

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Nutrition et Technologie Agro Alimentaire



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Science du sol

Présenté par :

BENYAMINA RACHIDA

BENELHADJ IMANE

Thème

Effet de la pouzzolane et les fibres de palmier (Phoenix dactylifera) du dattier sur le substrat horticole de la tomate (lycopersicum esculentum) cultivée hors sol

Soutenu publiquement le 27/09/2020

Jury:	Grade
Président: M. ABBAS Mohamed Abdelhaq	MCA
Encadrant: M. METTAI Kamel	MAA
Co-encadrant: M. LATIGUI Ahmed	Professeur
Examineur 1: M. FETOUHI Bekhaled	MCB
Examineur 2:	
Invité:	

Année universitaire 2019-2020



Remerciement :

Avant tout nous remercions « ALLAH » de nos donné la santé, le courage et la volonté pour faire ce travail.

Spécial remerciement et respect au Mr. METTAI Kamel pour sa présence, ces conseils et de nos l'avoir suivis minutieusement, son encouragement et l'aide que nos a donné au tout long de travail.

Nous remerciment aussi Mr. LATIGUI Ahmed pour son aide et orientation continue et les membres des jures Mr. FETTOUHI Bekhaled et Mr. ABBAS Mohamed Abdelhaq pour leurs présences et d'accepter de consulter et évaluer notre travail et l'enrichir par leurs propositions et remarques.

Enfin, nous remercions toutes les personnes de près ou de loin qui ont contribué à la réalisation de cette modeste étude.



.Dédicace :

C'est avec une grande gratitude et des mots sincères que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nous chers parents qui ont sacrifiés leurs vies pour nous réussites.

*A nos sœurs et frères et les amis **KELTOUM, HASNIA, HANANE, SOUAD** et **KHALED** pour l'encouragement.*

*A notre promoteur **Mr. METTAI Kamel** qui mérite tous les remerciements et l'appréciation et que nous encourager de tout leur cœur dans les moments difficiles.*

Merci a tous...

Liste des figures :

Figure 01 : schéma représentant la technique d'aquiculture (NGS) (Anonyme 02).....	06
Figure 02 : culture sur film solution nutritive coulante (NFT) (<i>Gilberto, 2013</i>)	07
Figure 03 : dispositif de l'aéroponique (Heather, 2018).....	08
Figure 04 : répartition des phases solide, liquide et gazeuse dans un substrat.....	13
Figure 05 : schéma explicatif (capacité de rétention) (Hannah J, 2006).....	15
Figure 06 : Perlite.....	17
Figure 07 : Vermiculite	18
Figure 08 : Laine de roche.....	18
Figure 09 : roches de pouzzolane.....	19
Figure 10 : Fibre de coco	22
Figure 11 : Fibres de palmier dattier	23
Figure 12 : Les racines (Bendiff A, 2016)	26
Figure 13 : La tige (Bendiff A, 2016)	26
Figure 14 : La fleure (Bendiff A, 2016).....	27
Figure 15 : Les feuilles (Bendiff A, 2016).....	27
Figure 16 : Les fruits (Bendiff A, 2016)	27
Figure 17 : Les graines (Bendiff A, 2016)	27
Figure 18 : Abri-serre de la Faculté SNV	32
Figure 19 : Plants de tomate dans les alvéoles et avant juste l'implantation dans les pots.....	33
Figure 20 : brisement de la pouzzolane en petits morceaux de même taille.....	34
Figure 21 : fibres de palmiers dattier et moment de collecte dans la palmeraie	35
Figure 22 : Fibres après coupage en tout petits morceaux	35
Figure 23 : la terre végétale.....	36
Figure 24 : Tourbe commercial utilisé	37
Figure 25 : Solution d'acide nitrique utilisée (65%).....	38
Figure 26 : de gauche à droite : Engrais et oligo-éléments et couleurs. En bas, couleur du mélange	39
Figure 27 : pots préparés avec une couche de gravier, moment de plantation et après quelques jours sur support.....	42
Figure 28 : Protocol expérimental réalisé	43
Figure 29 : Abri serre (SNV, Karman). Orientation de la serre, Position des pots de Tomate et thermo-hygromètre digital.....	47
Figure 30 : taux d'humidité des substrats (TH %)	48
Figure 31 : densité apparente des substrats (g/cm ³)	49

Figure 32 : taux d'humidité des traitements (TH%)	49
Figure 33 : densité apparente des traitements (g/cm ³)	50
Figure 34 : pourcentage de drainage (%)	51
Figure 35 : pH de drainage avant fertilisation (premier mesure)	52
Figure 36 : pH de drainage (dernier mesure avant fertilisation)	52
Figure 37 : EC de drainage avant fertilisation (premier mesure)	53
Figure 38 : EC de drainage (dernier mesure avant fertilisation)	53
Figure 39 : pH de drainage après fertilisation	54
Figure 40 : pH de drainage lorsque le bassinage	55
Figure 41 : pH de drainage après bassinage	56
Figure 42 : EC de drainage au début de fertilisation (mS/cm)	57
Figure 43 : EC de drainage lorsque le bassinage	57
Figure 44 : EC de drainage après le bassinage	58
Figure 45 : longueur des plantes de tomate (cm)	59
Figure 46 : longueur des plantes (T1, T2, T3, TR) selon la solution « S1 (70%), S2 (100%) et S3 (130%) »	59
Figure 47 : longueur des racines (cm)	60
Figure 48 : longueur des racines (T1, T2, T3, TR) selon la solution « S1, S2, S3 »	60
figure 49 : volume des racines (ml)	61
Figure 50 : nombre des fruits (récolte globale)	61
Figure 51 : poids des fruits (g)	62
Figure 52 : fruits de tomate (T1, T2, T3, TR) selon la solution « S1, S2, S3 »	62
Figure 53 : masse sec aérienne (%)	63
Figure 54 : masse sec racinaire (%)	64
Figure 55 : l'humidité et la température de mois de MAI dans la serre... ..	65

Liste des tableaux :

Tableau 01 : les avantages et les inconvénients de la culture hors sol (Anonyme 01).....	05
Tableau 02 : porosités apparentes totales et indices des vides de quelques substrats (Daverede, 1994).....	14
Tableau 03 : CEC et pH de divers matériaux de substrats, adapté de Lemaire, 1999	16
Tableau 04 : Avantages et Inconvénients de la perlite	17
Tableau 05 : Avantages et Inconvénients de la vermiculite	17
Tableau 06 : Avantages et Inconvénients de la laine de roche	18
Tableau 07 : Avantages et Inconvénients de la pouzzolane	21
Tableau 08 : Avantages et Inconvénients de la fibre de coco.....	22
Tableau 09 : Avantages et Inconvénients de fibres de palmier	23
Tableau 10 : Quelques maladies de la tomate (DAG, 2018)	30
Tableau 11 : Granulométrie de la terre végétale	36
Tableau 12 : paramètres physico-chimiques de la terre végétale.....	36
Tableau 13 : composition de Codafol 13-13-13 (NPK).....	38
Tableau 14 : composition de Codamix (Oligo-éléments).....	39
Tableau 15 : Concentrations approximatives des Macro et oligo-éléments dans chaque bidon de 30 litres	40

Liste des abréviations :

CEVIAGRO : entreprise novatrice de production agricole de masse.

ENSA : école nationale supérieure d'agronomie.

Fe₂O₃: hématite.

Fe₃O₄: magnétite.

FeO : oxyde de fer.

FeTiO₃: ilménite.

INRAA : institut national de la recherche agronomique d'Algérie.

ITCMI : institut technique des cultures maraichères industrielles.

NGS: next generation sequencing.

NPK: azote-phosphore-potassium.

PEbd : polyéthylène basse densité.

pH : potentiel hydrogène.

TDR : test diagnostic rapide.

Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des abréviations

Sommaire

Introduction.....01

Partie 01 : bibliographie **Chapitre I : cultures hors sol**

1. généralité.....	03
2.historique	03
3.progression de la culture hors sol	04
3.1 Dans le monde	04
3.2En Algérie.....	04
4.espèces cultive en hors sol.....	05
4.1 Cultures légumières.....	05
4.2 Cultures florales	05
5.Les avantages et les inconvénients	05
6.Les différents systèmes de culture hors sol	06
6.1 culture sans substrat	06
6.1.1 L'aquiculture	06
6.1.2 Nutrient film technique (NFT)	07
6.1.3 L'aéroponie.....	08
6.2 culture sur substrat	08
6.2.1 Les bacs tranchés	09
6.2.2 Les bacs lourds surélevés	09
6.2.3 Les bacs légers.....	09
6.2.4 Les sacs remplis de substrat et posés a même le sol.....	09
6.2.5 Les pains emballés.....	09
6.2.6 Les pots.....	09
7.Les méthodes d'irrigation.....	09
7.1 Irrigation localisée.....	09
7.2 L'aspersion	10
7.3 Subirrigation.....	10
8.La serre	10
8.1 Définition	10
8.2 Les différents types de serre.....	11

Chapitre II : Substrat horticoles

1.Substrat	12
2.Propriétés des substrats.....	12
2.1 Propriétés physiques.....	12
2.1.1 La porosité	12
2.1.2 Capacité de rétention de l'eau	14
2.1.3 Plasticité.....	15
2.1.4 Densité apparente (poids par volume	15
2.2 Propriétés chimiques	15
2.2.1 Le pH.....	15
2.2.2 La conductivité électrique (CE).....	15
2.2.3 La capacité d'échange cationique (CEC)	16
3.Type des substrats.....	16
3.1 Substrat d'origine minérale	16
3.1.1 La perlite.....	16

3.1.2 La vermiculite.....	17
3.1.3 La laine de roche.....	18
3.1.4 Pouzzolane.....	19
3.2 Substrat d'origine organique	21
3.2.1 La fibre de coco	21
3.2.2 Les fibres de palmier dattier	22
4.La terre végétale	23

Chapitre III : Tomate

1.Généralité.....	25
2.Composition analytique moyenne	25
3.Description morphologique de la plante de la tomate	26
3.1 Racine.....	26
3.2 Tige.....	26
3.3 Feuillage	26
3.4 Fleurs	26
3.5 Fruits.....	26
3.6 Graines	26
4.Exigences écologiques et culturales de la tomate.....	27
5.Les exigences climatiques	27
5.1 La Température	27
5.2 La lumière	28
5.3 Eau et humidité.....	28
6.So.....	29
6.1 Structure et texture... ..	29
6.2 pH.....	29
6.3 Salinité.....	29
7.La tomate hors-sol sous serre	29
7.1 Les premiers hybrides pour les serres	30
8.Les maladies de la tomate.....	33

Partie 02 : Expérimentale

Chapitre I : matériels et méthodes

1.L'objectif.....	32
2.Site d'étude.....	32
3.Matériels utilisés.....	33
3.1 Les pots	33
3.2 Matériel végétatif	33
3.3 Substrats	34
3.3.1 Pouzzolane.....	34
3.3.2 Fibres de palmier dattier	34
3.3.3 Terre végétale	35
3.3.4 Terreau commercial	37
3.4 La solution nutritive	37
3.4.1 Acide nitrique	37
3.4.2 Engrais	38
3.5 Appareillage	41
4.Mise en pots de substrat et plantation.....	42
4.1 Expérimentation et Protocol.....	43
4.2 Irrigation.....	44
4.3 Propriétés chimiques	44
4.3.1 pH	44

4.3.2 EC	44
4.4 Propriétés physiques.....	45
4.4.1 Taux d'humidité	45
4.4.2 Densité apparente	45
4.4.3 Pourcentage de drainag.....	45
4.5 Propriétés morphologiques.....	46
4.5.1 Longueur des tiges.....	46
4.5.2 Nombre et poids des fruits.....	46
4.5.3 Longueur des racine.....	46
4.5.4 Nombre des racines	46
4.5.5 Volume des racines.....	46
5.Température et humidité dans la serre.....	47

Chapitre II : Résultats et discussion.

1 Caractéristiques physico-chimiques des substrats et traitements.....	48
1.1 Caractéristiques physiques	48
1.1.1 Taux d'humidité des substrats	48
1.1.2 Densité apparente des substrats	48
1.1.3 Taux d'humidité des traitements	49
1.1.4 Densité apparente des traitements	49
1.1.5 Pourcentage de drainage	50
1.2 Caractéristiques chimiques des substrats	51
1.2.1 pH de drainage avant fertilisation.....	51
1.2.2 EC de drainage avant fertilisation	53
1.2.3 pH de drainage après fertilisation.....	54
1.2.4 EC de drainage après fertilisation.....	56
1.3 Paramètres morphologiques de la tomate (plante et fruits).....	58
1.3.1 Longueurs des plantes	58
1.3.2 Racines des plantes (longueur et volume)	59
1.3.3 Les fruits de tomate	61
1.4 Matière sèche de la partie aérienne et racinaire	63
1.5 Humidité et température de la serre	64

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction

Introduction générale

L'utilisation de la culture hors sol marque une étape significative de développement agricole. Les motivations qui ont fait adopter cette technique ont considérablement évolué durant ces quinze dernières années. La baisse de productivité et de qualité, due à un ensemble de problèmes agronomiques, physiologiques et pathologiques mal identifiés et regroupés sous le terme de « fatigue des sols », a été le premier moteur ; aujourd'hui, c'est plutôt un objectif de maintien ou d'amélioration de la qualité de la production ou de maintien de la rentabilité qui prime. (*Richard et Laurent, 2003*)

La culture hors sol représente actuellement une mutation technique importante permettant d'optimiser les facteurs de production agricole, tout en améliorant les rendements. Ce mode agricole est réalisé en milieu urbain sur des espaces confinés, tels que les balcons des immeubles, les toitures et les serres. Le principe cultural de cette technique est basé sur l'utilisation d'un milieu reconstitué (substrat), détaché du sol dans lequel l'alimentation racinaire des plantes se fait par l'utilisation d'une solution nutritive et minérale bien contrôlée.

Dans la culture hors sol l'utilisation des substrats horticole comme des remplaçants des sols, donc le substrat est le support de la plante. Les divers substrats organiques ou minéraux contiennent les nutriments nécessaires et des propriétés favorables pour réaliser une bonne culture. Cette culture demande une attention et un contrôle permanent : vérification des divers paramètres chimiques, physiques et morphologiques.

En Afrique, la culture hors sol est peu développée. L'agriculture sur substrat reste quasi inexistante, par ailleurs les coûts de production liés à l'importation des substrats de culture semblent être l'une des contraintes majeures au développement de la culture hors sol.

L'espèce cultivée dans notre étude est la tomate (*Solanum lycopersicum*), hybridée. Elle occupe la 2^{ème} place dans le monde après la pomme de terre dans la production et la consommation.

On effet, l'objet de cette étude expérimentale consiste à utiliser des substrats moins cher et disponible en Algérie (pouzzolane et fibre de palmier dattier) ainsi qu'une comparaison avec le terreau commercial et évaluer le comportement agronomique des plantes de tomate durant toute la période de culture, notamment de point de vue croissance et fructification et cela par la mesure de plusieurs paramètres physico-chimiques et morphologiques. Les plantes sont

cultivés dans des mélanges à base de substrat de : pouzzolane + fibres de palmier dattier + terre végétale dans des pots bien adaptés à cette expérience.

Notre mémoire donc est composé en deux grandes parties :

Partie bibliographique de 3 chapitres, sur la culture hors sol, les substrats horticoles et la tomate. Dans chaque chapitre, on a consacré de détaillé et donner toutes les informations nécessaires et importantes qui aident à la compréhension de la culture hors sol.

Partie expérimentale de 2 chapitres, le premier chapitre appelé matériels et méthodes explique toute notre démarche pour réaliser ce travail (préparation des traitements, solution nutritive, mesures...etc), suivi par un 2^{ème} chapitre sur les résultats de notre travail et une discussion pour chaque paramètre étudié.

Partie 01

Bibliographie

Chapitre I

Cultures hors sol

1. Généralités

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'aéroponique, 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

Pour les physiologistes, les cultures hors sol, ont une longue histoire qui commence aux environs de 1860. Ce n'est cependant qu'en 1940 qu'est définitivement établie la liste exhaustive des éléments indispensables à la croissance normale de la plante hors de son milieu naturel. L'introduction des techniques de culture hors sol dans le domaine agricole peut être envisagée. Elles y font effectivement leur entrée, à cette même époque, timidement et seulement dans des situations exceptionnelles. Ce n'est que depuis une dizaine d'années qu'elles connaissent un tel essor. Les raisons de ce développement est multiples. La principale en est d'ordre pathologique : elles peuvent apporter en effet une solution la plus souvent définitive aux problèmes de fatigue des sols responsables en culture intensive sous serre d'une baisse irréversible de la productivité.

Cependant le transfert d'une technique de laboratoire, à la serre industrielle constitue un changement d'échelle qui n'est pas sans présenter des risques, d'autant qu'il est assorti de contraintes nouvelles. En concurrence avec les techniques de culture traditionnelle, les cultures hors sol doivent allier performance agronomique, niveau qualitatif et compétitivité économique.

C'est vers ce triple objectif qu'ont été orientées les recherches engagées dans le cadre d'une action thématique (CULTURES HORS SOL) programmée par la direction scientifique de l'INRA et encouragée par la caisse nationale du Crédit Agricole en Algérie.

3. Progression de la culture hors sol

3.1 Dans le monde

En Europe, quatre pays concentrent la quasi-totalité des cultures hors sol sous serre. 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 plus généralement dans les régions pénalisées par le manque d'eau (*Urban, 1997*).

3.2 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 Béni-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 dépassant par les 100 ha.

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

4. Espèces cultivées en hors-sol

4.1 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 développés le melon, la courgette et la framboise.

4.2 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 développés sur ces trois cultures principalement.

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

5. Les avantages et les inconvénients

Tableau 01 : Les avantages et les inconvénients de la culture hors sol (**Anonyme 01**).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque de maladies pouvant se développer dans la terre. • Economie d'eau et d'engrais. • Les plantes peuvent être suspendues à hauteur d'homme ce qui facilite la récolte. • Réduction de l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires. • Permet une production toute l'année en maîtrisant la température, l'hydrométrie. • La diminution des résidus de pesticides. Les cultures hors sol reçoivent moins de traitements phytosanitaires. • Augmentation des rendements. 	<ul style="list-style-type: none"> • Préserver des fortes chaleurs d'été et du froid de l'hiver. • Surveiller la salinité (concentration totale en engrais) dont dépend la conductivité du substrat (risque de pousse démesurée de la plante). • La culture hors sol peut doubler la consommation énergétique.

6. Les différents systèmes de culture hors sol

6.1 Culture 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 en 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 Nutrient film technique (NFT), et l'aéroponique (*Morard, 1995*).

6.1.1 Aquiculture

C'est la méthode la plus ancienne qui correspondant 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 pur 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 conteneur est un récipient en matière plastique opaque du commerce comme un bac, ou une eau (*Morard, 1995*).



Figure 01 : schéma représentant la technique d'aquiculture (NGS). (*Anonyme 02*)

6.1.2 Nutrient film technique (NFT)

La NFT (Nutrient film technique ou technique de culture sur film de solution nutritive circulante) a été décrite pour la première fois par *Cooper, 1979*. Cette technique repose sur l'utilisation de gouttières fond plat, d'une longueur de quelques mètres, d'une hauteur de quelques centimètres et d'une largeur d'environ 10 cm, auxquelles on a donné une légère pente (quelques pourcents). Les plantes sont placées dans ces gouttières dès que leur racines pointent à travers les godets ajourés ou les cubes de substrat utilisés pendant la phase d'élevage. La solution nutritive, légèrement moins concentrée que celle utilisée pour les cultures sur substrat, s'écoule en continu sous forme de film, à travers les gouttières, baignant légèrement les racines des plantes. Le dessus des gouttières est protégé par un film plastique blanc sur sa face supérieure pour réfléchir la lumière reçue, et noir sur sa face intérieure pour empêcher la lumière d'atteindre la solution nutritive et d'y stimuler le développement d'algues et de mauvaises herbes.

Après avoir traversé la gouttière, la solution nutritive est recueillie en bout de gouttière et renvoyée par gravité vers une cuve de grande dimension, où elle est mélangée avec de l'eau ou de la solution nutritive fraîche. La solution de la cuve est reprise par une pompe, fonctionnant sans interruption, et renvoyée vers les cultures pour alimenter les gouttières.

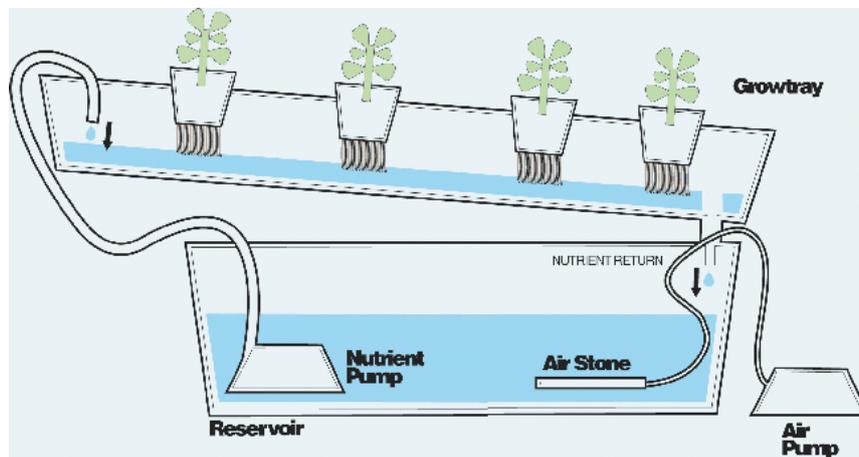


Figure 02 : culture sur film solution nutritive coulante (NFT) (*Gilberto, 2013*).

6.1.3 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 assurant 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 03 : dispositif de l'aéroponie. (Heather, 2018)

6.2 Culture sur substrat

Les substrats sont généralement placés dans des contenants rigides ou enfermés dans des sacs souples. La solution nutritive percole à travers le massif de substrat, la solution nutritive en excès est éliminée à travers des fentes de drainages ménagées à la base des bacs ou des sacs.

- 6.2.1 Les bacs tranchés :** ce sont des tranchées garnies d'un film en plastique. Équipées d'un tuyau de drainage en leur fond et remplies d'un substrat local bon marché, typiquement du sable grossier ou de la pouzzolane. Les apports de solution nutritive sont réalisés normalement à l'aide de micro-asperseurs.
- 6.2.2 Les bacs lourds surélevés :** sont généralement réalisés en béton ; ils peuvent être placés à un niveau relativement bas ou à hauteur d'homme. Ils sont remplis de sable grossier, de pouzzolane ou de perlite. Les apports de solution nutritive sont réalisés typiquement à l'aide de micro-asperseurs. L'évacuation de la solution nutritive en excès se fait par la base des bacs.
- 6.2.3 Les bacs légers :** sont le plus souvent réalisés en polypropylène et peuvent contenir du sable grossier, de pouzzolane, de la perlite.... Les apports de solution nutritive sont réalisés à l'aide de goutteurs ou de micro-asperseurs. La solution nutritive en excès est évacuée à travers des fentes de drainage latérales ou grâce à un drain placé au fond du massif de substrat.
- 6.2.4 Les sacs remplis de substrat et posés à même le sol :** ces sacs peuvent être remplis de tourbe pure, de mélange à base de tourbe ou de compost, de pouzzolane, de perlite.... Les apports de solution nutritive sont réalisés à l'aide de goutteurs. La solution nutritive en excès est évacuée à travers des fentes ménagées à la base ou sur les côtés des sacs.
- 6.2.5 Les pains emballés :** les laines minérales (laine de roche ou verre) et la fibre de coco se présentent en général sous forme de pains enfermés dans des sacs en plastique. Les apports de solution nutritive et le drainage se font de la même manière que dans les sacs.
- 6.2.6 Les pots :** les apports de solution nutritive par le haut, à l'aide de goutteurs, ou par le bas, par subirrigation. La solution nutritive en excès est évacuée à travers le fond des pots puis éventuellement récupérée. (Lemaire et al)

7. Les méthodes d'irrigations

7.1 Irrigation localisée

L'apport d'eau est fait individuellement à chacun des pots en seul point de la surface. Cet apport se fait par l'intermédiaire d'un tube « capillaire » (goutteur à pipette) ou d'un goutteur inséré dans le tube d'amenée d'eau (« goutteur en ligne ») de façon à assurer une bonne répartition de l'eau dans le substrat tout en évitant les excès d'humidité au collet très économe en eau (jusqu'à 60% par rapport à l'aspersion), cette

technique permet également d'évaluer la quantité apportée à la culture. Mais sa mise en œuvre est longue et nécessite un investissement assez lourd. Pendant la culture, elle exige une surveillance des goutteurs, qui se bouchent fréquemment, surtout si on utilise des eaux chargées en sels minéraux.

7.2 Aspersion

L'irrigation par aspersion, du fait de son coût limité et de sa facilité de mise en œuvre, est la technique la plus utilisée sous nos climats. Mais on conçoit qu'avec cette technique il soit très difficile d'ajuster les apports aux besoins de la culture, et la dépense d'eau est globalement très supérieure aux besoins réels. Si on pratique l'irrigation fertilisante, on a également une perte importante d'éléments fertilisants qui sont évacuées avec les drainages des plates-formes de culture, on notera également que l'aspersion est plus ou moins intensément influencée par le vent lorsque les cultures sont situées hors abri.

7.3 Subirrigation

Les différentes techniques de Subirrigation ont déjà fait l'objet d'une description détaillée. Rappelons qu'il s'agit d'une technique consistant en un apport d'eau à la base du pot de culture, la remontée de l'humidité dans le substrat s'effectuant uniquement par capillarité. Cet apport est réalisé principalement de trois façons : par l'intermédiaire d'une nappe hydrophile, directement par remplissage sur quelques centimètres d'une surface de culture plus ou moins grande ou par ruissèlement d'un film d'eau dans des chenaux.

8. La serre

8.1 Définition

Est une enceinte destinée à la culture ou à la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire. Les dimensions d'enceinte permettent à un homme de travailler aisément à l'intérieur (définition de la norme française NF U57-001).

Cette enceinte, constituée principalement par un matériau de couverture transparent ou translucide, isole plus ou moins les cultures de l'environnement extérieur.

Elle constitue un abri efficace contre les intempéries (vent, pluie, neige...) et réduit l'introduction des divers agents nuisibles. Elle crée à l'intérieure un microclimat particulier qui peut être facilement amélioré à l'aide de divers équipements.

Elle permet une maîtrise plus facile de l'alimentation hydrominérale et de la nutrition carbonée (enrichissement possible en gaz carbonique).

Elle rend possible l'utilisation de diverses méthodes de protection sanitaire spécifiques d'un milieu clos (traitements chimiques adaptés, lutte biologique, etc.).

8.2 Les différents types de serre

Une grande variété de modèles est actuellement proposée aux producteurs. Dans la pratique, il est possible de distinguer et de classer les serres de différentes façons. On a en général :

- Serre en verre.
- Serre en plastique.

Chapitre II

Substrats horticoles

1. Substrat

En agriculture le terme substrat s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel placé en conteneur, pur ou mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support. Certains substrats dits enrichis qui contribuent en outre à l'alimentation de la plante, n'ont pas été pris en compte dans le présent ouvrage, dont l'objet est limité aux seules (cultures hors sol) entièrement dépendantes sur le plan nutritionnel de l'apport quasi continu de solutions minérales. (*Blanc, 1987*)

On appelle substrat tout matériau utilisable comme support de culture sur substrat. C'est à dire permettant le développement du système racinaire des plantes. Les substrats peuvent avoir une origine naturelle, comme les tourbes, ou provenir d'une transformation industrielle, comme la laine de roche. Les substrats peuvent être utilisés purs ou en mélange. Ils sont parfois enrichis en éléments fertilisants. Les substrats sont emballés, placés dans un contenant ou plus exceptionnellement utilisés nus. (*Urban, 2010*).

2. Propriétés des substrats

2.1 Propriétés physiques

2.1.1 Porosité

La porosité du substrat influence le développement racinaire. Elle influence grandement la conduite de l'arrosage. La porosité, c'est l'ensemble du volume que peut occuper l'eau et l'air en pourcentage du volume de substrat. De gros pores influencent grandement l'équilibre air-eau dans le substrat. (*Agrisys, 2015*)

Certains substrats peuvent se déformer, se contracter lors de leur dessèchement, et se gonfler lors de leur humectation. On appelle volume apparent (V_a), le volume constitué par le volume de la phase solide (V_s) et celui des vides (V_v) qui est occupée par les gaz et la solution (figure 1)

$$V_a = V_s + V_v$$

V_v est encore appelée l'espace poral.

La porosité totale (P_t), est égale à un rapport du volume des vides sur le volume apparent.

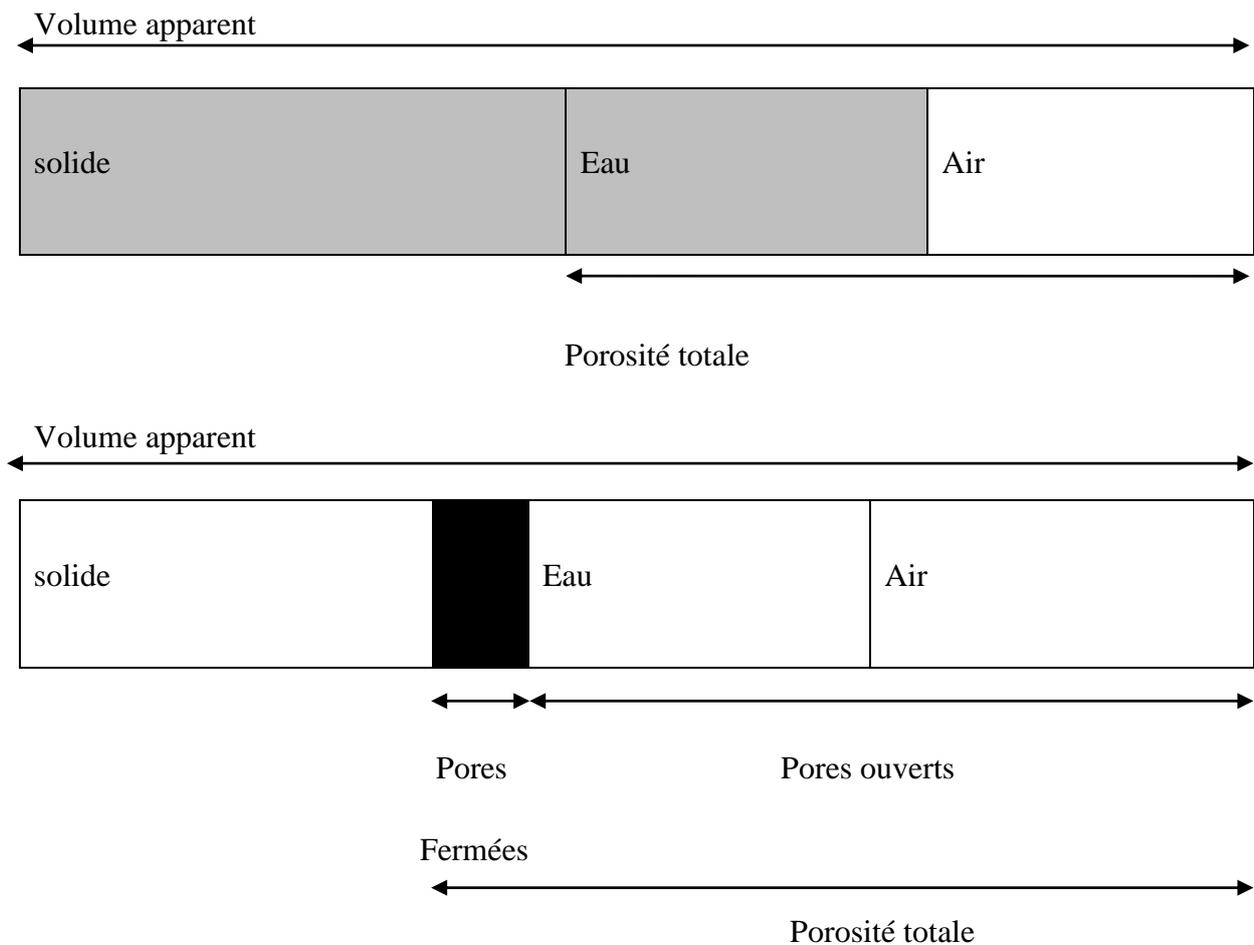


Figure 04 : répartition des phases solide, liquide et gazeuse dans un substrat

La masse volumique sèche apparente, correspond à la masse sèche sur le volume apparent. Elle se mesure de manière standardisée (*Dartigues, 1981*)

On distingue pour certains substrats la porosité ouverte de la porosité fermée. Cette dernière est due à l'existence de pores fermés, ne communiquant pas avec l'extérieur et ne participant pas à l'aération du substrat ni à sa rétention en eau.

Tableau 02 : porosités apparentes totales et indices des vides de quelques substrats
(*Daverede, 1994*).

	Porosité apparente totale	Indice des vides
Tourbe blonde	90-95 %	11.5-19
Tourbe brune	85-88 %	5.7-7.3
Ecorce de pin	85 %	5.7
Fibre de coco	95 %	19
Pouzzolane	65-70 %	1.9-2.3
Gravier (> 2mm)	42 %	0.72
Sable grossier (1 a 2 mm)	88 %	7.3
Laine de roche	95-97 %	19-32.3
Perlite	96-97 %	24

2.1.2 Capacité de rétention d'eau

Un substrat qui permet la rétention d'une grande quantité d'eau sans trempage d'eau n'a pas besoin d'arrosage fréquent. La capacité de rétention d'eau est aussi fonction du conteneur utilisé. Dans les conteneurs peu profonds, le substrat a une capacité de rétention d'eau plus grande que dans des conteneurs plus profonds.

Utilisez une éponge ordinaire pour observer comment la hauteur du conteneur affecte la capacité de rétention d'eau : saturez l'éponge et maintenez la plate sur un bac A. Quand l'éponge cesse de s'égoutter, retournez-la : de l'eau s'égouttera B. quand elle cesse de s'égoutter, tenez l'éponge l'extrémité et de l'eau s'écoulera dans le bac C. chaque fois que le niveau d'eau dans l'éponge augmente, la quantité d'eau qu'elle peut contenir diminue. En d'autres termes, les conteneurs plus profonds retiennent proportionnellement moins d'eau que la même quantité de substrat dans un conteneur peu profond. Ceci explique pourquoi les sols naturels, quand ils sont mis dans un conteneur, sont souvent imbibés d'eau : leur profondeur a été réduite de quelques mètres a quelques centimètres. (**Hannah J, 2006**)

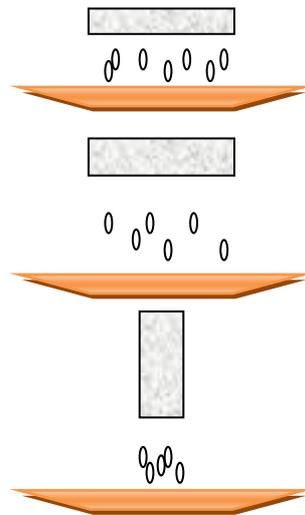


Figure 05 : schéma explicatif (capacité de rétention). (Hannah J, 2006)

2.1.3 Plasticité

Un substrat qui diminue de volume et craque en séchant, comme un sol argileux, abime les plants en détachant les racines.

2.1.4 Densité apparente (poids par volume)

Un substrat qui a un poids léger est plus facile à transporter sur le terrain. Cependant, les conteneurs doivent être suffisamment lourds pour qu'ils ne soient pas emportés par le vent.

2.2 Propriétés chimiques

Les caractéristiques chimiques d'un substrat influencent la culture et peuvent modifier l'absorption des fertilisants par la plante.

2.2.1 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 élevé voisin de la neutralité : entre 5,5 et 7,5.

2.2.2 Conductivité électrique (CE) mesure les ions conducteurs d'une solution et peut être mesurée sur une solution extraite du substrat ou évaluée directement dans le

substrat (par exemple, avec une sonde de type TDR). Cette conductivité électrique (communément appelée salinité) est fortement influencée par l'ajout de fertilisants et peut se révéler dommageable pour les plantes si elle devient trop élevée.

2.2.3 la capacité d'échange cationique (CEC) est un indice de la capacité que possède un substrat d'échanger des cations en solution avec des cations absorbés. En culture hors-sol, l'analyse de la CEC permet donc d'évaluer l'aptitude du substrat à retenir les éléments minéraux essentiels à la croissance végétale (*Lemaire, 1999*). La plupart des matériaux organiques possèdent une CEC moyenne ou élevée, alors que les matériaux minéraux ont une CEC très faible (tableau 03).

Tableau 03 : CEC et pH de divers matériaux de substrats, adapté de *Lemaire, 1999*.

Type de matériaux	CEC (eq/m ³)	pH à l'eau
Matériaux organiques		
Tourbe brune française	200 à 400	5,0
Compost d'écorce de bois dur	184	7,5
Compost de déchets	158	6,5
Tourbe blanche	115	4,5
Fibres de bois	10	4,5
Matériaux minéraux		
Vermiculite grossière	27	7,5
Perlite grossière	6	6,9
Vermiculite fine	<2	8,7
Laine de roche	0	7,5
Sable	0	6 à 8

3. Type des substrats

3.1 Substrat d'origine minérale

Des graviers, des sables, des pouzzolanes, de la laine de roche, des laines de verre, d'argile expansée, de la vermiculite et la perlite.

3.1.1 Perlite

Obtenu par traitement brutal à la chaleur d'un sable volcanique siliceux. Granulats friables, blancs et soufflés. (*Fogliani, 2016*)

Tableau 04 : Avantages et Inconvénients de la perlite. (Fogliani, 2016)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Bonne porosité. • Facilite de désinfection. • Important pouvoir isolant a l'état sec. • Durabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité en eau assez faible. • Inaptitude à fixer les éléments CEC nulle). • Beaucoup de poussière lors du remplissage des bacs.



Figure 06 : Perlite (MICHEL BERKOWICZ 2018, Futura sciences).

3.1.2 La vermiculite : obtenue par traitement brutal à la chaleur.la vaporisation de l'eau provoque l'expansion du feuillet. (Fogliani, 2016)

Tableau 05 : Avantages et Inconvénients de la vermiculite. (Fogliani, 2016)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Légère et facile à manipuler. • Bonne aération et forte porosité. • Bonne CEC assurant une sécurité alimentaire en minéraux. • Forte inerte thermique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation rapide. • Perte de porosité. • Forte rétention d'eau donc peu disponible pour la plante. • Difficulté à hydrater a la première utilisation.



Figure 07 : Vermiculite (MICHEL BERKOWICZ 2018, Futura sciences).

3.1.3 Laine de roche : (Fogliani, 2016)

Tableau 06 : Avantages et Inconvénients de la laine de roche. (Fogliani, 2016)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Légère et facile à mettre en place. • Durabilité satisfaisante. • Support chimiquement inerte. • Excellente disponibilité en eau. • Forte porosité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun pouvoir tampon, variation assez forte du pH ou EC en cas de mauvaise manipulation. • Forte exposition a la poussière lors de la mise en place.



Figure 08 : Laine de roche (Futura sciences).

3.1.4 Pouzzolane

Une roche provenant du refroidissement de la projection de lave de petite dimension. C'est un excellent support pour les bactéries du sol et de l'eau (elles ne sont pas toutes négatives), un excellent drainant mais elle moins poreuse que l'argile expansé.



Figure 09 : roches de pouzzolane (Céline D, Futura sciences).

- **Point de vue géologique :** projection volcanique de faible granulométrie.
- **Point de vue génie civil-bâtiment :** roche naturelle constituée par des scories volcaniques de structure alvéolaire, composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer dont la teneur en soufre doit rester inférieure à 0.50%. (GAMUS, 1972)

3.1.4.1 Formation de la pouzzolane

La pouzzolane est formée de fragments de magma (cendres, lapilli, bombes...) projetés dans l'atmosphère lors d'éruptions volcaniques et refroidis au cours de leur parcours aérien.

3.1.4.2 Propriétés des pouzzolanes

a) Propriétés physiques

- **Granulométries**

Elle varie selon le gisement et pour chaque gisement selon la position dans le cône volcanique.

- **Masse volumique**

La masse volumique réelle des pouzzolanes se rapproche de celle du basalte de 2.8 à 3.1 tonnes/m³. La masse volumique apparente sèche varie selon les dimensions et selon les variétés de pouzzolane.

- **Porosité**

Généralement les pouzzolanes ont une porosité supérieure à 70%. Il faut d'ores et déjà signaler qu'il s'agit d'une porosité très grossière et fermée (*Tinturier, 1977*)

- **Couleur**

Selon l'état d'oxydation de fer, la couleur peut varier du rouge au noir. Pour un rapport $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.02$, la couleur est rouge ; pour un rapport $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 0.27$, la couleur est noire.

- **Rétention d'eau**

Du fait de leur porosité grossière et fermée, les pouzzolanes retiennent peu d'eau et ont une perméabilité très importante.

b) Composition chimique et minéralogique

La composition chimique est analogue à celle des basaltes et andésites, avec des variations d'un gisement à l'autre et à l'intérieur du même gisement. Les minéraux constituant la phase cristalline des pouzzolanes sont pour l'essentiel : les feldspaths, les plagioclases (andésine-labrador), les feldspathoïdes (néphéline, analcime), les péridots (diopside, foresterie), l'hématite (Fe_2O_3), la magnétite (Fe_3O_4) et l'ilménite (FeTiO_3).

Cette phase cristalline peut représenter de 80 à 100% du volume solide. En général elle est composée de : 45% de silice, 15% d'alumine, 15% d'oxyde de fer.

- **Capacité d'échange cationique**

Les sites d'échange sont en nombre limité dans ces matériaux silicatés peu hydratés, ne contenant pas ou très peu de zéolites.

Les pouzzolanes ont un faible pouvoir fixateur des cations (et aussi des anions) nécessaires à la nutrition des plantes et ne présentent aucun pouvoir tampon vis-à-vis de la solution nutritive dans le cas des cultures hors sols avec irrigation fertilisante. Ce sont des substrats inertes dont on utilise les qualités physiques et mécaniques.

.1.4.1 Application de pouzzolane :

Amendement de sol, Antidérapant, déverglaçant, Bétons légers, Boisseaux de cheminée, Charge minérale, Cimenterie, Correcteur granulométrique, Couche de travail (sols sportifs,

hippodromes), Filtration / épuration des eaux, Hydro culture, Mortiers industriels, Murs et parois antibruit.

3.1.4.3 Utilisation de pouzzolane dans le sol

Utilises comme amendement physique ou structural pour l'aération des sols lourds et protection contre le phénomène de battance en sol limono-sableux à structure instable, soit comme un amendement chimique à long terme dans les sols pauvres, sableux ou limoneux, acides et à faible pouvoir absorbant (*Gillman, 1979*).

3.1.4.4 Avantages et Inconvénients de la pouzzolane : (*Fogliani, 2016*)

Tableau 07 : Avantages et Inconvénients de la pouzzolane.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Milieu très bien aéré • Bon marché puisque c'est un produit local • Inertie chimique • Absence de parasites • 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.

3.2 Substrat d'origine organique

3.2.1 Fibre de coco

Origine : Sri Lanka.

Conditionnement : en sac plastique de 5 à 20 litres. (*Fogliani, 2016*)

Tableau 08 : Avantages et Inconvénients de la fibre de coco. (*Fogliani, 2016*)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Fort pouvoir capillaire. • Bonne répartition air/eau. • Stabilité structurale. • Forte EC. • Facilite de manutention grâce à son poids et son conditionnement. • N'entraîne aucune dégradation du milieu naturel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conductivité variable suivant l'origine. • Variabilité des propriétés physico-chimiques du fait de la diversité d'approvisionnement. • Salinité parfois élevée sur certains lots.

**Figure 10** : Fibre de coco (*Michel B 2018, Futura sciences*).

3.2.2 Fibre de palmier de dattier

Les fibres de palmes en tant que sous-produit agricole sont disponibles en Algérie, les fibres de palmes peuvent être un des constituants les plus importants des substrats.

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

- Fibre de bois par le broyage de son tronc.
- 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 défibrage, 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.

Tableau 09 : Avantages et inconvénients de fibres de palmier.

Avantages	Inconvénients
<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).



Figure 11 : fibres de palmier dattier (*Palmera, 2018*).

4. Terre végétale

En agriculture ; horticulture et foresterie, la terre végétale est un mélange terreux essentiellement composé d'humus ; très riche en nutriments facilement assimilables par les plantes vertes. Les terres dites végétales sont de couleur noirâtre très foncée, en raison de la présence importante de carbone et d'azote. Une terre végétale est fertilisée par nature.

Une terre végétale est humifère lorsqu'elle a un aspect gras tant visuellement qu'au toucher. Elle est une terre qui convient particulièrement bien à la végétation. Selon sa

composition, la terre végétale est qualifiée de : argileuse, calcaire, humifère ou sableuse. Si une terre végétale mélange ces quatre propriétés ; elle est dite « franche ».

- Une terre argileuse contient beaucoup d'éléments fertilisants et retient l'eau.
- une terre sableuse est perméable et constitue un bon matériau de drainage.
- la terre calcaire gobe l'eau et assèche potentiellement le milieu : elle s'emploie surtout pour les cultures arides.
- La terre humifère retient l'eau, idéale en culture humide, avec l'avantage d'être riche en azote.

Le terreau, terme populaire, est un mélange de terre végétale additionné de : tourbe, compost, engrais et autres matériaux. Sa composition n'est pas fixe et varie d'un fabricant à l'autre. Le terreau peut contenir des éléments qui ne sont pas seulement issus des végétaux.

En jardinerie, la terre végétale est commercialisée en sac, petit ou très grand. En raison de la nature et composition de la terre végétale, stockez là dans un lieu humide et frais. Il existe une terre végétale gratuite, naturelle : récupérés la première couche, sur 3-5 cm de profondeur, d'une terre noire ; c'est le signe de sa richesse en humus.

- **Caractéristiques de la terre végétale**

- Riche en matière organique ;
- Contient beaucoup de débris végétaux tels que des petits branchages et des racines ;
- Constitue un substrat naturel ;
- La terre calcaire convient à certains gazons rustiques, aux plantes de rocailles et à bon nombre d'arbre d'ornement ;
- La terre sableuse est facile a travailler en toute saison, cette variété de terre végétale est très perméable et ne retient pas facilement les eaux pluviales ni les eaux d'arrosage ;
- Terre argileuse contient un haut pourcentage d'éléments fertilisants et sa composition lui permet de retenir plus facilement les eaux pluviales ou l'eau d'arrosage. Elle n'est pas toujours facile à travailler, elle se montre collante lorsqu'elle bien mouillé et très dure quand elle est très sèche ;
- La terre humifère est pourvue en éléments nutritifs dont profitent amplement les végétaux que l'on y cultive ou qui s'y développent spontanément. Légèrement acide.

Chapitre III

La tomate

1. Généralités

La tomate (*Solanum lycopersicum*) est une plante herbacée annuelle de la famille des Solanacées. Elle est originaire de l'Amérique du sud et a été introduite en Europe au début du 16^{ème} siècle par les Espagnols. La croissance de la tomate peut être déterminée ou indéterminée en fonction des variétés. Sur les variétés à croissance indéterminée, chaque bouquet floral est séparé par trois feuilles. Son système racinaire pivotant peut atteindre un mètre de profondeur et reste très dense en surface. La tomate possède des fleurs généralement autogames. La plante produit des fruits charnus de différentes formes et de différentes couleurs en fonction des variétés.

La floraison de la tomate est indifférente au photopériodisme ce qui a facilité son implantation un peu partout dans le monde. Elle peut être cultivée en plein champ, sous abri ou en serre. (*Thybaud, 2015*)

En Algérie se sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite étant donné les conditions qui lui sont propices. Sa consommation a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois (*Latigui, 1984*).

2. Composition analytique moyenne

La tomate fraîche et crue apporte 22 calories pour 100 g de partie comestible et contient :

- Eau (93%) - cellulose (0.6%) - glucides (4%) - lipides (0.3%) – protéines (1%).

- **Substances minérales et oligo-éléments**

Brome, calcium, chlore, cuivre, fer, iode, magnésium, phosphore, potassium, sodium, soufre, zinc.

- **Vitamins** : A - B1 - B2 - B3 - B5 - B6 - B9 – C - E

- **Autres substances** : acide organique à l'état libre avant maturité (malique, citrique, tartrique, succinique), pigments différents selon la couleur des variétés. (*Yves D, 1979*)

3. Description morphologique du plant de la tomate

3.1 Racine : forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices

3.2 Tige : La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire.

3.3 Feuillage : feuilles disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm.

3.4 Fleurs : bisexuées, régulières et entre 1.5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux-ou entre les feuilles. En général il y a 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres. En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu. Les abeilles et les bourdons sont les principaux pollinisateurs.

3.5 Fruit : baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr. La couleur des fruits murs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés.

3.6 Graines : nombreuse, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. 1000 graines pèsent approximativement 2.5 à 3.5 g. (AGRO D'OC, 2017)

Photos de tomate (Bendiff A, 2016)



Figure 12: Les racines.



Figure 13: La tige.



Figure 14 : La fleur.



Figure 15 : Les feuilles.



Figure 16 : Les fruits.



Figure 17 : Les graines.

4. Exigences écologiques et culturales de la tomate

L'Amérique du sud fut l'origine de la tomate, aujourd'hui partagée entre Pérou, le Chili et l'Equateur. Elle a été introduite en Europe après la découverte des Amériques par les européens. **Mahbou (2010)**, indique que la tomate est cultivée dès la première moitié du XVIe siècle et à l'origine, elle était cultivée par les aztèques. L'apparition de la tomate en Afrique du Nord a lieu au XVIIIème siècle au Maroc d'abord puis en Algérie et en Tunisie. (**Haddad, 2018**)

5. Exigences climatiques

5.1 La température

Il est nécessaire de diviser le concept global de température en différents éléments. Pourquoi?

Parce qu'une baisse de température peut provoquer une réponse différente selon que l'action est appliquée en début de journée, en mi-journée, en fin de journée ou pendant la nuit. De plus, étant donné que les systèmes informatiques de contrôle du climat permettent une conduite très pointue de la température, il est essentiel de faire une distinction entre la

température de jour, la température de pré nuit, la température de nuit, et finalement, la température moyenne sur 24 heures. (AGRISYS, 2015)

Les températures optimales pour une bonne croissance sont :

- Températures diurnes (le jour) : 20-25°C
- Températures nocturnes (la nuit) : 13-17°C
- Température du sol: 14-18°C.

5.2 La lumière

La tomate n'est pas sensible au photopériodisme, mais elle est exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la plante. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (*Cirad Et Gret, 2002*)

La lumière est un facteur écologique fondamental. Elle intervient dans de nombreux phénomènes physiologiques, notamment la photosynthèse. Cependant, elle est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. La réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen.

5.3 Eau et humidité

La tomate se développe correctement sur une large gamme d'humidité de l'air mais celle-ci reste néanmoins très importante à prendre en compte. Lorsque les plantes sont jeunes, on va préférer une humidité relative modérée car l'humidité favorise le développement des feuilles. Le développement des feuilles, quant à lui, va permettre à la plante de transpirer plus, et de ce fait l'humidité ambiante risque d'augmenter. Il faut donc avoir une bonne maîtrise de l'humidité pour ne pas tomber dans ce cercle vicieux. De manière générale, en pleine période de culture, on évitera d'avoir des déficits hydriques supérieurs à 10g d'eau/kg d'air sec ou inférieurs à 2g d'eau/kg d'air sec. Il est essentiel de prévoir un apport d'eau suffisant pendant la fructification. Le stress causé par une carence d'eau et les longues périodes arides fait tomber les bourgeons et les fleurs et provoque le fendillement des fruits. (*Munro et Small, 1998*)

6. Sol

6.1 Structure et texture

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

6.2 pH

La tomate est une culture indifférente au pH du sol. Le rendement varie peu avec la variation du pH.

Cependant, sur des sols à pH basique ($\text{pH} > 7$), certains micro-éléments restent peu disponibles à la plante (Fe, Mn, Zn, Cu). La carence la plus fréquente est celle de fer, elle apparaît en général à un stade avancé de la culture. Dans ce cas, une correction ferrique par un apport d'engrais foliaire ou en fertilisant est nécessaire.

6.3 Salinité

La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis à vis de la salinité. Lorsque la conductivité électrique (CE) est de 4 mS/cm, soit 2,5 g/l de sels totaux, le rendement baisse de 10 %. Cependant, la baisse du rendement peut atteindre 25 % à une salinité de l'ordre de 4 g/l. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement export, suite à la réduction du calibre du fruit. A cet effet, un contrôle de la CE durant tout le cycle de la culture est indispensable.

Le contrôle se fait au niveau des goutteurs (solution fille) à l'aide d'un conductimètre et elle doit être maintenue entre 1 et 2 mS/cm en fonction du stade de la culture et de la saison (*PNTTA, 1999*)

7. La tomate hors-sol sous serre

La culture sous serre présente de nombreux avantages. Elle permet un contrôle des conditions climatiques dans le but d'optimiser la production en augmentant les rendements, en améliorant la qualité commerciale et en allongeant les périodes de production. D'un point de vue social, elle permet également d'obtenir des conditions de travail plus agréables pour les ouvriers. C'est donc un avantage certain, notamment dans le cas de la tomate qui nécessite des

températures assez chaudes pour se développer. Cela demande cependant une technicité élevée puisqu'il faut rentabiliser cet investissement.

Cependant, la serre est un outil qu'il faut maîtriser pour qu'il soit intéressant. En effet l'installation d'une serre représente un investissement important. C'est une technologie qui va nécessiter du personnel qualifié et qui va évoluer rapidement : elle doit donc être bien utilisée pour obtenir une rentabilité correcte pour le producteur (*Thybaud, 2015*).

7.1 Les premiers hybrides pour les serres

C'est en 1947, aux Établissements Vilmorin, puis à l'INRA France dans les années 1962-1963, que les premiers hybrides de tomate ont été sélectionnés. Il s'agit de Fournaise (Vilmorin), Montfavet 63-4 et Montfavet 63-5. L'intérêt de la vigueur hybride entraîne une augmentation sensible du rendement et une nouaison facilitée, sous abris; comme en plein champ, la concurrence impitoyable et l'augmentation de la demande et aussi l'intensification au détriment de la qualité. (*Laure, 1994*)

8. Quelques maladies de la tomate

Tableau 10 : Quelques maladies de la tomate (*DAG, 2018*).

Maladies	Symptômes	Conseils d'intervention
<p>Virus de TYLC</p> 	<p>Transmis par l'aleurode du tabac</p> 	<p>Utilisation de variétés résistances</p> <p>Lutte contre l'aleurode vectrice (<i>bemisia tabaci</i>)</p>

<p>Mildiou (phytophthora infestans)</p> 	<p>Taches jaunâtres qui brunissent rapidement. Duvet blanc grisâtres sous les feuilles et les fruits. les tiges attaquées noircissent et la plante meurt en quelques jours</p>	<p>Destruction des parties touchées</p> <p>Volatilisation de lithothame (calcium) avec poudreuse ventrale pour assécher les feuilles</p>
<p>Oïdium (oidiopsis ou leveillula tourica)</p> 	<p>Maladie fongique (champignon)</p> <p>Développant un feutrage (poudre) blanc provoquant leur dessèchement.</p> 	<p>Destruction des parties touchées</p> <p>Curatif : azoxystrobine ou soufre (a utiliser le soir)</p>
<p>Fusariose (fusarium axysporum)</p> 	<p>Le champignon induit la pourriture du système racinaire entraînant le jaunissement du feuillage a partir du bas de la plante puis le dessèchement.</p>	<p>Variété résistante/traitement de semences</p> <p>Destruction des parties touches</p> <p>Préventif : huile de neem ou cuivre</p>
<p>Pythium fonte de semis</p> 	<p>Flétrissement et mort des plantules.</p>	<p>Attention aux excès d'eau sur les semis</p> <p>Utiliser un substrat drainant (avec sable)</p> <p>Traitement du sol au propamocarbe HCl</p>

Partie 02

Expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

1. L'objectif

L'objectif général de notre travail, est d'étudier l'effet de quelques substrats à base de pouzzolane, fibre de palmier dattier et terre végétale sur la croissance de la tomate, et suivis sa croissance jusqu'à le stade de production, dans un système de production hors-sol, sous serre.

En basant sur un pilotage quotidien et précis de notre culture avec une solution nutritive fertilisante (3 concentrations différentes) bien choisis et riche en oligo-éléments, on a essayé de trouver la bonne relation ou combinaison entre les paramètres physico-chimiques et morphologiques étudiés et cette solution ainsi que les traitements. C'est-à-dire à la fin : Traitements – Solutions nutritive – Tomate.

03 traitements (mélanges) sont étudiés, composés de 03 substrats : pouzzolane, les fibres de palmier dattier et la terre végétale, avec des pourcentages différents. Le quatrième traitement est le terreau, c'est pour la comparaison (témoin TR).

Comme paramètres étudiés, on a : EC, pH, Nombre, volume, longueur et distribution des racines, matière sèche et humide, nombre et poids des fruits.

Pour trouver la relation entre ces paramètres avec méthode statistique, on a utilisé le logiciel ELLISAT.

2. Site d'étude

L'étude est faite dans la serre de la faculté des sciences de la nature et de la vie (SNV) université de Tiaret, elle une forme presque hémicylindrique couvert en plastique transparent (polycarbonate).



Figure 18 : Abri-serre de la Faculté SNV (originale 2020).

L'aération est assurée par 2 fenêtres du côté West ou par l'ouverture de la porte.

Sa longueur est environ 15 mètres. La largeur est suffisante pour réaliser plusieurs cultures en même temps. Elle est de l'importation (Espagne). Les plaques en plastique ont une longue durée de vie, mais à cause de quelques déchirures de ces plaques, on a renforcé avec du Film plastique à basse densité (PEbd).

3. Matériels utilisé

3.1 Les pots

40 pots en polyéthylène ont été utilisés dans notre expérience, de même forme et volume (4,5 L).

Le volume de ces pots est suffisant pour notre culture de tomate jusqu'à la fin.

3.2 Matériels végétatif

Le matériel végétatif utilisé est la tomate (espèce hybride, Wilaya de Tipaza). On l'a ramené dans le stade de 3 ou 4 feuillettes, dans des alvéoles (figure 19)



Figure 19 : Plants de tomate dans les alvéoles et avant juste l'implantation dans les pots
(originale 2020).

Cette variété est grimpante, elle peut dépasser après 3 mois de culture 2 mètres de long, elle est caractérisé par une bonne production et un calibre moyen de fruits. Aussi une bonne résistance aux maladies. Selon notre expérience, on peut estimer d'avoir jusqu'à 6 bouquets de fleurs ou même plus.

3.3 Substrats

3.3.1 Pouzzolane

La pouzzolane est un matériau volcanique, donc naturel, poreux qui existe en quantité abandonné et considérable en Algérie. Généralement, Il se trouve sous forme de 2 couleurs (Marron et Noir). Sa granulométrie varie selon les gisements volcaniques d'extraction. Son pH presque neutre (égale à 7) lui rend idéal comme un substrat dans les cultures hors sol. Il est très bien aéré mais il présente une faible rétention d'eau.

Notre pouzzolane utilisée est du gisement de Bouhamidi, 2 km de Béni-Saf ; Wilaya de Ain-Temouchent. Nous l'avons ramené dans des grands sachets sous forme pur (pierres).

Pour l'utiliser, il faut le casser en tous petits morceaux de même taille à l'aide d'un marteau (Figure 20) pour faciliter le mélange avec les autres substrats. Sa couleur est noire.



Figure 20: brisement de la pouzzolane en petits morceaux de même taille (**originale 2020**).

3.3.2 Fibres de palmier dattier

Les fibres de palmier dattier sont des matériaux organiques appelés (lif). Se trouvent entre les (cornaf) dans le tronc du palmier. Ces fibres existent dans les palmeraies sahariennes en une grande quantité chaque année. On peut avoir de cette matière des milliers de tonnes dans chaque saison. Maintenant, ces fibres comme d'autres sont utilisés comme substrat dans les cultures hors sol (**KASMI et LATIGUI 2012**).

Notre fibre de palmier utilisé c'est à l'origine De la commune El ghrous ; 12 km de Tolga ; Wilaya de Biskra (figure 21).



Figure 21 : fibres de palmiers dattier et moment de collecte dans la palmeraie (**originale 2020**).

Pour ces fibres : un coupage en petits morceaux de moins de 2 cm ou sous forme de fibres à l'aide d'une scie ou un couteau. De préférence, un mouillage de ces fibres avec de l'eau, puis le coupage sera facile (figure 22)



Figure 22 : Fibres après coupage en tout petits morceaux (**originale 2020**).

3.3.3 Terre végétale

La terre utilisée est de couleur noir (riche), extraite d'une profondeur de 3 m (pour éviter les mauvaises herbes et l'absence des verts et de champignons), extraite d'une ferme proche de Jumentry (wilaya de Tiaret).



Figure 23 : la terre végétale (originale 2020).

D’après des résultats d’analyses physico-chimiques de cette terre faites précédemment au sein du laboratoire d’écologie (SNV, Université de Tiaret). Ils ont trouvés les valeurs suivantes (Tableaux 1 et 2) :

Tableau 11 : Granulométrie de la terre végétale.

Granulométrie				
Argile (A %) : 22,28	Limon fin (Lf %) : 33,42	Limon grossier (Lg %) : 30,33	Sable fin (Sf %) : 10,99	Sable grossier (Sg %) : 02,97

Tableau 12 : paramètres physico-chimiques de la terre végétale.

Paramètres physico-chimiques				
pH : 7,30	CT (Calcaire totale) : 19,74	CA (Calcaire actif) : 4,38	MO (Matière organique) : 0,86	CE (Conductivité Electrique) : 1,12

3.3.4 Terreau commercial

C'est un terreau commercial qui se trouve dans le marché. La composition qu'on a choisit ressemble dans sa composition engrais à notre solution nutritive pour ne pas avoir un chevauchement dans les résultats.



Figure 24 : Tourbe commercial utilisé (**originale 2020**).

La composition est comme suit :

- MS/ au brut : **26%**
- matière organique (MO) en masse de produit brut : **60%**
- pH (H₂O) = **6,5**
- Capacité de rétention de l'eau % MS = **60**
- Conductivité électrique (CE) :
0,6 mS/cm
- Engrais : **NPK 14-14-14.**

3.4 la solution nutritive : c'est un mélange entre l'eau de robinet avec l'acide nitrique (HNO₃) et l'engrais ainsi que les oligo-éléments :

3.4.1 Acide nitrique (HNO₃) : acide dangereux, très concentré et nocif avec des fumées dangereuses, sa couleur est jaune nacré, de concentration 65%. Utilisée pour diminuer le pH de la solution nutritive.



Figure 25 : Solution d'acide nitrique utilisée (65%).

3.4.2 **Engrais** : riche en éléments major, utilisé pour augmenter EC de la solution nutritive.

- L'engrais commercial utilisé est de marque **Codafol NPK (13-13-13)** : liquide foliaire équilibré de couleur verte. Sa composition est très proche de l'NPK 14-14-14 du Terreau. Le tableau 13 représente sa composition en Azote, Phosphore et Potassium

Mode d'application : 2-3 l/ha (chaque 15-20 jour).

Tableau 13 : composition de Codafol 13-13-13 (NPK).

Analyses garanties	% p/p
Azote (N)	10.3
Phosphore (P ₂ O ₅)	10.3
Potassium (K ₂ O)	10.3

- **Pour les Oligo-éléments (Marque Codamix)** : est un mélange de micro-éléments complexées par agent organique (lignosulphonates), de couleur presque noir (marron foncé) et facilement absorbé par les feuilles.

Le mélange entre l'engrais NPK et les Oligo-éléments donnent une coloration presque marron clair (gris)

Le tableau 14 donne la composition en ces éléments mineurs.

Tableau 14 : composition de Codamix (Oligo-éléments).

Analyses garanties	% p/p
Acides organiques (lignosulphonates)	0.26
Bore (B)	0.3
Cuivre (Cu)	0.12
Fer (Fe)	4.0
Manganèse (Mn)	2.0
Molybdène (Mo)	0.1
Zinc (Zn)	0.5

Mode d'application : 200 à 300 cc/HL.

- Mélange entre les deux : couleur gris.

La figure 09 illustre tous ces informations : bouteilles, couleurs et mélange entre les deux.

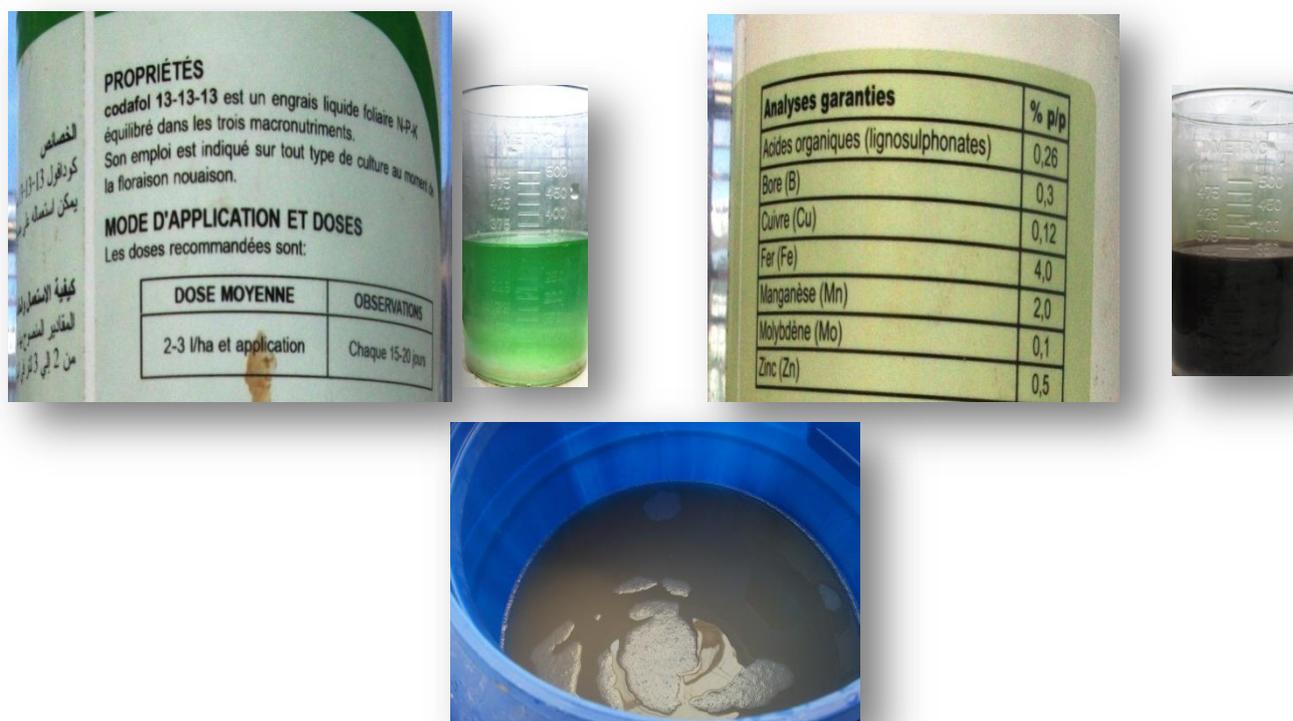


Figure 26 : de gauche à droite : Engrais et oligo-éléments et couleurs. En bas, couleur du Mélange (originale 2020).

Ce qui concerne la solution nutritive fertilisante, l'idéal est de préparer un pH très proche de 5,5 et un EC entre 1,5 et 2,5 mS/cm. Selon (LATIGUI, 1992), ces valeurs donnent une culture hydroponique parfaite. Ce n'est pas facile directement de la première fois, mais il faut essayer avec un petit volume puis faire ça dans les 3 bidons. Dans chaque bidon, on prépare une concentration différente et cela pour enrichir notre étude (solution 1 : S1 (70%), solution 2 : S2 (100%), solution 3 : S3 (130%)). Le volume nécessaire pour avoir notre pH voulu est autour de 20 ml dans 100 litres d'eau de robinet. Cette valeur est approximative car elle a une relation directe avec le pH d'eau de robinet utilisé.

Toutes les préparations des ces solutions et mesure de pH, même EC sont faites dans la serre le matin. Il faut bien agiter pendant plusieurs minutes et même avant chaque irrigation.

Nous avons fait les calculs aussi pour EC, qui a une relation directe avec la dose des engrais utilisés. Pour chaque concentration dans un volume d'un bidon de 60 litres (Engrais et oligo-éléments). Le tableau suivant illustre les résultats trouvés.

Tableau 15 : Concentrations approximatives des Macro et oligo-éléments dans chaque bidon de 30 litres.

Macroéléments	Concentration de S1 : 70 % (mg/l)	Concentration de S2 : 100 % (mg/l)	Concentration de S3 : 130 % (mg/l)
<ul style="list-style-type: none"> • Azote (N) • Phosphore (P₂O₅) • Potassium (K₂O) 	112,90 (pour chaque élément)	161,30 (pour chaque élément)	209,80 (pour chaque élément)
Oligo-éléments			
Acides organiques (lignosulphonates)	2,85	4,07	5,29
Bore (B)	3,27	4,68	6,09
Cuivre (Cu)	1,30	1,85	2,40
Fer (Fe)	44,18	63,14	82,10
Manganèse (Mn)	22,10	31,57	41,05
Molybdène (Mo)	1,03	1,48	1,92
Zinc (Zn)	5,52	7,89	10,26

On note toujours que la préparation de chaque solution passe par l'ajout de HNO_3 puis les macros et Oligo-éléments pour éviter le phénomène de précipitation et accumulation des produits.

3.5 Appareillage

Dans la serre : l'utilisation continue du pH mètre et conductimètre portables pour mesurer les solutions de drainage et d'apport et vérifier la variation du pH et EC. Ces 2 appareils sont indispensables. Il faut toujours contrôler l'étalonnage. La marque est *HANNA*. On a utilisée aussi un thermo-hygromètre pour la mesure de température et humidité.

Dans le laboratoire : Au début, on a aussi utilisé le pH mètre et l'EC mètre, mais à cause de la grande distance entre la serre et le laboratoire, on a évité ces mesures et on les a remplacé par d'autres sur place (formation de bicarbonates de calcium et le pH augmente).

On a utilisé aussi le matériel suivant :

L'étuve, une balance digitale, la verrerie, l'eau distillée...etc. (Voir annexe)

4. Expérimentation et Protocol

En réalité, notre travail été un peu global pour balayer plusieurs paramètres, soit coté sol ou coté plante dans la culture hors sol du Tomate. Mais à cause de la pandémie du CORONA virus qui a durée longtemps, on a limité nos travaux et mesures dans la serre de l'université en respectant chaque fois les mesures de sécurité. Le travail été chaque jour jusqu'à la fin Mai.

Notre travail a commencé le 21/01/2020 jusqu'à 25/05/2020 (4 mois)

03 traitements ont été réalisés

Traitement 1 : **T1** (40% fibre 40% pouzzolane 20% Terre végétale).

Traitement 2 : **T2** (40% fibre 30% pouzzolane 30% Terre végétale).

Traitement 3 : **T3** (30% fibre 30% pouzzolane 40% terre végétale).

Traitement 4 : **TR** (Témoin terreau commercial).

Le choix porté sur ces traitements base sur la variation des 3 paramètres (fibre, pouzzolane et terre végétale) en comparant avec le terreau commercial car il porte le maximum de substrats.

Le % des plantes vivantes = 100%

4.1 Mise en pots de substrats et plantation

40 pots de même taille et volume sont utilisés, 10 répétitions pour chaque traitement (10 pots). Une petite couche de gravier est mise premièrement dans chaque pot comme un support en bas du traitement. Chaque pot est rempli avec le traitement nécessaire de la même quantité jusqu'à le trait en haut du pot. La plantation est faite le 21/01/2020 (figure 27)



Figure 27 : pots préparés avec une couche de gravier, moment de plantation et après quelques jours sur support (**originale 2020**).

Le diagramme suivant montre tout notre travail (figure 28)

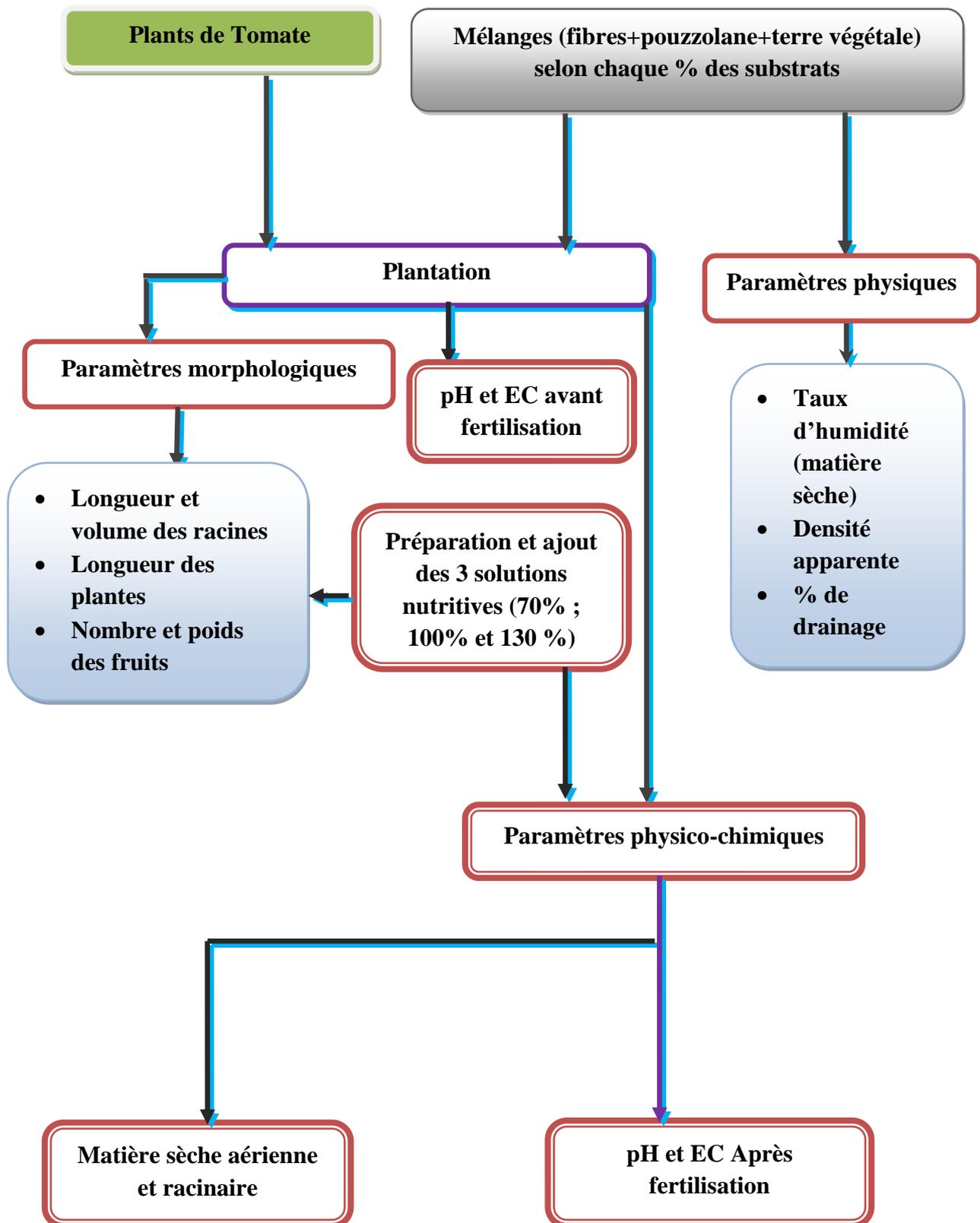


Figure 28 : Protocol expérimental réalisé.

4.2 Irrigation

Pour l'irrigation de nos plantes, on a tout simplement utilisé un grand récipient d'un volume de 2 litres, gradués en ml pour contrôler les quantités apportés pour chaque plante. On a fait ça jusqu'à la fin de notre travail.

En premier temps, l'irrigation est faite toujours avec l'eau de robinet. après les premières semaines (≈ 03) en ajoute l'acide nitrique HNO_3 (65%) pour diminuer la valeur de pH.

Dans le stade de fluoration et production on ajoute les engrais à l'eau acidifié.

La quantité d'eau à irriguer est toujours en augmentation avec la croissance de la plante. La quantité à apporter est définie par la quantité drainée (de 30 à 40% d'eau apportée) (*Latigui, 1992*).

4.3 propriétés chimiques :

4.3.1 pH : correspond a la concentration en ions H_3O^+ dans la solution. si $\text{pH} > 7$: solution basique, si $\text{pH} < 7$: solution acide.

- **pH mètre :** appareil permettant de mesurer le pH d'une solution. Constitue de deux éléments : un boîtier électronique qui affiche la valeur du pH et une électrode qui mesure cette valeur. Le fonctionnement du pH mètre est basé sur le rapport entre la concentration en ions H_3O^+ et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans l'électrode de verre.

La valeur idéale pour une bonne croissance est : de 5,5 à 6,5.

4.3.2 EC : traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. L'unité de mesure utilisée est le siemens par mètre (S/m) ou le milli siemens par centimètre dans notre cas (mS/cm). La conductivité d'une solution dépend de la nature des ions présents et leurs concentrations.

- **Conductimètre :** est un appareil permettant de mesurer la conductivité d'une solution. Il est constitué de deux parties : un boîtier électronique qui affiche la valeur de la conductivité et d'une cellule qui mesure cette valeur. La mesure de la conductivité se fait en courant alternatif pour éviter la polarisation des électrodes.

La valeur idéale pour une bonne croissance est : de 1,5 à 2,5 (mS/cm).

4.4 Propriétés physiques

Pour les propriétés physiques des substrats utilisées, on a étudié le Taux d'humidité, et par conséquent la matière sèche. La densité apparente et le pourcentage de drainage.

4.4.1 Taux d'humidité : c'est la perte de poids après séchage en pourcentage. Pour trouver un très bon résultat, Le séchage se fait à l'étuve en deux étapes :

- 1^{er} étape : sécher pendant 24 h à 70°C.
- 2^{eme} étape : sécher pendant 24 h à 105°C.

Taux d'humidité (matière fraîche MF) = $(PH - PS) \times 100 / PH$

PH : poids de substrat (humide)

PS : poids de substrat (séché)

- **L'étuve :** est un équipement de laboratoire en acier inoxydable permettant de chauffer à température régulée des éléments par pression atmosphérique ou pression sous vide. Les applications courantes lorsque l'on utilise une étuve sont le séchage, la stérilisation et la conservation à chaud. Elles se caractérisent par une température pouvant être maintenue entre 200°C et 350°C pour la plupart.
- **Balance analytique :** est un instrument hautement sensible conçu pour mesurer la masse avec exactitude. La lecture a une résolution de 0.1 mg. La balance analytique a un paravent ou une chambre de pesée pour que les petits échantillons ne soient pas affectés par les courants d'air. Elle est faite pour détecter des incréments infimes, donc la moindre vibration ou brise peut affecter les résultats.

4.4.2 Densité apparente : grandeur utilisée avec les substances granulaires, se calcule en divisant le poids sec par le volume de récipient.

$$d_a = MS(g) / V_r (cm^3).$$

4.4.3 Pourcentage de drainage : c'est le pourcentage de volume d'eau drainé (30-40 %) par rapport au volume apporté.

$$\% \text{ de drainage} = (V_{dr} / V_{ap}) \times (100).$$

4.5 Propriétés morphologiques

Ce qui nous intéresse pour ces propriétés, c'est les valeurs après fertilisation, car on a uniformisé l'irrigation avec la solution nutritive pour toute les plantes.

4.5.1 Longueur des tiges

Après 2 mois de la plantation, on a commencée à pris les longueurs de la plante régulièrement chaque semaine a l'aide d'une règle graduée. (Installation d'un fil au niveau de la tige pour protéger la plante de la réfraction).

4.5.2 Nombre et poids des fruits

Dans la récolte générale des fruits après maturation, on a mesuré pour chaque plante, le nombre et le poids des fruits.

4.5.3 Longueur des racines

À l'aide d'une règle graduée, on mesure la longueur des racines depuis le collet jusqu'à la fin de la racine la plus longue

4.5.4 Nombre des racines

Après un bon nettoyage des racines avec de l'eau. On compte les racines à l'œil nu et parfois à l'aide d'une loupe pour les petits racines.

4.5.5 Volume des racines

Dans une éprouvette replissée d'eau, on rince les racines et on mesure le volume qui monte, c'est le volume racinaire. Supérieur / l'inférieur coupé donne la distribution des racines.

5. Température et humidité dans la serre

Au début de l'expérience, nous avons mis tout simplement un thermomètre normal dans la serre pour connaître les valeurs de la température. Avec le temps, les plantes se développent et il y a un grand changement dans l'humidité et la température dans la serre, on était obligé de placer un thermo-hygromètre digital qui mesure en même temps la température et l'humidité surtout dans les deux derniers mois (Avril et Mai) et cela est fait chaque jour soir (voir figure 29).

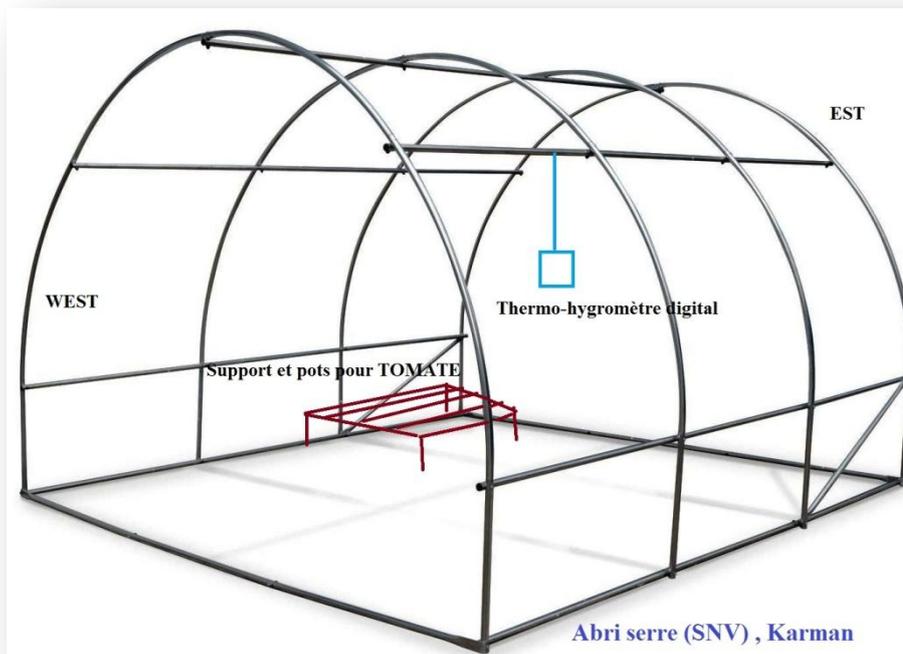


Figure 29 : Abri serre (SNV, Karman). Orientation de la serre, Position des pots de Tomate et thermo-hygromètre digital.

Chapitre II

Résultats et discussion

1 Caractéristiques physico-chimiques des substrats et traitements :

1.1 Caractéristiques physiques

1.1.1 Taux d'humidité des substrats

Nous avons fait le calcul de taux d'humidité (TH) pour nos substrats utilisées (pouzzolane, fibre de palmier dattier et terre végétale), la MS est le complément du TH par rapport à 100% (fig.30). le terreau ici est considéré comme un substrat séparé en même temps. la comparaison des moyennes donne une idée sur les différents taux, la valeur la plus forte est pour les fibres de palmier dattier (32.47%). ce résultat coïncide avec celui de (*DJOURDI et al.2018*) qui a trouve un domaine d'humidité des fibres palmier qui peut aller jusqu'à 40% selon le temps de séchage. en deuxième position la pouzzolane (8.5%) puis la terre vegetale (11.11%). ces faibles taux s'expliquent que les deux substrats ne sont pas légers et fort possible a cause du % de limon et d'argile dans la terre vegetale.

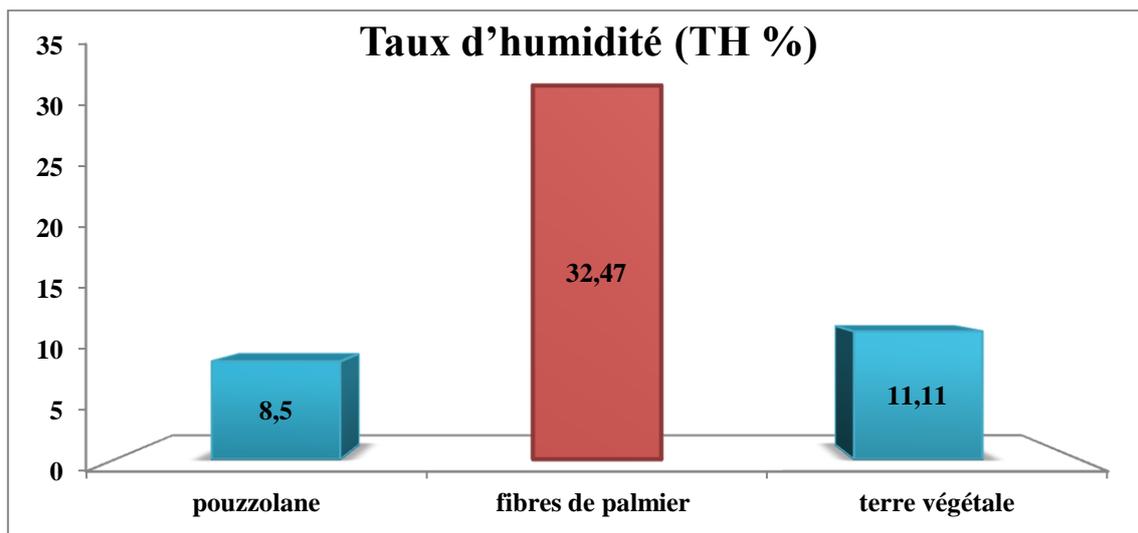


Figure 30 : taux d'humidité des substrats (TH %).

1.1.2 Densité apparente des substrats

La définition de la densité apparente est donnée comme le rapport entre le poids sec et le volume du récipient utilisée. Dans nos substrats, la valeur faible a été signalée pour la fibre palmier avec une valeur de 0.08 g/cm³ (fig.31). cette valeur est proche de celle trouvée par (*Masri, 2019*) qui est égale a 0.1 g/cm³. en général, toutes les fibres végétales ligno-cellulosiques ont une densité de paroi cellulaire d'environ 0.15 g/cm³ (*Chrlet, 2008*). tandis que la pouzzolane et la terre vegetale ont des densités élevées 0.60 et 0.82 g/cm³ respectivement.

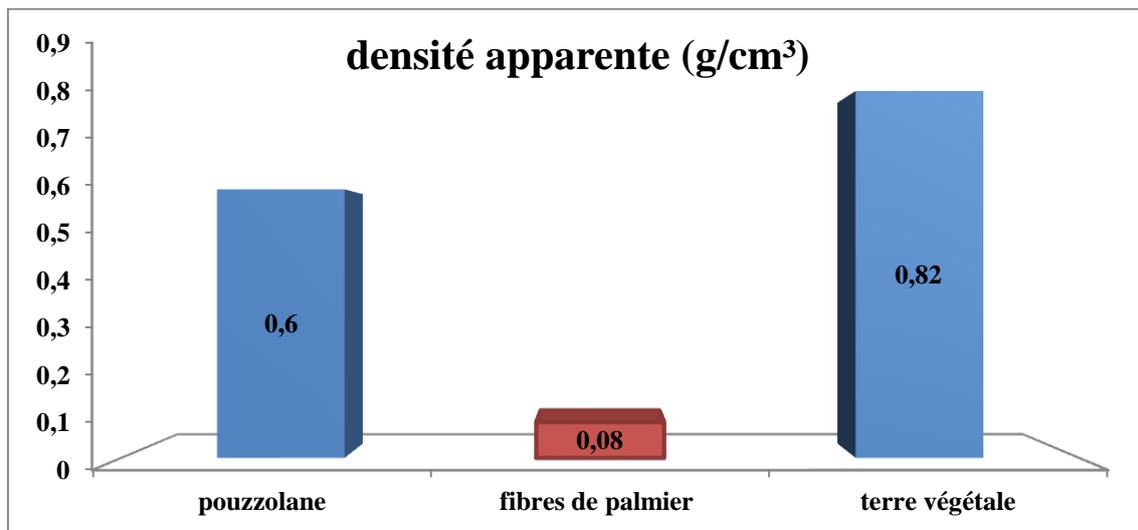


Figure 31 : densité apparente des substrats (g/cm³).

1.1.3 Taux d'humidité des traitements

Avec la même méthode utilisée dans l'étude des substrats, on a calculé le taux d'humidité pour nos traitements ainsi que le terreau commercial. la figure ici dessus présente les résultats obtenues. la valeur maximale est pour le TR (74,20%). donc la MS est égale à (25,80%). ces résultats sont très proches des valeurs théorique (MS=26%) de notre terreau commercial (voir partie : matériels et méthodes). les autres valeurs d'humidité sont plus basses vu leurs compositions et apports proche l'un de l'autre, T1 (18,43%), T2 (18,68%) et T3 (16,57%).

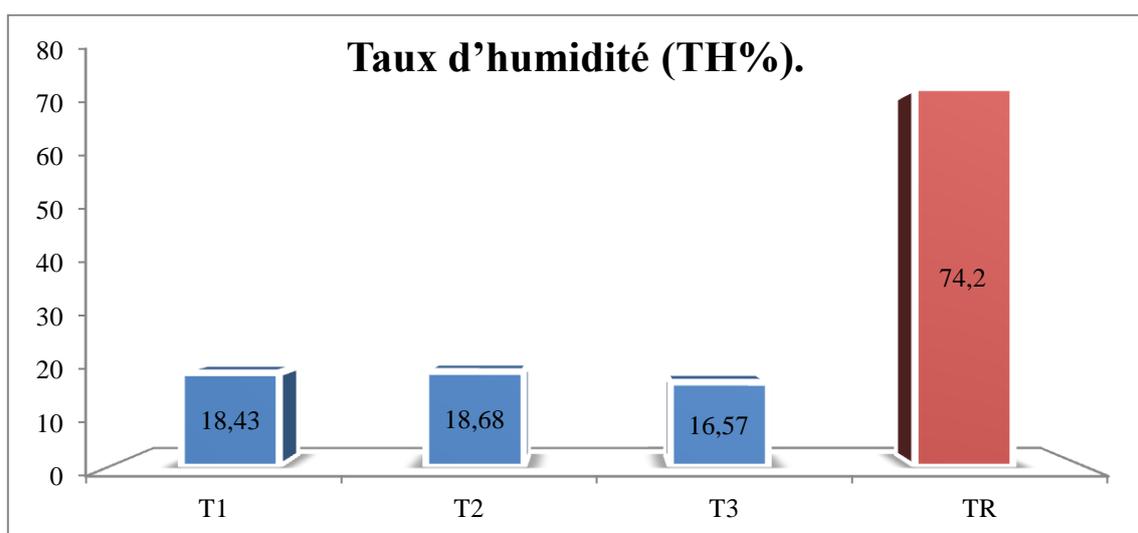


Figure 32 : taux d'humidité des traitements (TH%).

1.1.4 Densité apparente des traitements

La figure 33 illustre les résultats de la densité apparente pour les 4 traitements T1, T2, T3 et TR. Ce dernier le moins dense a la plus faible valeur (0.11 g/cm³), les trois traitements présentent une valeur moyenne : T1 (0.41 g/cm³), T2 (0.43 g/cm³) et T3 (0.51 g/cm³) respectivement. Ces valeurs moyennes autour de 0.41 g/cm³ (porosité moyenne). Selon TIMM et al 2006, une augmentation de la densité apparente réduit l'infiltration verticale de l'eau et facilite le mouvement latéral de l'eau. Une densité apparente élevée sera nécessaire pour les plantes cultivées dans les champs pour empêcher le vent de les forcer vers le bas. D'autre part, la faible densité apparente peut provoquer une instabilité pour la tomate. En culture hors sol, selon Yeager, 1995, un domaine de 0.19 à 0.70 g/cm³ est l'idéal. Nos 3 traitements appartiennent à ce domaine sauf TR, donc il est déconseillé pour ce type de culture.

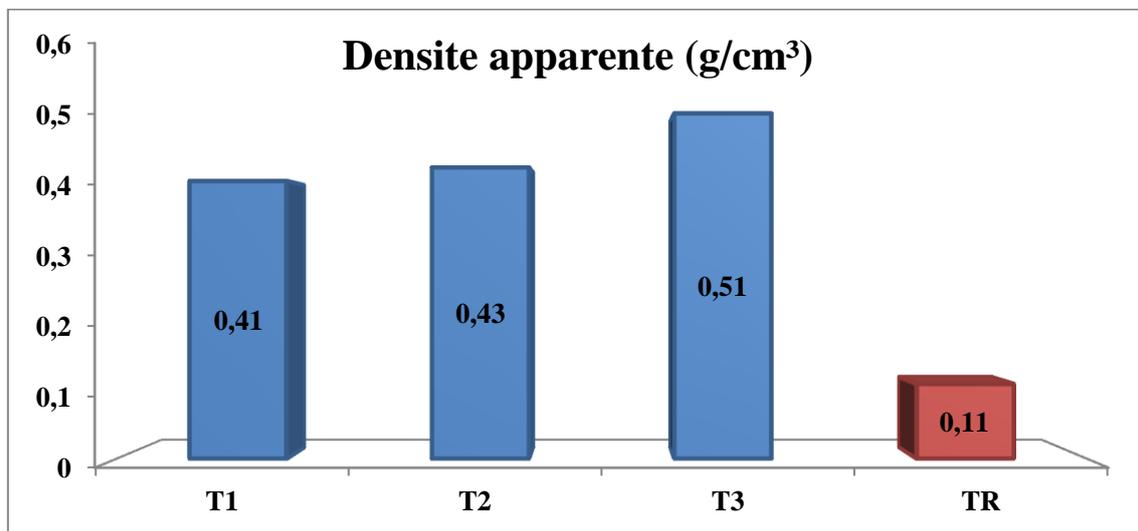


Figure 33 : densité apparente des traitements (g/cm³).

1.1.5 Pourcentage de drainage

Comme la fig.34 présente, pour avoir un drainage idéal de la culture hors sol pendant toutes les périodes de culture il faut faire un drainage variant entre 30-40% et il vaut mieux conserver les pourcentages trouvés au début (Latigui, 1992).

Peu importe le substrat utilisé, le drainage est essentiel. Les racines doivent avoir de l'oxygène et de l'espace pour croître. L'utilisation de contenants munis de trous de drainage est nécessaire. Le substrat utilisé ne devra pas obstruer les trous de drainage afin d'améliorer la conservation de l'humidité du substrat.

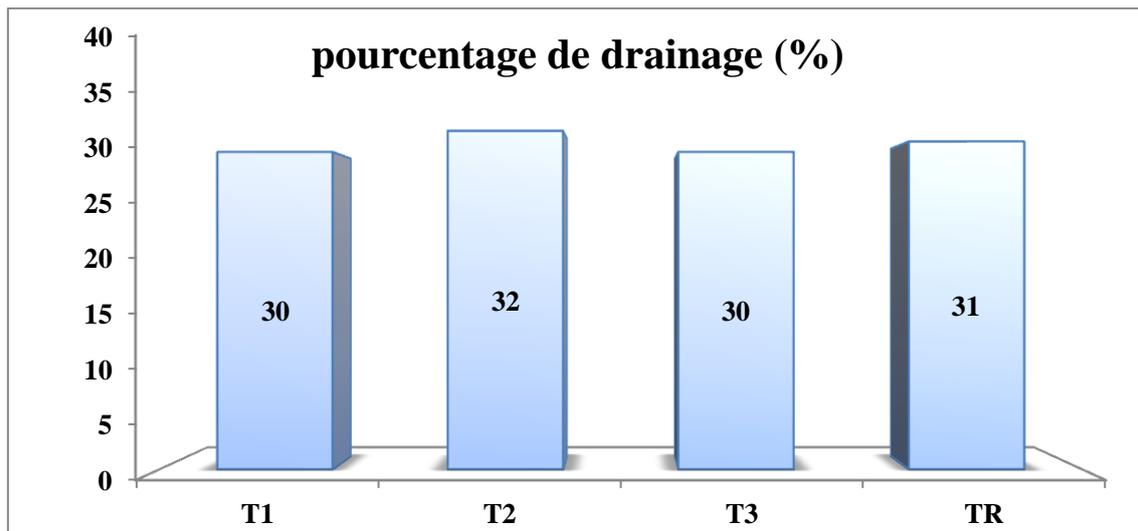


Figure 34 : pourcentage de drainage (%).

1.2 Caractéristiques chimiques des substrats

Pour le reste des résultats (chimiques et morphologiques), on a utilisé un logiciel statistique (ELLISTAT) pour comparer les moyennes d'une manière plus précise et les classer sous forme de groupes de A-B-C...etc. les résultats en fonctions des traitements et solutions sont toujours comparés avec les normes ou d'autres travaux antérieurs.

En culture hors sol, il faut toujours contrôler EC et pH surtout après fertilisation. L'EC idéale est spécifique à chaque culture et dépend des conditions environnementales (*Sonneveld et Voogt, 2009*). Toutefois, les valeurs de la CE recommandée pour les systèmes hydroponiques sont de 1,5 à 2,5 mS/cm

Pour le pH, selon (*Reza et Rezaei, 2013*), le domaine idéal pour une culture hors sol se situe entre 5,5 et 6,5 et peut aller de 5,3 à 6,8 selon les espèces, les substrats et les conditions de culture.

1.2.1 pH de drainage avant fertilisation

On a commencé notre culture avant la fin du mois de janvier. Le suivi de pH et EC était continu. Les mesures sont faites une fois par semaine. La fig.34 présente une mesure faite après presque 1 mois de plantation. Nous regardons que les valeurs de pH < 8 'basiques ou alcalins' donc non favorables pour la culture hors sol de la tomate, le terreau est le meilleur (6,92), les autres mélanges ayant le même pH presque.

Les substrats utilisés ont donc un effet important sur le pH des solutions nutritives utilisées. Cependant, l'augmentation du pH des solutions de drainage peut ne pas présenter de danger sur l'absorption des éléments minéraux. En effet, *Sedik.M et Mimouni.A 1995* ont conclu que le système racinaire de la tomate sur substrat peut s'accommoder de pH allant de 4,5 à 8,4, mais il ne faut pas allonger le temps jusqu'à ce qu'il soit corrigé.

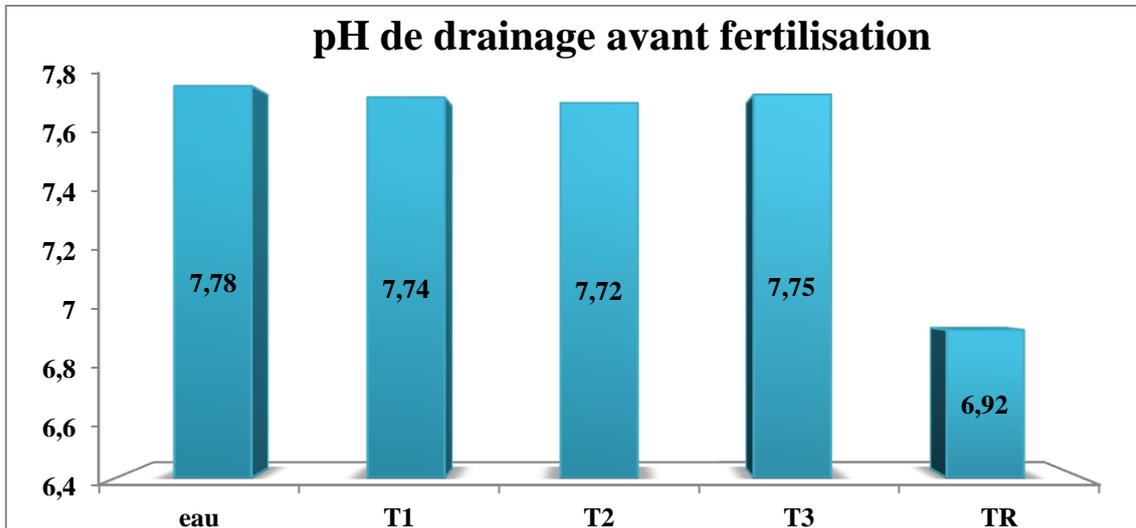


Figure 35 : pH de drainage avant fertilisation (premier mesure).

Après les premiers résultats nous avons essayées de corriger ces valeurs pour aller à des valeurs favorables en utilisant l'acide nitrique de concentration de 65%. la fig.36 Présente des valeurs prélevées après l'acidification. . La remarque c'est que ces valeurs deviennent acides dans le domaine idéal, T1 : 6,19 ; T2 : 6,22 ; T3 : 6,35 et le terreau (TR : 6,43).

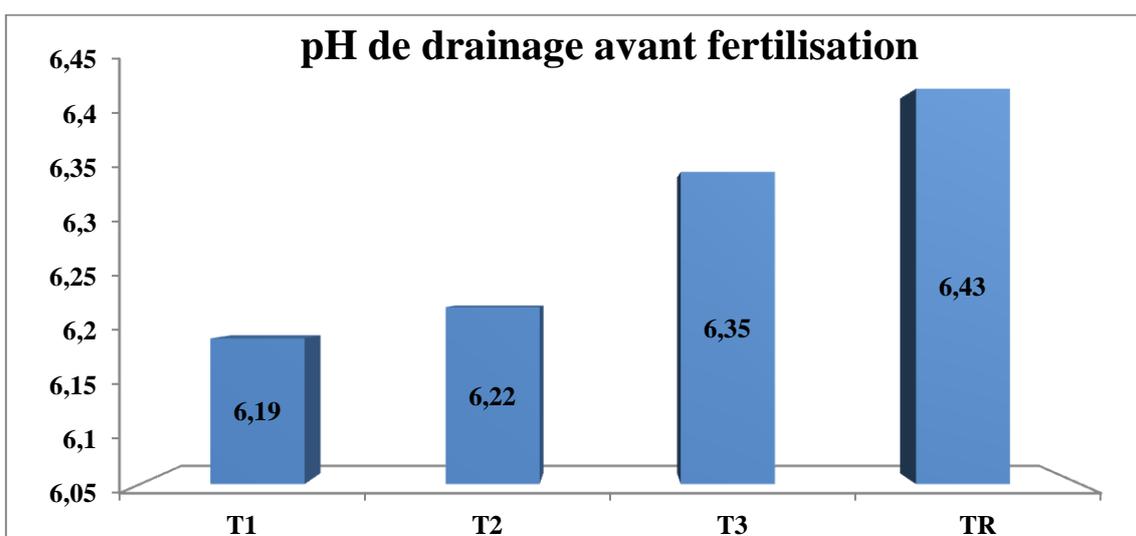


Figure 36 : pH de drainage (dernier mesure avant fertilisation).

1.2.2 EC de drainage avant fertilisation

La fig.37 présente la première mesure faite. Nous constatons que les valeurs d'EC sont meilleures que les valeurs de pH, ces valeurs sont entre T1=1.6 et TR=2.48 mS/cm. C'est à dire des valeurs favorables.

Selon le domaine conseillé pour la culture hors sol et pour avoir des bons résultats, nous proposons d'appliquer périodiquement des fertilisations au moins 1 fois par semaine après la chute d'EC et pH.

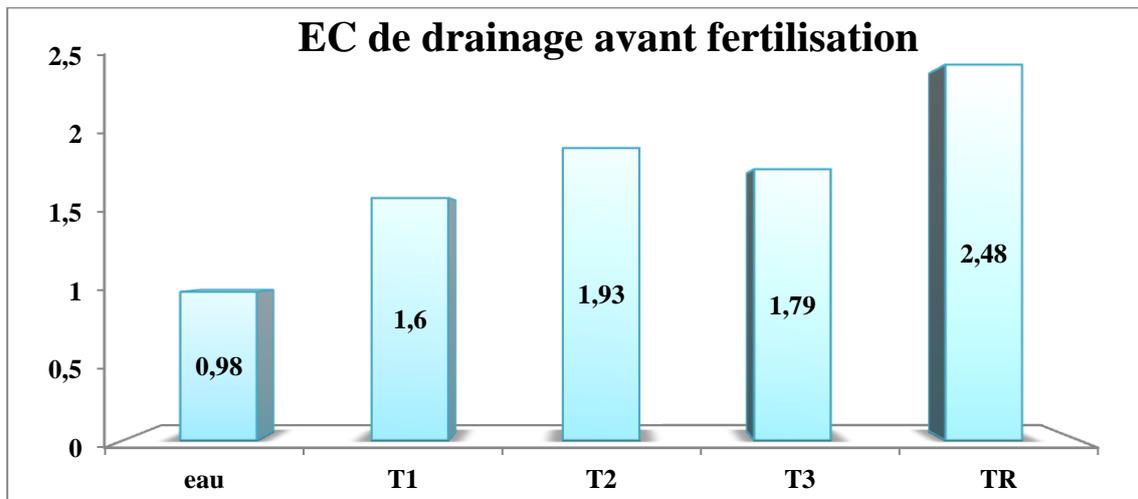


Figure 37 : EC de drainage avant fertilisation (première mesure).

Au cours du temps, les valeurs d'EC commencent à diminuer (fig.38). Cet histogramme a été pris juste avant la fertilisation. On remarque que le terreau est le meilleur (EC : 1,65), par contre les traitements ont des pH < 1,5. Cette diminution peut être expliquée par un manque de nutriments.

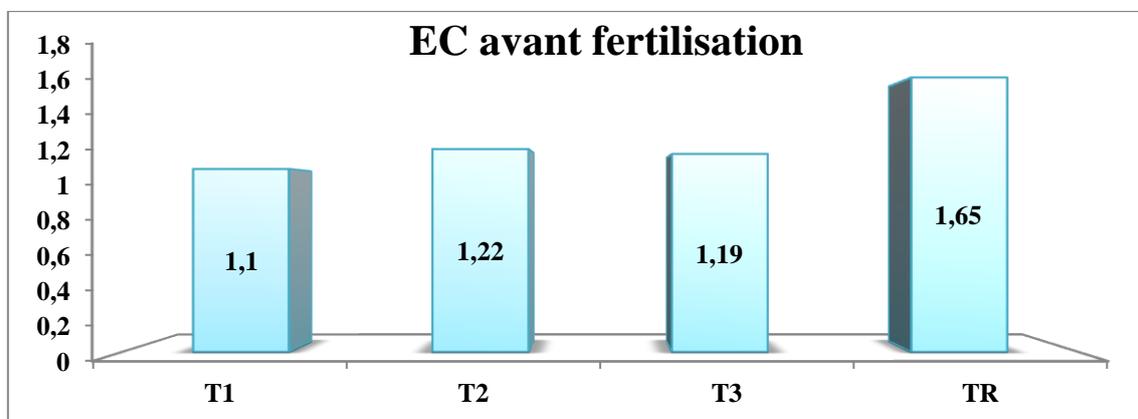


Figure 38 : EC de drainage (dernière mesure avant fertilisation).

1.2.3 pH de drainage après fertilisation

La solution nutritive est considérée comme le facteur le plus important car elle est le facteur déterminant de la productivité et de la qualité de la culture (*Belbachir.M;2016*).

La gestion incorrecte de la solution nutritive peut endommager les plantes et conduire à un échec complet. Manipuler avec précaution le niveau de pH de la solution nutritive, la température et la conductivité électrique (EC) et le remplacement de la solution à chaque fois que c'est nécessaire conduira à la réussite d'une culture hors sol.

Après la fertilisation nous avons trouvées les résultats présentées dans la fig.39. La comparaison des moyennes donne plusieurs groupes (A-B-AB-BC et C). En général, nous remarquons que les valeurs de pH deviennent mieux favorables. Deux traitements présentent des pH > à 6,5. Par rapport à la totalité des traitements et solutions, T3 avec sa solution d'irrigation S1 est le meilleur (5,88 à 6,14), ensuite le terreau (TR).

Le pH de l'eau est un élément déterminant pour une bonne dissolution des éléments nutritifs et surtout pour une absorption efficace de ces éléments nutritifs par les racines des plantes (*William. T 2015*).

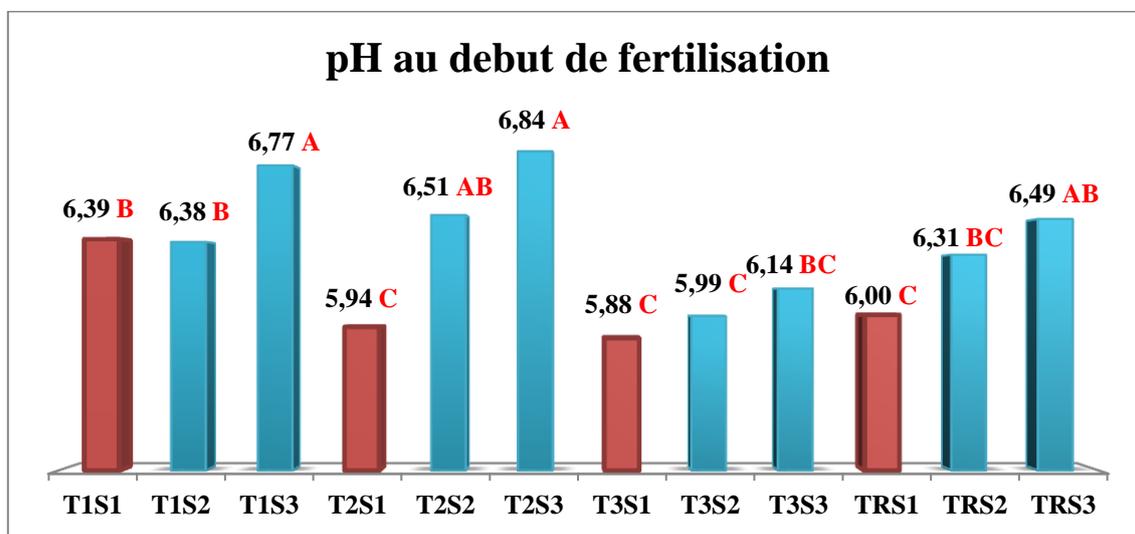


Figure 39 : pH de drainage après fertilisation.

La fig.40 présente les résultats des moyennes statistiques trouvés juste avant le bassinage avec 2 litres (début du mois de Mai : forte chaleur) pour chaque plante pendant 3 jours. Une augmentation remarquable dans les valeurs de pH mais toujours les meilleurs résultats sont

signalés après l'utilisation de la solution S1 (T1S1 : 6,85 ; T2S1 : 6,32 ; T3S1 : 6,24 et TRS1 : 6,24).

Si le pH devient supérieur à 7, les nutriments ne sont plus absorbés. Ce qui peut être à l'origine d'une baisse significative de la productivité et de la mauvaise santé des plantes (William.T.2015).

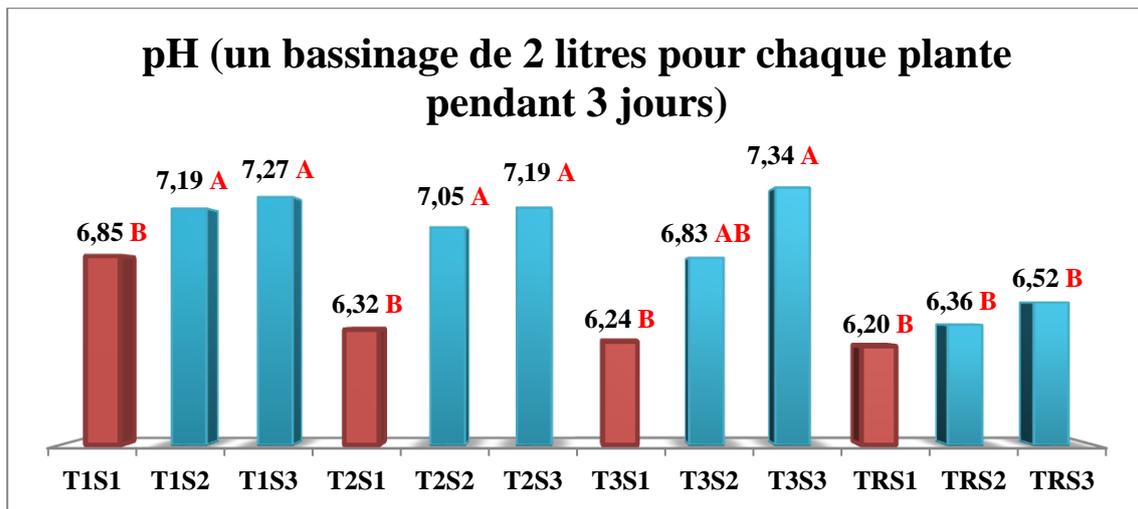


Figure 40 : pH de drainage lorsque le bassinage.

Après bassinage (lessivage) le pH commence à diminuer un peu (un pilotage de l'irrigation). Comme la fig.41 le montre, les meilleurs résultats sont : (T1S3 : 6,50 ; TRS2 : 6,21 et TRS3 : 6,35). Les autres valeurs n'ont pas dépassé pH (7).

Une solution nutritive contient donc des sels dissous choisis de telle façon, et en quantités telles, qu'ils apportent les différents éléments minéraux nutritifs dans des proportions conformes aux besoins de la plante cultivée. Cette solution nutritive aura un pH déterminé peu variable dans le temps, et les éléments seront absorbés sous forme d'ions, les ions azotés, NO, et NH, tant en proportions déterminées. (YVES C et Marcel C, 1989)

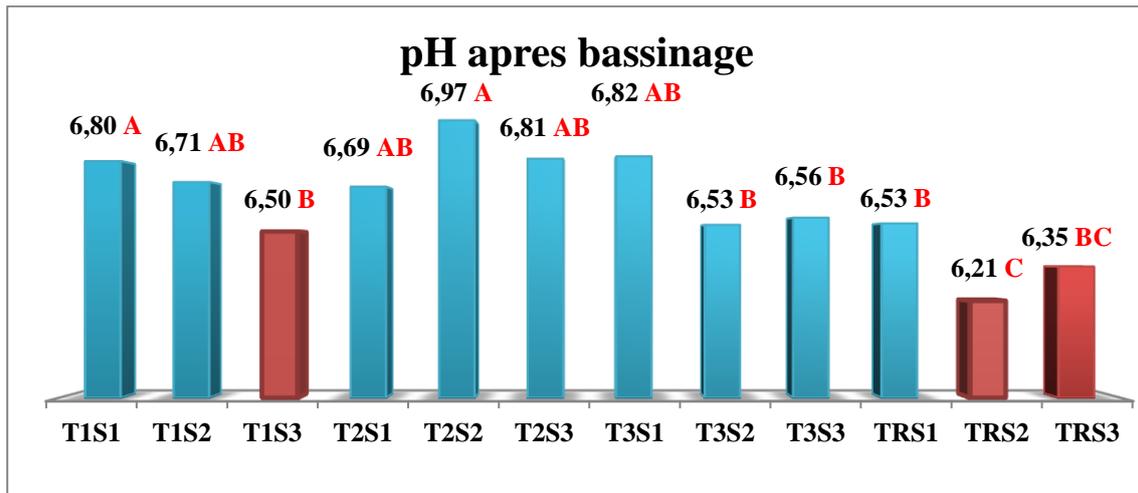


Figure 41 : pH de drainage après bassinage.

1.2.4 EC de drainage après fertilisation

D'après la fig.42 on remarque que les valeurs sont augmentées entre 2.08 et 2.86 mS/cm. Le meilleur résultat dans chaque traitement :

T1 : T1S1 et T1S2 = 2.26 mS/cm.

T2 : T2S1 = 2.08 mS/cm.

T3 : T3S1 = 2.64 mS/cm.

TR : TRS1 = 2.56 mS/cm.

Pour s'adapter au plus près des besoins nutritionnels de la plante on observe donc les variations d'EC afin de modifier la solution nutritive le plus précisément possible, en prenant soin de respecter une progression dans l'apport de nutriments et de ne pas dépasser les doses prescrites par le fabricant. (*Anonyme 03, 2018*)

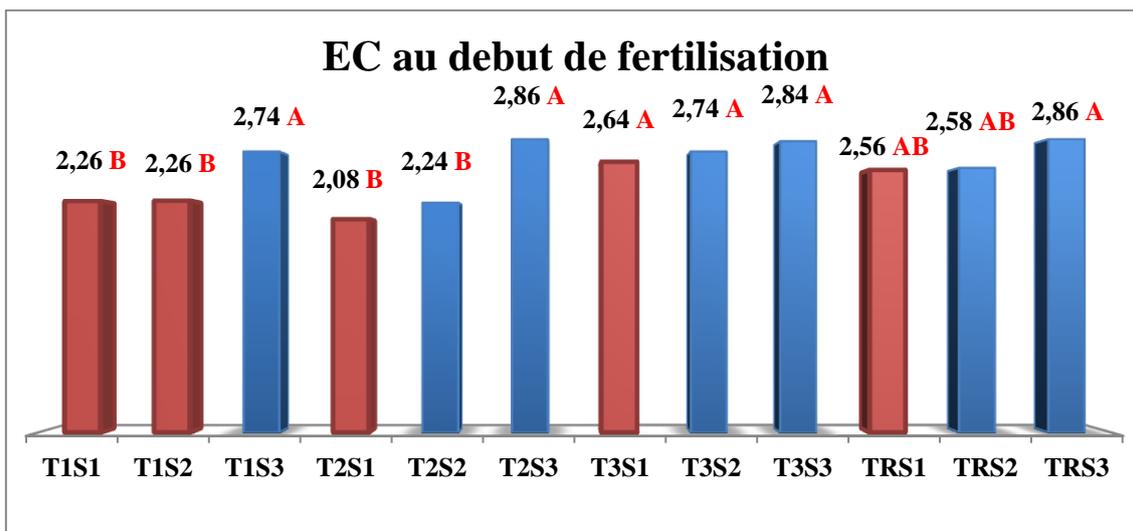


Figure 42 : EC de drainage au début de fertilisation (mS/cm).

Aux moments chauds, on a aussi remarqué l’élévation des valeurs de pH comme EC. Avant de faire le bassinage avec deux litres d’eau de robinet pour chaque plante pendant 3 jours, les chiffres pour EC sont élevés (de 2 à 4 mS/cm). Les moindres et meilleures valeurs sont : T2S1 : 2,66 mS/cm, T2S1, T3S2 et TRS1 : 2.74 mS/cm. « fig.43». TRS3 à dépassé 4 mS/cm

les solutions nutritives avec une forte conductivité électrique sont indiquées pour des plantes en fin de cycle de développement, pour obtenir des fruits bien colorés, afin d’épaissir les limbes foliaires, et pendant les périodes hivernales caractérisées par des basses températures et d’évapotranspiration. (Maillard.P et Bonhomme.R 1998)

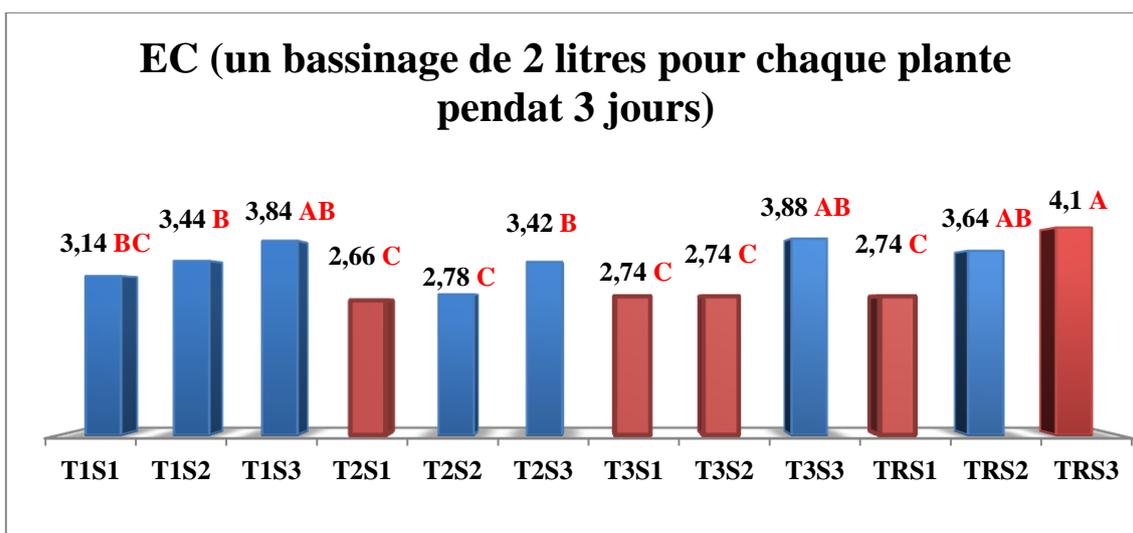


Figure 43 : EC de drainage lorsque le bassinage.

Maintenant, comme on remarqué avec le pH après le bassinage, les valeurs d'EC diminuent de nouveau (de 1.64 à 2.56 mS/cm). La majorité des résultats trouvés sont dans le domaine d'EC pour la culture hors sol (1,5 à 2,5 mS/cm). Les résultats les plus favorables sont les plantes de tomate irriguées avec la solution 1 (S1) colorés en rouge dans l'histogramme de la fig.44.

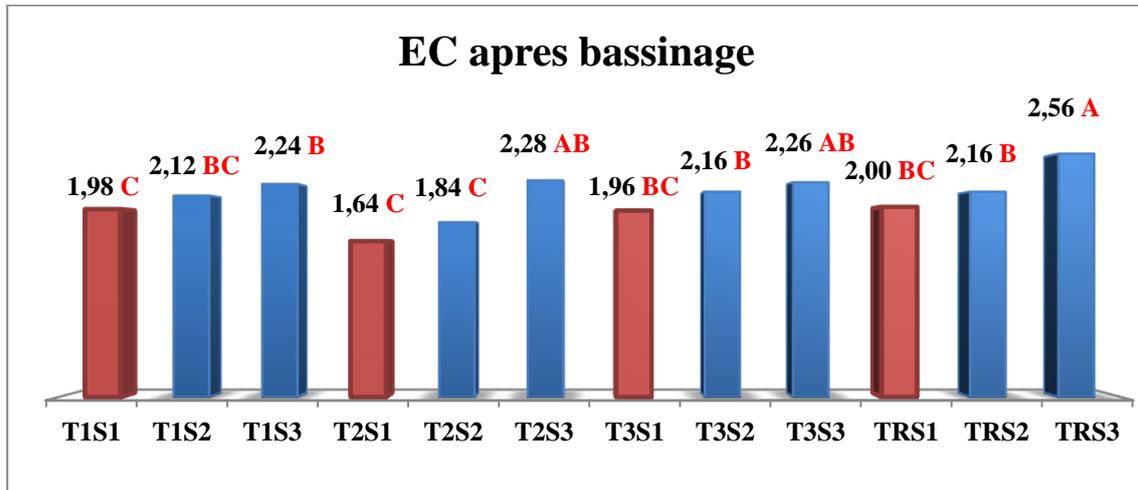


Figure 44 : EC de drainage après le bassinage.

1.3 Paramètres morphologiques de la tomate (plante et fruits)

1.3.1 Longueurs des plantes

Au début de plantation jusqu'à la floraison, le terreau était le meilleur selon la longueur et la couleur de ses feuilles et tout les paramètres à cause de sa richesse en nutriments, mais après une certaine période, il commence à perdre ses nutriments et on remarque que les autres traitements deviennent mieux surtout le 03^{eme} traitement « fig.45 ». Ces mesures ont été faite après l'ététagé de 3 bouquets florales de tomate. On a 6 groupes différents (A-B-AB-BC-ABC et C). La meilleure longueur est remarquée pour T2S3 (152,40 cm) puis T3S3 (149,20 cm), tandis que TR n'a pas dépassé 140 cm de longueur.

L'analyse de la croissance en hauteur des plantes a montré que la nature du substrat est l'un des facteurs qui influencent le fonctionnement du végétal par l'intermédiaire de ses caractéristiques physiques et physico-chimiques. (Sedik.M et Mimouni.A 1995)

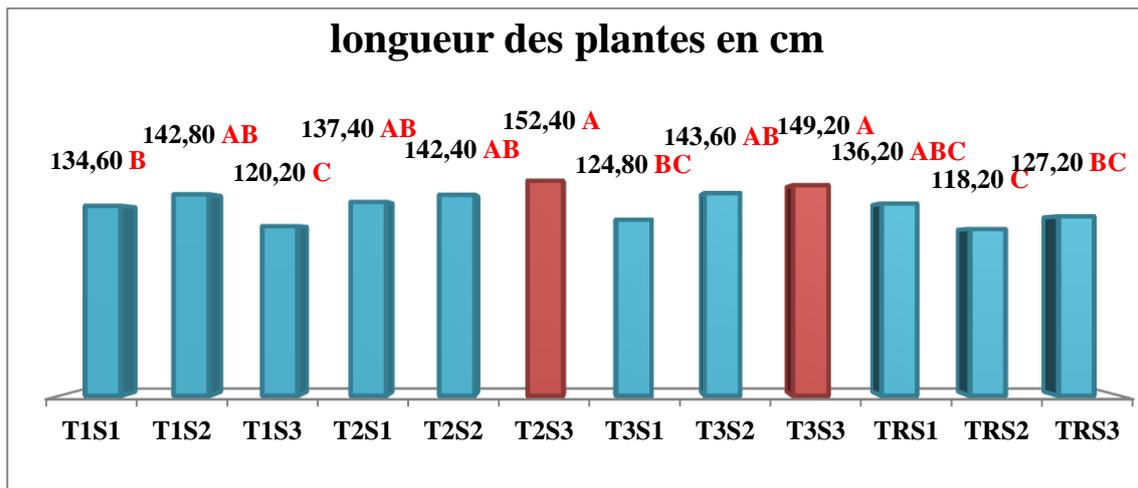


Figure 45 : longueur des plantes de tomate (cm).

La comparaison visuelle de la longueur des meilleures plantes mises dans des pots et pour les 12 traitements pendant la fructification nous a révélé quelques observations (fig.45) :

- Pour la solution S1 (70%) : TR puis T2
- Pour S2 (100%) : T1 puis T3



- S3 (130%) : T2 et T3

Figure 46 : longueur des plantes (T1, T2, T3, TR) selon la solution « S1 (70%), S2 (100%) et S3 (130%) ».

1.3.2 Racines des plantes (longueur et volume)

6 groupes différents pour la longueur des racines (A-B-BC-C-CD et D). D'après la fig.47, nous remarquons que pour T1, les longueurs des racines sont presque les mêmes et pour T2, T3 et TR les racines les plus longues sont les racines des plantes irriguées par la solution S3 (T2S3 : 50,20 cm, T3S3 : 50,80 cm, TR=30.20).

La longueur totale de racines est mesurée par dénombrement des intersections entre les racines et des lignes disposées de manière aléatoire (NEWMAN, 1966). (Maillard.P et Bonhomme.R, 1998)

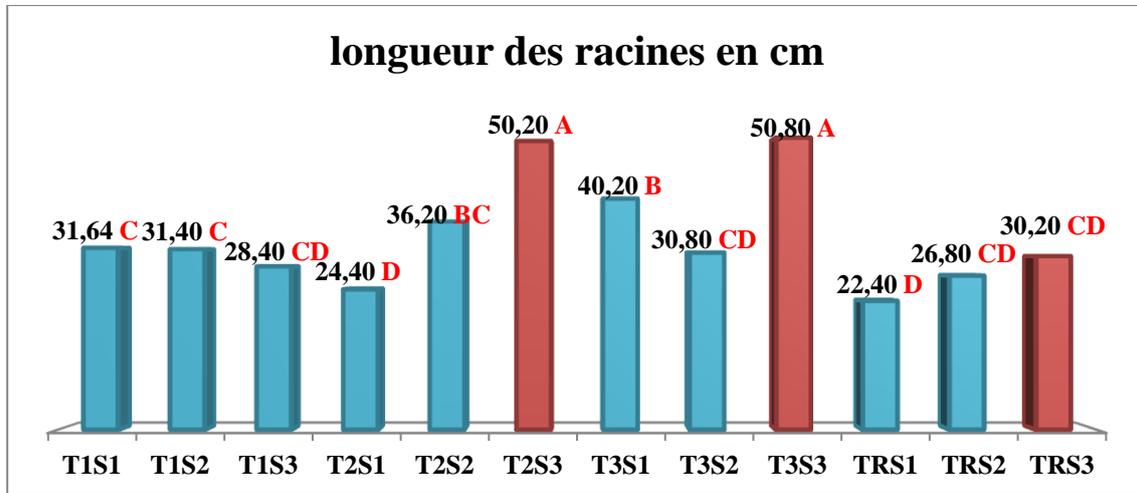


Figure 47 : longueur des racines (cm).

Même chose avec les racines (aspect visuel) dans la fig. 47. Il se voit clairement la différence entre les longueurs. Le terreau dans les 3 solutions présente la longueur et le volume les plus faibles. Pour S1 et S2, T1 et T3 sont les meilleurs. Pour S3, T2 et T3 sont les plus longues et les plus volumineux.



Figure 48 : longueur des racines (T1, T2, T3, TR) selon la solution « S1, S2, S3 ».

Pour les moyennes du volume racinaire (fig. 49), on a obtenu 8 groupes selon l'histogramme. TR présente avec ses 3 solutions les moindres valeurs (prouvés aussi par la fig. 48). Le meilleur volume est obtenu pour T3S1 (47,20 ml).

Selon (Blancard, D et al, 1992), le développement et la qualité du système racinaire demeurent en étroite relation avec le milieu dans lequel la croissance des racines s'effectue.

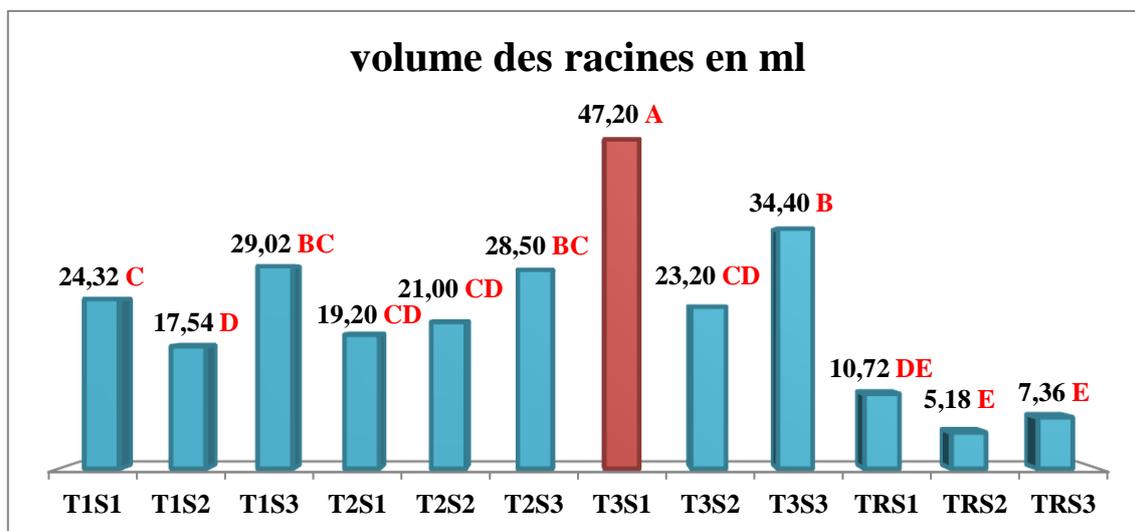


Figure 49 : volume des racines (ml).

1.3.3 Les fruits de tomate

L'analyse de la fig.50 donne 3 groupes pour le nombre de fruits (A-B et AB). 3 traitements avec la solution S1 ont donné le bon résultat. Le premier traitement T1 (T1S3 : 23.80) a donné le bon rendement. T3S1 en deuxième position avec 21,60 et enfin le terreau (TRS1 : 25.60) qui a le meilleur rendement (nombre de fruits).

Les variétés de tomates hybrides ont de nombreux avantages par rapport aux variétés résultant de pollinisation libre. En général, les hybrides donnent un rendement plus élevé.

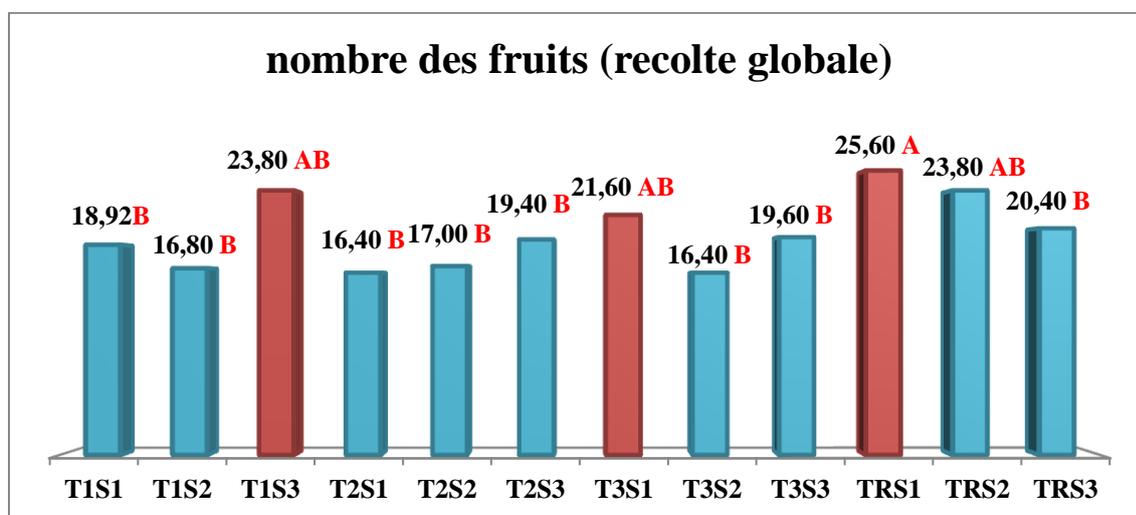


Figure 50: nombre des fruits (récolte globale).

En réalité, avoir un bon rendement et une bonne récolte est le but visé par n'importe quelle culture. D'après les mesures trouvées dans la fig.51, nous remarquons que les poids des fruits ne portent pas une grande déférence significative entre les traitements sauf TR. Pour les traitements, le poids inférieur est pour T1S2 : 572,04 g ; tandis que le poids supérieur est pour T2S1 : 681,54 g). Pour TR, les poids sont plus élevés (TRS3 : 864 g).

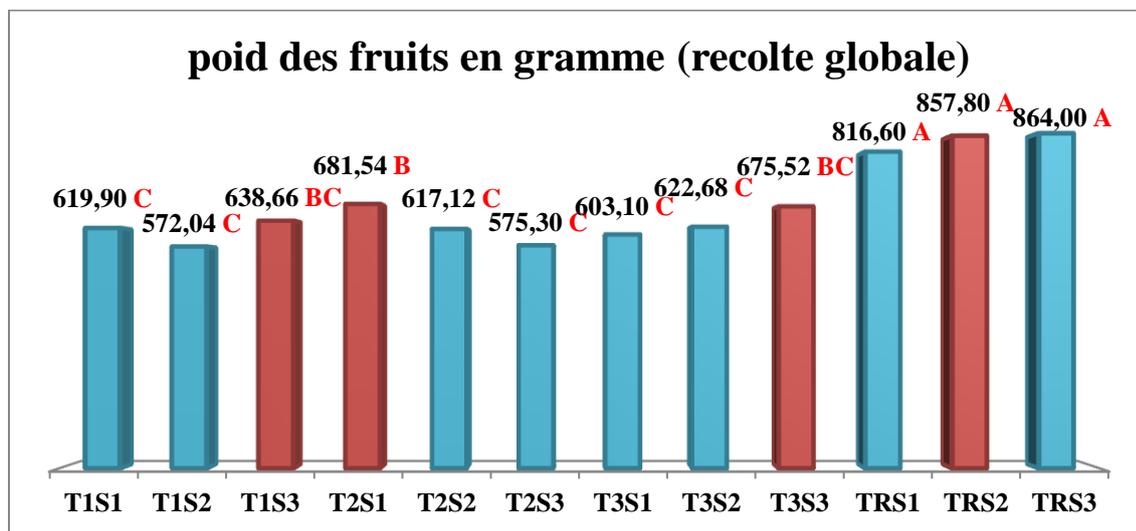


Figure 51 : poids des fruits (g).

Pour la coté visuelle des plantes et fruits, nous avons les résultats suivants :

Dans la figure 51 qui représente les meilleurs fruits de tomate selon les solutions et traitements, nous remarquons visuellement que :

- Selon la couleur : le deuxième traitement T2 a la meilleur couleur pour toutes les solutions.
- selon la taille : - pour la solution S1 (70%) est le terreau TRS1.
- Pour la solution S2 (100%) est le premier traitement T1S2.
- Pour la solution S3 (130%) est le troisième traitement T3S3.



Figure 52 : fruits de tomate

(T1, T2, T3, TR) selon la solution « S1, S2, S3 ».

1.4 Matière sèche de la partie aérienne et racinaire

Pour MSA (matière sèche aérienne), la comparaison des moyennes (fig.53) nous a donné 6 groupes différents (A.....C). Les meilleures valeurs pour chaque solution sont :

S1 : T1S1 (14,44%) ; S2 : T2S3 (15%) ; S3 : T3 (22,02%) et TR qui a une masse aérienne élevée (TRS2 : 32.12%) par rapport aux autres traitements. Elle en générale > à MSR pour tout les traitements.

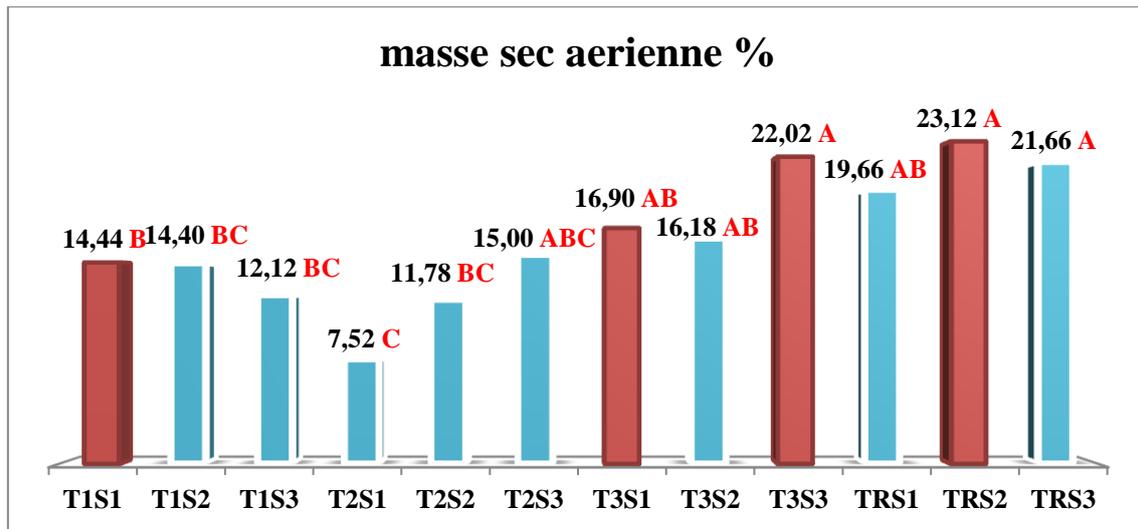


Figure 53 : masse sec aérienne (%).

Ce qui concerne la MSR (matière sèche racinaire) et deuxième but visé. D'après la fig.54, on remarque que les 3 traitements qui ont une masse racinaire plus élevée sont : (T1S2 : 15,46% ; T2S1 : 17,98% (le meilleur) ; T3S3 : 16,26%). Le terreau à une MSR faible par rapport aux autres traitements (TRS3 : 11,72%).

La masse racinaire de la plupart des plantes est généralement estimée à 10 % de la biomasse totale aérienne sous terrain. Il existe une très forte corrélation entre le poids sec des racines MAGAREY et GRACE 1997. (Denise.P 2011)

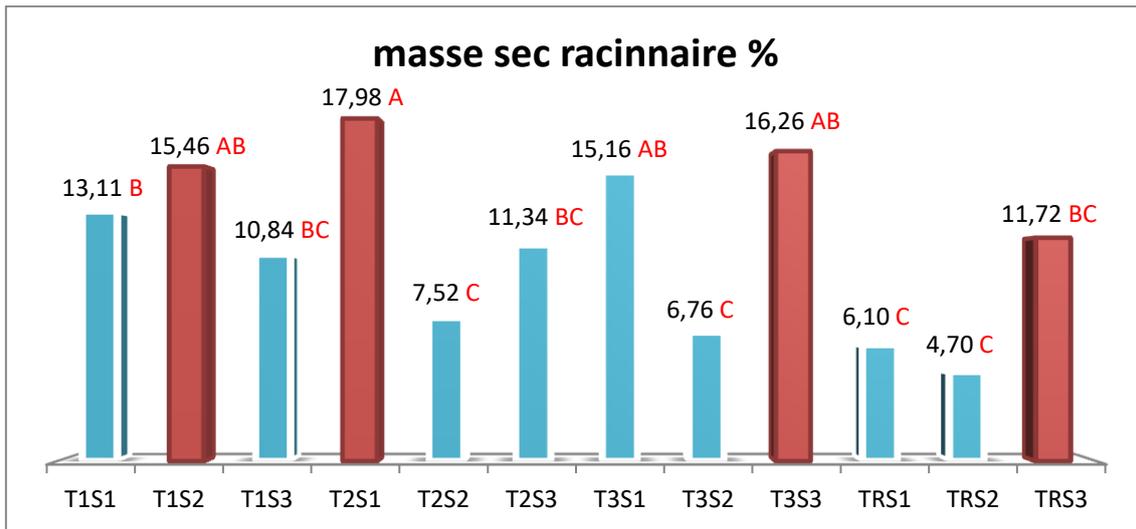


Figure 54 : masse sec racinaire (%).

1.5 Humidité et température de la serre

D'après fig.55, on remarque que l'humidité a une relation réversible avec la température. Lorsque la température augmente (au début de mois), l'humidité diminue. Les valeurs les plus élevés de T et HR sont signalés dans la première et la dernière semaine du mois de MAI. Entre 17-19, on a mesurée le pourcentage le plus élevé d'humidité (81%) et la température la plus basse (15°C). ces températures ont une relation directe avec EC et pH mesurés auparavant.

L'humidité relative de la serre est liée à la température de l'abri, au renouvellement de l'air et à la transpiration des plantes. (*Rousselon.M.H, 1863*)

Dans une serre l'humidité relative augmente généralement la nuit et diminue au cours de la journée à mesure que le soleil réchauffe l'air. (*Claud.V et Gilbert.B, 1999*)

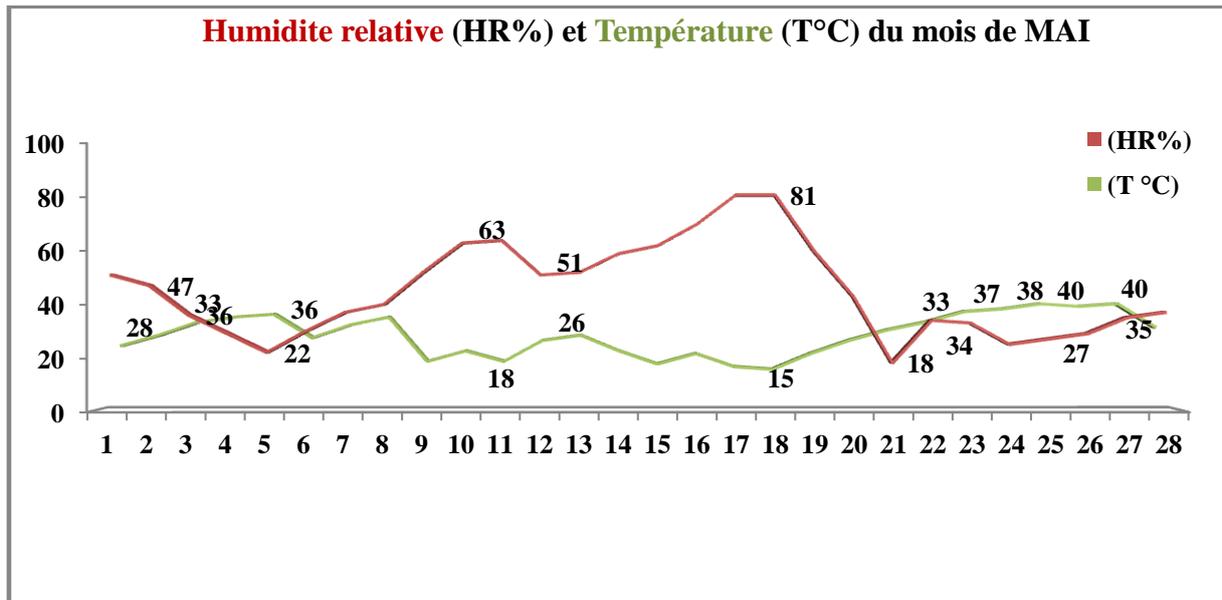


Figure 55 : l'humidité et la température de mois de MAI dans la serre.

Conclusion générale

CONCLUSION

Notre travail consiste à cultiver de la tomate dans des différents substrats locaux (fibres de palmier dattier et pouzzolane) sous forme de mélanges. Le suivi continu de la culture, l'irrigation et l'utilisation de la solution nutritive nous a permis d'apporter les conclusions suivantes :

Les résultats des analyses statistiques montrent que l'espèce de la tomate utilisée peut atteindre une bonne croissance pour les 03 traitements.

L'utilisation des fibres de palmier dattier dans le mélange a permis d'améliorer la capacité de rétention (le taux d'humidité peut aller jusqu'à 40%).

L'utilisation de la pouzzolane dans le mélange a permis d'améliorer l'aération. Sa densité apparente est de 0.60 g/cm³, selon **YEAGER, 1995** la densité apparente recommandé en culture hors sol varié entre 0.19-0.70 g/cm³.

Le potentiel d'hydrogène pH et la conductivité électrique EC de drainage sont les critères les plus sensibles à étudiés pour suivre la croissance des plantes et trouver la meilleur combinaison entre le substrat, la solution nutritive et la plante. Les mesures de pH et EC montrent qu'il y a une stabilité dans les valeurs après fertilisation pendant plusieurs jours, mais devient difficile de les contrôler à cause des changements climatiques (température et humidité), et parfois à cause de la solution d'irrigation (eau de robinet et la solution nutritive) qui cause une salinité, alors il faut toujours bassiner.

La solution nutritive (NPK 13-13-13 et les oligo-éléments) est utilisée pour calibrer les valeurs de pH et EC, faire pousser la partie racinaire et aérienne. La solution S1 (70%) et la solution S3 (130%) ont données des bons résultats chimiquement et morphologiquement.

D'après les fréquences des résultats obtenues, surtout coté morphologique, on a trouvé que la meilleur croissance aérienne et racinaire pour nos plantes (volume, longueur aérienne et racinaire, matière sèche, rendement et calibre des fruits) est très remarquable pour le troisième traitement T3 (30% pouzzolane, 30% fibres de palmier dattier et 40% terre végétale) sauf le poids des fruits (TR présente des poids élevées). Les propriétés chimiques de ce traitement sont appréciables, son pH et EC de drainage se trouvent dans les domaines conseillés de culture hors sol au début de culture, après fertilisation et après bassinage.

Morphologiquement aussi, les plantes de ce traitement étaient les premiers qui ont fleuri et qui ont commencées à donner des fruits.

Donc, comme résultat global, notre traitement T3 peut être utilisée dans la culture hors sol comme remplaçant du terreau commercial importé et qui coute chère dans le marché.

Comme perspective, nous suggérons l'élargissement de notre culture hors sol, en utilisons d'autres substrats locaux.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques:

1. **Agrisys juin 2015**, production de la tomate de serre au Québec. 05-08 et 48p.
2. **Anonyme 01**: https://caldor.fr/cultures/tomates/img_0778-2/.
3. **Anonyme 03,2018**, régulation du pH et EC, <https://cultivateur-en-herbe.com/regulation-ph-et-ec/>.
4. **Anonyme02**:<https://www.agriculture-xprt.com/products/ngs-hydroponic-recirculating-system-590190>.
5. **Belbachir M, 2017**. Production de fourrage par techniques hydroponiques. Cas de l'orge à Sidi mdjahed, commune de beni bousaid. Univ Tlemcen.
6. **BENDIFF.A 2016**, Étude comparative de différents substrats pour la production de tomate hors sol, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
7. **Blanc, d, 1987** : - Les cultures hors sol. ED. INRA. Paris. 03-11 à 47p.
8. **Blancard, D. et al. 1992**. Phénomène de perte de racines en culture hors sol, rôle des *Pythium* spp. PHM. Revue Horticole 329 : 35-45p.
9. **Chio.J.M et Latigui.A 2008**, effect of various magnesium concentrations of the quantity of chlorophyll of 4 varieties of strawberry plants (*fragaria ananassa*) cultivated in inert media, J.AGRON 7,244-250p.
10. **Chouard P et Renaud V.**, 1961. Mise au point de cultures hydroponiques au Sahara : premiers résultats obtenus CR. Acad. AGR. Fr., 47p :922-1013.
11. **Cirad** : (organisme, France Ministère des affaires et rangées, Cirad, centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement France, et **Gret**, groupe de recherche et d'échanges technologiques, ministère des affaires étrangères) ,2002. Mémento de l'agronomie, (éd).Quae .1045-1046p.
12. **Claud.V et Gilbert.B 1999**, les techniques de culture en multi cellules, éd les presses de l'université LAVAL, 135p.
13. **Cronquist 1981**, An ante graded system of classification of following plant. Calambia University. 1256.
14. **DAG 2018**, fiche technique : la tomate-*solanum lycopersicum* L, page 8.
15. Développement, génétique et amélioration. ED, Lavoisier, 75-78p.
16. **Fogliani V 25 Août 2016**, Culture hors-sol Perfectionnement 1 Solutions nutritives et irrigation, CFPPA sud. 24 à 30p.

- 17. Gallai A. et Banneront, 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. INRA Editions.
- 18. Gilberto 2013:** <http://hydroponie.fr/nutrient-film-technique-systems/>.
- 19. Haddad A 2017/2018,** thèse « étude d'un système de protection biologique préventive intégrée contre les ravageurs des cultures sous serres dans la région de BISKRA », 24p.
- 20. Hamid Reza Roosta, [Iman Rezaei](#) ; 2013;** Effect of Nutrient Solution pH on the Vegetative and Reproductive Growth and Physiological Characteristics of Rose Cv. 'Grand Gala' in Hydroponic System, [Journal of Plant Nutrition](#) 37(13).
- 21. Hannah J 2006,** bonnes pratiques de culture en pépinière forestière, world of agroforestry, ,32p.
- 22. Heather 2018:**<https://www.google.com/amp/s/www.igrow.news/igrownnews/whats-the-difference-hydroponics-vs-aquaponics-vs-aeroponics-1%3fformat=amp>.
- 23. Karine.C mai 2008,** contribution à l'étude de composition unidirectionnels renforcés par des fibres de lin: relation entre la microstructure de la fibre et ses propriétés mécaniques, thèse doctorat, chimie des matériaux, UNIVERSITE DE CAEN/BASSE-NORMANDIE.
- 24. Latigui.A 1984,** Effets des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée. Thèse de magister. INA El-Harrach.
- 25. Latigui.A 1992,** étude de l'incidence de la fertilisation de l'aubergine et de la tomate cultivées hors-sol sur le potentiel biotique de *Macrosiphum euhorbiae* THOMAS:(Homoptera : Aphididae)
- 26. Latigui.A,Zerarka.A,Kasmi.A,Mettai.K et OUFIA.B 2011,**the effect of agricultural byproduct of olive tree on horticultural substrate of strawberry (*fragaria ananassa*) grown in soilless crop system, American journal of plant physiology vol 6,83-90p.
- 27. Laure 1994,** La tomate en révolution permanente, n°78-janvier-février-mars, France, 13p.
- 28. Lemaire.F 1989 :** Cultures en pots et en conteneurs. ED. INRA. Paris. 184p.
- 29. Maillard.P et Bonhomme.R 1998,** fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales, éd PARIS, 266p.

30. **Masri.T, Houdayfa.O, Adel.B, Lakhdar.S juin 2019**, effect of lignin on the mechanical properties of a composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes, *Tecnica Italiana* 63(2-4), 393-396p.
31. **Maxwell K., 1986.** Soil (hydroponie) culture: the past present and future, an Australian viewpoint. *Soilless culture*, vol.2, n1. 29-34.
32. **Morard ,1995 :-** les cultures végétales hors sol .ED, Lavoisier, 208p.
33. **Munro et Small 1998**, Les légumes du Canada .NRC Research Press.
34. **PNTTA 1999**, transfert de technologie en agriculture N° 57.juin 1999, page 01 et 2.
35. **Raviv M. et Lieth J.H., 2008.** Signification of soilless culture in agriculture. ED. *Soilless Culture: theory and practice*. Elsevier, Amsterdam, p1-11.
36. **Richard B et Laurent M, 2003**, la rose sous serre pour la fleur coupée, 7^{ème} ed INRA paris, 7p.
37. **Rousselon.M.H 1863**, le jardinier pratique ou guide des amateurs, éd ET.SAUSSET PARIS, 80p.
38. **Sedik.M et Mimouni.A 1995**, effets de substrats locaux sur TOMATE en culture hors sol. Ed INRA de sous Sahara MAROC, p16.
39. **Shankara.N, Joep.V, Marja.G, Martin.H, Barbara, V 2005**, la culture de la tomate 5^{ème} éd, fondation agromisa et CTA, wageningen, 9 et 73 p.
40. **Tarek.D, Mabrouk.H, Daniel.S, Youcef.D et Belhi.G 2018**, caractérisation physique et mécanique du bois et des fibres issus d'une palme mûre de palmier dattier, *matériaux et techniques*, 106-403p.
41. **Thiault. J.F ; 2004** : La maîtrise de la culture hors sol. *Bulletin Détail*, n° 215. ED. CTIFL. ISSN 0758-4334.
42. **Thybaud B2015**, impact et analyse technico-économique de différentes conduites climatiques en tomate hors sol sous serre. *Sciences agricoles*, , Dumas-01206422.
43. **Timm.L.C, Pires.L.F, Roveratti.R, Clayton.R et Arthur.J et al 2006**, field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes, *SCI AGRIC* 63, 55-64p.
44. **Urban L., 2010.** La production sous serre tome 2 l'irrigation fertilisante en culture hors sol. Paris, 73-80 et 233p.
45. **Urban, L, 1997** : Introduction à la production sous serre (L'irrigation fertilisante en culture hors sol). ED. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210 p.

- 46. Valérie .P 2015**, irrigation substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée, LAVAL (Québec, canada), 9-10p.
- 47. William T., (2015).**- L'Hydroponie pour tous - Les dix clés de l'horticulture à la maison - Mini édition Broché.
- 48. Wim voogt, C. Sonneveld; 2017.** Zn availability in nutrient solutions for cucumber (Cucumis sativus L.) in hydroponics as affected by Fe-chelates and pH, ISHS Acta Horticulturae, 1176p.
- 49. Yeager.T.H 1995**, the woody ornamentalist,container substrate physical properties enviromental horticulture departement,university of florida vol 20,no.1.
- 50. Yves C et Marcel C 1989**, les oligo-éléments en agriculture et élevage, Ed INRA PARIS, P73.
- 51. Yves D et la collaboration d'ALAIN SAURY 1979**,12 fruits et légumes fondamentaux, thérapeutiques naturelles (cure verte : 1^{er} partie), paris, 28p.
- 52. 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.

Annexes



Annexe 01 : les 03 traitements (melanges).



Annexe 02 : plants de tomate.



Annexe 03 :plants de tomate juste apres
plantation.



annexe 04 :plantes de tomate.



Annexe 05 :fleurisation de tomate.



Annexe 06 :fruit de tomate avant fertilisation



Annexe 07 :fruit de tomate apres fertilisation.



Annexe 08 : la tomate lorsque la maturation.



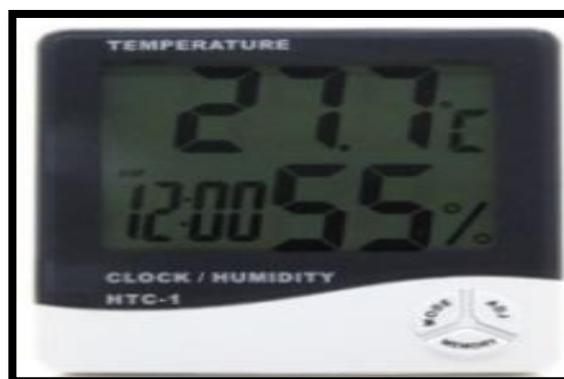
Annexe 09 :la tomate après maturation.



Annexe 10 : conductimètre de la serre.



Annexe 11 : pH mètre de la serre.



Annexe 12 : thermo-hygromètre.



Annexe 13 : les substrats dans l'étuve .



Annexe 14 :les substrats apres etuvage.

Mélange n°01					
volume d'eau apporté VA (ml)	volume d'eau drainé VD (ml)	Pourcentage VD/VA (%)	Pots analysées	EC (mS/cm)	pH
500	175	35	Pot n° 4	1.60	7.59
			Pot n° 5	2.02	7.83
			Pot n° 7	1.20	8.10
			Pot n° 9	1.81	7.49
			Pot n° 10	1.37	7.69
Mélange n°02					
volume d'eau apporté VA (ml)	volume d'eau drainé VD (ml)	Pourcentage VD/VA (%)	Pots analysées	EC (mS/cm)	pH
700	225	32	Pot n° 4	1.98	7.70
			Pot n° 5	1.98	7.75
			Pot n° 7	1.91	7.70
			Pot n° 9	1.85	7.75
			Pot n° 10	1.93	7.71
Mélange n°03					
volume d'eau apporté VA (ml)	volume d'eau drainé VD (ml)	Pourcentage VD/VA (%)	Pots analysées	EC (mS/cm)	pH
500	200	40	Pot n° 4	1.89	7.77
			Pot n° 5	1.38	7.72
			Pot n° 7	1.96	7.73
			Pot n° 9	1.86	7.76
			Pot n° 10	1.88	7.78
Terreau					
volume d'eau apporté VA (ml)	volume d'eau drainé VD (ml)	Pourcentage VD/VA (%)	Pots analysées	EC (mS/cm)	pH
500	150	30	Pot n° 4	7.04	3.15
			Pot n° 5	7.00	2.86
			Pot n° 7	6.89	2.09
			Pot n° 9	6.88	1.94
			Pot n° 10	6.79	2.35

Annexe 15:mesures EC et pH avant fertilisation.

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	84,00	89,00	102,00	87,00	100,00
T1S2	95,00	89,00	88,00	94,00	93,00
T1S3	88,00	88,00	86,00	88,00	87,00
T2S1	75,00	90,00	92,00	77,00	80,00
T2S2	80,00	89,00	85,00	87,00	82,00
T2S3	103,00	92,00	82,00	100,00	85,00
T3S1	81,00	90,00	96,00	83,00	92,00
T3S2	92,00	90,00	88,00	91,00	89,00
T3S3	94,00	91,00	84,00	87,00	93,00
TRS1	103,00	109,00	118,00	107,00	115,00
TRS2	116,00	118,00	113,00	117,00	115,00
TRS3	116,00	113,00	110,00	112,00	115,00

Annexe 16 : Longueurs des plantes apres fertilisation.

jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
(HR%)	51	47	36	29	22	30	37	40	52	63	64	51	52	59	62	70	81	81	60	43	18	34	33	25	27	29	35	37
(T°C)	24	28	33	35	36	27	32	35	18	22	18	26	28	22	17	21	16	15	21	26	30	33	37	38	40	39	40	31

Annexe 17 : température et humidité de mois MAI.

T1S1	T1S2	T1S3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	TRS1	TRS2	TRS3
6,34	6,37	6,79	5,93	6,52	6,85	5,88	5,99	6,15	6,00	6,32	6,47
6,30	6,32	6,72	5,96	6,47	6,81	5,83	6,04	6,11	5,97	6,40	6,51
6,41	6,43	6,80	5,91	6,56	6,88	5,92	5,96	6,17	6,03	6,25	6,53
6,33	6,35	6,76	5,94	6,49	6,83	5,90	5,98	6,13	5,99	6,28	6,49
6,38	6,41	6,78	5,95	6,53	6,84	5,87	6,00	6,12	6,01	6,30	6,47

Annexe 18 : pH de drainage après fertilisation.

T1S1	T1S2	T1S3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	TRS1	TRS2	TRS3
2,00	2,20	2,80	2,10	2,20	2,90	2,60	2,70	2,80	2,50	2,60	2,90
1,90	2,30	2,70	2,20	2,30	2,80	2,70	2,80	2,80	2,60	2,50	2,80
2,00	2,30	2,70	2,00	2,20	2,90	2,60	2,80	2,90	2,60	2,70	2,90
1,90	2,20	2,80	2,00	2,20	2,90	2,70	2,70	2,90	2,50	2,50	2,90
2,00	2,30	2,70	2,10	2,30	2,80	2,60	2,70	2,80	2,60	2,60	2,80

Annexe 19 : EC de drainage après fertilisation.

The screenshot shows the ELLISTAT software interface. The main window displays a statistical analysis table with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Nom	T1S1	T1S2	T1S3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	TRS1	TRS2	TRS3			
2	38,00	31,00	28,00	24,00	36,00	51,00	40,00	30,00	52,00	22,00	27,00	30,00			
3	37,00	31,00	29,00	25,00	35,00	50,00	39,00	31,00	49,00	23,00	26,00	29,00			
4	39,00	32,00	29,00	24,00	37,00	49,00	42,00	32,00	50,00	22,00	28,00	31,00			
5	38,00	32,00	28,00	25,00	37,00	50,00	41,00	31,00	51,00	23,00	27,00	30,00			
6	37,00	31,00	28,00	24,00	36,00	51,00	39,00	30,00	52,00	22,00	26,00	31,00			

The interface also shows a summary table with the following data:

	25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nb	25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Moy	31,64	31,4	28,4	24,4	36,2	50,2	40,2	30,8	50,8	22,4	26,8	30,2		
Med	31	31	28	24	36	50	40	31	51	22	27	30		
Sigma	5,073	0,5477	0,5477	0,5477	0,8367	0,8367	1,304	0,8367	1,304	0,5477	0,8367	0,8367		
Var	25,74	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	1,7	0,7	1,7	0,3	0,7	0,7		
Min	24	31	28	24	35	49	39	30	49	22	26	29		

Annexe 20 : ELLISTAT.

Résumé

Dans notre étude, nous avons essayé d'évaluer l'effet des matériaux locaux (pouzzolane, fibres de palmier dattier et terre végétale) utilisées comme des substrats horticoles, sous forme des traitements (mélanges) sur la croissance de la tomate, et les comparer les résultats avec le terreau commercial (témoin). Aussi de trouver la meilleure solution d'irrigation. Les méthodes suivis, les analyses physico-chimiques et morphologiques ainsi que la récolte montrent que ces traitements ont un effet positive sur la croissance de tomate, surtout le 3^{eme} traitement (30% pouzzolane, 30% fibres de palmier et 40% terre végétale) qui donne parfois des résultats mieux que le terreau (morphologiquement).

Mots clés : hors sol, pouzzolane, fibres de palmiers dattier, substrat, tomate, terre végétale, analyses

ملخص

في دراستنا هذه حاولنا تقييم تأثير مواد محلية (بوزولان، ألياف النخيل و التربة الزراعية) المستعملة كركائز زراعية على شكل معالجات (خليط) على نمو الطماطم، و مقارنته بالتربة التجارية، و أيضا إيجاد أفضل محلول سقي مغذي. الطرق المتبعة، التحاليل الفيزيائية و الكيميائية و المورفولوجية و الجني أظهرت أن لهذه الخلائط تأثير ايجابي على نمو الطماطم، خصوصا الخليط الثالث (30% بوزولان، 30% ألياف النخيل و 40% تربة زراعية) الذي أعطى نتائج أفضل أحيانا من التربة التجارية (مورفولوجيا).

كلمات مفتاحية : خارج التربة، بوزولان، ألياف النخيل، ركيزة، طماطم، تربة زراعية، تحاليل.

Abstract

In our study we tried evaluate the effect of the local materials (pozzolana, palm tree fibers and vegetable soil) used as horticultural substrates in the form of treatments (mixes) on tomato growth, and compares them with commercial soil (witness), and finds the perfect irrigation solution. the ways that we used, the physic-chemical analysis and the harvest showed that the treatments used has a positive effect on tomato growth, specially the third treatment (30% pozzolana, 30% palm tree fibers, 40% vegetable soil) that give results sometimes better than commercial soil (morphological).

Key words: soilless, pozzolana, palm tree fibers, horticultural substrate, tomato. Topsoil, analysis