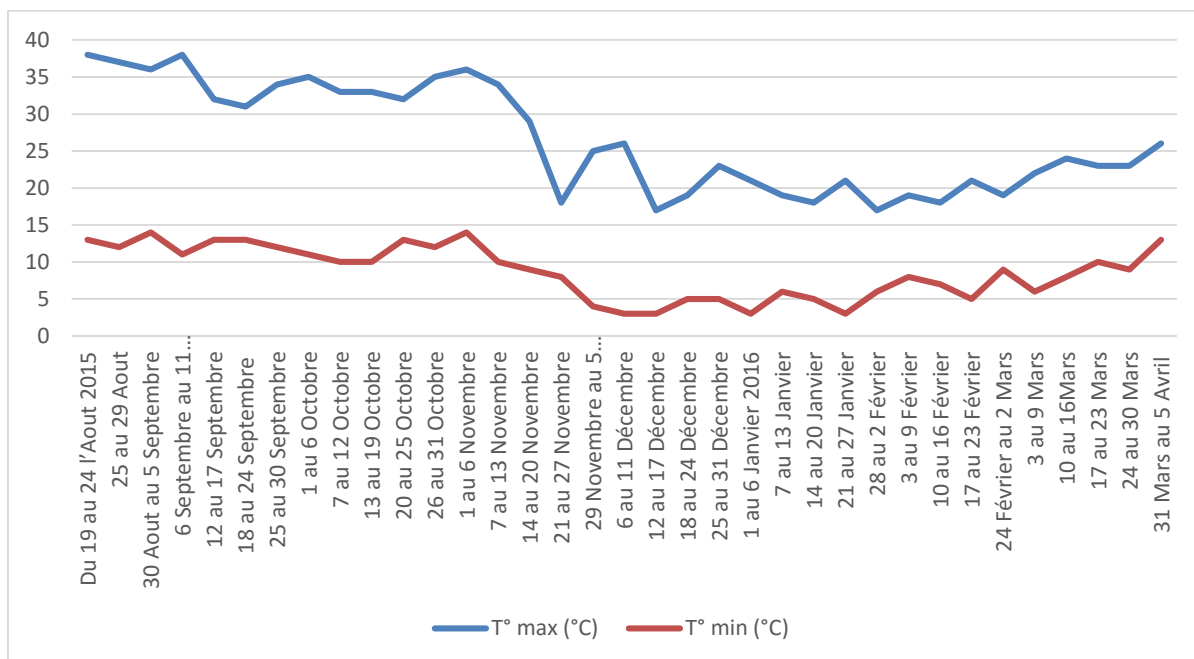


Figure 10 : Relevé de la température sous serre durant l'expérimentation (Annexe 1).

5. Matériels utilisés

5.1. Matériel végétatif

Le matériel végétal choisi pour notre expérience est la tomate (*solanum Lycopersicum* MILL.) variété **VALOURO** (hybride F1). Destinée à la consommation en frais.

Les caractéristiques de cette variété sont les suivantes :

- **Caractéristiques commerciales**

Type : hybride indéterminé, utilisé par le marché frais.

Germination : 95%.

Pureté : 100%.

Date de récolte : 2012.

PMG : 2,789.

Origine : Holland.

Produit par : CLOSE.

5.2. Caractéristiques techniques

Cette variété est à port indéterminé à production précoce.

Le plante est très vigoureux, avec des entre nœuds moyens, et des feuilles très larges et rugueuses.

Les bouquets floraux présentent beaucoup de fruits de forme ronde, de calibre plus ou moins homogène avec une bonne coloration rouge, très ferme résistant au transport et au stockage.

6. Les données des substrats utilisés dans notre expérimentation

6.1. Fibre de noix coco

La fibre de coco est la fibre extérieure du tégument de la noix de coco (ou le mésocarpe) qui est composée principalement de fibres grossières, mais aussi d'un matériau fin connu sous le nom de 'poussière de coco' ou 'tourbe de coco'. Les noix de coco cultivées sont d'abord trempées dans l'eau, il s'agit d'un processus nommé 'rouissage' qui facilite le détachement des fibres. Normalement, on retire les longues fibres grossières pour les utiliser à d'autres fins tandis que la moelle de coco est traitée et décomposée davantage, afin de la rendre mieux adaptée comme support de croissance pour les plantes. La poussière de coco est composée de courtes fibres et de petites particules d'un matériau apparentant à du liège, allant de la taille de granules jusqu'à celle d'une fine poussière.

De nos jours, la fibre de coco de bonne qualité est un substrat de croissance supérieurs éprouvé pour bon nombre de cultures différentes, qui plus est, il s'agit d'un produit obtenu à partir d'une ressource renouvelable et écologique. Le terme fibre de coco est aussi utilisé pour désigner la fibre tout usage qui est idéale pour la culture à long terme hors sol. On utilise la fibre de coco de partout dans le monde pour la culture hors sol de tomates, de poivrons, de concombres, de melons, d'aubergines, de plantes ornementales, de fleurs coupées et bien plus encore, car la structure de la fibre de coco ne se brisera pas durant ces longues périodes de croissance. Elle offre une très bonne aération de la zone racinaire et un grand pouvoir de rétention d'eau pour les cultures hors sol à court et à long terme ce qui produit des récoltes abondantes et des racinaires en bonne santé.

Tableau 08. Avantages et inconvénients de la fibre de coco.

| Avantage de fibre de noix de coco | Inconvénients |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Milieu très bien aère • Absence de parasites • Riche en éléments nutritifs pour le début de plantation • Bonne rétention en eau. | <ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie limitée (2 ans) • Couteux (importé) |

6.2. Pouzzolanes

Ce sont des débris magmatiques projetés dans l'atmosphère au cours des phases éruptives. Selon la viscosité du magma, la pression des gaz et la vitesse de refroidissement en obtient des catégories différentes de produits dont les plus importantes :

Les cendres (0 à 20 mm), et les scories (10 à 100 mm).

La granulométrie varie selon les gisements et pour chaque gisement selon la position dans le cône volcanique. La masse volumique apparente est comprise entre 400 et 1300 Kg/m³ selon les dimensions et selon les variétés de pouzzolane. Son pH est d'environ 7. Sa granulométrie varie suivant les gisements et les techniques d'exploitation.

Cependant, le calibre moyen fréquemment utilisé en horticulture est de 4 à 7 mm. Sa porosité pour l'eau varie entre 7 et 13 % et celle pour l'air est de 60 %.

Les pouzzolanes sont par conséquent des matériaux à forte porosité grossière et fermée, retiennent peu d'eau et ont une forte aération. Ils sont des matériaux riches en éléments mineurs : les scories volcaniques sont riches en silice, en phosphore et on oligo-éléments.

La pouzzolane offre pour les cultures hors sol les avantages d'un milieu très bien aéré, de grande stabilité et durabilité, chimiquement inerte, initialement exempt de pathogènes et ultérieurement facile à désinfecter, il peut être utilisé plusieurs années et facilement recyclable. Parmi les inconvénients en plus de la faible rétention d'eau, l'absence du pouvoir tampon qui peut être grave lorsque la solution nutritive est mal contrôlée.

Actuellement, en support de la culture, il est surtout utilisé en mélange avec la tourbe (25 % de tourbe + 75 % de pouzzolane).

Nom commercial : Pouzzolane

Composition : Volcanique (silice, alumine, Sesquioxyde de fer).

Origine : Ain Témouchent.

Utilisation : la pouzzolane est utilisée pour la décoration de massif et l'aménagement paysagers. Elle sert à limiter l'emploi de désherbants. Utilisée en granulométrie de 7/12 ou 4/7 en décoration.

Elle est aussi utilisée pour :

- Remballer ou terrasser (c'est une masse de matière rapportée pour élever un terrain, combler un creux ou combler les vides de l'exploitation linéaire) léger, armé, de remplissage, terrains de sports, d'athlétisme, hippodrome (en 0/2 et 0/6 mm).
- Tranchées béton léger, station d'épuration (filtration, absorption divers) dans l'industrie.
- En agriculture (amendement en oligo-éléments), culture hors sol, drainage, paillage.

Tableau 09. Avantages et inconvénients de la pouzzolane.

| Avantages de Pouzzolane | Inconvénients de pouzzolanes |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Milieu très bien aéré. • Bon marché puisque c'est un produit local. • Inertie chimique. • Absence de parasites. • Très facile à désinfecter. • Grande stabilité et durabilité. | <ul style="list-style-type: none"> • Faible capacité de rétention en eau. • Matériau relativement lourds. • Isolant : on ne peut le réchauffer rapidement. |

6.3. La fibre de palmier

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant plusieurs types de fibre.

- Fibre de bois par le broyage de son troc.
- Fibre de feuille au niveau de pédoncule.

- Fibre de tige au niveau de tige de pédoncule et du support dattier.
- Fibre de surface autour de son tronc.

La plaquette de fibre sont séparés en fibre individuelles dans l'eau, pour faciliter leur défilage, les fibres individuelles sont bien lavées dans l'eau pour enlever les impuretés et la couche de lignine qui entourant la fibre et qui gênent l'adhérence ensuite elles sont coupées de longueur voulue.

Nom commercial : Fibre de palmier.

Composition : 100% organique.

Origine : Biskra.

Tableau 10 : Avantages et inconvénients de la fibre de palmier.

| Avantages de fibre de palmier | Inconvénients de fibre de palmier |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Milieu très bien aéré. • Riche en éléments nutritifs. • Bonne rétention en eau mieux que la pouzzolane. • Disposition et pas couteux. | <ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie limitée. • Développement de champignons (nécessite une désinfection). |

6.4. La Perlite

La perlite est un matériau qui a l'aspect de granulés de litière pour chat, de couleur blanche. C'est un sable siliceux d'origine volcanique contenant de l'eau qui est expansé industriellement par un traitement à la chaleur (1 200 °C), qui provoque la vaporisation de l'eau des grains de sable, un peu comme le grain de maïs qui devient pop-corn.

Elle est composée de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de titane, de chaux, de magnésie, d'oxyde de sodium et de potassium. Elle a une très grande capacité de rétention d'eau, son pH est neutre (de 7 à 7,2). La perlite « pure » contient 0,85 % de carbone.

La perlite se présente sous la forme de grains blancs, très légers mais très friables.

La forme de ce substrat (flocons très léger) permet une mise en place rapide dans le système de culture.

La perlite est utilisée pour la culture sur substrat, pure ou mixte (mélange terreau, perlite, vermiculite excellent pour une culture dite de bouturage). Certains substrats de culture volcanique l'associent avec de la pouzzolane et d'autres matières premières d'origine volcanique pour créer des végétalisations de toit.

Tableau 11 : Avantages et inconvénients de la Perlite.

| Avantages de la Perlite | Inconvénients de la Perlite |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Légèreté (75-80 kg.m³). Livraison en sacs et en pains. • Bonne inertie thermique. • Grand volume de substrat (en bacs) donc meilleur inertie hydrique. • Milieu inerte : après la phase de démarrage (réaction alcaline au début). Le substrat n'influe pas sur la composition chimique de la solution au niveau des racines. • Bonne aération du milieu. • Réutilisation possible. | <ul style="list-style-type: none"> • Prise au vent • Milieu inerte : sensible aux variations de pH. • Sensibilité aux contraintes physiques. • Prix élevé. |

7. Dispositif expérimentale

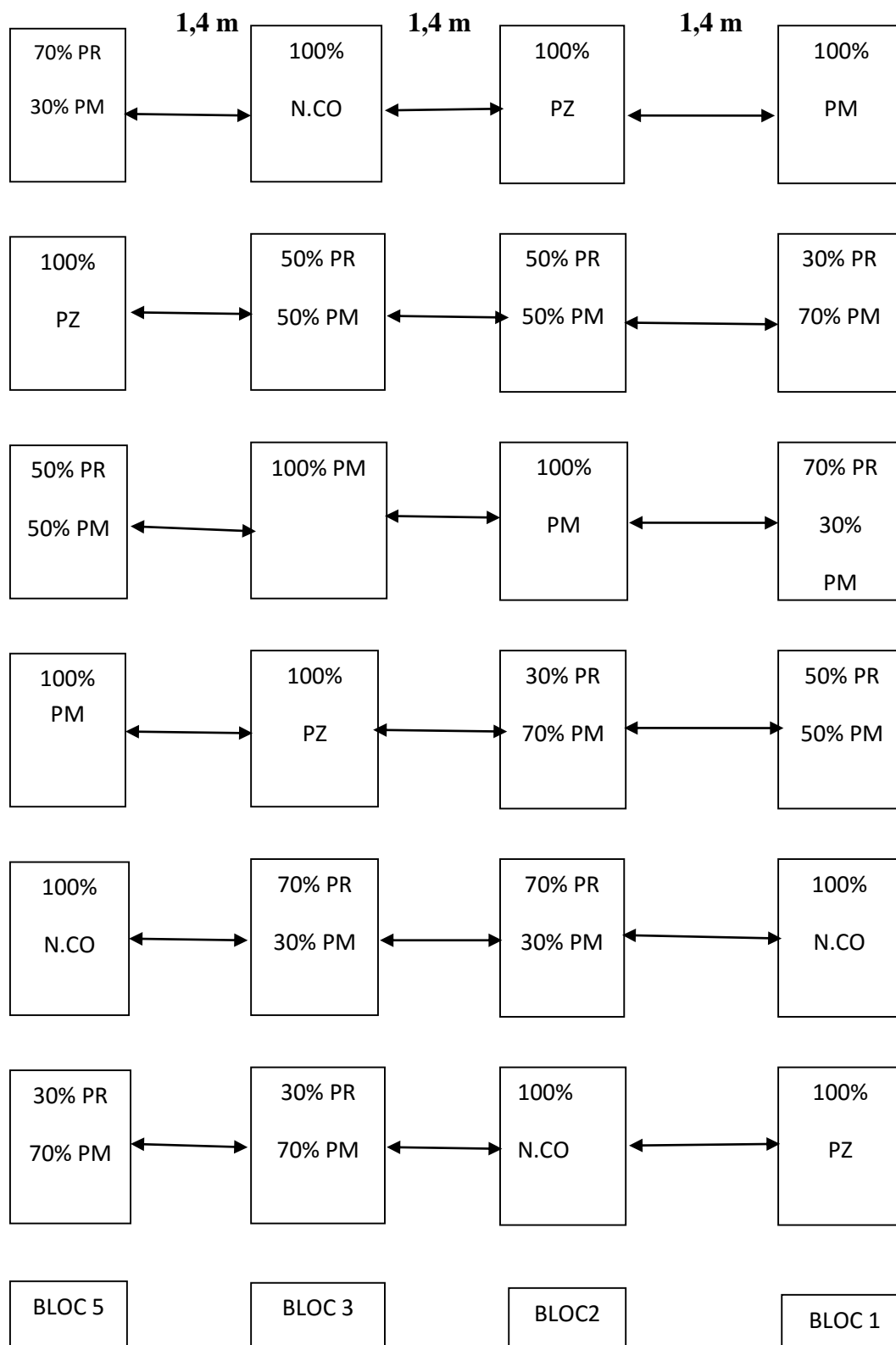
PR : Perlite.

PM : Palmier.

PZ : Pouzzolane.

N.CO : Noix de coco.

La date de plantation : 26/01/2016. Variété : VALOURO.



- **Légende du dissipatif expérimental :**

Fibre de noix de coco

Nombre de sacs : 20.

Nombre de plants/ sac :02.

Nombre de plants total : 40.

Pouzzolane

Nombre de pots : 20.

Nombre de plants/ pot :02.

Nombre de plants total : 40.

Fibre de Palmier

Nombre de pots : 20.

Nombre de plants/ pot :02.

Nombre de plants total :40.

30% Fibre de Palmier 70% Perlite

Nombre de pots : 20.

Nombre de plants/ pot :02.

Nombre de plants total :40.

50% Fibre de Palmier 50% Perlite

Nombre de pots : 20.

Nombre de plants/ pot :02.

Nombre de plants total :40.

70% Fibre de Palmier 30% Perlite

Nombre de pots : 20.

Nombre de plants/ pot :02.

Nombre de plants total : 40.

8. Description des traitements :**T. 1 : substrat de fibre de coco :**

C'est le premier substrat utilisé dans notre expérience de l'hors sol réalisé dans des sacs. Le poids des sacs en fonction de modelé de 1 à 3 kg et le volume aussi de 5 à 35 L.

Composition :

Matière sèche : 84%, - matière organique en pourcentage de matière sèche : 93%,
conductivité : 5,5 Ms/cm, masse volumique apparente sèche à PF 1 : 60g/l.

Capacité de rétention en eau à PF1 : 37%, - capacité de rétention en air à PF1 : 60%.

Le pH (eau) : 5,9.

Diamètre des sacs :

Longueur de sac : 1 m.

Largeur : 25 cm.

Profondeur : 16 cm.

T. 2 : substrat de pouzzolane :

C'est le deuxième substrat utilisé dans notre expérience de l'hors sol réalisé dans des pots.

Les dimensions des pots :

Longueurs : 66 cm.

Largeur : 22 cm.

Profondeur : 23 cm.

T. 3 : substrat fibre de palmier :

C'est le troisième substrat utilisé pour notre expérience de l'hors sol réalisé dans des pots.

Les dimensions des pots :

Longueurs : 66 cm.

Largeur : 22 cm.

Profondeur : 23 cm.

T. 4 : Mélange des substrats Perlite 50% Fibre de Palmier 50% :

C'est le quatrième substrat utilisé pour notre expérience de l'hors sol réalisé dans des pots.

Les dimensions des pots :

Longueurs : 66 cm.

Largeur : 22 cm.

Profondeur : 23 cm.

T. 5 : Mélange des substrats 30% Fibre de Palmier, 70% Perlite :

C'est le cinquième substrat utilisé pour notre expérience de l'hors sol réalisé dans des pots.

Les dimensions des pots :

Longueurs : 66 cm.

Largeur : 22 cm.

Profondeur : 23 cm.

T. 6 : Mélange des substrats 70 % Fibre de Palmier, 30% perlite :

C'est le sixième substrat utilisé pour notre expérience de l'hors sol réalisé dans des pots.

Les dimensions des pots :

Longueurs : 66 cm.

Largeur : 22 cm.

Profondeur : 23 cm.

9. les précédents culturaux

La parcelle expérimentale a été occupée dans les années précédentes comme suite :

Culture de melon (cucurbitacée), dans la campagne 2011-2012.

Culture de tomate (solanacée), dans la campagne 2012-2013.

Culture de poivron (solanacée), dans la campagne 2013-2014.

Culture de tomate (solanacée), dans la campagne 2014-2015.

10. la conduite de la culture

10.1. Semis en pépinière :

Le semis en pépinière a été réalisé le 28/12/2015 sous serre en plastique au sens perpendiculaire au vent, dans des alvéoles perforées à la base contenant du substrat (tourbe noire d'origine allemande de 80 litres de contenance).

La graine est déposée à une profondeur de 0,5 cm puis recouverte à nouveau de la tourbe.

Le semis est suivi par un arrosage abondant puis arrangement des alvéoles sur film plastique, pour éviter la contamination par les organismes pathogènes.

L'entretien de la pépinière est journalisé à savoir l'irrigation chaque 3 jours, et l'épuration des alvéoles.

10.2. Les différentes étapes réalisées pour la mise en place de l'essai :

A- Avant plantation :

Tableau 12 : différentes étapes réalisées pour la mise en place de l'essai

| N° | Operations | Méthode | Période | Observation |
|----|--|--|---|---|
| 01 | L'eau d'arrosage | Analyser l'eau | Annuel | Source d'eau d'arrosage : puits. |
| 02 | Recette de la solution nutritive | Trouver la bonne recette : pour la culture de tomate. | Avant la mise en place de l'essai | Renouvelée chaque 10 jours |
| 03 | Calcul des engrais | Convertir les besoins d'engrais de mmol/l en Kg pour le réservoir A et B | Avant chaque culture | |
| 04 | Nettoyer les conduites, les filtre et les réservoirs | Nettoyage et désinfection du réseau d'irrigation en fin de culture à | Lors des dépôts de sel, de calcaire ou d'impuretés. | Utilisation des capillaires : plus d'efficacité et moins de contraires. |

| | | | | |
|-----------|---|---|-------------------------|--|
| | | l'acide nitrique et à l'eau de javel. | | |
| 05 | Nettoyer la serre | Nettoyer la serre, insecte proof avec un traitement chimique insecticide. | En début de campagne. | |
| 06 | Désinfection de la serre | Solarisation : en été couvrir le sol avec du plastique blanc. | Mois d'Août 2015. | |
| 07 | Mise en place du film blanc | Couvrir la terre avec un film plastique contre les mauvaises herbes. | Avant la plantation. | Effet positif d'emmagasinage de lumière. |
| 08 | Mise en place les pots des substrats | Déposer les substrats : en ligne dans les gouttières | Début de septembre 2015 | |
| 09 | Mise en place du réseau goutte à goutte | Raccorder les rampes aux lignes de goutteurs (Vérification des fuites) | Début de septembre 2015 | |
| 10 | L'irrigation des substrats | Arroser avec la solution nutritive | 24h avant plantation | Activer l'effet starter |
| 11 | La plantation | Plantation des plants | 23/01/2015 | Variété : VALOURO |

B- Pendant la culture :**Tableau 13 :** différentes étapes réalisées pour la mise en place de l'essai pendant la culture.

| N ° | Operations | Méthodes | Périodes | Observations |
|-----|--------------------------------|---|---|--|
| 01 | Drainage | A la base du substrat | Pendant tout le cycle de la culture | |
| 02 | Contrôle de l'eau d'irrigation | Vérifier régulièrement le système d'irrigation | Hebdomadaire | |
| 03 | Contrôle de solution nutritive | Mesure de la CE et du pH au niveau du goutteur et au niveau de drainage | Deux à trois fois par semaine | Respecter la CE et le pH exigé par la tomate |
| 04 | La pollinisation | Mise en place des ruches au début de la floraison | Renouvellement des ruches chaque 45 jours | Contrôler l'activité des bourdons |
| 05 | Lutte chimique | Traitement fongicides et insecticides et (botrytis, mildiou, acariens et tuta absoluta) | Lors des attaques | Les insecticides utilisés respectent l'environnement (bourdons, auxiliaires et consommateurs). |
| 06 | Entretien de la culture | Ebourgeonnage, effeuillage et couchage | Pendant tout le cycle | Suppression de fleurs (bouquets en surplus) |
| 07 | La récolte | Réalise en quatre fois | | |

11. Travaux d'entretien de la culture

Plusieurs travaux d'entretien ont été nécessaire pour une bonne conduite de la culture et un meilleur contrôle entre la croissance végétative et la phase reproductive de la plante.

Ces travaux sont les suivants :

11.1. Le palissage

Le palissage intervient 10 jours après la pollinisation. Lors du palissage, la ficelle ne doit pas être trop serrée à la base du plant. Au deuxième passage, pour les plants à deux bras, la base de la ficelle est fixée au sol.

Le palissage, consiste à effectuer un tour de ficelle entre deux feuilles ou à poser un clip en plastique toutes les trois feuilles, en dessous d'une feuille ou d'un bouquet (jamais au-dessus).

Le palissage est effectué à raison d'un passage tous les 5 jours jusqu'à ce que les plantes soient chargées un fruits (stade F6/F7), puis tous les 6 jours, voire plus en plein hiver pour respecter une croissance d'environ 20 cm entre deux interventions.

Lorsque les plantes atteignent le fil de fer qui se trouve sous faitière, le couchage des plants est réalisé en même temps que le palissage. Les sommets des plants doivent rester à la même hauteur tout au long de la compagnie. Les échassiers utilisent des échasses Dura-Stilts de 1,70 cm de haut pour un palissage à 3,50 m de haut.

Le palissage présente plusieurs avantages :

- il permet aux plants de mieux profiter de la lumière et de l'aération.
- il facilite la circulation de la sève.
- il facilite les opérations d'entretiens.
- il aide la plante à supporter les charges en fruits.
- il évite le contact des fruits avec le sol.



Figure 11 : palissage de la tomate.

11.2. L'ébourgeonnage

L'ébourgeonnage (appelé aussi le taille), consiste en l'ablation manuelle des bourgeons axillaires qui naissent juste à l'aisselle de chaque feuille, principalement afin

d'éviter la compétition vis-à-vis de la nutrition et de la lumière. Des passages fréquents sont organisés (02 à 03 tous les 15 jours). Aussi, il faut traiter après chaque ébourgeonnage.



Figure 12 : Ebougeonnage de la tomate.

11.3. L'effeuillage

L'effeuillage est réalisé au moyen d'un sécateur, il consiste à enlever les feuilles qui se trouvent à la base de la plante et celles des bouquets en maturation, afin d'exposer les fruits à la lumière permettant leur coloration homogène et de faciliter leur récolte.

L'espace foliaire requis après effeuillage ne doit pas être inférieur à 12 feuilles de la tête vers le bas du plant de tomate (ne pas trop effeuiller pour ne pas toucher la vigueur de la plant et qualité des fruits).

On distingue deux types d'effeuillage : effeuillage d'hiver où on supprime les 18 premières feuilles lors du premier effeuillage, et l'effeuillage d'été, où on supprime les 14 premières feuilles.



Figure 13 : effeuillage de la tomate.

11.4. Le couchage

Le couchage (appelé aussi training). Consiste à dérouler un certain nombre de tour (ou demi-tour) de la tige principale, afin de maintenir les têtes des plantes sur un même niveau de hauteur et en même temps de coucher les bas des tiges sur le lit de plantation, cela permet de faciliter l'opération de cueillette.

11.5. L'étêtage

L'étêtage consiste à pincer le bourgeon apical pour limiter la croissance de la plante et garder deux feuilles après le dernier bouquet, cette opération est pratiquée en fin de culture selon l'objectif et le nombre de bouquets fixée.

11.6. La pollinisation

L'objectif de la pollinisation est d'améliorer la nouaison. Dans les abris de la station, les courants d'air sont très faibles, c'est pourquoi le pollen ne peut pas être transporté par le vent et pour cela on utilise des bourdons importés.



Figure 14 : Ruches de bourdons.

La mise en place des ruches dans la serre est effectuée en suivant certaines règles :

- Installation dès l'apparition des premières fleurs.
- Orientation des ouvertures vers le côté Est.
- Fermeture ou déplacement des ruches pendant les traitements phytosanitaires.
- Mettre de l'eau à disposition des bourdons.
- Durée d'activité : 6 à 8 semaines en fonction de la saison et des conditions de

la serre.

12. la ferti-irrigation :

A- solution nutritive :

La solution nutritive contient des macroéléments (azote, phosphore, soufre, potassium, calcium, magnésium) et des oligo-éléments (fer, manganèse, zinc, bore, cuivre, molybdène).

Elle doit être préparée en tenant compte de la composition de l'eau du réseau, car les apports minéraux de cette dernière peuvent être importants et couvrir les besoins du végétal cultivé en sulfate, calcium et magnésium ou même excéder ceux-ci.

La composition minérale de l'eau du réseau est liée à son origine (source, nappe, etc.) ; elle peut varier passablement, même en cours de saison.

Une eau ayant une salinité inférieure à 0,5 mS/cm peut être utilisée sans problème, par contre, si la salinité excède 1 mS/cm, l'eau devient inutilisable, en particulier pour le recyclage.

Une salinité élevée de l'eau du réseau provoque l'accumulation d'éléments favorisant déséquilibres nutritifs.

La préparation de la solution nutritive se fait à partir d'engrais solubles. Pour composer une solution équilibrée, la quantité de chaque engrais doit être calculée.

La concentration des solutions mères est en général 100 à 200 fois plus élevée que celle des solutions nutritives.

Elle est souvent limitée par la solubilité des produits eux-mêmes. La règle commande de ne pas mélanger des éléments contenant des sulfates ou des phosphates avec du calcium pour éviter une précipitation ; deux bacs de solutions mères sont ainsi préparés pour pouvoir séparer les éléments incompatibles. Les acides peuvent être dilués dans un bac à part, afin de faciliter la gestion de pH.

L'ajout des oligoéléments se fait dans le bac contenant les phosphates et les sulfates, l'ajout fer dans celui contenant le calcium.

La solution nutritive est modulée en fonction de la période de culture et du stade de végétation.

Les quantités d'eau et d'éléments nutritifs absorbés peuvent varier selon les besoins de la culture. Il est donc nécessaire de bien contrôler, d'adapter et de délimiter les flux, afin d'optimiser l'alimentation minérale. Le volume de drainage quotidien représente 15 à 25% de l'apport pour une culture en système ouvert non recycle ; les solutions nutritives sont calculées en collaboration avec les hollandais et sont dressées dans le tableau 14 :

Tableau 14 : Tableau qui représente les éléments minéraux de la solution.

| Eléments minéraux | Solution nutritive souhaitée (mmol/l) |
|--------------------------------|--|
| Ca | 5,5 |
| K | 9,5 |
| Mg | 2,5 |
| NH ₄ | 1 |
| NO ₃ | 16 |
| SO ₄ | 4,5 |
| H ₂ PO ₄ | 1,5 |
| Chlorides | 0 |
| Bicarbonates | 0 |
| CE | 2,5 |
| pH | 5,8 |

Avant la plantation, il est nécessaire d'imbiber les substrats de culture avec les éléments nutritifs.

Pour corriger et adapter l'apport nutritif, il est indispensable d'analyser régulièrement la composition de la solution nutritive apportée aux plantes et la solution du substrat de culture (environnement des racines) ou du drainage.

En général, les analyses se pratiquent toutes les trois semaines. Pour évaluer rapidement la concentration en éléments minéraux, en mesure l'électro conductivité (EC) dans le drainage. Cette mesure reflète l'intensité relative de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux. En période de fortes chaleurs, la plante consomme plus d'eau que d'éléments minéraux, et période de faible luminosité, le végétal absorbe plus d'éléments minéraux.

B- Tenir compte des éléments contenus dans de l'eau du réseau ou du puits**Tableau 15** : les éléments contenus dans l'eau utilisée pour la préparation de solution nutritive.

| Eléments minéraux | Eau de puits (mmol/l) | Solution nutritive à apporter (mmol/l) |
|--------------------------------|-----------------------|--|
| Ca | 5,3 | 0,2 |
| K | 0,1 | 12,3 |
| Mg | 1 | 0,8 |
| NH ₄ | 0 | 1 |
| NO ₃ | 4,1 | 11,9 |
| SO ₄ | 1,5 | 2,1 |
| H ₂ PO ₄ | 0 | 1,5 |
| Chlorides | 4,8 | 0 |
| Bicarbonates | 2,8 | 2,8 |
| CE | 1,7 | 2,5 |
| pH | 7,5 | 5,8 |

C- Les calculs de la solution nutritive :

Il est à signaler que la CE au niveau de notre eau est élevée (1,6 ms/cm), ce qui la classe au niveau 03 dans l'échelle de la qualité de l'eau.

La fertigation se fait suivant un circuit ouvert (l'eau de drainage n'est pas recyclée pour être réutilisé par la suite).

La fertigation est réalisée trois à quatre fois par jours.

Programme de fertigation : nous avons utilisé deux bacs.

Fut A

Ca, N, K, Fe (sans P ou S)

pH entre 3 et 5

Couverture des bacs

Fut B

Mg, N, K, P, S avec tous les
Oligoéléments sauf le Fe.

Ph <5

Le niveau des deux bacs doit baisser de la même façon.

Fut A : Nitrate de calcium (N-Cao)

Nitrate:

$$\begin{array}{l} 7 \text{ Kg} \longrightarrow 1000 \text{ L} \\ X \longrightarrow 300 \text{ L} \end{array} \quad X = 2,1 \text{ Kg}$$

Urée :

$$\begin{array}{l} 2,8 \text{ Kg} \longrightarrow 1000 \text{ L} \\ X \longrightarrow 300 \text{ L} \end{array} \quad X = 840 \text{ Kg}$$

Chélate de fer : 90 g/ 300 L

Fut B : N.P.K

$$\begin{array}{l} 12.61.0 \\ 3,3 \text{ Kg} \longrightarrow 1000 \text{ L} \\ X \longrightarrow 300 \text{ L} \end{array} \quad X = 1 \text{ Kg}$$

Potasol : 50% \longrightarrow 11,88 Kg

Magnesol :5,49 Kg

Les oligoéléments + NPK

Mn \longrightarrow 150 g, bore \longrightarrow 60 ml, cuivre \longrightarrow 66g.

D- Système d'irrigation :

Le système d'irrigation est la goutte à goutte lié avec une tête de station de sept bacs on utilise que trois :

1 bac pour les traitements phytosanitaires.

2 autres Bacs pour les engrais.

Acide nitritique faire baisser le pH.

E- faire fonctionner la tête de station :

Il faut choisir le mode manuel ou automatique, on utilise un agitateur pour faire mélange les engrais.

Programmation de la tête.

- Programme 1.2.3.4.5.
- Heure de départ.
- Heure de fin.
- Jours : samedi, dimanche, lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi.
- 1 = ok, 0 = pas de fertigation.
- pH = 5,8 ; CE = 2,5.
- Il y a deux sondes.
- - Sonde 1 : pH d'eau.
- - CE d'eau.



Figure 15 : la tête de station.

13. méthodes de protection (protection phytosanitaire) :

La méthode la plus favorable consiste à utiliser l'insecte-proof permet d'empêcher toute infiltration dangereux nocifs aux cultures telles que les noctuelles, les pucerons, les aleurodes et bien d'autre organismes nuisibles. **(C'est un filet à très faible maille).**



Figure 16 : insecte-proof inusitée.

14. Les maladies observées sur la culture de tomate

Durant notre expérimentation nous avons observé des symptômes de quelques maladies redoublées chez la tomate, généralement les dégâts n'étaient pas très apparents c'est pour cette raison que nous ne l'avons pas pris en considération.

Tableau 16 : Les maladies observées et les traitements au cycle de vie de la plante.

| Dates | Natures de travaux | Maladies | Nature de traitement | Doses |
|------------|--------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 24/01/2016 | Désinfection | Verus | Éthanol | 10 L/ 960 L d'eau. |
| 10/02/2016 | Traitement | Mineuses | Tracer | 60 ml/ 100 L. |
| 14/02/2016 | Traitement | Mineuses | Tracer | 60 ml/100 L. |
| 18/02/2016 | Traitement | Oïdium | Ortiva | 100 ml/ 100 L. |
| 24/02/2016 | Traitement | Acarien | Abamictine | 75 ml/ 100 L. |
| 28/02/2016 | Traitement | Oïdium | Sulfate de cuivre | |
| 14/03/2016 | Traitement | Oïdium + cladosporiose | Equation pro | |
| 06/04/2016 | Traitement | Mineuses | Tracer | 60 ml/100 L. |
| 18/04/2016 | Traitement | Oïdium | Equation pro | |

| | | | | |
|-------------|------------|----------|-----------|-----------|
| 25 /04/2016 | Traitement | Oïdium | Ortiva | |
| 02/05/2016 | Traitement | Oïdium | Consoto | |
| 03/05/2016 | Traitement | Oïdium | Soufre | 01kg/100L |
| 09/05/2016 | Traitement | Tuta | Coragen | 25ml/100L |
| 11/05/2016 | Traitement | Acariens | Abamictin | 75ml/100 |

15. la récolte

La première récolte à été réalisée le 01/05/2016.

La deuxième récolte à été réalisée le 08/05/2016.

La troisième récolte à été réalisée le 17/05/2016.

La quatrième récolte à été réalisée le 25/05/2016.



Figure 17 : fruits de la tomate récoltés de différents traitements utilisés dans notre expérience.

16. Les paramètres étudiés

16.1. Paramètre de croissance

16.1.1. Le nombre de fleurs par bouquet et par plant

C'est un comptage des fleurs de chaque bouquet. La somme des bouquets nous donne le nombre total de fleurs par plant.

16.1.2. Taux d'avortement

Le taux d'avortement est calculé à partir de la différence entre le nombre de fleurs nouées et le nombre total de fleurs de chaque plant.

16.1.3. Hauteur des plants

Nous avons mesuré la hauteur finale des plants à l'aide d'un mètre-ruban.

16.2. Paramètre de production

16.2.1. Le nombre de fruits par bouquet et par plant

Les fruits récoltés au niveau de chaque bouquet sont comptés séparément, ce qui nous donne le nombre de fruits par bouquet.

16.2.2. Le poids moyen des fruits par bouquet et par plant

Après chaque récolte, les fruits de chaque bouquet sont pesés séparément, ce qui permet d'obtenir le poids moyen de fruits par bouquet. L'ensemble du poids moyen des bouquets nous permet d'obtenir le poids moyen des fruits par plant.

CHAPITRE II

Résultats et Discussion

1. Paramètres de croissance

1.1. Nombre de fleurs par bouquet

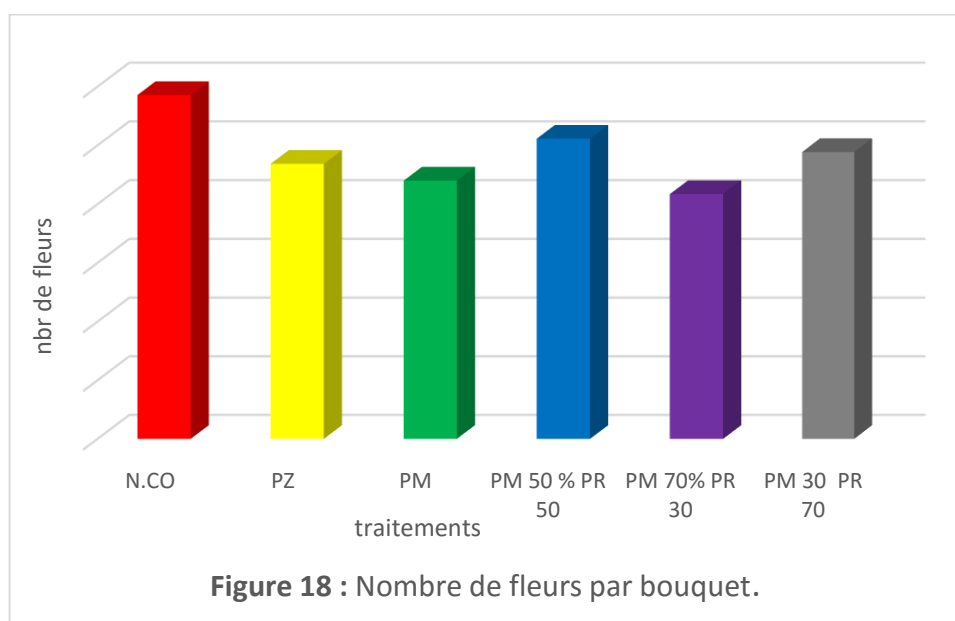
Les résultats obtenus pour le paramètre « nombre de fleurs par bouquet » pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 17 par la figure 18

L'analyse de la moyenne relève une différence significative entre les traitements pour les nombres de fleurs par bouquet floral.

Il est à noter que le traitement Fibre de palmier 70 % Perlite 30 % représente un nombre de fleurs le moins élevé par rapport aux 5 autres traitements. Pour la moyenne de bouquet, c'est le traitement de Fibre de coco qui représente le nombre de fleurs le plus élevé. D'après les résultats obtenus, le substrat organique Fibre de coco semble donner un nombre de fleurs plus élevé. Par contre il n'y a pas une différence significative entre les traitements Fibre de palmier 30 % Perlite 70 %, Fibre de palmier 50% Perlite 50 % pour le nombre de fleurs par bouquet.

Tableau 17 : Nombre de fleurs par bouquet.

| Nombre de fleurs par bouquet | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------|-------------------|------------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50% PR 50% | PM 70% PR 30 % | PM 30% PR 70% |
| Moyenne | 5,857 ± 1,51 | 4,686 ±0,993 | 4,4 ±0,954 | 5,114 ±1,358 | 4,171 ±1,668 | 4,886 ±1,734 |



1.2. Nombre de fleurs par plant

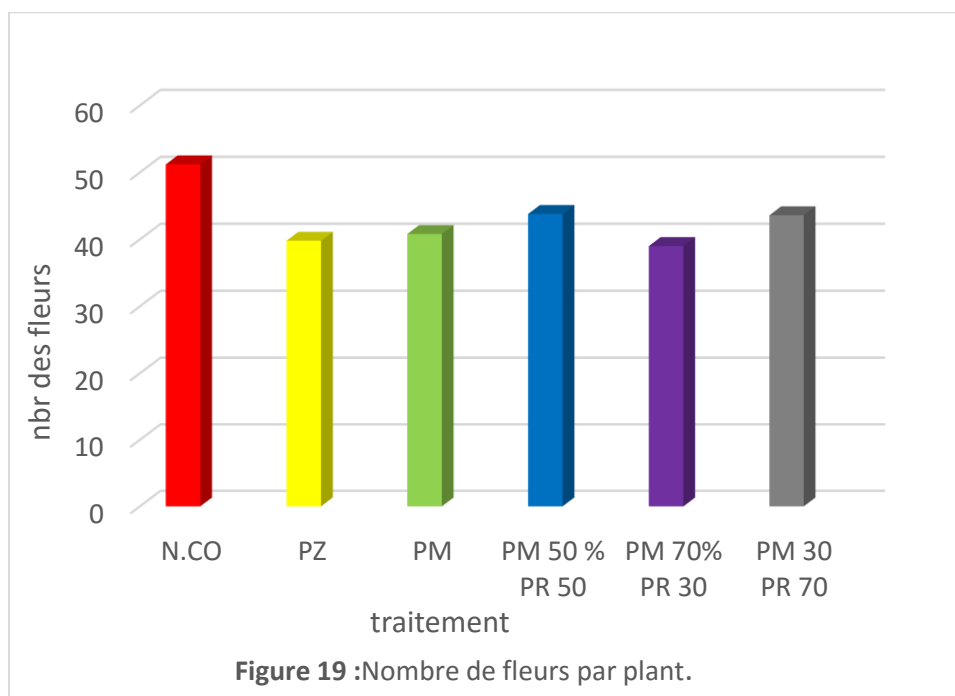
Les résultats du paramètre « nombre de fleurs par plante » et pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 18 illustrés par la figure 19.

L'analyse de la moyenne relève une différence significative entre les traitements étudiés pour le paramètre nombre de fleurs par plant.

En effet les plants amendés avec le substrat Fibre de coco présentent la moyenne la plus élevée de fleurs par plant par rapport aux autres substrats.

Tableau 18 : Nombre de fleurs par plant.

| Nombre de fleurs par plant | | | | | | |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50% PR 50% | PM 70% PR 30 % | PM 30% PR 70% |
| Moyenne | 51,2± 1,924 | 39,8± 0,837 | 40,8± 1,643 | 43,8± 1,483 | 39± 3,162 | 43,6± 2,302 |



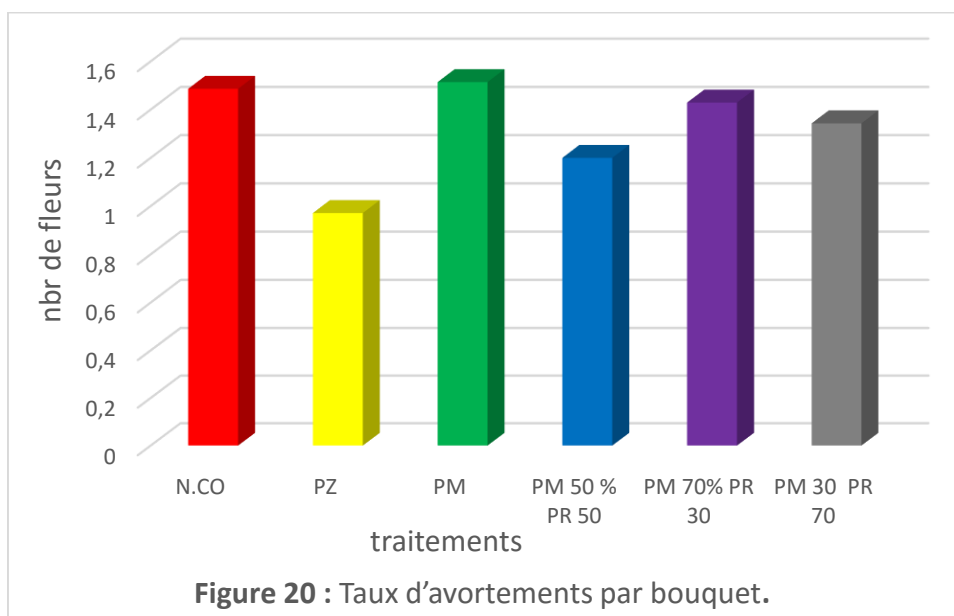
1.3. Taux d'avortements par bouquet

Les résultats du paramètre « Taux d'avortement » et pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 19 illustré par la Figure 20.

L'analyse de la moyenne relève une différence non significative entre les traitements étudiés pour le paramètre nombre de fleurs par bouquet.

Tableau 19 : Taux d'avortements par bouquet.

| Taux d'avortement par bouquet | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50% PR 50% | PM 70% PR 30% | PM 30% PR70% |
| Moyen | 1,486 ± 0,951 | 0,971 ± 0,923 | 1,514 ± 1,095 | 1,2 ± 1,079 | 1,429 ± 1,313 | 1,343 ± 1,027 |



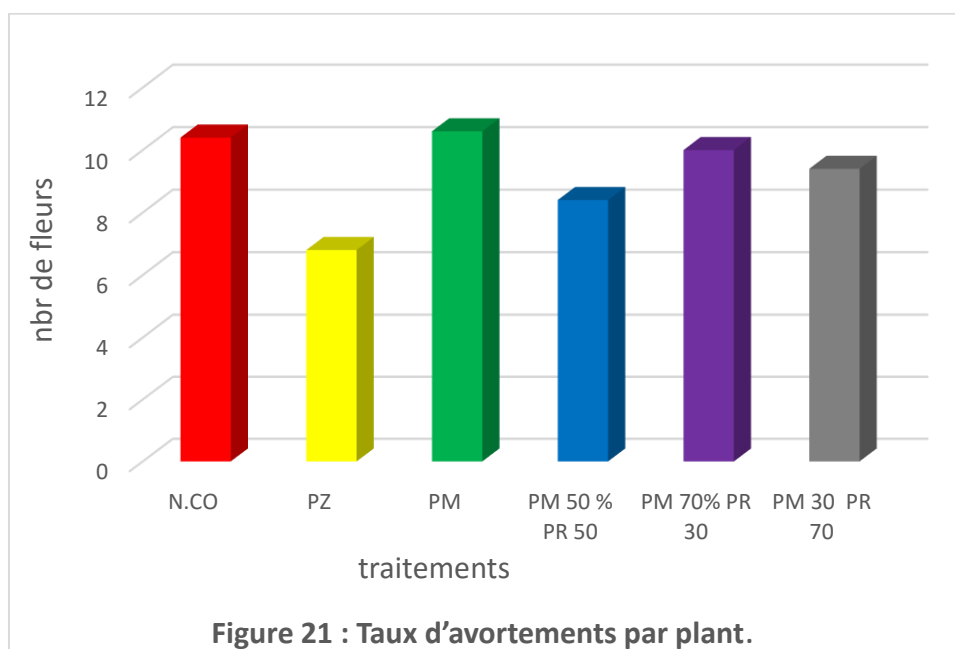
1.4. Taux d'avortement par plant

Les résultats du paramètre « Taux d'avortement » et pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 20 illustré par la figure 20.

Concernant le taux d'avortements par plant, l'analyse de la moyenne montre une différence non significative entre les différents traitements testés.

Tableau 20 : Taux d'avortements par plant.

| Taux d'avortement par plant | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50% PR 50% | PM 70% PR 30% | PM 30% PR70% |
| Taux d'avortement | 10,4 ± 2,50998 | 6,8 ± 1,67332 | 10,6 ± 2,19089 | 8,4 ± 2,302173 | 10 ± 5,291503 | 9,4 ± 0,894427 |



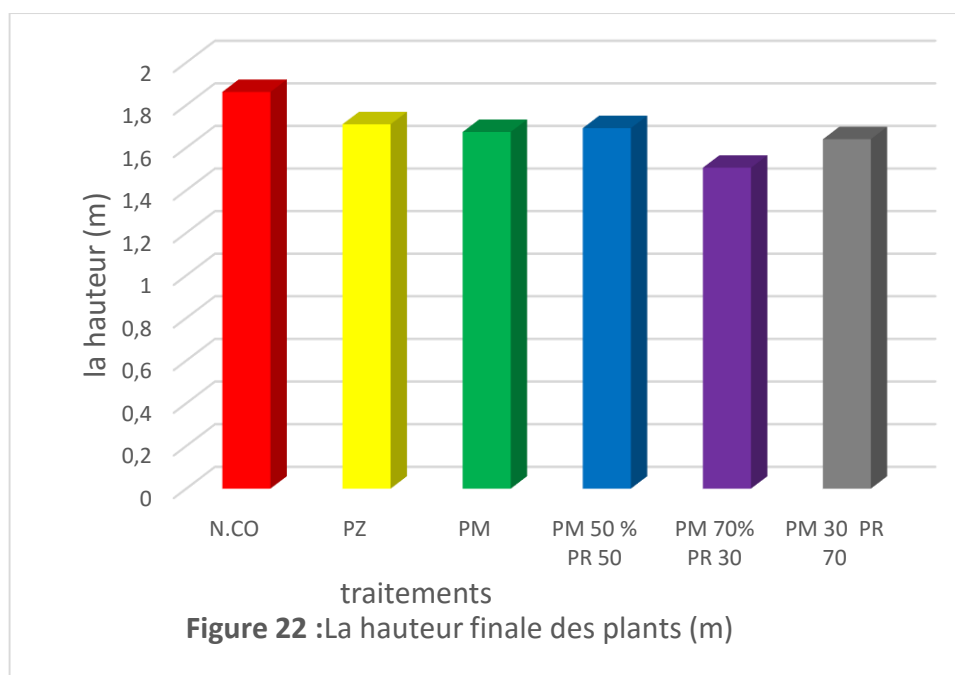
1.5. La hauteur finale des plants

Le tableau 21 représente l'évolution de la hauteur des plants des différents traitements, qui sont illustrés par la figure 22.

L'analyse de la moyenne, montre une différence significative entre les traitements étudiés, les plants des traitements Fibre de coco représente la hauteur finale la plus longue, alors que ceux du traitement Fibre de palmier 70 % Perlite 30 %, représente la hauteur la plus courte.

Tableau 21 : La hauteur finale des plants (m)

| Hauteur des plants | | | | | | |
|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50%PR 50% | PM 70% PR 30% | PM 30% PR70% |
| Hauteur | 1,862± 0,069 | 1,71± 0,05 | 1,674± 0,082 | 1,692±0,041 | 1,506± 0,481 | 1,64± 0,034 |



2. Paramètre de production

2.1. Nombre de fruits par bouquet

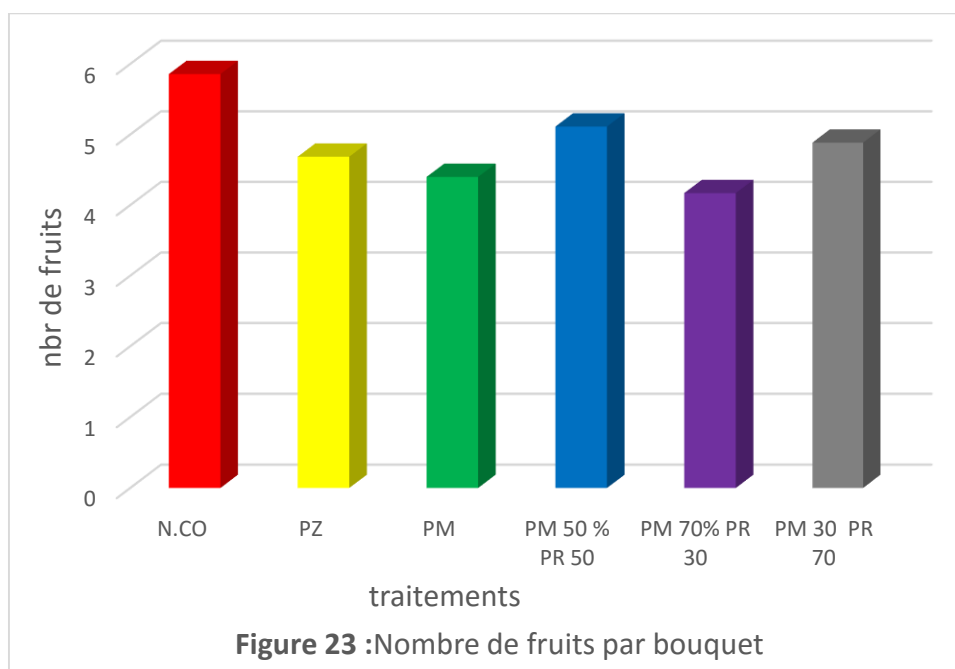
Les résultats obtenus pour le paramètre « nombre de fruits par bouquet » pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 22 par la Figure 23.

L'analyse de la moyenne relevé une différence significative entre les traitements pour les nombres de fruits par bouquet floral.

Il est à noter que la Fibre de palmier 70 % Perlite 30 % présente le nombre de fruits le moins important par rapport aux 5 autres traitements au niveau des moyennes de bouquet.

Tableau 22 : Nombre de fruits par bouquet.

| Nombre de fruits par bouquet | | | | | | |
|------------------------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50%PR 50% | PM 70% PR 30% | PM 30% PR70% |
| Moyenne | 5,857± 1,24 | 4,686± 0,993 | 4,4± 1,006 | 5,114± 1,323 | 4,171± 1,807 | 4,886± 1,255 |



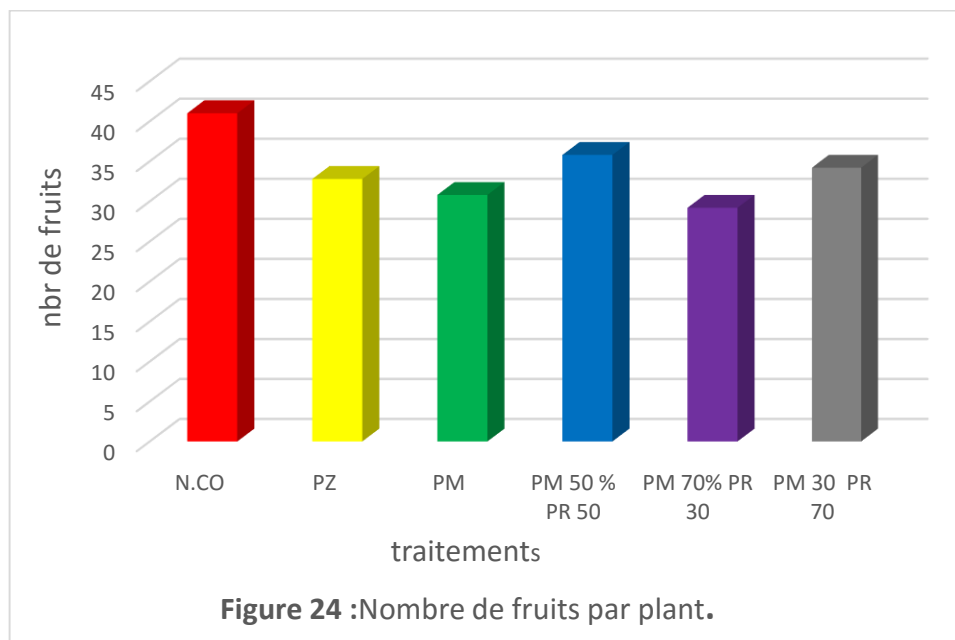
2.2. Nombre de fruits par plant

Les résultats obtenus pour le paramètre « nombre de fruits par plant » pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 23 et représenté par la Figure 24.

L'analyse de la moyenne relève une différence significative entre les traitements étudiés pour le paramètre nombre de fruits par plant, en effet les plants de Fibre de coco présentent la moyenne la plus importante par rapport aux traitements qui présente presque la même moyenne.

Tableau 23 : Nombre de fruits par plant.

| Nombre de fruits par plant | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50%PR 50% | PM 70% PR 30% | PM 30% PR70% |
| Moyenne | 41 ± 2,9154 76 | 32,8 ± 2,6832 82 | 30,8 ± 4,02492 2 | 35,8 ± 2,588436 | 29,2 ± 4,494441 | 34,2 ± 2,588436 |



2.3. Poids moyen des fruits par bouquet

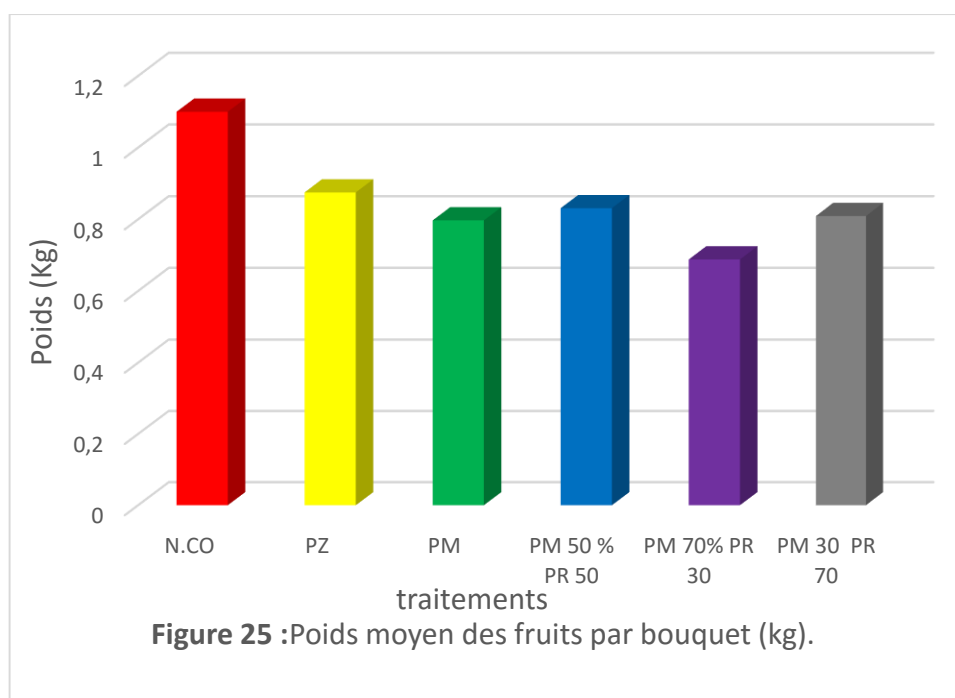
Les résultats obtenus pour le paramètre « Poids moyen des fruits par bouquet » pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 24 et par la figure 25.

Pour le poids moyen des fruits par bouquet, l'analyse de la moyenne relève une différence significative entre les différents traitements pour le poids moyen.

Les plants du traitement de Fibre de coco ont donné le poids moyen le plus fort pour le poids moyen, alors que le traitement Fibre de palmier 70 % Perlite 30 % représente le poids le plus faible pour les autres traitements.

Tableau 24 : Poids moyen des fruits par bouquet (kg).

| Poids par bouquet | | | | | | |
|-------------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50%PR 50% | PM 70% PR 30% | PM 30% PR70% |
| Moyenne | 1,1± 0,199 | 0,875±0,169 | 0,797 ±0,123 | 0,831± 0,088 | 0,688± 0,131 | 0,809± 0,067 |



2.4. Poids moyen des fruits par plant

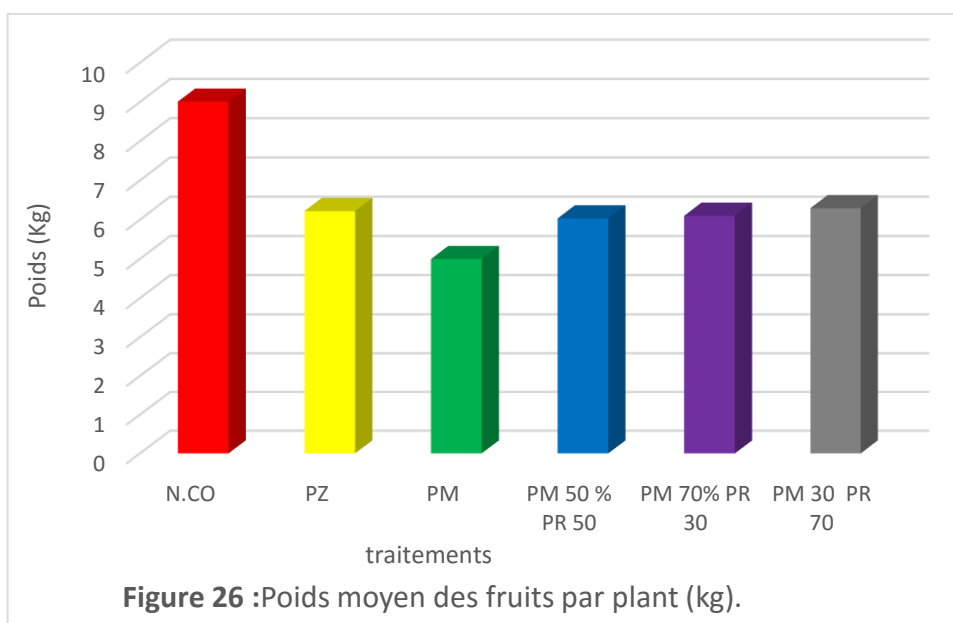
Les résultats du « poids moyen des fruits par plant » pour chaque traitement sont représentés dans le tableau 25 et par la Figure 26.

Pour le poids moyen des fruits par plant, l'analyse de la moyenne relève une différence significative entre les différents traitements étudiés.

En effet, les plants du traitement Fibre de coco ont donné le poids moyen le plus élevé, concernant le traitement Fibre de palmier 70 % et Perlite 30 %.

Tableau 25 : Poids moyen des fruits par plant (kg).

| Poids moyen par plant | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Substrat | N.CO | P. Z | PM | PM 50%PR 50% | PM 70% PR 30% | PM 30% PR70% |
| Poids moyenne | 9,008 ± 1,141 | 6,22 ±1,913 | 4,998 ± 0,771 | 6,033 ± 1,335 | 6,1 ± 1,239 | 6,294 ± 0,766 |



Conclusion générale

Conclusion

Au terme de notre travail, ayant porté sur étude comparative de différents substrats pour la production de tomate hors sol sur les paramètres agronomiques, paramètre de croissance et paramètre de production de la variété de tomate (Valouro) *lycopersicum esculentum* MILL. conduite en hors sol. Les résultats obtenus nous permettent d'apporter les conclusions suivantes :

Sur le plant agronomique, les résultats d'analyse statistique montrent un effet significatif des différents substrats étudiés sur tous les paramètres agronomiques à savoir Nombre de fleurs par bouquet, Nombre de fleurs par plante, Taux d'avortement par bouquet, Taux d'avortement par plant, La hauteur finale des plants, Nombre de fruits par bouquet, Nombre de fruits par plant, Poids moyen des fruits par bouquet, Poids moyen des fruits par plant.

Du point de vue paramètre de croissance en effet les Fibre de coco ont permis une croissance et un développement plus important par rapport aux autres traitements.

On explique le bon développement dû à la Fibre de coco par rapport aux autres traitements par sa bonne condition physique et chimique du substrat.

Du point de vue paramètre de production les plants du traitement de Fibre de coco ont un poids moyen et un nombre de fruits supérieur, ainsi qu'un calibre des fruits compris entre 5 et 7 cm.

Vu la différence significative pour la plupart des paramètres étudiés entre les six traitements, nous conseillons d'utiliser les Fibre de coco.

A cet effet, les résultats obtenus dans notre étude reflètent que la Fibre de coco est le meilleur substrat de la culture hors sol.

Enfin, nous proposons de poursuivre les essais en culture hors sol avec ces deux types de substrats Fibre de palmier et pouzzolane, afin d'obtenir de meilleurs résultats. Parce que ces deux substrats sont des produits locaux qui peuvent nous donner des résultats appréciables à l'avenir avec moins de coût et une bonne production. Il faut donner une importance à la désinfection et emplacement et avec une durée d'utilisation plus prolongée des substrats.

Resumé

Notre étude a porté sur l'effet de six différents substrats sur les paramètres agronomiques de croissance et paramètre de production chez une variété hybride de tomate (*lycopersicum esculentum* MILL). Variété Valouro, conduite en hors sol. L'expérimentation a été réalisée à l'ITCMI Zeralda. Le substrat de Fibre de coco à agit positivement sur le nombre de fleurs par plant, la hauteur finale des plants, nombre de fruits par plant, poids moyen des fruits par plant, tandis que, le substrat Pouzzolane possède le Taux d'avortement par plant le plus faible.

Mots clés : tomate, hors sol, substrat, pouzzolane, hybride, Fibre de coco.

Summary

Our study has treated the effects of six diffèrents substrats of agronomic parametrs of growth and production of variety of vegetable tomato, valouro variety hybride lead by soiless culture. The experimentation has been executed in ITCMI Zeralda. The substrat of fiber of coconu is considerably above the number of flowers by plant. The final height of plant. number of fruited by plant. While the substrats pozzolana has the abortion rate by plant. The most weak.

Key words: tomato, substrats, pozzolana, hybride, fiber of coconu, soiless culture.

ملخص

دراستنا تتمحور حول تأثير ستة أنواع من معوضات التربة على عوامل فلاحية، عوامل إنتاجية وعوامل نمو عند صنف من الطماطم المهجن، فالورو، بتقنية الزراعة خارج التربة، التجربة أجريت في المعهد التقني لزراعة البقول والمحاصيل الصناعية بزرادة، المعوض جوز الهند قدم أحسن النتائج فيما يخص عدد الاجمالي للزهور، الطول النهائي للنبات، عدد الإجمالي للفواكه، معدل وزن الفواكه للنبات، بينما المعوض بوزولان لديه معدل الاحسن في نسبة الازهار الملقحة والغير ملقحة.

كلمات البحث:

طماطم، معوضات التربة، البوزولان، مهجن، خث نسيج التربة، تقنية الزراعة خارج التربة.

Références bibliographiques

- 01. ABBAYES H., CHADEFAUD M., FERRE Y., FELMMANN J., GAUSSEN H., GRASSE P., LERRDDE M., OZENDA P., PREVOT A.,1993.** Botanique Anatomie_cycle evolutifs_systematique.masson et Cie.8:pp.52-65
- 02. AMMARI, A. (2012).** Etude de l'effet de deux types d'engrais organiques sur la production de la tomate (*Lycumercicum esculentum* Mill.) conduite en système biologique cultivée sous serre au sud Algérien (OUED SOUF). Thèse : Ing. Agro. Blida 72p. sol et hors sol. Ed : CTIFL, Paris, 161p.
- 03. AMES M. et JONHSON W.S, 1986.**A review of factors affecting plant growth, In proceedings of the 7Annual Conference on hydroponics: The Evolving Art, The Evolving Scienceth. Hydroponic Society of America, Canada, p1-20.
- 04. ANONYME, (1995).** Guide pratique : la culture de la tomate sous serre. Ed : ITCMI, Alger, 4-6pp.
- 05. BAUERLE W.L., 1990.** A window into the future in precision nutrient control, in Korney, S Ed, Proceedings of the 11 th Annual Conference on Hydroponics, Hydroponic Society of American, Concord, CA; p 25-27.
- 06. BENTVELSEN C.L.M.,1980.** Réponse des rendements à l'eau. Ed Dunod.235p.
- 07. BLANC, D, 1987 :** Les cultures hors sol. ED. INRA. Paris. 409p
- 08. BLANCARD, D. et al, (2009).** Les maladies de la tomate. Ed : Qal, Paris, 615p.
- 09. BOLLINGER, M. (1970).** Cultures maraichères : solanacées fruits, 503p.
- 10. BONNIEUX F., RAINELLI P., 1996.** Fonction de dommage à l'environnement et pollution par les nitrates d'origine agricole. Colloque international Nitrates Agriculture-Eau organisé par Inra-France. Paris La défense novembre 7-8 : 576 P.
- 11. BROSSARD, (2002).** Mémento fruits et legumes. Ed : CTIFL, Paris, 465p.
- 12. BULLETIN MENSUEL D'INFORMATION ET DE LIAISON DU PNTTA TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE.** N°57 juin 1999.
- 13. CHAUX, C. (1972).** Productions légumières. Ed : J-B, Baillièrè, Paris, 391p.
- 14. CHAUX, C. et FOURY, CL. (1994).** Productions légumières. Tome 1 : Généralité. Ed : Lavoisier, Paris, 545p.

15. **CHAUX, C et FOURY, CL. (1994).** Productions légumières. Tome 3 : Légumineuses potagères, légumes fruits. Ed : Lavoisier, Paris, 477p.
16. **CHARLES G.,** Diagnostic de la carence phosphorique des sols par symptomatologie végétale annales de l'INA vol 22 p 119-121.
17. **CHOUARD P et RENAUD V., 1961.** Mise au point de cultures hydroponiques au Sahara : premiers résultats obtenus CR. Acad. Agr. Fr., 47p :922-1013.
18. **CLITMENT J.M.,1981.** Mémento de l'agronomie 248-251. (Commercialisation) Agrodoc N 17.pp9-10.
19. **DIGAT B. et LEMAIRE F., 1993.** Nitrogen from and *Xanthomonas Susceptibility of Pelargonium X Hortorum*. Symposium of The International Society For oriticultural Science. 6-11 semtembre 1992. Florance. Italy.
20. **DINON, E, et GERSTMANS. A, 2008 :** L'influence du PH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de liège.4p
21. **DUDLEY H., 1983.** Hydroponic: growing plants without soil. Ed. David and Charles Ltd-U. K 218p.
22. **EZZAHIRI B., BOUHACHE M., et ERRAKI I., 2004.** Index phytosanitaire du Maroc. Ed 2004. p 257.
23. **FOUNITER G.1979.** Comportement physique et mécanique de quelques substrats et mélanges utilisés en horticulture. Mémoire fin d'études ENITH Angers, 29p.
24. **GALLAIS A.et BANNERONT H., 1992.** Amélioration des espèce végétales cultivée. Objectifs et critères de sélection. INRA Editions.
25. **GERENDAS J. RATCLIFFE R.G. et SATTELMACHER B., 1991.** Nuclear magnetic resonance evidence for differences in intracellular pH in the roots of maize seedlings grown with nitrate and ammonium. J. Pl. Physiol., 137; 125-128.
26. **GUIGNARD L. ,2000** biochimie végétale. 274p.
- 27.**HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 1996.** Physiologie végétale : nutrition.7ème Ed. Masson.294p.

- 28. HOGLAND D.R., ARNON D. I.,1950.** The water-culture method for growing plants without Soil. *Calif. Agric. Exp. Stn. Circular* 347, 1-39.
- 29. JACOUB J., 1978.** culture maraichère spéciales. Tome I Solanacée fruit, cours polycopies, Inst.Nat. Agro. Hassen badi p 83-99.
- 30. JEANNEQUIN. B, 1992 :** Les plastiques en agriculture. ED.C. A. Prévue horticole. 153 – 161 p.
- 31. JONES J B., 2005.** Hydroponic and soilless culture grower, timber Press es., Portland, Oregon, USA, p124.
- 32. KOLEV, N. (1976).** Les cultures maraichères en Algérie. Tome 1, Ed: FAO, 210p.
- 33. KRAMOU, R. (2011).** Etude de l'effet de deux types d'engrais organiques sur la production de la tomate (*Lycumercicum esculentum* Mill.) conduite en système biologique cultivée sous serre. Thèse : Ing. Agro. Blida 80p.
- 34. LAUMONNIER, R. (1979).** Cultures légumières et maraichères. Tome 3, Ed : J-B Baillière, Paris, 240p.
- 35. LEMAIRE, F, 1989 :** Cultures en pots et en conteneurs. ED. INRA. Paris. 184p.
- 36. LEMAIRE F., DARTIGUES A., RIVIERE L.M., CHARPENRIER S., 2003.** Cultures en pots et conteneurs. 2ème édition. INRA, Paris ;184 p.
- 37. LE QUILLEC, 2002 :** Gestion des effluents des cultures légumière sur substrat. ED. CTIFL.198p.
- 38. LETARD, M. et al, (1995).** Maitrise de l'irrigation fertilisante ; tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ed : CTIFL, Paris, 161p.
- 39. MATHEIEU C., PIELTAIN F., 1988.** Analyses physiques des sols. Méthodes choisies. Edition Tec et Doc. 275p.
- 40. MAPPA, D. (2010).** Les productions lédumières. 3^{ème} éd : Educagri, Paris, 163p.
- 41. MAXWELL K., 1986.** Soil (hydroponie) culture: the past present and future, an Australian viewpoint. *Soilless culture*, vol.2, n1. 29-34.
- 42. MERDACI M. et ATTIA I., LK.,2006.** Biologie des plantes cultivées, physiologie de
- 43. MORARD P., 1995.** Les cultures végétales hors sol Ed. Lavoisier, 208p.
- développement, génétique et amélioration Ed Lavoisier p 75-78.

- 44. NAVEZ, B. (2011).** Tomate, qualité et préférence. Ed : CTIFL, Paris, 390p.
- 45. PENNINGSFELD P. et KURZAN P., 1969.** Cultures sans sol et tourbe. La Maison Rustique. Paris. 219p.
- 46. PERRIN R. et COMPOROTA A P., 1982.** Etude de la réceptivité des substrats organiques aux maladies de fontes de semis provoquées par *Pythium sp.* Et *Rhizoctonia solani Kuhn.* *Acta horticultrae*, 126, p 159-197.
- 47. PERON J.,2006.** La production légumière. Ed Lavoisier. Paris p578-592.
- 48. POLESE J.M., 2007.** La culture de la tomate. Ed. Arthémis.95p.
- 49. RABIB M. et LIETH J.H.,2008.** Signification of soilless culture in agriculture. Ed. Soilless Culture: theory and practice. Elsevier, Amsterdam, p1-11.
- 50. RENAUD V.,2003 ;** tous les les légumes courants, rares ou méconnus cultivables sous nos climats : tomates. Ulmer. Paris, p 135-137.
- 51. RESH H.1989.** *hydroponics foodproduction.* Woodbridge Press publishing company. Santa Barbara, California 93160, U.S.A. 462 p.
- 52. REY Y. et COSTES C, 1965. La physiologie de la tomate, étude bibliographique.** INRA.111p
- 53. RIVIERE L.M. et NICOLAS H., 1987.** Conduite de d'irrigation des cultures hors sol sur substrats : contraintes liées choix des substrats In : Milieux poreux et transferts hydriques. Bulletin du GFHN, 22, 47-70.
- 54. ROBIN, P, 1998 :** horticulture sans sol, histoire et actualité. Cahier d'économie et sociologie rurale. n° 46-47 . P 98-129.
- 55. SHANKARA N., VAN LIDT DE JEUDE J., DE GOUFFAU M., HILMI M., VAN DAM B., 2005.** La culture de la tomate production, transformation et commercialisation, PROTA – fondation agromisa et CTA, wageningen,105 p.
- 56. SILBER A. et BAR-TAL A., 2008.** Nutrition of Substrates-Grown plants. In: M. Raviv and J.H. Lieth (eds) 'soilless Culture: Theory and Practice'. p 291-339. Elsevier.
- 57. SKIREDJ A.,2005.** La fertilisation de la tomate en hors sol : transfert des technologies en agriculture. N° 125 A, APPT4-AGADIR.

- 58. SNOUSSI, SA, 1980** : caractérisation de quelques substrats disponible dans la région d'Alger en vue de leurs utilisations en cultures hydroponiques. Thèse Ing Agro INA. Alger. Pp67.
- 59. SNOUSSI, S. (2010)**. Rapport de mission, etude de base sur la tomate en Algérie, 52-128pp.
- 60. THIAULT. J.F ; 2004** : La maitrise de la culture hors sol. Bulletin Détail, n° 215. ED. CTIFL. ISSN 0758-4334.
- 61. URBAN L., URBAN I., 2010**. La production sous serre tomme 2 l'irrigation fertilisante en culture hors sol. Paris. 233p.
- 62. URBAN, L, 1997** : Introduction à la production sous serre (L'irrigation fertilisante en culture hors sol). ED. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210 p.
- 63. URBAN L., 2010**. La production sous serre tomme 2 l'irrigation fertilisante en culture hors sol. Paris. 233p.
- 64. VAN DER VOSSSEN Y., NONO-WOMDIM R., MESSIAEN C.M.,2004**. Lycopersicon esculentum Mill. Fiche Protabase. Gruben, G.J.H & Denton, O.A.(Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical africa) Wageningen,Pays-bas, p 419-427.
- 65. VAN Os E., GIELING T.H., LIETH J.H., 2008**. Technical equipment in soilless production systems. In: Raviv, M., Lieth, J.H. Eds, soilless Culture: theory and practice. Elsevier, Amsterdam p, 157-207.
- 66. VILAIN, M, 1997** : la production végétale. La maitrise technique de la production. Volume 2 2eme éditions ED. Technique et documentation, Paris 449p
- 67. VITRE A., 2013**. Fondements & principes du hors-sol. Doc v 3.1 hrs 12 ind a. p4.
- 68. WELTY et NC., RADOVICH T., MEULIA T., VAN DER KNAAF E., 2007**. Inflorescence development in two tomato species. Can J. Bot :111-118.
- 69. YELLE P.E., 2006**. Essais et pratique de la fertigation au Québec : l'eau source de quantité et de rendement. Ministère de l'agriculture des pêcheries et alimentation, direction générale de Montérégie, secteurs ouest, 10 Février.

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

Web site

<http://agroconsult.forumactif.info/t72-generalite-sur-la-tomate>

Annexe

Tableau 01 : Relevé de la température sous serre durant l'expérimentation.

| Semaine | T° max (°C) | T° min (°C) |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Du 19 au 24 l'Aout 2015 | 38 | 13 |
| 25 au 29 Aout | 37 | 12 |
| 30 Aout au 5 Septembre | 36 | 14 |
| 6 Septembre au 11 Septembre | 38 | 11 |
| 12 au 17 Septembre | 32 | 13 |
| 18 au 24 Septembre | 31 | 13 |
| 25 au 30 Septembre | 34 | 12 |
| 1 au 6 Octobre | 35 | 11 |
| 7 au 12 Octobre | 33 | 10 |
| 13 au 19 Octobre | 33 | 10 |
| 20 au 25 Octobre | 32 | 13 |
| 26 au 31 Octobre | 35 | 12 |
| 1 au 6 Novembre | 36 | 14 |
| 7 au 13 Novembre | 34 | 10 |
| 14 au 20 Novembre | 29 | 9 |
| 21 au 27 Novembre | 18 | 8 |
| 29 Novembre au 5 Décembre | 25 | 4 |
| 6 au 11 Décembre | 26 | 3 |
| 12 au 17 Décembre | 17 | 3 |
| 18 au 24 Décembre | 19 | 5 |
| 25 au 31 Décembre | 23 | 5 |
| 1 au 6 Janvier 2016 | 21 | 3 |
| 7 au 13 Janvier | 19 | 6 |
| 14 au 20 Janvier | 18 | 5 |
| 21 au 27 Janvier | 21 | 3 |
| 28 au 2 Février | 17 | 6 |
| 3 au 9 Février | 19 | 8 |
| 10 au 16 Février | 18 | 7 |
| 17 au 23 Février | 21 | 5 |

| | | |
|----------------------|----|----|
| 24 Février au 2 Mars | 19 | 9 |
| 3 au 9 Mars | 22 | 6 |
| 10 au 16 Mars | 24 | 8 |
| 17 au 23 Mars | 23 | 10 |
| 24 au 30 Mars | 23 | 9 |
| 31 Mars au 5 Avril | 26 | 13 |

Tableau 02 : écart-type résidu nombre de fleurs par bouquet.

| | | | | | |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|--------------|
| 1 (Nco) | 2 (PZ) | 3 (Pm) | 4 (Pm50Pr5) | 5 (Pm70pr30) | 6 (Pm30pr70) |
| 1,51 | 0,993 | 0,954 | 1,358 | 1,668 | 1,734 |

Tableau 03 : analyse de variance nombre de fleurs par bouquet.

| | | | | | | | |
|----------------------|---------|-----|--------|--------|-------|-------|------------|
| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
| VAR.TOTALE | 472,424 | 209 | 2,26 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 70,938 | 5 | 14,188 | 7,209 | 0 | | |
| VAR.RESIDUE LLE 1 | 401,486 | 204 | 1,968 | | | 1,403 | 22,82 % |

Tableau 04 : puissance de l'essai nombre de fleurs par bouquet.

| | | | | | |
|--------|-----------------------|--|------------------------------|-----|-----|
| | | | RISQUE de 1ere ESPECE | | |
| ECARTS | ECARTS | | 5% | 10% | 20% |
| En % | V.Absolue | | PUISSANCE A PRIORI | | |
| 5% | 0,31 | | 9% | 16% | 28% |
| 10% | 0,61 | | 24% | 35% | 66% |
| | | | PUISSANCE A POSTERIORI | | |
| | Moyennes observées | | 99% | 99% | 99% |

Tableau 05 : comparaison de la moyenne nombre de fleurs par bouquet.

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | |
|-----|----------|----------|-------------------|---|
| 1.0 | Nco | 7,314 | A | |
| 4.0 | Pm50Pr5 | 6,257 | | B |
| 6.0 | Pm30pr70 | 6,229 | | B |
| 3.0 | Pm | 5,829 | | B |
| 2.0 | PZ | 5,686 | | B |
| 5.0 | Pm70pr30 | 5,571 | | B |

Tableau 06 : écart-type résidu nombre de fleurs avorter par bouquet.

| 1 (Nco) | 2 (PZ) | 3 (Pm) | 4 (Pm50Pr5) | 5 (Pm70pr30) | 6 (Pm30pr70) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|--------------|
| 0,951 | 0,923 | 1,095 | 1,079 | 1,313 | 1,027 |

Tableau 07 : analyse de variance nombre de fleurs avorter par bouquet.

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|----------------------|---------|-----|-------|--------|--------|-------|------------|
| VAR.TOTALE | 241,981 | 209 | 1,158 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 7,467 | 5 | 1,493 | 1,299 | 0,2649 | | |
| VAR.RESIDUE LLE 1 | 234,514 | 204 | 1,15 | | | 1,072 | 80,99 % |

Tableau 08 : puissance de l'essai nombre de fleurs avorter par bouquet.

| | | | RISQUE de 1ere ESPECE | | |
|--------|-----------------------|--|----------------------------------|-----|-----|
| ECARTS | ECARTS | | 5% | 10% | 20% |
| En % | V.Absolue | | PUISSANCE A PRIORI | | |
| 5% | 0,07 | | 5% | 10% | 21% |
| 10% | 0,13 | | 6% | 12% | 23% |
| | | | PUISSANCE A POSTERIOR I | | |
| | Moyennes observées | | 59% | 70% | 83% |

Tableau 09 : écart-type résidu nombre de fleurs par plant.

| 1 (Nco) | 2 (PZ) | 3 (Pm) | 4 (Pm50Pr5) | 5 (Pm70pr30) | 6 (Pm30pr70) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|--------------|
| 1,924 | 0,837 | 1,643 | 1,483 | 3,162 | 2,302 |

Tableau 10 : analyse de variance nombre de fleurs avorter par plant.

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|----------------------|---------|-----|--------|--------|-------|-------|-----------|
| VAR.TOTALE | 594,967 | 29 | 20,516 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 496,567 | 5 | 99,313 | 24,223 | 0 | | |
| VAR.RESIDUEL LE 1 | 98,4 | 24 | 4,1 | | | 2,025 | 4,71 % |

Tableau 11 : puissance de l'essai nombre de fleurs par plant.

| | | | RISQUE de 1ere ESPECE | | |
|--------|-----------------------|--|------------------------------|-----|-----|
| ECARTS | ECARTS | | 5% | 10% | 20% |
| En % | V.Absolue | | PUISSANCE A PRIORI | | |
| 5% | 2,15 | | 17% | 27% | 42% |
| 10% | 4,3 | | 66% | 77% | 88% |
| | | | PUISSANCE A POSTERIORI | | |
| | Moyennes observées | | 99% | 99% | 99% |

Tableau 12 : comparaison de moyennes nombre de fleurs par bouquet.

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | | |
|-----|----------|----------|-------------------|---|---|
| 1.0 | Nco | 51,2 | A | | |
| 4.0 | Pm50Pr5 | 43,8 | | B | |
| 6.0 | Pm30pr70 | 43,6 | | B | |
| 3.0 | Pm | 40,8 | | B | C |
| 2.0 | PZ | 39,8 | | | C |
| 5.0 | Pm70pr30 | 39 | | | C |

Tableau 13 : écart-type résidu hauteur final du plant.

| | | | | | |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|--------------|
| 1 (Nco) | 2 (PZ) | 3 (Pm) | 4 (Pm50Pr5) | 5 (Pm70pr30) | 6 (Pm30pr70) |
| 0,069 | 0,05 | 0,082 | 0,041 | 6,481 | 0,034 |

Tableau 14 : analyse de variance de la hauteur final du plant.

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|----------------------|---------|-----|-------|--------|---------|-------|-------------|
| VAR.TOTALE | 200,685 | 29 | 6,92 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 32,59 | 5 | 6,518 | 0,931 | 0,47975 | | |
| VAR.RESIDUE LLE 1 | 168,095 | 24 | 7,004 | | | 2,646 | 121,36 % |

Tableau 15 : puissance de l'essai de la hauteur final du plant.

| | | | RISQUE de 1ere ESPECE | | |
|--------|-----------------------|--|---------------------------|-----|-----|
| ECARTS | ECARTS | | 5% | 10% | 20% |
| En % | V.Absolue | | PUISSANCE A PRIORI | | |
| 5% | 0,11 | | 5% | 10% | 20% |
| 10% | 0,22 | | 5% | 10% | 20% |
| | | | PUISSANCE A POSTERIORI | | |
| | Moyennes observées | | 27% | 38% | 65% |

Tableau 16 : écart-type résidu du poids moyen de fruit par bouquet.

| 1 (Nco) | 2 (PZ) | 3 (Pm) | 4 (Pm50Pr5) | 5 (Pm70pr30) | 6 (Pm30pr70) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|-----------------|
| 0,199 | 0,169 | 0,123 | 0,088 | 0,131 | 0,067 |

Tableau 17 : analyse de la variance du poids moyen de fruit par bouquet.

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|----------------------|-------|-----|-------|--------|---------|-------|------------|
| VAR.TOTALE | 0,922 | 29 | 0,032 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 0,472 | 5 | 0,094 | 5,019 | 0,00282 | | |
| VAR.RESIDUE LLE 1 | 0,451 | 24 | 0,019 | | | 0,137 | 16,13 % |

Tableau 18 : puissance de l'essai du poids moyen de fruit par bouquet.

| | | | RISQUE de 1ere ESPECE | | |
|--------|-----------|--|--------------------------|-----|-----|
| ECARTS | ECARTS | | 5% | 10% | 20% |
| En % | V.Absolue | | PUISSANCE A PRIORI | | |
| 5% | 0,04 | | 6% | 11% | 22% |
| 10% | 0,08 | | 9% | 16% | 28% |
| | | | PUISSANCE | | |

| | | | | | |
|--|-----------------------|--|---------------------|-----|-----|
| | | | A POSTERIOR I | | |
| | Moyennes observées | | 91% | 95% | 98% |

Tableau 19 : comparaison de moyennes du poids moyen de fruit par bouquet.

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | |
|-----|----------|----------|-------------------|--|
| 1.0 | Nco | 1,1 | A | |
| 2.0 | PZ | 0,875 | B | |
| 4.0 | Pm50Pr5 | 0,831 | B | |
| 6.0 | Pm30pr70 | 0,809 | B | |
| 3.0 | Pm | 0,797 | B | |
| 5.0 | Pm70pr30 | 0,688 | B | |

Tableau 20 : écart-type résidu du poids moyen de fruit par plant.

| 1 (Nco) | 2 (PZ) | 3 (Pm) | 4 (Pm50Pr5) | 5 (Pm70pr30) | 6 (Pm30pr70) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|--------------|
| 1,141 | 1,913 | 0,771 | 1,335 | 1,239 | 0,766 |

Tableau 21 : analyse de la variance du poids moyen de fruit par plant.

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|----------------------|--------|-----|-------|--------|---------|-------|------------|
| VAR.TOTALE | 82,962 | 29 | 2,861 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 45,125 | 5 | 9,025 | 5,725 | 0,00135 | | |
| VAR.RESIDUE LLE 1 | 37,837 | 24 | 1,577 | | | 1,256 | 19,49 % |

Tableau 22 : puissance de l'essai du poids moyen de fruit par plant.

| | | | RISQUE de 1ere ESPECE | | |
|--------|-----------------------|--|---------------------------|-----|-----|
| ECARTS | ECARTS | | 5% | 10% | 20% |
| En % | V.Absolue | | PUISSANCE A PRIORI | | |
| 5% | 0,32 | | 6% | 11% | 21% |
| 10% | 0,64 | | 7% | 14% | 25% |
| | | | PUISSANCE A POSTERIORI | | |
| | Moyennes observées | | 93% | 97% | 99% |

Tableau 23 : comparaison de moyennes du poids moyen de fruit par plant.

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | |
|-----|----------|----------|-------------------|---|
| 1.0 | Nco | 9,008 | A | |
| 6.0 | Pm30pr70 | 6,294 | | B |
| 2.0 | PZ | 6,22 | | B |
| 5.0 | Pm70pr30 | 6,1 | | B |
| 4.0 | Pm50Pr5 | 6,033 | | B |
| 3.0 | Pm | 4,998 | | B |

Tableau 24 : écart-type résidu de nombre de fruits par bouquet.

| 1 (Nco) | 2 (PZ) | 3 (Pm) | 4 (Pm50Pr5) | 5 (Pm70pr30) | 6 (Pm30pr70) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|--------------|
| 1,24 | 0,993 | 1,006 | 1,323 | 1,807 | 1,255 |

Tableau 25 : analyse de variance nombre de fruits par bouquet.

| | S.C.E | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. |
|----------------------|---------|-----|--------|--------|-------|-------|------------|
| VAR.TOTALE | 406,424 | 209 | 1,945 | | | | |
| VAR.FACTEUR 1 | 62,138 | 5 | 12,428 | 7,364 | 0 | | |
| VAR.RESIDUE LLE 1 | 344,286 | 204 | 1,688 | | | 1,299 | 26,77 % |

Tableau 26 : puissance de l'essai nombre de fruits par bouquet.

| | | | RISQUE de 1ere ESPECE | | |
|--------|-----------------------|--|------------------------------|-----|-----|
| ECARTS | ECARTS | | 5% | 10% | 20% |
| En % | V.Absolue | | PUISSANCE A PRIORI | | |
| 5% | 0,24 | | 8% | 14% | 26% |
| 10% | 0,49 | | 18% | 28% | 59% |
| | | | PUISSANCE A POSTERIORI | | |
| | Moyennes observées | | 99% | 99% | 99% |

Tableau 27 : comparaison de moyennes nombre de fruits par bouquet.

| F1 | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES HOMOGENES | | |
|-----|----------|----------|-------------------|---|---|
| 1.0 | Nco | 5,857 | A | | |
| 4.0 | Pm50Pr5 | 5,114 | | B | |
| 6.0 | Pm30pr70 | 4,886 | | B | C |
| 2.0 | PZ | 4,686 | | B | C |
| 3.0 | Pm | 4,4 | | B | C |
| 5.0 | Pm70pr30 | 4,171 | | | C |

CHAPITRE I

Biologie de la Tomate