



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun–Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de 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 (D04)

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Sciences du sol

Présenté par :

- BECHAR Kamar
- SADOU Soltana
- SADOK Souad

Thème

**Effet de la pouzzolane et les fibres de palmier dattier
(*Phoenix dactylifera*) sur le substrat horticole du
poivron (*Capsicum annuum*) cultivée hors sol**

Soutenu publiquement le 30/09/2020

Jury:

Président: M. ACEM K.

Encadrant: M. METTAI K.

Co-encadrant : M. LATIGUI A.

Examineur 1: Mme CHAHBAR S.

Examineur 2:

Invité:

Grade

M.C.A

M.A.A

Professeur

M.C.B

Année universitaire : 2019-2020

Remerciements

En premier lieu, nous remercions **ALLAH** le tout Puissant pour nous avoir accordé le courage, la force et la patience de mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions de tous nos cœurs nos parents qui nous avons soutenus et qui continueront à nous soutenir dans tous les projets que nous entreprendrons.

Mes remerciements vont également à notre promoteur M. **METTAI Kamel**, qui nous a toujours accueilli à bras ouverts et à tout moment, de nous avoir assisté le long de la réalisation du travail, qu'il trouve ici nos sincères gratitude et nos profondes reconnaissances pour tous les efforts qui ont été déployés dans ce sujet, ainsi que de sa compréhension et sa patience.

Nous remercions Monsieur Co-promoteur M. **LATIGUI Ahmed**. Pour leur présence, ainsi que pour son soutiens et les informations qui il nous a données tout au long de notre travail.

Nous profitons aussi de cette occasion solennelle pour adresser nos remerciements à toute **nos familles** qui nous ont toujours encouragés et soutenu tout au long des années de notre étude.

Nous remercions enfin tous ceux qui n'ont pas été cités dans ces quelques lignes et qui ont contribué de près ou de loin par leur aide au bon déroulement de ce travail.

*Que nos vifs remerciements aillent à M. **ACEM Kamel** qui nous a fait l'honneur de **présider** ce travail, et Mme **CHACHBAR Safia** pour avoir accepté d'**examiner** ce mémoire.*

*Un grand merci à Mme **BOUCHNAFA Nadia** chef de spécialité de sciences du sol pour son aide précieux.*

Nous tenons, donc, à remercier tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, nous ont aidé pendant notre étude de fin de cycle. Certains par leurs conseils et leurs connaissances scientifiques, d'autres par leurs présences dans les moments les plus pénibles.

Dédicace

Louange à ALLAH Tout-Puissant, qui m'a permis de terminer ce mémoire.

Je dédie ce travail à ma deuxième mère et mon soutien dans cette vie ma sœur **Bechar Zineb** que j'apprécie et que je la respecte fortement.

À mon cher père, merci.

À mes précieuses sœurs qui m'ont accompagné toute ma vie **Fadila – Houaria – Soria – Torkia** et **Hadjira**.

A mes petits frères et proches **Ahmed – Tayeb - Abir – Mustafa - Khada – Bachir - Mohamed – Amina – Zineb Frh - Kadi – Nasro – Imad - Doaa – Anfal – Fadwa** et **Dalel**

Aux maris de mes sœurs **Djilali – Kada – Ahmed – Mustafa** et **mokhtar**.

À mon cousin **Insaf**.

Merci à tous, appréciation et respect.

Kamar

Dédicace

Je dédie modeste travail à mes très chers parents à qui je ne **pourrais jamais valoriser leurs sacrifice surtout ma mère et mon père et mon Marie**

Je le dédié aussi à mes frère < **Omar - Mohamed** >.
Mes sœurs **Ghaniya, Aïcha, Nesrine, Hadjira, khadidja et kholoud.**

Mes Amis proches **Soltana, Kamar, Rachida** et **Imen.**

A tous mes **professeurs** et mes **enseignants** qui ont enseigné des la premier année primaire jusqu'à la fin de mon cursus.

A tous **mes amis et mes collègues de ma petite promotion forêt et ma grande promotion 5 années agronomie 2015- 2020**

Souad

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, qui est le fruit récolté après tant d'années d'efforts:

A mes très chers parents, qui m'ont soutenu & encouragé tout le long de mes études. Eux qui m'ont toujours apporté leur soutien moral et matériel depuis que j'ai connu le premier banc de l'école, jusqu'à la chaise de l'Université

Je le dédie aussi à Mes frères « **Aissa et Mohamed** », et à **mes sœurs djamila ,karima, khaldia et Nadia, Youcra**
A mes amis **Souad, kamar, Rachida et Imen ...**

A celle qui m'a soutenu tout le long du parcours
A tous mes collègues.

SOLTANA

Liste des abréviations

A : Argile.

C/N : rapport carbone/azote.

CA : Calcaire actif.

CE : conductivité électrique.

CT : Calcaire totale.

HNO₃ : acide nitrique.

HR : humidité relative

Lf: Limon fin.

Lg : Limon grossier.

MO : Matière organique.

MS : matière sèche.

MSR : matière sèche racinaire.

N.F.T : Nutriment Film Technique

pH : potentiel d'hydrogène.

Sf : Sable fin.

Sg : Sable grossier.

TH : Taux d'humidité.

TR : terreau commercial.

VSA : volume de la solution d'apport.

VSD : volume de la solution de drainage.

LR : Longueur des racines

VR : Volume des racines

LP : Longueur des plantes

PF : Poids des fruits

DA : Densité apparente

PD : Pourcentage de drainage

HR : humidité relative

Liste des figures

Figure n° 01: NFT (Nutriment Film Technique).....	08
Figure n° 02: Système Aeroponique.....	08
Figure n° 03: Système Aero-hydroponie.....	09
Figure n° 04 : EC de la culture sur terre et hors sol.....	11
Figure n° 05: Absorption des elements nutritifs en fonction du ph.....	12
Figure n° 06 : Le terreau.....	14
Figure n° 07 : Fibre de coco.....	15
Figure n° 08 : Tourbe brune.....	16
Figure n° 09: Pouzzolane.....	17
Figure n° 10: Sable.....	17
Figure n° 11 : Terre vegetals.....	18
Figure n° 12 : Argile expanse	19
Figure n° 13: Vermiculite.....	19
Figure n° 14: Vue generale de la plante du poivron dans une Abri-serre (originale 2020).....	28
Figure n° 15: Constituants du poivron (feuille-fleur-fruit et tige du poivron (originale 2020).....	29
Figure n° 16 : Couleurs dengrais 13-13-13 (vert clair),oligo elements (marron fonce) et melange (marrono clair).....	37
Figure n° 17 : Abri-serre utilise dans notre experiance (SNV Univer de Tiaret).....	42
Figure n° 18 : Pots utilisee (forme et profondeur)remplis du gravier (1cm en dessous).....	42
Figure n° 19 : Plants de poivrons avant et apres transfer aux pots a partir des Alveoles.....	43
Figure n° 20 : Pouzzolane noir dans son etat pur.....	44
Figure n° 21 : Terre vegetale noir.....	45
Figure n° 22 : Fibres Palmier dattier utilisee.....	46
Figure n° 23 : pH metre et conductivite metre.....	47
Figure n° 24: Organigramme globale de l'etude realisee (Poivron).....	47
Figure n° 25: Eprouvettes pour mesurer les volumes des racines	52
Figure n° 26 : Position exacte des pots de Poivron dans la serre.....	53
Figure n° 27: Taux dhumidite (%) des traitements.....	55
Figure n°28 : Matiere seche (%) des traitements.....	56
Figure n° 29 : Densite apparente des traitements.....	57
Figure n° 30 : Pourcentage de drinage (VSD/VSA%).....	57
Figure n° 31: EC de drinage avant fertilisation (20 jours apres plantation).....	58
Figure n° 32: EC de drinage (3 jours avant fertilisatio).....	59
Figure n° 33: Plante du poivron avant fertilisation.....	59
Figure n° 34: pH (20 jours apres plantation).....	60
Figure n° 35: pH (3 jours avant fertilisation).....	60
Figure n° 36: EC de drinage au debut de fertilisation.....	61
Figure n° 37: EC apres 15 jours de fertilisation.....	62
Figure n° 38: pH de drinage avant bassinage.....	62
Figure n° 39: Plante du poivron apres fertilisation.....	63
Figure n° 40: Longueur des racines en cm.....	64

Figure n° 41: Volume des racines.....	64
Figure n° 42: De gauche à droite ,racines du poivron.....	65
Figure n° 43: Matière sèche des racines.....	66
Figure n° 44: Longueur des racines en cm.....	66
Figure n° 45: Poids des fruits matures.....	67
Figure n° 46: Meilleur fruit en fonction du traitement et solution.....	67
Figure n° 47: De gauche à droite,meilleures plantes.....	68
Figure n° 48: Température dans la serre 15h du soir (mois mai).....	69
Figure n° 49: Humidité relative dans la serre à 15h du soir (mois mai).....	70

Liste des tableaux

Tableau n° 01: Classement des pays producteurs de poivron dans le monde (FAO, 2016).....	26
Tableau n° 02: Superficies et rendements du poivron sous serre en Algérie (2003-2013) (FAO, 2015).....	27
Tableau n°3 : Quelques maladies cryptogamiques du poivron (ONTARIO, 2009).....	31
Tableau n°4 : Quelques maladies bactériennes du poivron (ONTARIO, 2009).....	32
Tableau n°5: Exemples de maladies virales du poivron (ONTARIO, 2009).....	32
Tableau n° 06: Concentration des Oligo- éléments en g/l.....	38
Tableau n° 07: Concentration des Oligo- éléments en g/l.....	38
Tableau n° 08: Concentration de la macro éléments dans un volume 270 litres (3 bidons).....	39
Tableau n° 09: Résultats de déférentes analyses effectuées selon les nommes et la plus grande valeur.....	71

Remerciements	
Dédicace	
Dédicace	
Dédicace	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre I : Cultures hors sol

1. Généralité	5
2. L'intérêt des cultures hors sol.....	5
3. But de la culture hors sol	6
4. Espèces cultivées en hors sol:.....	6
4.1 Systèmes de culture hors sol.....	7
4.1.1. En plein champ (dans le sol)	7
4.1.2. Hors sol.....	7
4.1.3 Milieu hydrique (absence de substrat).....	7
4.1.4 Milieu solide en présence d'un substrat	9
5. Substrats de culture hors sol	10
5.1 Définition.....	10
5.2 Les matériaux et les mélanges	10
6. Propriétés du substrat en culture hors sol	10
6.1 Propriétés physiques des substrats.....	10
6.2 Propriétés chimiques des substrats	11
7. Propriétés biologiques des substrats	12
8. Eléments utilisés comme substrat.....	12
9. Classification des substrats.....	13
9.1 Selon RIVIERE et NICOLAS	13
9.2 Selon l'origine.....	13
9.2.1 Matériaux organiques naturels	14
9.2.2 Matériaux de nature minéral.....	16
9.2.3 Matériaux minéraux artificiels ou traités.....	18
10. Rôles du substrat.....	20
11. Avantages et Inconvénients du substrat	20
11.1 Avantage en cultures hors sol.....	20
11.2 Inconvénients et contraintes des cultures hors sol.....	20

Chapitre II : Caractéristiques des Cultures hors sol

1. Propriétés physiques	22
1.1 Porosité:	22
1.2 Rétention d'eau:.....	22
1.3 Teneur en air :.....	22
2. Propriétés chimiques	22
2.1 pH	22
2.2 Conductivité électrique (EC ou CE).....	22
3. Propriétés biologiques	23
3.1 Réaction de biodégradation	23
3.2 Rapport C/N.....	23
4 Propriétés Morphologiques	23
4.1 Racine	23
4.1.1 Types des racines.....	23
4.2. Tige.....	24
4.3 La feuille.....	24
4.4 Fleur.....	24

Chapitre III : Culture du poivron

1. Historique	26
2. Importance économique de la culture du poivron	26
2.1. Dans le monde	26
2.2. En Algérie.....	27
3. Classification de Cronquist du poivron	28
4. Caractères physiologiques et botanique du poivron.....	28
4.1 Système racinaire.....	29
4.2 La tige	29
4.3 Les feuilles.....	29
4.4 Les fleurs	29
4.5 Les semences	29
4.6 Les fruits	29
5. Exigences climatiques et édaphiques du poivron.....	30
5.1. Température.....	30
5.2 Lumière.....	30
5.3 Humidité	30
5.4 Sol.....	30
5.5 pH	30
5.6 Besoins en eau et fertilisation.....	30

6. Les maladies du poivron.....	31
6.1 Cryptogamiques.....	31
6.2. Bactériennes	32
6.3 Les maladies virales	32

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

1. Objectif du travail.....	36
2. La solution nutritive	36
2.1 Description	36
3. Matériels utilisés.....	39
3.1. La serre	39
3.2. Les pots.....	40
4. Matériel végétal	40
5. Les substrats	41
5.1 Pouzzolane.....	41
5.2 La terre végétale	42
5.3 Le terreau commercial	43
5.4 Fibre de palmier dattier	44
6. Matériel de laboratoire utilisé pour l'analyse de substrats.....	44
6.1 Méthode de mesure du pH.....	46
6.2 Mesure de la conductivité.....	46
7. Protocole expérimental.....	46
7.1 Préparation des substrats	46
7.2 Mise en pot de substrats et plantation.....	48
7.3 Irrigation des plants	48
7.4 Paramètres étudiés	48
7.4.1 Propriétés chimiques	48
7.4.2 Propriétés physiques.....	49
7.4.3 Paramètres morphologiques	49
7.5 Mesure de la température et l'humidité.....	50

Chapitre II : Résultats & Discussion

1. Caractéristiques physico-chimiques des traitements.....	53
1.1 Caractéristiques physiques	53
1.1.1 Taux d'humidité et Matière sèche des traitements	53
1.1.3 Pourcentage de drainage (VSD/VSA %)	55

2. Caractéristiques chimiques des substrats	56
2.1 Conductivité électrique (EC) et pH de drainage.....	56
2.1.1 EC de drainage avant la fertilisation	56
2.1.2 pH de drainage avant fertilisation.....	57
2.1.3 EC de drainage après fertilisation.....	59
3. Etude Morphologique du poivron (plante et fruits).....	61
3.1 Système racinaire.....	61
3.1.1 Longueur des racines	61
3.1.2 Volume des racines.....	62
3.1.3 Matière sèche racinaire	63
3.2 Système aérien.....	64
3.2.1 Longueur des plantes	64
3.2.2 Poids des fruits	65
4. Température et Humidité dans la serre.....	66
Conclusion générale.....	70
Références bibliographiques.....	72
Annexes.....	76
Résumé.....	85

Introduction

Introduction

Les cultures hors sol sont des technologies modernes utilisées aujourd'hui en fournissant aux plantes un grand soutien et un réservoir de nutriments et d'eau. Cette technique permet de gérer l'entretien de la terre : volume, écoulement des drainages, désinfections. C'est l'unique solution lorsque le sol naturel souffre de contraintes incorrigibles (terrain rocailleux, hydromorphes, salés,...), alors que tous les autres facteurs (climat, disponibilité et qualité de l'eau, proximité et prix du marché,...) sont favorables. L'idée de cultiver hors du sol apparaît au cours de recherches sur le rôle de l'eau, de l'air et de chacun des constituants du sol dans la fertilisation des plantes (**JONES, 1987 ; STANLY, 1988**).

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

La recherche des substrats à propriétés physiques adéquates et à un prix relativement abordable ou même gratuit nous a amené à nous orienter d'utiliser des substrats largement disponibles en Algérie : les fibres palmier ramener de la région de Tolga (Biskra) et de la pouzzolane d'origine Béni Saf de Ain temouchent.

Notre travail donc, consiste à étudier ce nouveau type de culture hors sol et voir quelques paramètres physico-chimiques qui donnent un aperçu sur l'absorption des éléments nutritifs (engrais et oligo-éléments) et le développement des plantes. On a choisi trois mélanges différents plus le témoin (terreau) en utilisant chaque fois un pourcentage différent : fibre palmier, pouzzolane et terre végétale.

Au cours de la culture, on a essayé de voir la relation entre la fertigation (fertilisation) et la variation de ces paramètres physico-chimiques et morphologiques (Taux d'humidité, densité apparente, pourcentage de drainage, pH, CE, longueur des plantes et racines, matière sèche et fraîche, volume racinaire, poids des fruitsetc).

On basant sur d'autres travaux, on a essayé encore de trouver la ou les meilleures combinaisons : solution nutritive -substrat – espèce cultivé qui donne la meilleure culture et croissance de nos plantes et par conséquent une très bonne assimilation de la solution nutritive (engrais + acide + eau).

Introduction

Ce modeste travail est devisé en deux grandes parties. La première a été consacrée à une recherche bibliographique détaillée. Celle-ci est divisée en trois chapitres à savoir les cultures hors sol et ses différents systèmes, les substrats horticoles et ses différents types. Un deuxième chapitre sur les caractéristiques des cultures hors sol

Dans le troisième, nous avons étudié *le Poivron*, sa morphologie, physiologie et sa culture sous serre.

Une deuxième partie devisée en deux chapitres, le Protocol expérimental et résultats et discussion. Nous avons essayé d'interpréter l'ensemble des résultats des différents substrats d'une manière statistique en basant sur le système racinaire du poivron. Enfin, une conclusion générale.(ANONYME,1999).

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre I : Cultures hors sol

1. Généralité

Les cultures hors-sol, culture sans sol, culture sans terre, se définissent comme étant un moyen artificiel fournissant aux plantes un soutien et un réservoir pour les nutriments et l'eau. Au fil des ans cette technique a été utilisée dans le monde entier comme un moyen commercial de production de plants pour l'alimentation. Elles permettent de maîtriser les quantités d'eau et le nutriment destinés aux plantes.

Elles nous évitent, également le problème de la salinité et d'accumulation de parasites et de maladies (**Burrages, 1999**).

2. L'intérêt des cultures hors sol

La culture hors sol est une voie possible pour la production des plantes indemne de maladie est un outil puissant de multiplication qui maintien la plante dans un état excellent avec un entretien de culture et de récolte.

Elle a comme un autre avantage la suppression des problèmes liés au sol (travail du sol, rotation, fatigue du sol...). Elle nécessite la maîtrise de l'acclimatation, une meilleure gestion des créneaux de production comme elle améliore la productivité par l'augmentation de plants /unité de surface.

Historique:

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

Plus près de nous, on s'est rendu compte que la répétition de même culture dans un sol, favorisait le développement de parasites du sol, dont on ne pouvait plus se débarrasser par des moyens chimiques (pesticides) ou biologiques, on a alors pensé au remplacement du sol par des substrats voisins, le plus souvent organique (tourbes ou terreau) (**THIAV LT, 2004**).

Enfin, et avec le temps et la technologie, les cultures hors sol se sont développées par ce que les performances agronomiques obtenues étaient supérieures aux performances des cultures traditionnelles en sol (**ROBIN, 1998**)

- la réduction du milieu racinaire associé à l'irrigation localisée
- possibilité de mieux maîtriser la température des racines
- la souplesse et la mobilité des systèmes proposées permettent une meilleure maîtrise des facteurs de production.

Aujourd'hui; on peut dire que c'est ce dernier critère de performance agronomique qui a conduit les producteurs à se convertir vers ces cultures hors sol.

Au sens du mot exact, la culture hors sol est la culture dans un milieu racinaire qui n'est pas le sol naturel, mais un milieu reconstitué. On parle souvent de culture sur substrats, car ce milieu reconstitué repose souvent sur l'utilisation d'un matériau physique stable (le substrat), parfois d'origine industrielle et parfois d'origine naturelle (**SNOUSSI ,1980**).

Il existe cependant des cas de cultures hors sol n'utilisant pas ces substrats, mais directement sur un film d'eau (hydroponique) ou par pulvérisation des racines.

3. But de la culture hors sol

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

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

- ❖ Eviter la fatigue rapide du sol de terre à cause des attaques parasitaires avec prolifération des nématodes et des champignons.
- ❖ Elle offre la possibilité d'implanter des serres à des endroits où l'énergie est meilleure.
- ❖ Elles permettent de contrôler très précisément l'environnement racinaire assurant une production en quantité et qualité.

4. Espèces cultivées en hors sol:

➤ Cultures légumières

Sous serres pratiquement, toutes les plantes peuvent être conduites en culture hors sol, mais sont principalement concernées les cultures légumières, la tomate suivie de la fraise, du concombre, du poivron et de l'aubergine.

Maintenant, on cultive sous serre du melon, la courgette et la framboise.

4.1 Systèmes de culture hors sol

4.1.1. En plein champ (dans le sol)

- Différentes types de sol adaptés à chaque culture
- Travail au niveau du sol
- Soumis aux aléas climatiques
- Gestion de l'eau très aléatoire suivant le type de sol
- Adapter la nutrition à la culture et au sol

4.1.2. Hors sol

- Milieu neutre reconstitué sans ou avec du sol
- Ergonomie de travail
- Limiter les effets de climat
- Economie d'eau, d'engrais, temps....
- Les éléments nutritifs sont transmis directement à la plante avec précision
- Rendement très important.

4.1.3 Milieu hydrique (absence de substrat)

a) Hydroponique ou NFT (Nutriment Film Technique : Technique de culture sur film technique)

Les racines développent dans une lamelle d'eau courante.

NFT: a été développé en Grande-Bretagne où il a subi une récession liée à celle des cultures sous abri dans ce pays.

On le trouve en Bretagne sur 50ha.

Il a été peu développé ailleurs en raison de la forte exigence en sécurité du système et souvent à cause de la salinité d'eau de départ. Les volumes en circulation d'eau sont de l'ordre de 50 m³/heure/hectare (figure 1) (**MORARD, 1995**).



Figure 1 : NFT (Nutriment Film Technique)

b) Aéroponique

Les racines sont maintenues dans l'air alimenté par une solution nutritive en utilisant des pulvérisateurs réguliers

Il consiste à pulvériser la solution nutritive en contenu sur les racines suspendues dans une gouttière rigide obscure.

L'inconvénient majeur est la nécessité de pulvériser sous pression et de façon permanente la solution nutritive (couts, entretien) (BAVIV et LITH, 2008)

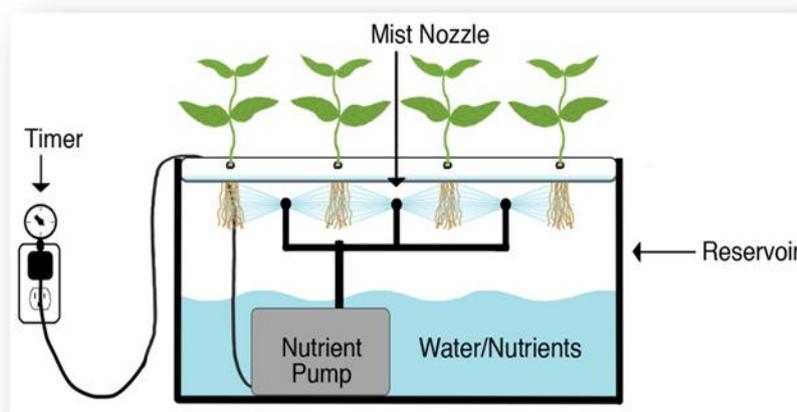


Figure 2 : Système Aéroponique

c) Aéro-hydroponie

Association des deux précédents techniques. Le système s'est développé récemment en Espagne. Cette technologie consiste à faire circuler la solution dans 4 feuilles de film plastique. L'eau passant d'un étage a l'autre par gravité (la gouttière est en légère pente)

L'alimentation des plantes se fait par goutte à goutte quasi contenu (figure 3) (ADILIMITED,1982 et SOFFER,1985).

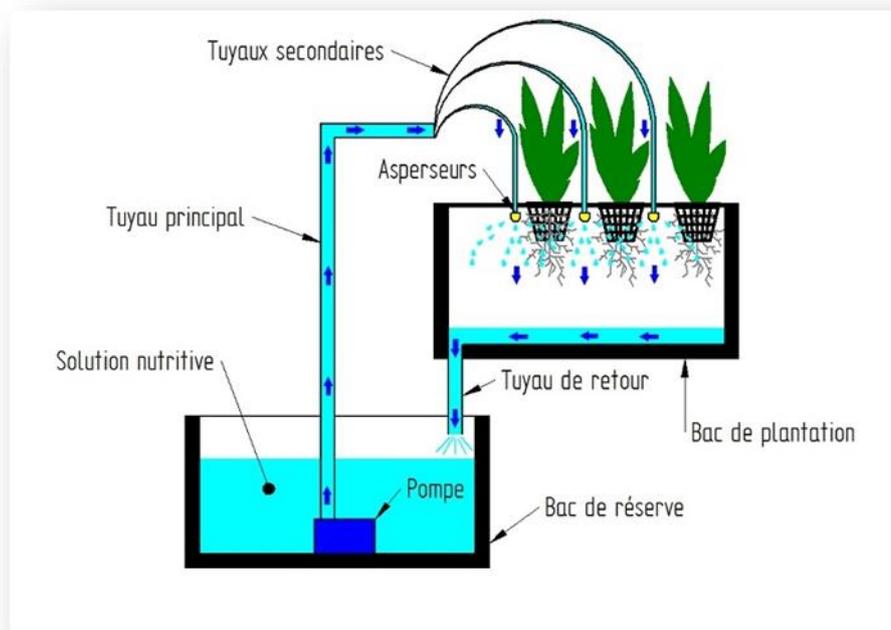


Figure 3 : Système Aéro-hydroponie

4.1.4 Milieu solide en présence d'un substrat

a) d'origine minérale

Naturels (extraits) : gravières, sables, pouzzolane

Manufactures : l'aime de roche, l'aime de vente, argile expansée, vermiculite, perlite.

b) D'origine organique

Naturel : tourbe – terreau – fibre

c) Synthétique

Matériaux plastique expansés, mousse de polyuréthane

5. Substrats de culture hors sol

5.1 Définition

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel placé en conteneur pur ou en mélange, permet l'encrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle de support. (**MORARAD ,1995**)

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

5.2 Les matériaux et les mélanges

En culture hors sol, une multitude est disponible afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique ou organique .Le substrat de culture est généralement un mélange de plusieurs de ces composés en proportion précises, afin de lui conférer des propriétés optimales de culture. (**CHARLES ,1994**)

Le choix des composés intégrés dans le mélange dépend de plusieurs facteurs, comme la rétention d'eau, l'aération, la masse le cout, la disponibilité.

Comme composés de nature inorganique, on trouve le sable, le tuf (roche volcanique) la pierre ponce, la perlite, la vermiculite, les granulés d'argile expansée, la zéolite et laine de roche, les fibres, les écorces et les sciures de bois, la tourbe, la fibre de coco (**Maher al 2008**)

Finalement, il existe des composés organiques synthétiques, comme le polyuréthane, les polystyrènes et le polyester (**PAPADOPOULES et al.2008**).

6. Propriétés du substrat en culture hors sol

6.1 Propriétés physiques des substrats

En culture hors sol, le choix des substrats est une étape très importante, car la gestion de la culture et la réussite de l'ensemble dépendant fortement de ses propriétés physique celles-ci sont notamment modulées par le diamètre des particules de substrats et leur arrangement. (**BLANC, 1987**)

La connaissance des proportions de particules fines grossières contenues dans chaque mélange des substrats permet de mieux comprendre plusieurs de ses propriétés, comme rétention en eau, sa porosité et son aération (**Wallach, 2008**). De plus, la mesure de la

répartition des particules en début de culture et à la fin de celle-ci donne indice de la stabilité du substrat dans le temps.

6.2 Propriétés chimiques des substrats

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

La **conductivité électrique** (CE) mesure les ions conducteurs d'une solution et peut être mesurés d'une solution extraite du substrat (en utilisant un conductimètre) ou évaluée directement dans le substrat (sonde : TDR)

Cette conductivité électrique (salinité) est fortement influencée par l'ajout de fertilisants et peut être dommageable pour les plantes si elle devient trop élevée (**Urban, 1997**).

En culture hors sol, la fertilisation est généralement intégrée à l'eau d'irrigation. La figure 4 montre le domaine idéal en fonction d'EC de la culture dans le sol (sur terre) et hors sol (**VITRE, 2003**).

Semaine	Culture sur TERRE		Culture HIDROPONIQUE	
	Croissance (18h ON / 6h OFF)	Floraison (12h ON / 12h OFF)	Croissance (18h ON / 6h OFF)	Floraison (12h ON / 12h OFF)
1	0.8 - 0.9		0.7 - 0.8	
2	0.9 - 1.0		0.8 - 1.0	
3	1.1 - 1.2		1.1 - 1.3	
1		1.2 - 1.3		1.3 - 1.4
2		1.4 - 1.5		1.4 - 1.5
3		1.5 - 1.6		1.5 - 1.6
4		1.6 - 1.8		1.7 - 1.8
5		1.8 - 1.9		1.9 - 2.0
6		1.9 - 2.0		2.0 - 2.2
7		1.4		0.0 - 0.4
8		0		0.0 - 0.4

Figure 4 : EC de la culture sur terre et hors sol

De plus, il est suggérée de maintenir un lessivage journalier de 20% et un écart maximale du pH et de la CE de 20% entre la solution d'irrigation et de lessivage (**Guerineau et al.2003**)

Le **pH** influence la disponibilité d'absorption de certains éléments par la plante, pour la culture hors sol, le pH idéal est de 5.8 (**Guerimeau et al.2003**), regarder la figure 5.

Les matériaux utilisés dans la composition des substrats de culture ont tous des pH différents qui ne correspondant pas toujours aux valeurs cibles pour les cultures hors sol. Est pour quoi il est important d'ajuster le pH d'un avant son utilisation.

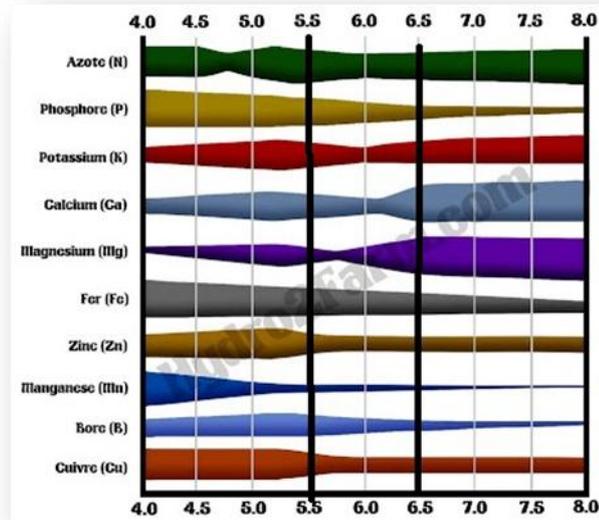


Figure 5 : Absorption des éléments nutritifs en fonction du pH

7. Propriétés biologiques des substrats

Les substrats de culture de nature organique sont souvent propices au développement de microorganismes et leur population varie selon le type de substrat et le mode de culture (ex: circuit ouvert ou fermé) (Martinez et al.2013)

De plus, les microorganismes ont généralement la capacité de dégrader les substrats organiques, par les processus de minéralisation et humification.

Pour évaluer la bio stabilité d'un substrat, plusieurs techniques peuvent être employées, comme la détermination du rapport carbone/azote (C/N) par exemple, le calcul de l'index de bio stabilité et le dosage de la cellulose et lignine (Lenaire 1999).

8. Éléments utilisés comme substrat

Parmi les éléments utilisés comme substrat, on a :

La Terre Végétale, Terreau, Sable, Tourbe, Pouzzolane, Perlite, Vermiculite, Argile expansée et Zéolite.

9. Classification des substrats

Il existe plusieurs méthodes de classement des substrats horticoles.

9.1 Selon RIVIERE et NICOLAS

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

Type 1 : substrats aérés à forte disponibilité en eau

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

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

Ce sont des substrats qui requièrent des irrigations fréquentes (pour éviter les dessèchements) avec des volumes unitaires par arrosages faibles (pour éviter l'asphyxie racinaire) comme les tourbes par exemple (LEMAIRE et al., 1989).

Type 3 : substrats très aérés à faibles disponibilité en eau

Il s'agit de matériaux à structure grossière, dont la porosité fine est négligeable. La quantité d'eau retenue est très faible. On trouve dans cette catégorie la perlite, la pouzzolane, les gravés, mais aussi des substrats organiques comme les écorces grossières ou peu compostées. Ces substrats doivent être arrosés fréquemment avec des volumes d'eau unitaire par arrosages faibles (URBAN,1997).

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

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

9.2 Selon l'origine

Ils sont classés selon l'origine naturelle (minérale ou organique) ou industrielle.

9.2.1 Matériaux organiques naturels

a) le Terreau

Le terreau apporte des composants organiques au substrat. Il est très riche en matières nutritives.

Le terreau (figure 6) est un mélange complexe de diverses matières organiques, il est obtenu par la composition de matières végétales, notamment les feuilles des arbres tombées à l'automne. Sa couleur est foncée. Généralement, il est destiné à tout type de plantes. Le terreau n'est pas toujours facile de s'en procurer dans le commerce, car sous cette appellation se trouvent souvent des mélanges à base de tourbes (compost et tourbe). Il est riche en micro-organismes, mais il peut être l'origine de plusieurs maladies à base des champignons. On peut l'utiliser comme un substrat de culture en ajoutant régulièrement de l'engrais pour compenser le manque d'éléments nutritifs) (**Yann Cochard al, 2001**)



Figure 6 : Le terreau

b) Fibre de coco

La fibre de coco ou coir est le nom donné à la matière fibreuse. C'est une fibre végétale, naturelle qui entoure et protège la noix de coco (figure 7).

À l'extérieur de la noix, sous une enveloppe lisse, de couleur vert clair ou orange lorsque le fruit n'est pas mûr, tirant sur le brun à maturité, une épaisse couche de fibres ligneuses — le mésocarpe fibreux — entoure la noix et forme une coque sphérique protégeant l'amande blanchâtre comestible. Elle assure aussi la flottabilité aux noix qui tombent dans l'eau, leur permettant d'aller se déposer sur des rivages lointains, pour la reproduction de l'espèce (**RAVIV et al ,2008**).

La coque de la noix de coco contient environ 75% des fibres dont 25% de fibres fines .Depuis la fin des années 1980 ce matériau est utilisé comme un milieu de culture horticole. La plupart du coco utilisé est exportée à partir du Sri Linka, Vietnam (**Raviv al, 2008**).

Lorsque les niveaux de sodium, des chlorures et du potassium sont élevées dans la fibre de coco, ces éléments doivent être lessivés à partir du substrat avant qu'il puisse être utilisée en tant que substrats de culture. Le milieu de croissance qui en résulte est en suite séché et composée sous forme de briques ou en blocs pour faciliter la mise en culture et l'exportation sur de longues distances (**Callcins al, 1997**)



Figure 7 : Fibre de coco

c) Tourbe : (Blonde/Brune)

La tourbe est constituée de matière organique mal dégradée, qui provient de l'accumulation sur de longues périodes (des certaines meilleures d'années) de résidus végétaux morts dans un environnement toujours humide. Sa principale caractéristique est d'être très difficile à mouler lorsqu'elle est sèche (figure 8). Séchée, elle donne un combustible brun qui chauffe moins que le bois et le charbon. Elle est aussi pauvre en matière nutritive

On a 3 types de tourbe (**Jobin et al, 2014**) :

La tourbe blonde, la plus jeune, est peu décomposée (entre 3000 et 4000 ans) et présente une texture fibreuse. Appréciée en horticulture et en jardinage, elle contient très peu de minéraux

et dispose d'une faible densité. Par contre, elle possède une importante capacité de rétention d'eau.

La tourbe brune dont la décomposition peut aller jusqu'à 5000 ans. Brune, profite d'une texture moins fibreuse et offre une quantité relativement importante d'éléments minéraux. Elle a l'avantage d'afficher également un pH neutre.

La tourbe noire qui est la plus vieille offre une matière riche en particules organiques et minérales. Sa décomposition est complète puisqu'elle peut durer jusqu'à 12000 ans. Son action prolongée dans le sol fait sa principale force. La tourbe noire sert dans les applications liées au traitement de l'eau comme le charbon actif tout en restant très prisée dans le milieu du jardinage (MORARD,1995).



Figure 8 : Tourbe brune

9.2.2 Matériaux de nature minéral

a) Pouzzolane

La pouzzolane (figure 9) est une roche volcanique obtenue après refroidissement de cendres projetées lors des éruptions. Constituée essentiellement de silice, d'alumine et d'oxydes de fer, la pouzzolane est chimiquement inerte, présente par une capacité d'échange très faible. Selon le % d'oxyde de fer dans sa composition, on peut avoir deux couleurs différentes (rouge ou noir)

Les pouzzolanes ont un pH proche de la neutralité (pH=7). Ce matériau se caractérise par une faible rétention en eau, mais une très bonne stabilité structurale qui lui assure une grande durabilité.



Figure 9 : Pouzzolane

b) Sable

Les sables proviennent de broyage des roches (granite, basalte, calcaires durs) où sont extraits de sédiments de rivières. En cultures hors sol, on peut utiliser les sables grossiers, après élimination de sables fins et des graviers. Ce matériau est caractérisé par une bonne porosité et une excellente stabilité structurale. Par contre, sa capacité de rétention en eau est faible. Enfin, ce sont des matériaux à forte densité et leur capacité d'échange est nulle (figure 10).



Figure 10 : Sable

c) Terre végétale

Souvent considérée comme l'élément de base de n'importe quelle culture, il s'agit là de la terre de jardin "toute simple", aussi appelée terre végétale. Toutes les terres ne conviennent pas : sauf pour créer un substrat spécifique, on évite les terres trop argileuses (dites terres à blé) ou les terres calcaires et on privilégie une terre argilo-siliceuse dite terre maraîchère.

En général, il est préférable de l'alléger, par exemple en la mélangeant avec de la perlite ou un autre élément léger. Vous pouvez vous en procurer n'importe où : dans le jardin, en culture hors sol...etc (figure 11)



Figure 11 : Terre végétale

9.2.3 Matériaux minéraux artificiels ou traités

Il existe plusieurs, on cite ici 2 exemples, l'argile expansée et la vermiculite

a) Argile expansée

Produite de la même manière que la vermiculite, mais à partir d'un autre silicate, une argile fibreuse. L'argile expansée est vendue sous forme de sphère de diamètre variable et il faut souvent réduire au marteau celle que l'on trouve facilement dans le commerce



Figure 12 : Argile expansée

b) Vermiculite

La vermiculite expansée (figure 13) est un silicate d'alumine et de magnésie. Elle est d'origine naturelle, mais produite par chauffage à des températures telles que le matériau ne fond pas mais se dilate. La vermiculite est une sorte de “mica” expansé et se décompose facilement en feuillet. Ce matériau est très bien pour alléger un substrat, pour lui donner une consistance moins compacte. Il vieillit néanmoins assez rapidement et se tasse, il sera donc avantageusement utilisé pour des plantes souvent rempotées (semis, plantes à croissance rapide, etc.



Figure 13 : Vermiculite

10. Rôles du substrat

- Remplace la terre.
- Ne nourrit pas la plante.
- Aération suffisante des racines.
- Capacité à retenir l'eau.
- Substrat inerte.

11. Avantages et Inconvénients du substrat

11.1 Avantage en cultures hors sol

Selon (URBAN 2010), témoigne que les cultures hors sol ont connu un développement considérable dans ces deux dernières décades, dans les pays de l'Europe du nord, Grande Bretagne, pays bas et Allemagne ensuite partout dans le monde, et il distingue deux causes: L'affranchissement des sols contaminés et la meilleure performance agronomique des cultures hors sol.

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

- Elimination des problèmes liés au sol
- Economie d'eau et d'engrais minéraux.
- Simplification des techniques culturales.
- Produit de meilleure qualité.
- Augmentation de rendement.
- Meilleure productivités de la plante

11.2 Inconvénients et contraintes des cultures hors sol

- Coût d'installation et d'entretien élevé.
- Contraintes liées à l'irrigation et à la fertilisation.
- La limitation du système racinaire
- Le renouvellement fréquent de la solution fertilisante
- Le niveau élevé des compétences et connaissances requises.

Chapitre II :

Caractéristiques des

Cultures hors sol

1. Propriétés physiques

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

1.1 Porosité:

Tous les substrats sont poreux, comportant en leur cavités des « vides » dans les quels se trouvent des fluides (liquide, gaz) (**BLANC, 1987**).

1.2 Rétention d'eau:

il est essentiel de caractériser la quantité d'eau retenue et sa disponibilité dans le substrat, celles-ci jouant un rôle essentiel dans la capacité d'alimentation en eau des plantes et dans la stratégie d'irrigation (**URBAN, 1997**).

1.3 Teneur en air :

Cette teneur est égale à la différence entre la porosité totale et la teneur en eau et inversement (**URBAN,**

2. Priorités chimiques

2.1 pH

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

Les solutions acides ont un pH inférieur à 7, les solutions basiques ont un pH Supérieur à 7 et les solutions neutres ont un pH égal à 7

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

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

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

- a- Les plantes « acidophiles » sont des espèces qui se développent de préférence en milieu acide (pH optimum compris entre 3,5 et 5)
- b- 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 Conductivité électrique (EC ou CE)

La conductivité électrique est la mesure dans la solution du substrat de la concentration totale en engrais (salinité de la solution). Plus la solution est salée en engrais, plus la conductivité mesurée électriquement est grande. Normalement, on conduit l'irrigation

fertilisante en adoptant une conductivité moyenne, propre à chaque espèce cultivée, permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritives au niveau des racines (VITRE, 2003).

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

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

3. Propriétés biologiques

3.1 Réaction de biodégradation

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

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

3.2 Rapport C/N

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

4 Propriétés Morphologiques

4.1 Racine

Géotropisme positif répondant ainsi à la gravité et fuit la lumière par un phototropisme négatif. Elle n'est pas chlorophyllienne et ne porte ni feuilles, ni bourgeons. Les principales fonctions des racines sont de maintenir la plante dans le sol et d'absorber l'eau et les sels minéraux. Elles ont un rôle dans le système conducteur d'une plante puisque les éléments nutritifs vont des racines à la tige puis aux feuilles. Cette morphologie de la racine se complique quand la plante se développe. Elle se ramifie et devient pivotante, fasciculée ou tubéreuse.

4.1.1 Types des racines

a- Racine pivotante : caractérisée par une racine principale très développée (pivot) par rapport aux racines secondaires (ex : dicotylédone). Ce type de racine pénètre profondément dans le sol et fixe solidement la plante.

b- Racine fasciculée : caractérisée par de nombreuses racines de la même importance, très ramifiée et dont on ne distingue pas la racine principale (ex : monocotylédone). Ce système racinaire permet à la plante de disposer d'une grande surface de contact avec l'eau et les minéraux et de s'ancrer solidement.

- c- **Racine tubérisée** : c'est une racine considérée comme un organe de réserve, son rôle principale est de stocker les réserves nutritives d'une plante (ex : betterave, radis...).
- La plante utilise ses réserves lorsqu'elle fleurit et produit des fruits.

4.2.Tige

C'est l'organe principal de la photosynthèse, de la respiration et de la transpiration des plantes ; à son niveau se font les échanges entre le végétal et l'atmosphère. La feuille est formée d'un limbe (lame verte au rôle assimilateur) plus ou moins large parcourue par des nervures, et d'un pétiole étroit le rattachant à la tige, la feuille est dite sessile quand elle est dépourvue de pétiole, embrassante quand sa base se prolonge en oreillettes de part et d'autre de la tige. La feuille peut être aussi munie d'excroissances de forme variée appelée stipules. La feuille se distingue de la tige et de la racine en ce qu'elle est toujours bilatérale dans sa morphologie et dans son anatomie (une partie droite et une gauche, une face supérieure et une face inférieure).

Les feuilles peuvent être classées en deux grandes catégories, simples ou composées

a- Feuille simple : constituée d'un seul limbe entier, on observe un bourgeon à la base du pétiole. La feuille simple peut être linéaire, spatulée, lancéolée, ovale, arrondie, dentée plus ou moins profondément, crénelé ou lisse...etc.

b- Feuille composée : constituée de plusieurs folioles c'est-à-dire elle est découpée en plusieurs petites feuilles, on n'observe pas de bourgeons à la base de ces folioles, le bourgeon se trouve à la base du pétiole.

4.3 La feuille

C'est l'organe principal de la photosynthèse, de la respiration et la transpiration des plantes ; à son niveau se font les échanges entre le végétal et l'atmosphère.

La feuille est formée d'un limbe (lame verte au rôle assimilateur) plus ou moins large par des nervures par des nervures, et d'un pétiole étroit le rattachant à la tige, la feuille est dite sessile quand elle est dépourvue de pétiole, embarrassante quand sa base se prolonge en oreillettes de part et d'autre de la tige.

Les feuilles peuvent être classées en deux grandes catégories, simples ou composées

a- Feuille simple : constituée d'un seul limbe entier, on observe un bourgeon à la base du pétiole. La feuille simple peut être linéaire, spatulée, lancéolée, ovale, arrondie, dentée plus ou moins profondément, crénelé ou lisse...etc.

b- Feuille composée : constituée de plusieurs folioles c'est-à-dire elle est découpée en plusieurs petites feuilles, on n'observe pas de bourgeons à la base de ces folioles, le bourgeon se trouve à la base du pétiole.

4.4 Fleur

Une fleur est un ensemble des organes assurant la reproduction des Angiospermes. Une fleur est constituée d'un axe prenant naissance à l'aisselle d'une feuille. La partie inférieure de cet axe représente le pédoncule de la fleur dont l'extrémité plus ou moins renflée constitue le réceptacle florale à la base duquel peut s'insérer une bractée. Sur ce réceptacle sont insérées les différentes pièces florales. Une fleur peut être hermaphrodite et contenir à la fois organes mâles (étamines) et femelles (carpelles), ou seulement mâles ou femelles (fleur unisexuée ; fleur mâle ou femelle).

Chapitre III : Culture du poivron

1. Historique

Le "poivron" est l'appellation française du piment doux à gros fruit. Il vaut mieux employer le terme "piment" qui lui englobe à la fois les piments à fruits doux et les piments à fruits petits et à saveur plus ou moins brûlante.

Le piment appartient à la grande famille d'origine tropicale des Solanacées qui comprend également la tomate, la pomme de terre, le tabac. Le piment (*Capsicum annuum*), est l'espèce la plus importante sur le plan économique et sa culture s'est développée en premier dans la zone centrale du continent sud-américain qui correspond à la Bolivie actuelle : il s'agit d'une zone de transition entre le climat tempéré et le climat subtropical (**Polese et Devaux, 2007**), non soumise aux gelées et relativement sèche. Il fut introduit en Europe à la fin du 15^e siècle et au début du 16^e siècle par les Conquistadors (**Pochard et al., 1992**).

Avec l'évolution des grandes voies commerciales entre les divers continents, le poivron s'est diffusé dans le monde entier, de l'Afrique à l'Océanie et à l'Asie, considéré comme le second centre de diffusion.

2. Importance économique de la culture du poivron

A cause de l'importance de la culture du poivron avec ses variétés et couleurs et son rôle dans les industries alimentaires de transformation. Plusieurs pays ont investi dans ce domaine. Des millions de tonnes sont produits chaque année avec un rendement parfois élevé dans chaque mètre cube.

2.1. Dans le monde

Environ 24 millions de tonnes de poivron frais sont produites dans le monde dont près de la moitié en Asie ; ils sont également cultivés en Amérique du Nord et Centrale (Tableau). Alors que l'Afrique est dominante pour la production de piments piquants, dont le Nigeria est le premier producteur (**Marchoux et al., 2008**).

Tableau 01 : Classement des pays producteurs du poivron dans le monde (**FAO, 2016**)

N°	Pays	Production(Tonnes)	Rendement (kg/m ²)
01	Chine	17 435 000	2,32
02	Mexique	2 737 000	1,61
03	Turquie	2 457 820	2,76
04	Indonésie	1 961 000	0,75
05	Espagne	1 082 690	6,07

Au niveau mondial, c'est la première fois de l'histoire que la production de poivrons dépasse les 34 millions de tonnes. Selon les données de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (**FAO, 2016**), le record de production mondiale de

poivron a été atteint en 2016 avec 34 497 460 T. Au total, dans le monde, 1 938 788 ha sont consacrés à cette culture ce qui induit un rendement de 1,78 kg/m². Pour l'Espagne, une forte productivité de 6,07 kg/m² pour l'Espagne, qui a le 2^{ème} meilleur rendement, et 4,28 kg/m² pour le Maroc qui est en 6^{ème} position en matière de rendement.

2.2. En Algérie

En Algérie, selon le tableau (02), la superficie et le rendement du poivron sous serre ont évolués surtout à partir de 2006. Huit ans, le rendement à passé de 130560.79 (Tonnes/Ha) en 2006 à 215504.29 (Tonnes/Ha) en 2013 avec une surface de 22388 Ha (FAO, 2016).

Tableau 02 : Superficies et rendements du poivron sous serre en Algérie (2006-2013)
(FAO, 2015)

Année	Surface (Ha)	Rendement (Tonnes/Ha)
2006	21131	130560.79
2007	20663	129727.05
2008	20403	137429.30
2009	21417	148923.29
2010	21688	175402.07
2011	21272	180644.51
2012	22605	188704.27
2013	22388	215504.29

3. Classification de Cronquist du poivron

Arthur John Cronquist est connu pour avoir été le principal responsable de la classification de Cronquist, une classification classique des plantes à fleurs, en 1968 et. La taxonomie du poivron (*Capsicum annum*) est la suivante :

Règne : <i>Plantae</i>
Division : <i>Magnoliophyta</i>
Classe : <i>Magnoliopsida</i>
Ordre : <i>Solanales</i>
Famille : <i>Solanaceae</i>
Genre : <i>Capsicum</i>
Espèce : <i>Capsicum annum</i> ; <i>Linnaean (1753)</i>

4. Caractères physiologiques et botanique du poivron

La plante de poivron se cultive dans nos climats comme une plante herbacée annuelle bien qu'elle puisse repousser et produire plusieurs années dans les zones tropicales.

Comparativement à la tomate, le poivron est exigeant sur les plans agronomique et climatique, bien que certains types à petites fruits soient très rustiques et s'adaptent aux conditions plus extrêmes. Le poivron est plus sensible à l'humidité du sol que la tomate et moins tolérant à la salinité.

Le poivron préfère des sols profonds, riches en matière organique, bien aérés, perméables et irrigables. Il n'est pas particulièrement sensible à l'acidité du sol et s'adapte bien aux pH compris entre 5,6 et 7,8. La figure () représente la plante du poivron dans une abri-serre dans le stade de floraison et fructification



Figure 14: Vue générale de la plante du poivron dans une Abri-serre (Originale, 2020)

4.1 Système racinaire

Le système racinaire du poivron est pivotant. Les racines robustes ont tendance à se développer latéralement dans un rayon allant jusqu'à 0.50 m. (**Chaux et Foury, 1994**).

4.2 La tige

Elle est herbacée en haut, suivant les variétés et les conditions de culture, la croissance peut être déterminée ou indéterminée ; La plante atteint plus de 50 cm de haut en général (**Boualem M et al, 2014**).

4.3 Les feuilles

Les feuilles lancéolées de couleur verte, brillante, se terminant en pointe, sont d'un vert brillant. Ce caractère est fortement lié à la variété. Il existe une corrélation entre la taille des fruits et celle des feuilles. Ainsi les variétés à gros fruits portent normalement de grandes feuilles, longues et vis versa pour les fruits de petites tailles (**Kolev, 1976**).

4.4 Les fleurs

Les fleurs, nombreuses et petites, sont blanches, à pétales soudés et pointus, au nombre de 6 à 8. La grandeur de la fleur est l'un des critères de distinction des variétés (**Laumonier, 1979**).

4.5 Les semences

Elles sont réniformes, plates et de couleur jaune pâle. Un gramme compte environ entre 140 et 150 graines. Leur viabilité, c'est-à-dire leur faculté germinative peut être préservée à 50% pendant 3 ans, lorsqu'elles sont maintenues dans des conditions de faible humidité et de température et à l'abri de la lumière (**Chaux et Foury, 1994**).

4.6 Les fruits

Les fruits sont sous forme de baies dont la forme, couleur, et grosseur change avec la maturation et suivant les variétés du poivron, on peut trouver 3 couleurs distinctes : vert, jaune et rouge, volumineux ou peut volumineux (**Kolev, 1976**). La figure 15 montre les différents constituants du poivron



Figure 15 : Constituants du poivron (feuille, fleur, fruit et tige d'un poivron (**Originale, 2020**))

Le poivron « *Capsicum annuum* L. » est une solanée annuelle. Le cycle végétatif dépend des variétés, des températures aux différents stades végétatifs (germination, floraison, et maturation) et de l'intensité lumineuse (**Kolev, 1976**).

Grace a la durée de vie du poivron (surtout dans la serre), la première période de croissance est la plus sensible aux maladies, ainsi que pour les ravageurs, parce que les feuilles de la plante sont sensibles aux déférents facteurs pathogènes (**Kolev, 1976**).

5. Exigences climatiques et édaphiques du poivron

5.1. Température

Le poivron est l'une des plantes maraichères les plus exigeantes en températures, mais moins exigeante en ensoleillement que la tomate (**Skiredj et al., 2005**). Une température nocturne journalière de 24 °C est suffisante pour en développement convenable; pendant la nuit, la température diurne doit être aux environs de 17 °C. En dessous de 10 °C elle est arrêtée. Les températures supérieures à 35 °C réduisent et perturbent la fructification et la photosynthèse (**Chaux, 1976**).

5.2 Lumière

Selon **Pochard (1982)**, le poivron nécessite une très grande intensité de lumière pendant toute la végétation surtout pendant l'induction florale.

5.3 Humidité

De préférence, la culture du poivron est faite dans les régions et humides. L'humidité de l'air doit être comprise entre 60% et 70%. L'humidité faible même de courte durée, entraîne une couleur excessive des fleurs, et des accidents physiologiques sur le fruit. Le développement des fruits ne s'effectue pas en présence d'une humidité basse et d'une température élevée. (**Pochard, 1992**).

5.4 Sol

A cause de son système racinaire, le poivron demande des sols profonds bien drainés (**Laumonier, 1979**). D'autres comme **Williams et al., (1991)** estiment que l'espèce *Capsicum annuum* peut avoir une bonne croissance dans les sols sableuses. Par ailleurs, la culture du poivron fatigue rapidement le sol, elle est très exigeante en rotation de culture.

5.5 pH

Pour avoir une bonne croissance et rendement du poivron, Le pH du sol doit être compris entre 5.5 et 7, c'est à peu près le même domaine conseillé dans les cultures hors sol. L'irrigation dans les sols sableux est favorable à cette culture (**Wong J Y et Lin H, 2000**).

5.6 Besoins en eau et fertilisation

La culture du poivron nécessite des arrosages réguliers. Les besoins de la culture se situent aux environs de 40 cm pendant la période végétative et de 20 à 40 cm pendant la période de cueillette de fruits, soit 60 à 80 cm/cycle (**Skiredj et al., 2005**).

La fumure de fond recommandée dans la plupart des sols à richesse moyenne est un fumier décomposé de 40-50 T/ha (N : 100 kg/ha; P : 150 kg/ha et K : 120-150 kg/ha).

Selon (Skiredj et al., 2005), le poivron donne de bons résultats en présence d'un fumier bien décomposé. La fertilisation minérale est fractionnée en trois parties. Pendant le stade végétatif, pendant la floraison et enfin à la fructification.

6. Les maladies du poivron

Les poivrons verts ou de couleur peuvent être infectés par des maladies ou infestés par des parasites pendant toute la période de culture. Des traitements bio et de bonnes façons culturales en limiteront l'impact. Parmi ces maladies on cite trois types (Cryptogamiques, bactériennes et virales) selon les 3 tableaux en dessous

6.1 Cryptogamiques

Le sol est habité de façon permanente par de nombreux organismes. Pour les cultures maraichères, on rencontre plusieurs types de champignons responsables de maladies cryptogamiques (Tableau 03).

Tableau 03 : Quelques maladies cryptogamiques du poivron (ONTARIO, 2009)

Maladies	Agent responsable	Nature des dégâts
<p>Mildiou</p> 	<p><i>Phytophthora capsici</i></p>	<p>Nécrose brune bien délimitée au niveau du collet. Flétrissement brutal des plantes.</p>
<p>Oïdium</p> 	<p><i>Liveillataurica</i></p>	<p>Taches jaunâtres sur les feuilles, parfois couvert d'un feutrage blanc</p>
<p>Alternariose</p> 	<p><i>Alternariasolani</i></p>	<p>Taches noirs de taille variable, plus au moins arrondies et touches ovales sur les tiges</p>

6.2. Bactériennes

Tableau 4 : Quelques maladies bactériennes du poivron (ONTARIO, 2009)

Maladies	Agent responsable	Nature des dégâts
<p>Flétrissement Bactérien</p> 	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	Flétrissement irréversible d'abord puis généralisé. Brunissement des vaisseaux et tissus contigus
<p>Gale bactérienne</p> 	<i>Xanthomonasvisicatoria</i>	Apparition de petites taches noires sur les sépales, ces taches s'élargissent avec le temps
<p>Le chancre Bactérien</p> 	<i>Corynebacterium michiganense</i>	Flétrissement du fruit accompagné de chancres longitudinaux sur les tiges

6.3 Les maladies virales

Selon **Simon (1994)**, 40% des maladies à virus sont transmises par les insectes, dont le groupe le plus redoutable est celui des pucerons. La transmission se fait lors des piqûres de prise de nourriture.

Tableau 05: Exemples de maladies virales du poivron (ONTARIO, 2009)

Maladies	Agent responsable	Nature des dégâts
<p>Mosaïque du Concombre</p> 	<p>Virus de la Mosaïque du concombre (<i>CMV</i>)</p>	<p>Mosaïque en taches annulaires, en arabesque et marbrure</p>
<p>Mosaïque de la Luzerne</p> 	<p>Virus de la Mosaïque de la Luzerne (<i>AIMV</i>)</p>	<p>Production d'un nouveau feuillage et une forte mosaïque blanche et jaune</p>
<p>Mosaïque de la Pomme de terre</p> 	<p>Virus Y de la pomme de terre (<i>PVY</i>)</p>	<p>Mosaïque vert brillant parfois nécroses des nervures</p>

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

1. Objectif du travail

L'étude d'un nouveau substrat à base de fibre de palmier dattier, pouzzolane et terre végétale utilisés comme des mélanges dans la culture hors sol du poivron, nous a amené à penser d'élargir notre étude jusqu'à le stade de production.

L'objectif de notre travail donc consiste à trouver la meilleure combinaison entre la solution nutritive (engrais + acide + eau) – substrat – espèce cultivé et l'étude de plusieurs paramètres physico-chimiques et morphologiques des plantes et du sol (substrats) utilisés. Parmi ces paramètres : EC, pH, Racines (volume et longueur), longueur des plantes, poids des fruits et Matière sèche racinaire.

Pour tout cela nous avons choisi 3 substrats différents ainsi que le terreau

Un suivi quotidien d'humidité et température (après fertilisation : mois d'Avril et Mai) est fait chaque jour à 15H00 du soir. On a aussi préparé 3 solutions nutritives différentes pour enrichir la comparaison et les résultats.

Donc, enfin, on a essayé d'avoir la relation entre tous ces paramètres d'une manière statistique en utilisant le logiciel ELLISAT.

2. La solution nutritive

2.1 Description

La solution nutritive contient des macroéléments (azote, phosphore, soufre, potassium, calcium, magnésium) et des oligo-éléments (fer, manganèse, zinc, bore, cuivre, molybdène). Elle doit être préparée en tenant compte de la composition de l'eau du réseau, car les apports minéraux de cette dernière peuvent être importants et couvrir les besoins du végétal cultivé en sulfate, calcium et magnésium ou même excéder ceux-ci. La composition minérale de l'eau du réseau est liée à son origine (source, nappe...etc.) ; elle peut varier passablement, même en cours de saison.

Une eau ayant une salinité autour de 0,5 mS/cm peut être utilisée sans problème, par contre, si la salinité excède 1 mS/cm, l'eau devient inutilisable, en particulier pour le recyclage. Une salinité élevée de l'eau du réseau provoque l'accumulation d'éléments favorisant des déséquilibres nutritifs. La préparation de la solution nutritive se fait à partir des engrais solubles.

Pour composer une solution équilibrée, la quantité de chaque engrais doit être calculée avec précision.

La correction de pH est faite on ajoutant de l'acide nitrique (HNO₃) de concentration 65%. On a utilisé aussi l'eau de robinet et un engrais soluble commercial (Figure 16), sa couleur est verte (engrais 13-13-13) de marque Codafol et un autre de couleur marron foncé (oligo-éléments) de marque Codamix. La solution nutritive préparée a été corrigée avant chaque irrigation, parfois chaque un ou deux jours surtout dans les périodes chaudes.



Figure 16: Couleurs d'engrais 13-13-13 (vert clair), oligo-éléments (marron foncé) et mélange (marron clair)

Pour préparer un pH égale ou proche de 5,5, on a fais plusieurs essais. Le volume est presque 2 ml de HNO_3 pour chaque 10 litres d'eau dans la citerne ou les 3 bidons.

Après un mélange précis et une forte agitation, on laisse la solution au repos pendant plusieurs minutes et en mesure exactement le pH sur place dans la serre, de préférence la matinée.

Nous avons pensé aussi d'élargir notre étude et de préparer 3 solutions nutritives, une basse, moyenne et forte concentration et trouver l'influence de ces concentrations sur les résultats et paramètres étudiés. Chaque solution est préparée dans un grand bidon de 90 litres. Cette opération est faite plusieurs fois jusqu'à la fin de l'expérience. Chaque solution est préparée avec une quantité triplée (270 litres : 90 litres x 3)

- Les 3 concentrations sont : 70%, 100% et 130%
- Symboles abrégés : S1 (solution 1), S2 (solution 2), S3 (solution 3)

Nous avons fais aussi le calcul de la concentration des macros éléments dans chaque bidon en basant sur la composition de la bouteille. Le principe c'est que c'est une dilution avec l'eau de robinet pour avoir les 3 concentrations.

Pour les Macro-éléments (N, P, K), la bouteille pèse 1,27 kg pour chaque 1 litre. Nous avons fait les calculs pour les 3 éléments dans chaque réservoir (Tableau 6)

Tableau 06 : Concentration des Macro éléments dans un volume 270 litres (3 bidons)

Macroéléments	% p/p	% p/v = (% p/p x 1,27)	Concentration en g/l	Concentration de S1 : 70 %	Concentration de S2 : 100 %	Concentration de S3 : 130 %
Azote (N)	10,3	13,081	130,81 g /l	338,65 mg/l	484 mg/l	629,34 mg/l
Phosphore (P₂O₅)	10,3	13,081	130,81 g/l	338,65 mg/l	484 mg/l	629,34 mg/l
Potassium (K₂O)	10,3	13,081	130,81 g/l	338,65 mg/l	484 mg/l	629,34 mg/l

Tableau 07 : Concentration des oligo-éléments en g/l

oligo-éléments	% p/p (par rapport à 1kg)	% p/v (1litre ≡ 1,28 kg) On doit multiplier par 1,28 (on trouve des valeurs approximatives)	Concentration en g/l
Acides organiques (lignosulphonates)	0,26 %	0,33 %	3,3 g/l
Bore (B)	0,30 %	0,38 %	3,8 g/l
Cuivre (Cu)	0,12 %	0,15 %	1,5 g/l
Fer (Fe)	4,00 %	5,12 %	51,2 g/l
Manganèse (Mn)	2,00 %	2,56 %	25,6 g/l
Molybdène (Mo)	0,10 %	0,12 %	1,2 g/l
Zinc (Zn)	0,50 %	0,64 %	6,4 g/l

Le Tableau 8 présente la concentration des oligo-éléments dans chaque bidon pour les différentes concentrations (70, 100 et 130%)

Tableau 08: Concentration des oligo-éléments dans un volume 270 litres (3 réservoirs)

oligo-éléments	Concentration en (g/l) de la solution pure (mère)	Concentration de S1 : 70% (mg/l)	Concentration de S2 : 100% (mg/l)	Concentration de S3 : 130% (mg/l)
Acides organiques (lignosulphonates)	3,3 g/l	8,54	12,21	15,87
Bore (B)	3,8 g/l	9,83	14,06	18,28
Cuivre (Cu)	1,5 g/l	3,88	5,55	7,21
Fer (Fe)	51,2 g/l	132,55	189,44	246,32
Manganèse (Mn)	25,6 g/l	66,27	94,72	123,16
Molybdène (Mo)	1,2 g/l	3,10	4,44	5,77
Zinc (Zn)	6,4 g/l	16,56	23,68	30,79

La préparation de ces 3 solutions est faite directement avec un conductimètre, car on a trouvé une relation entre les % et EC (c'est plus facile)

Pour l'irrigation des plantes, on a tout simplement utilisé un grand récipient d'un volume 2 litres, gradués en ml pour contrôler les quantités apportés pour chaque plante.

La préparation de chaque solution nutritive démarre par l'ajout de l'acide nitrique, ensuite l'engrais en agitant et cela pour homogénéiser la solution et ne pas avoir une précipitation à la fin. Chaque fois, on doit régler les deux paramètres (EC et pH) par l'ajout d'une petite quantité de : H₂O, l'acide ou l'engrais

3. Matériels utilisés

3.1. La serre

La serre utilisée pour la réalisation de notre essai est située au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Tiaret. Elle est importée (origine : Espagne) et équipée d'un système d'aération (2 grand ventilateurs). La forme presque hémicylindrique, basé sur une armature en acier galvanisé croisé. Elle a pour dimensions 15 mètres de long. A deux mètres de hauteur, existe aussi un grand filet pour diminuer l'effet direct de soleil

La couverture est du polycarbonate transparent. Ce matériau résiste aux basses et hautes températures (-100 à 120 °C), d'une durabilité de 10 ans. L'orientation de la serre est

Nord-est. Le renouvellement de l'air est assuré une grande porte et deux grandes ventilateurs et par l'écartement entre les plaque plastiques en cas de fortes chaleurs (figure 2)



Figure 17: Abri-serre utilisé dans notre expérience (SNV, Univ. de Tiaret) (**originale ,2020**)

3.2. Les pots

Ce sont des pots en polyéthylène, de même couleur (marron). Le nombre des pots utilisés est de 40, le volume de chaque pot est 4,5 litres avec une profondeur de 20 cm et 4 trous en bas pour évacuer l'excès de l'irrigation et éviter l'asphyxie des racines. On a rempli chaque pot par une quantité égale de gravier fin pour diminuer la perte d'eau ou la solution nutritive (Figure 18)



Figure 18 : Pots utilisée (Forme et profondeur) remplis avec du gravier (1cm en dessous) (**originale ,2020**)

4. Matériel végétal

Le matériel végétal utilise dans notre expérimentation est le poivron; variété "hybride" allongée. Cette variété est à une bonne croissance, le fruit peut attendre plus tard une longueur

qui dépasse 20 cm de long et un poids variant entre 50 à 150 gr ou plus. Son calibre est homogène. La plante est caractérisée par une forte production surtout dans le mois de Mai.

Origine : Pépinière (Wilaya de Tipaza)

La figure 19 présente les plants dans des alvéoles prêts pour être transférés dans les pots



Figure 19 : Plants de poivrons avant et après Transfert aux pots à partir des Alvéoles (originale ,2020)

5. Les substrats

5.1 Pouzzolane

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

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

La granulométrie varie selon les gisements et pour chaque gisement selon la position dans le cône volcanique. La masse volumique apparente est comprise entre 400 et 1300 Kg/m³ selon les dimensions et selon les variétés de pouzzolane. Son pH est presque neutre et n'entraîne pas dans les cultures hydroponiques un changement du potentiel hydrogène

Sa granulométrie varie suivant les gisements et les techniques d'exploitation. Cependant, le calibre moyen fréquemment utilisé en horticulture est de 4 à 7 mm.

Sa porosité pour l'eau varie entre 7 et 13 % et celle pour l'air est de 60 %.

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

La pouzzolane offre pour les cultures hors sol les avantages d'un milieu très bien aéré, de grande stabilité et durabilité, chimiquement inerte, initialement exempt de pathogènes et ultérieurement facile à désinfecter, il peut être utilisé plusieurs années et facilement recyclable

Parmi les inconvénients en plus de la faible rétention d'eau, l'absence du pouvoir tampon qui peut être grave lorsque la solution nutritive est mal contrôlée.

Pour notre pouzzolane, nous l'avons ramené dans des grands sachets, il a été stocké dans l'INRAA DE la station de Sebaine (W. de Tiaret). Avant utilisation, nous l'avons écrasé et couper en petits morceaux de même taille.

Nom commercial : Pouzzolane

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

Origine : Ain Témouchent.

Couleur : Noir

Forme : Pierre de petits et grands calibres



Figure 20 : Pouzzolane noir dans son état pur (**originale ,2020**)

5.2 La terre végétale

La terre végétale noire alluviale est un produit d'exception. Nous l'avons ramassé dans des grands sacs dans la période non pluviale de la région Jumentry (Chaouchaoua, Tiaret) d'une profondeur 3 mètres presque pour ne pas avoir plus tard les maladies et les moisissures (Figure 21)



Figure 21 : Terre Végétale Noire (Proche de Jumentry, W. de Tiaret) : Google Maps

Les caractéristiques physico-chimiques de cette terre selon les analyses faite au laboratoire d'écologie (SNV, Université de Tiaret) sont :

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

Autre paramètres :

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

5.3 Le terreau commercial

Il existe plusieurs types de terreau au marché, presque 100% sont importés. Le terreau est un produit à base de tourbe et d'écorces, son pH est acide. Il est emballé dans des sachets de 70 litres de volume (couleur verte). Notre terreau a été choisi selon la disponibilité dans le marché et que l'engrais utilisé dans sa composition est très proche de notre engrais utilisé dans la solution nutritive. La composition est la suivante :

- 26 % de matière sèche (MS) sur brut
- 60% de matière organique (MO) en masse de produit brut
- pH (H₂O) = 6,5
- Capacité de rétention de l'eau % MS = 60
- Conductivité électrique (CE), 60mS/m (0,6 mS/cm)
- Engrais composé NPK14-14-14

5.4 Fibre de palmier dattier

Comme la fibre de coco, qui est composée principalement de fibres grossières et utilisées dans plusieurs domaines et comme un excellent substrat horticole. Les fibres de palmier dattier aussi ont été utilisées ces dernières années dans le même but. Beaucoup de travaux ont été réalisés (CHOI et LATIGUI 2013).

Notre étude a été portée sur la fibre de palmier dattier car il ressemble à la fibre de coco et il existe en une immense quantité abandonné dans les palmeraies du sud Algérien. On la utilisé dans la culture hors sol du poivron en changeant chaque fois son % dans le mélange.

La quantité de fibres utilisées a été ramenées d'une palmeraie de la région d'Elghrouss, W. de Biskra avant le commencement de notre expérience. Ces fibres sont roussées et coupées avec un couteau en petit morceaux de 5 mm maximum (Figure 22).



Figure 22 : fibre de palmier dattier utilisé

6. Matériel de laboratoire utilisé pour l'analyse de substrats

Nos analyses ont été faites au sein du laboratoire (Sciences du sol), SNV (Université de Tiaret). Le matériel utilisé est :

L'étuve –Béchers-Flacons-pH mètre- Conductimètre- Balance-Eau distillé- Eprouvettes

L'utilisation aussi du pH mètre et conductimètre sur le champ, dans la serre est indispensable. Il faut prendre les mesures le plus vite possible après drainage dans la solution récupérée (Figure 23)

Ces 2 facteurs permettent d'ajuster et de contrôler aussi la solution nutritive.



Figure 23 : pH mètre et conductimètre utilisés dans la serre

6.1 Méthode de mesure du pH

- Prendre un récipient.
- Récupérer de la solution nutritive dans le récipient ou après la centrale fertilisante (les 3 bidons).
- Plonger le pH mètre dans la solution, une mesure doit apparaitre après un moment (stabilisation de résultat)

6.2 Mesure de la conductivité

Normalement

- Elle donne la valeur globale de la concentration en sels minéraux (engrais) de la solution nutritive.
- Elle ne doit pas être trop faible : la culture risque d'être carencée.
- Elle ne doit pas être trop haute : l'excès de sel est dangereux pour les racines
- Elle est propre à chaque culture et chaque plante

Comment mesurer ?

- Prendre un récipient
- Récupérer de la solution nutritive dans récipient.
- Plonger le conductimètre dans la solution, une mesure doit apparaitre la valeur 0 correspond à une eau sans sels minéraux. Plus il y aura d'engrais, plus la valeur sera élevée.
- La valeur affichée est très rapide (quelques secondes) en mS/cm

6.3 Produits utilisés

Les engrais, l'eau distillé, les insecticides et fongicides, l'acide nitrique, l'eau de robinet...

7. Protocol expérimental

Notre Protocol expérimental (Figure 24) réalisé selon le temps, la disponibilité du laboratoire, la serre, les buts visés et la situation spéciale cette année à cause du COVID-19 est figuré dans l'organigramme en dessous. Cela bien sûr est après un pilotage quotidien de la culture dans l'abri-serre du poivron et l'analyse des échantillons au laboratoire et dans la serre elle-même et encore l'étude de l'effet de substrat sur les différents paramètres physico-chimique et morphologiques étudiés.

C'est un travail qui a duré et les différents 04 mois (jusqu'à la récolte). Du 21/01/2020 jusqu'à 25/05/2020

7.1 Préparation des substrats

Pour notre étude, nous avons choisis 4 substrats sous forme de mélanges entre la terre végétale (sol noire), pouzzolane et de fibre du palmier dattier (sous forme de % volumiques).

On rappelle que tout dans notre travail le mot substrat, on peut le remplacer par : mélange ou traitement. La symbolisation est la suivante : T1, T2, T3, T4.

Notre choix a été porté sur les traitements suivantes:

- 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)

Pour T1 et T2, on a minimisé le % de la Terre végétale / au % de la pouzzolane et fibre.

Donc, au total : 10 pots pour chaque Traitement (mort = 2 sur 40)

3 pots pour chaque solution nutritive, le 10 éme est un pot de réserve.

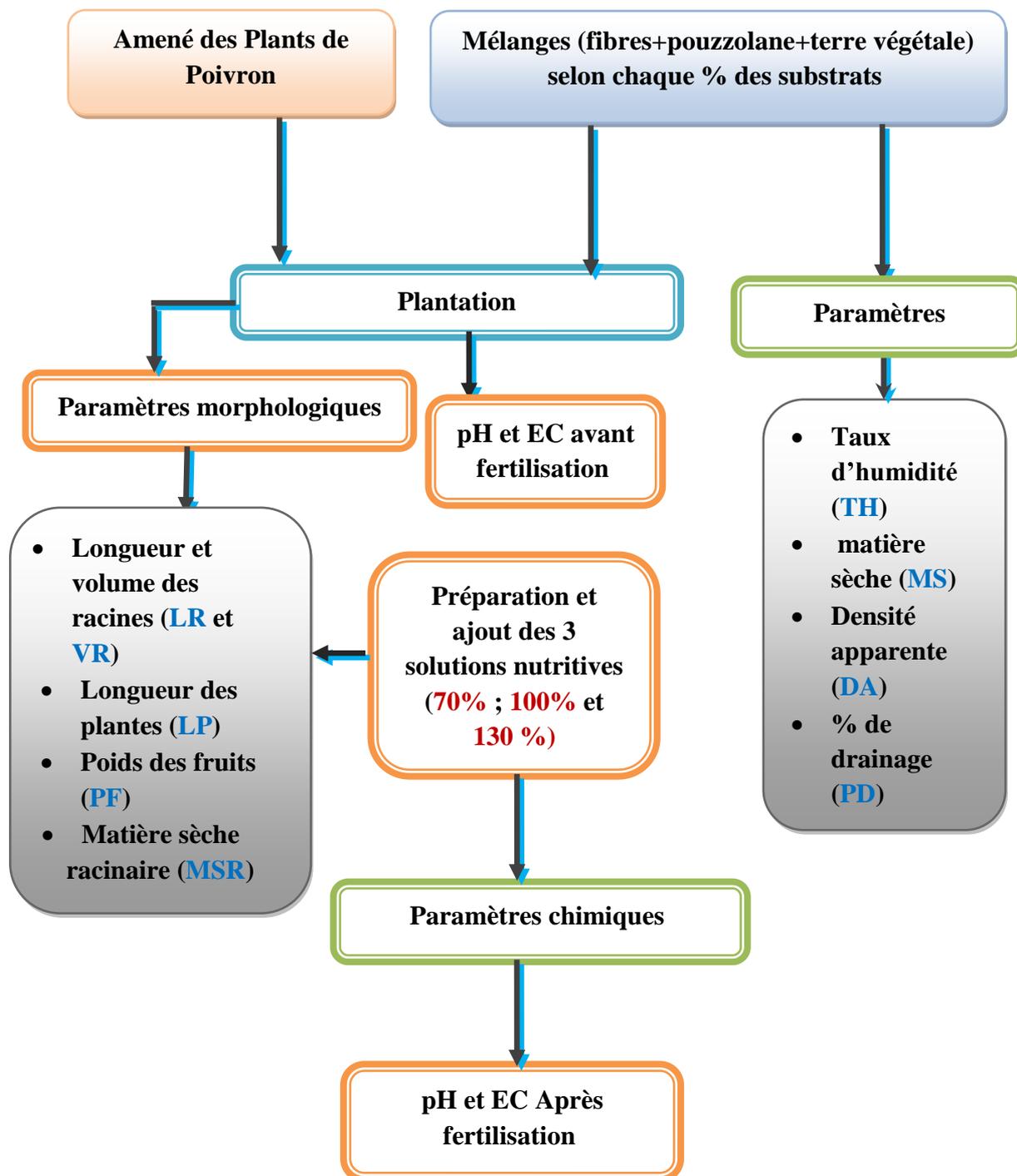


Figure 24 : Organigramme globale de l'étude réalisée (Poivron)

7.2 Mise en pot de substrats et plantation

Nos traitements étudiés sont soumis dans des pots marron de même couleur, en plastique (polyéthylène) de même taille et forme, le volume est 4,5 litres pour chaque pot. Ces volumes sont suffisants pour notre expérience jusqu'à la fin.

On a réalisées 10 répétitions pour chaque traitement (3 pour chaque solution nutritive : S1 (70%) ; S2 (100%) et S3 (130%), le 10 éme reste inerte pour nos résultats); soit au total, neuf répétitions pour chaque traitements et on a 4 traitements, d'où un total de 40 répétitions

. Les pots sont repartis sur un support métallique. L'espace entre deux pots est de 40 cm.

Pour les pots, on a met une petite quantité de gravier fin en dessous pour minimiser la perte de l'irrigation.

- Date de plantation des plants de poivron dans les pots : 21/01/2020.
- Date finale : 28/05/2020

7.3 Irrigation des plants

L'irrigation des plantes étaient effectué par l'eau de robinet. Avec le temps, les doses d'irrigation vont augmenter avec la croissance de nos plantes surtout dans les périodes chaudes.

L'arrosage de l'eau ou de la solution nutritive a été effectué manuellement chaque fois. Pour la réserve d'eau, on a une citerne de 2000 litres et une autre de 1000 litres ainsi que les 3 bidons pour la préparation de la solution nutritive. La fréquence d'irrigation a une relation avec la croissance des plantes et la température dans la serre. Selon (**LATIGUI, 1992**), un % de drainage idéal se trouve dans l'intervalle 30 à 40% de la quantité apportée.

Pour les 3 solutions nutritives (NPK + oligo-éléments) ont les a préparé selon des calculs du (Tableaux 1, 2 et 3) et on a trouvé une relation entre EC et chaque concentration.

Les concentrations sont : 70% , 100% et 130%

Les valeurs EC et pH d'apport sont :

70%	pH = 5,63	EC = 1,7
100%	pH = 5,65	EC = 2,1
130%	pH = 5,67	EC = 2,6

7.4 Paramètres étudiés

7.4.1 Propriétés chimiques

La solution de drainage est contrôlée chaque jour et avant chaque irrigation (pH et EC) à cause de la formation du bicarbonate qui change la valeur de pH et par suite EC.

Des travaux antérieurs (**LATIGUI, 1992**) ont trouvés que les valeurs idéales de ces deux pour une culture de parfaite varient entre 5,5 à 6,5 pour le pH et entre 1,5 à 2,5 mS/cm pour la conductivité électrique.

Le pH influe sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes (**DINON et GERSTMANS, 2008**).

EC aussi est très important en culture hors sol, il permet de mesurer exactement la concentration de nutriments (sels minéraux) qui sont présents dans la solution nutritive d'apport ou de drainage en passant par le substrat.

7.4.2 Propriétés physiques

a) Taux d'humidité

C'est la perte de masse (%) après un séchage à 105 °C pendant 24 H

$$\text{Taux d'humidité} = (\text{PH} - \text{PS}) \times 100 / \text{PH}.$$

PS : poids séché a 105 C pendant 24 heures.

PH : poids du substrat humide.

b) Pourcentage du drainage

Après saturation du pot avec un drainage suffisant. Le drainage récupéré est calculé. Donc, le % de drainage, c'est le % du volume drainé par rapport au volume apporté.

7.4.3 Paramètres morphologiques

Il existe des dizaines de ces propriétés, on a choisit les plus importants.

a) 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

b) Volume des racines

Les mesures ont porté sur le volume global des racines. Dans une éprouvette appropriée remplissée d'eau, on rince les racines et on mesure le volume

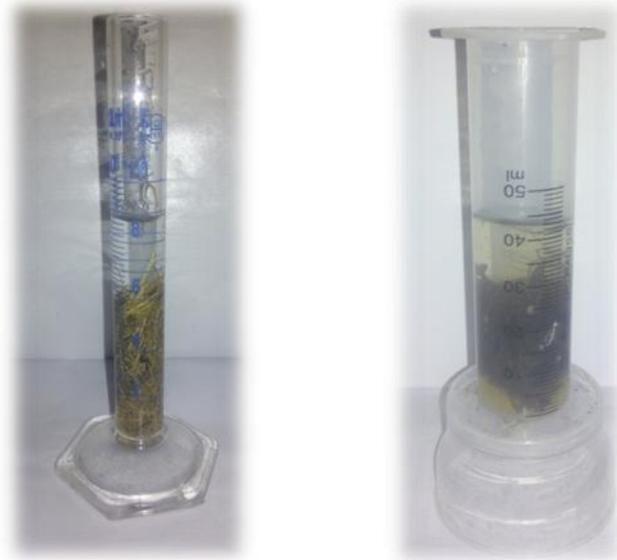


Figure 25 : éprouvettes pour mesurer les volumes des racines

d) Poids des fruits

C'est la mesure globale du poids en grammes. La forme du fruit est allongée de couleur verte foncée.

7.5 Mesure de la température et l'humidité

A l'aide d'un thermo-hygromètre digital, on a mesuré ces deux paramètres pendant 2 mois (Avril et Mai : périodes chaudes) chaque jour à 15H00 du soir au milieu de la serre. La position de nos plantes est représentée par la figure ci-dessous. La figure 26 montre la position exacte de nos pots et poivron dans l'abri-serre

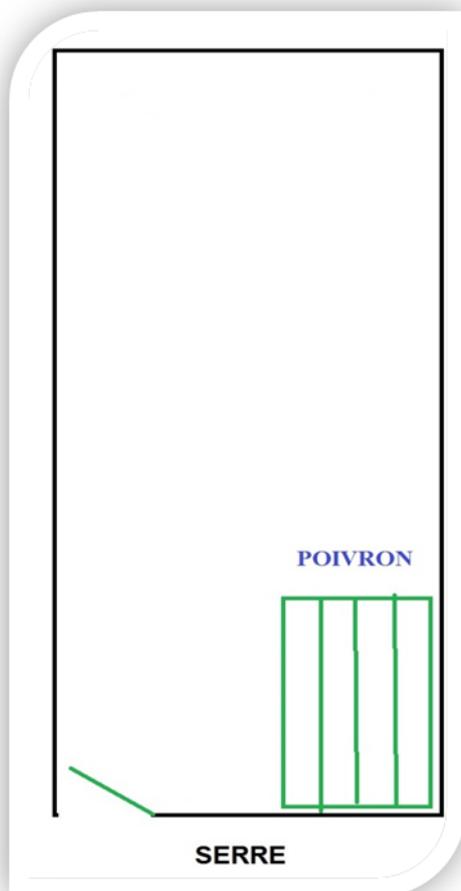


Figure 26 : Position exacte des pots de Poivron dans la serre

Chapitre II : Résultats & Discussion

1. Caractéristiques physico-chimiques des traitements

1.1 Caractéristiques physiques

1.1.1 Taux d'humidité et Matière sèche des traitements

Dans notre étude, nous avons utilisé quatre traitements avec des % différents, qui sont : T1-T2-T3 et TR comme un traitement témoin utilisé pour la comparaison des résultats. La comparaison des moyennes sous forme d'histogrammes (figures 27 et 28) montre que TR à la valeur la plus grande pour le taux d'humidité (72,92%) vus sa composition riche en MO et sa capacité de rétention en eau (60% pour chaque paramètre : voir matériels et méthodes). En deuxième place, T2 avec presque 17%, cette valeur est proche des deux autres traitements (car les % des substrats sont proches entre eux).

Pour la MS qui est le paramètre complément de TH par rapport à 100%, on a l'inverse des valeurs précédentes : TR est le plus faible avec une valeur de 27,08% (valeur proche de la valeur mentionné sur le grand sachet de terreau). La MS la plus remarquable est pour T3 : 84,94 % riche en terre végétale (40%).

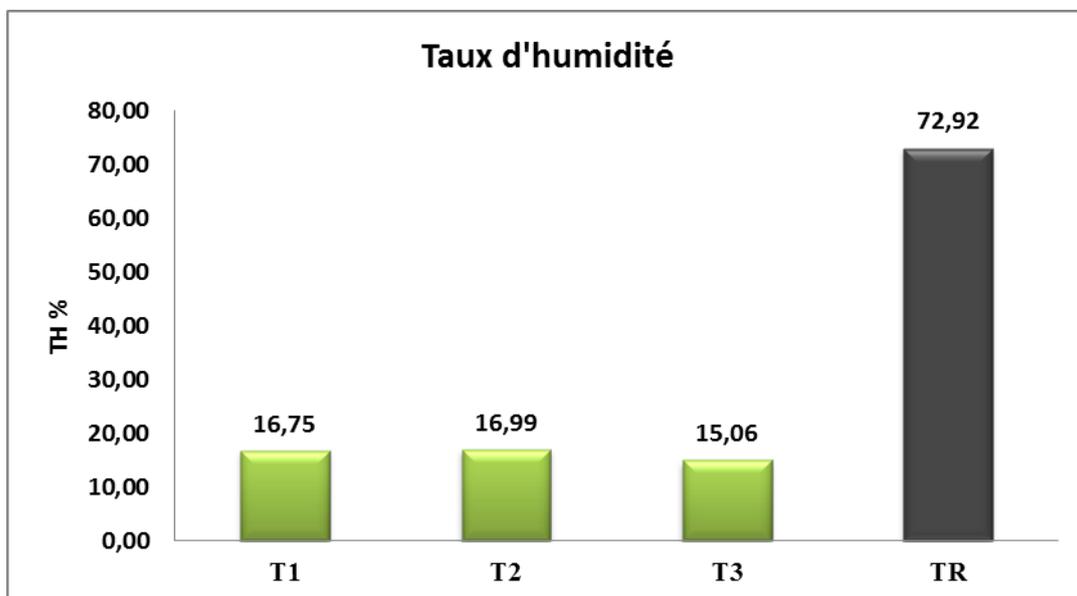


Figure 27 : Taux d'humidité (%) des traitements

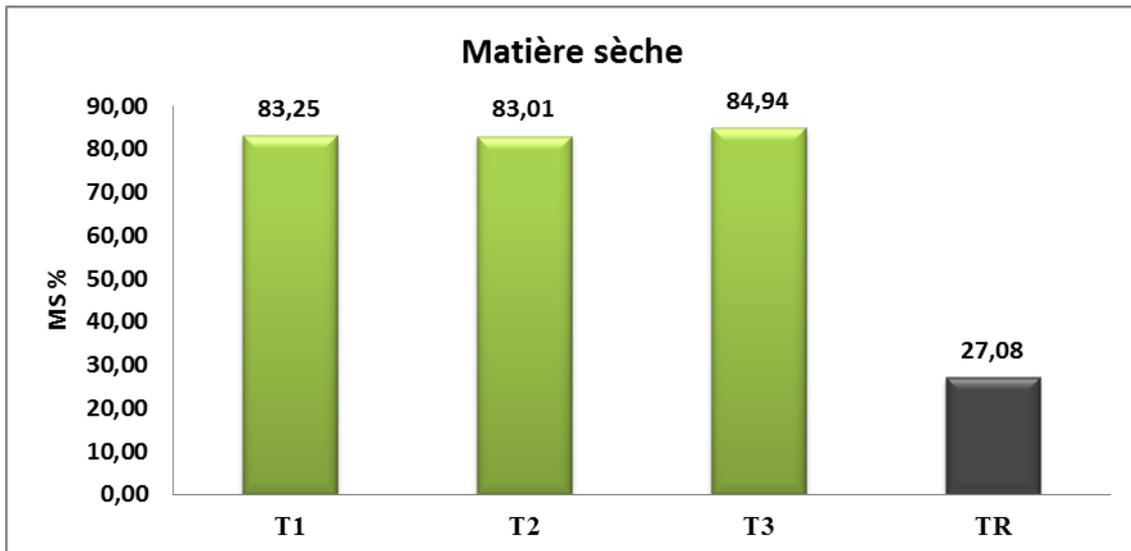


Figure 28 : Matière sèche (%) des traitements

1.1.2 Masse volumique apparente (densité apparente)

La masse volumique apparente , souvent appelée improprement densité apparente (da) , est une grandeur utilisée essentiellement avec les substances se présentant sous forme de granulés, dans l'agroalimentaire, en pédologie pour la description des sols, afin de rendre compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel. On l'exprime par g/cm^3 .

Comme le montre la figure 29, la valeur de la densité la plus élevée est pour T3 : $0,51 g/cm^3$, les deux autres traitements présentent aussi des valeurs appréciables (T1 : $0,42$ et T2 : $0,44 g/cm^3$), tandis que la valeur la plus basse est signalé pour TR : $0,11 g/cm^3$

Selon les travaux antérieurs de **Yeager (1995)** sur l'intervalle de la densité apparente qui conforme à une excellente culture hors sol se trouve entre $0,19$ et $0,70 g/cm^3$, il s'avère que les densités indiqués sur la figure 29 correspondent aux cultures sans sol sauf TR très léger qui à une valeur défavorable pour ce type de culture sauf dans le stade des plants.

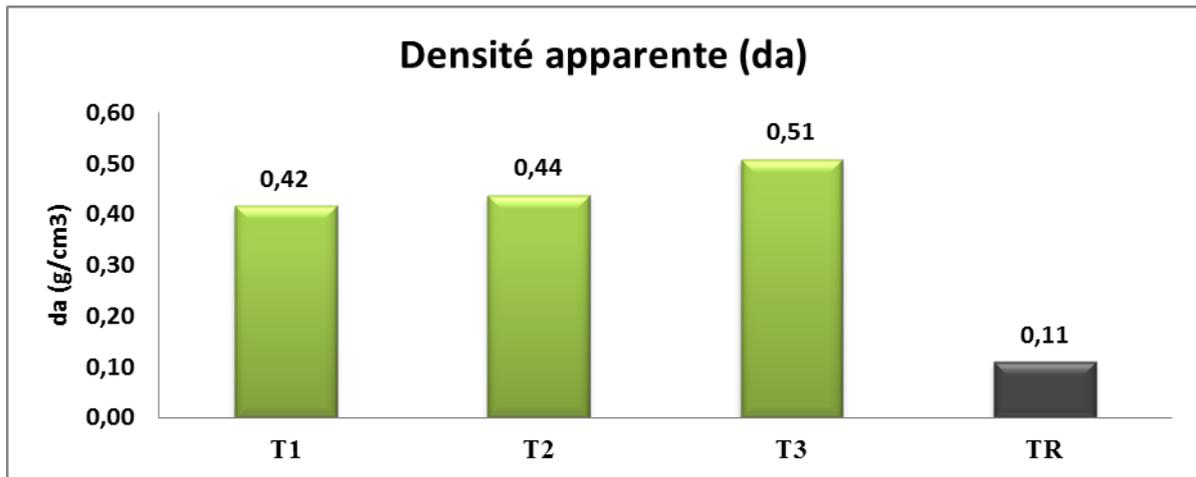


Figure 29: densité apparente des traitements (g/cm³)

1.1.3 Pourcentage de drainage (VSD/VSA %)

Le pourcentage de drainage qui est le volume de la solution drainée / volume de la solution apportée est un facteur très importants dans les cultures hors sol ou hydroponiques en général.

Selon les travaux de (LATIGUI et al, 2013), l'intervalle idéal pour un excellent drainage dans la culture hors sol se trouve entre 30 et 40%. Une valeur inférieure cause la sécheresse du sol et la perte de la solution nutritive ou eau de drainage. Une autre supérieure peut causer une asphyxie des racines ou des problèmes pendant la fructification.

Dans nos quatre traitements destinés à la culture du poivron, comme le montre la figure 30, nous avons obtenu des valeurs supérieures à 30 et inférieures à 40, ce qui indique que nous avons respecté un drainage idéal. Nous avons essayé pendant chaque irrigation de respecter ce domaine et le maintenir du début de l'expérience jusqu'à la fin.

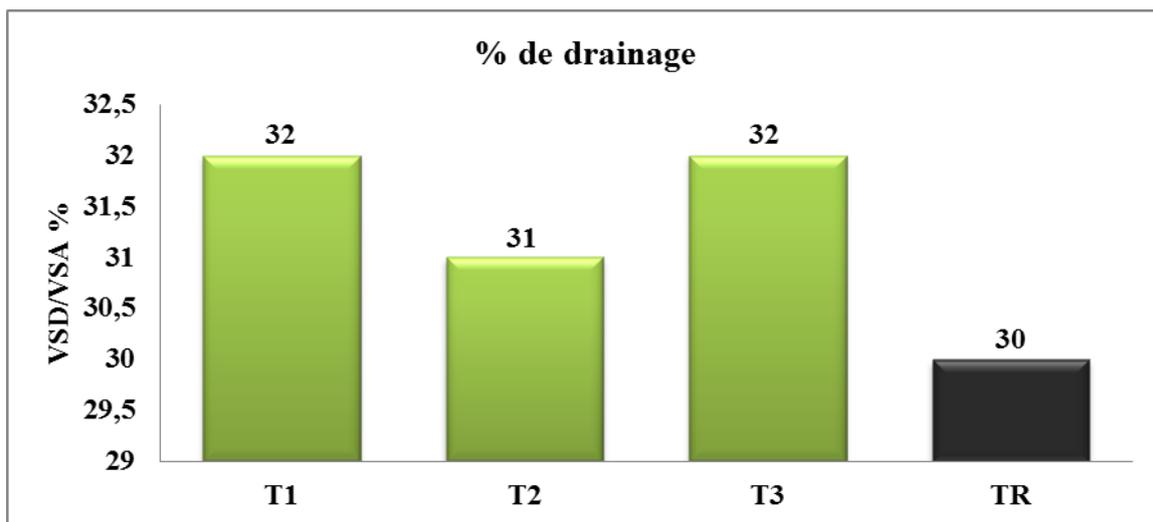


Figure 30 : pourcentage de drainage (VSD/VSA%)

2. Caractéristiques chimiques des substrats

2.1 Conductivité électrique (EC) et pH de drainage

2.1.1 EC de drainage avant la fertilisation

Au début de notre culture de plantes de poivron (*Capsicum annuum*) pendant le mois de janvier, les températures étaient très basses, les plantes sont faibles. Nos 3 traitements contiennent du sol riche en nutriments, donc on été pas obligés de commencer la fertilisation. La mesures d'EC et pH le prouve, mais au cours du temps, on a remarqué un changement dans les valeurs d'où la nécessité d'utiliser la solution nutritive

Selon **SKIREDJ (2005)**, le domaine idéal pour une meilleur croissance et une bonne absorption des nutriments par les racines est entre 1,5 et 2,5 mS/cm (peut aller jusqu'à 2,8 selon l'espèce cultivée et la nature des substrats). Une EC > à 2,5 affecte l'absorption des nutriments et une EC < à 1,5 inhibe la croissance des plantes (carence).

À partir du graphe de la figure (31), nous pouvons voir que les valeurs d'EC pour nos traitements au début répondent aux exigences de la culture hors sol, mais les valeurs sont proches de la marge inférieure (1,5 mS/cm) pour T1 et T3 respectivement sauf TR (1,83), T2 à une valeur < à 1,5 mS/cm. Nous pouvons estimer qu'après un certain temps, il faut ajouter la solution nutritive sous forme de macro et micro éléments et cela pour renforcer le développement des plantes.

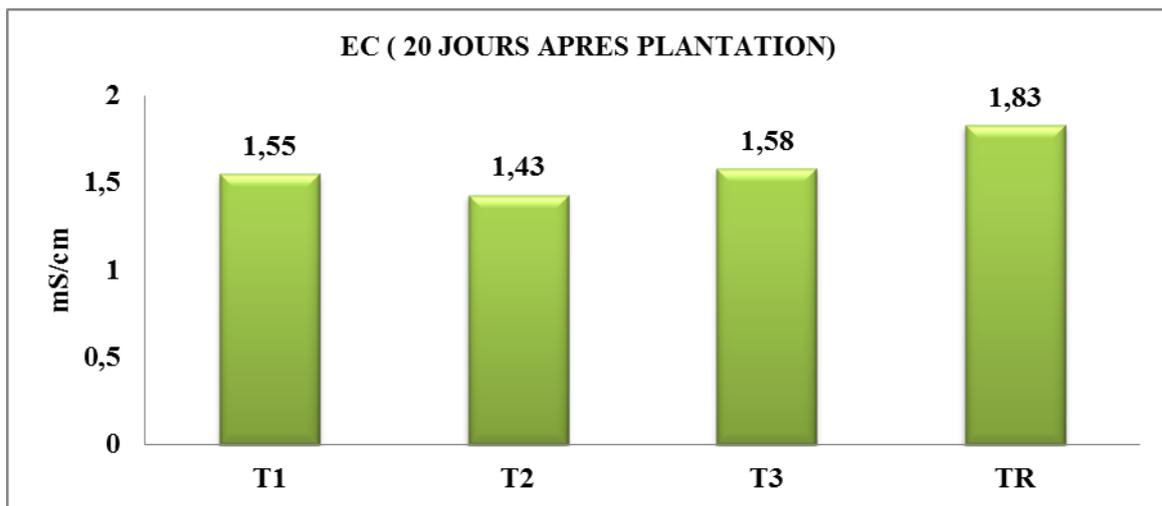


Figure 31: EC drainage avant fertilisation (20 jours après plantation)

La dernière mesure d'EC (03 jours avant le début du processus de fertilisation), nous a montré qu'il y a une chute libre dans les valeurs de la conductivité électrique de tous les traitements, même le

TR (les valeurs sont, de 0,69 à 1,05 mS/cm : < à 1,5 mS/cm), donc une carence dans les minéraux absorbées par les plantes (figure 32).

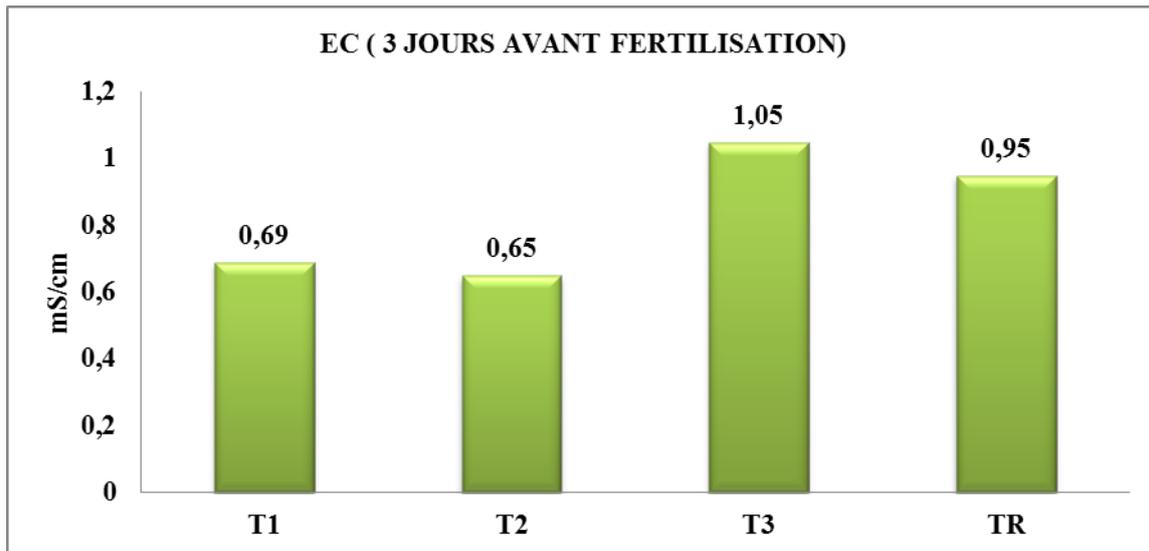


Figure 32 : EC de drainage (3 jours avant fertilisation)

On constate également le manque de développement du poivron et de leur croissance (couleur jaunâtre) pour la majorité des plantes, voir la figure 33.



Figure 33 : plante du poivron avant fertilisation (originale ,2020)

2.1.2 pH de drainage avant fertilisation

Mêmes mesures pour pH comme on a fait avec EC. Trois semaines après avoir planté les plants de poivron en pots, et comme le montre la figure 34, des valeurs de pH non appropriées à la culture

hors sol ont été remarqués. Selon (Sonneveld, 2002), le pH favorable pour une absorption totale de toutes les macros et oligoéléments se trouve entre 5,5 et 6,5 (jusqu'à 6,8).

Pour nos 3 traitements sauf (TR (6,75) mais < à 6,80), le pH dépasse 7 mais inférieur à 8 (le pH d'alcalinité), Donc, il faut penser à le corriger plus tard en utilisant l'acide nitrique (HNO₃) avant chaque irrigation, bien sûr en contrôlant en même temps EC. Généralement, les plantes peuvent résister jusqu'à un pH égale à 7,50 (cas de nos traitements)

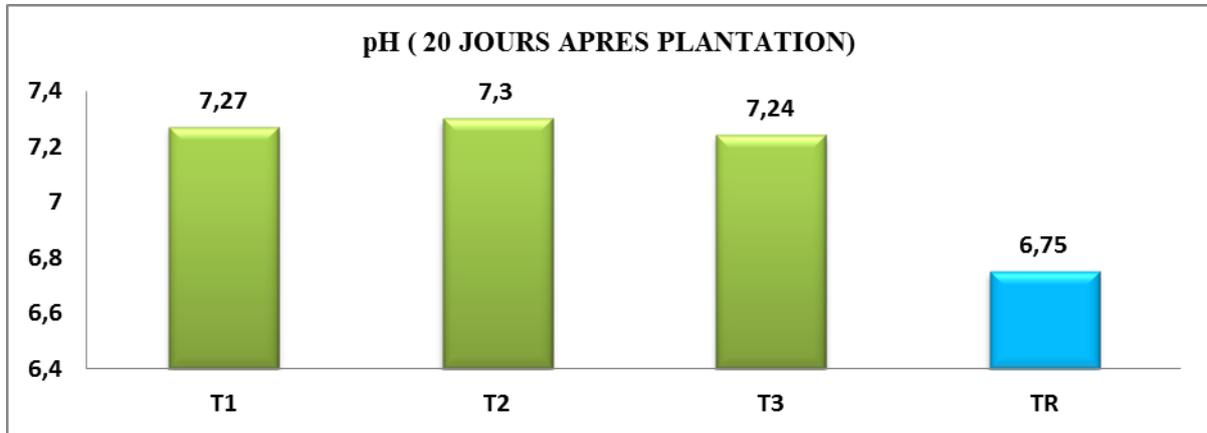


Figure 34 : pH (20 jours après plantation)

Dans la figure 35, avant juste le commencement de la fertilisation, il y a une augmentation dans le pH qui a dépassé la valeur de 8 (milieux alcalin calcaire (CaCO₃)). Le TR reste < à 7,50.

On réalité, plusieurs facteurs peuvent influencer sur l'augmentation du pH du sol : peut être due à l'activité biologique du sol (micro organismes), la dégradation de la MO du sol, l'élévation de la température de l'eau dans le sol ou la serre et la formation du calcaire. Selon la balance de Taylor : un pH dépasse 8 cela indique que la dureté du sol (CaCO₃) dépasse 100mg/l et dans les 3 traitements et par conséquent une augmentation de pH. Peut être due aussi au pH de l'eau de citerne, donc il faut baisser le pH par une solution acidifiée vers 5,5.

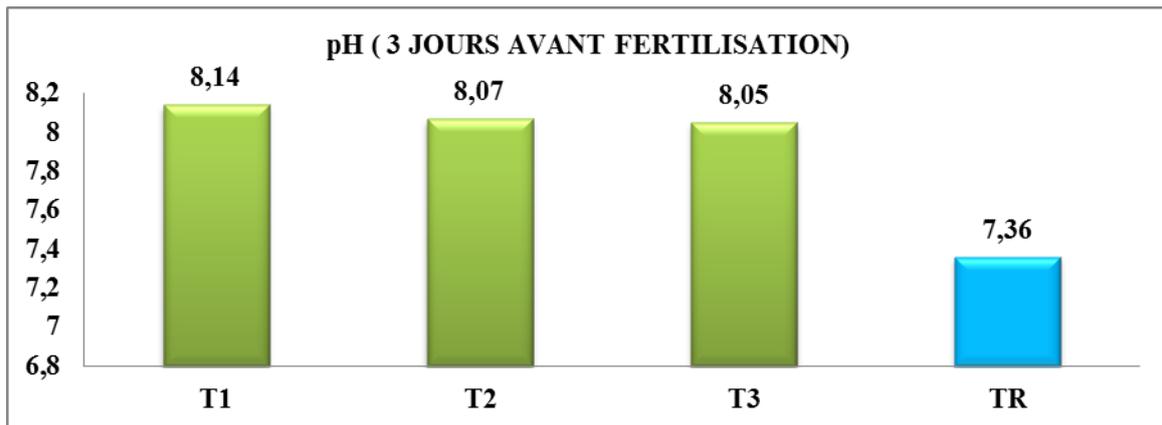


Figure 35 : pH (3 jours avant fertilisation)

2.1.3 EC de drainage après fertilisation

Selon les résultats précédents d’EC et pH, on a commencé le processus de fertilisation le 16 Avril pour toutes les plantes en respectant le % de drainage. Pour cela, on a préparé 3 solutions nutritives différentes (S1 : 70% ; S2 : 100% et S3 : 130%) pour voir aussi l’effet de la concentration sur les résultats globales, c’est un pilotage quotidien de l’irrigation. Toutes les valeurs (chimiques ou morphologiques) obtenus ont été analysés sous formes de moyennes statistiques avec le programme ELLISTAT (Annexe) afin de donner un taux de précision élevé et une fiabilité aux résultats.

Nous avons établi plusieurs tables de mesure du pH-EC (après chaque irrigation). La remarque c’est qu’on a obtenu deux types de valeurs pendant 2 périodes chaudes différentes : parfois des valeurs normales et une fois une augmentation, ce qui nous pousse à faire un bassinage avec l’eau pour chaque plante pendant 3 jours pour abaisser EC et pH.

Dans la figure 36, au début de la fertilisation, nous avons obtenu plusieurs moyennes, par comparaison avec ELLISTAT, on a obtenue 3 groupes différents (A-B et AB). Ici les meilleurs valeurs sont ceux qui se rapproches de 1,5 mS/cm (TRS1 le meilleur, puis T3S1). La remarque globale c’est que pour chaque traitement presque il y a une augmentation d’EC selon la concentration de la solution nutritive mais toute les valeurs sont < à 2,5 mS /cm.

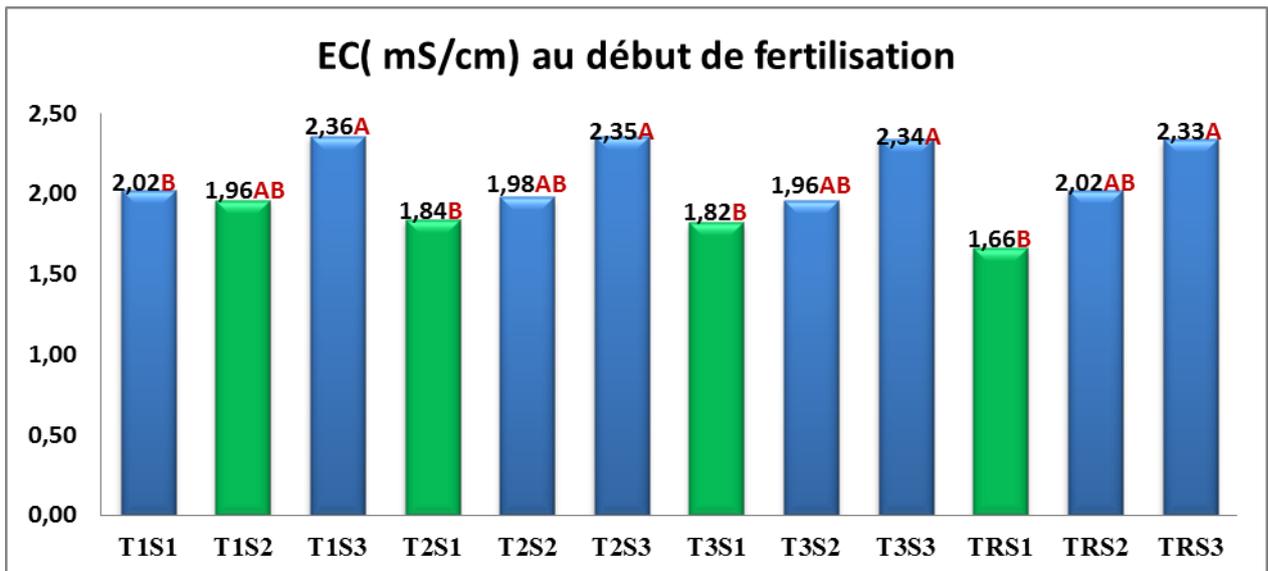


Figure 36 : EC de drainage au début de fertilisation

Maintenant, après 15 jours, il y a une forte chaleur dans la serre. Nous avons remarqué par conséquent une augmentation dans les valeurs d’EC et pH. Juste après ces changements dangereux, on a réalisé un bassinage de toutes nos plantes avec la même quantité d’eau (2 litres) pendant 3 jours pour abaisser le pH et EC (figure 37)

Dans cet histogramme, les moyennes sont divisés en 3 groupes aussi (A-B et AB). Les couleurs grises sont des valeurs défavorables et dangereux qui sont > à 3 mS/cm (TRS3 presque 4 mS/cm), donc une forte salinité qui peut bruler les racines. Les seuls valeurs < à 3 sont pour T1S2 et T2S2.

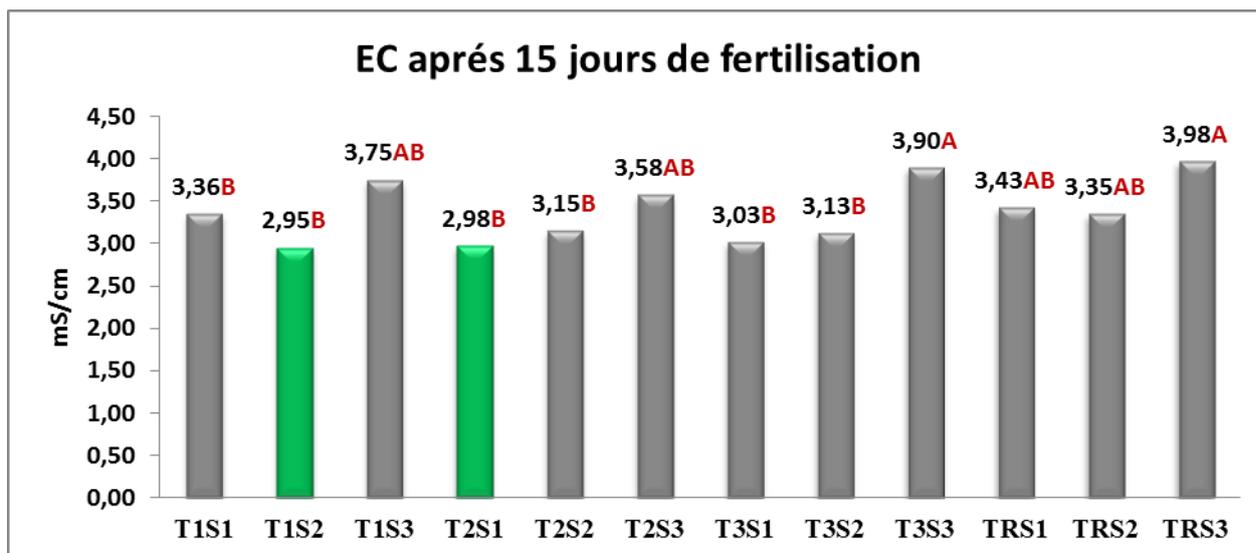


Figure 37: EC après 15 jours de fertilisation

Avant bassinage aussi (figure 38), on a des mesures acceptables et cinq groupes : A-B-AB-BC et C pour les pH. Avec le temps et l'irrigation et le bassinage, ces valeurs vont abaisser encore. Seulement TRS3 et T1S3 qui ont des pH > à 7. T2S3 présente un pH dépassant 6,80. Tout ce qui reste comme traitement à une valeur < à 6,80. Les meilleurs valeurs sont pour : T3S1 et TRS1 (< à 6)

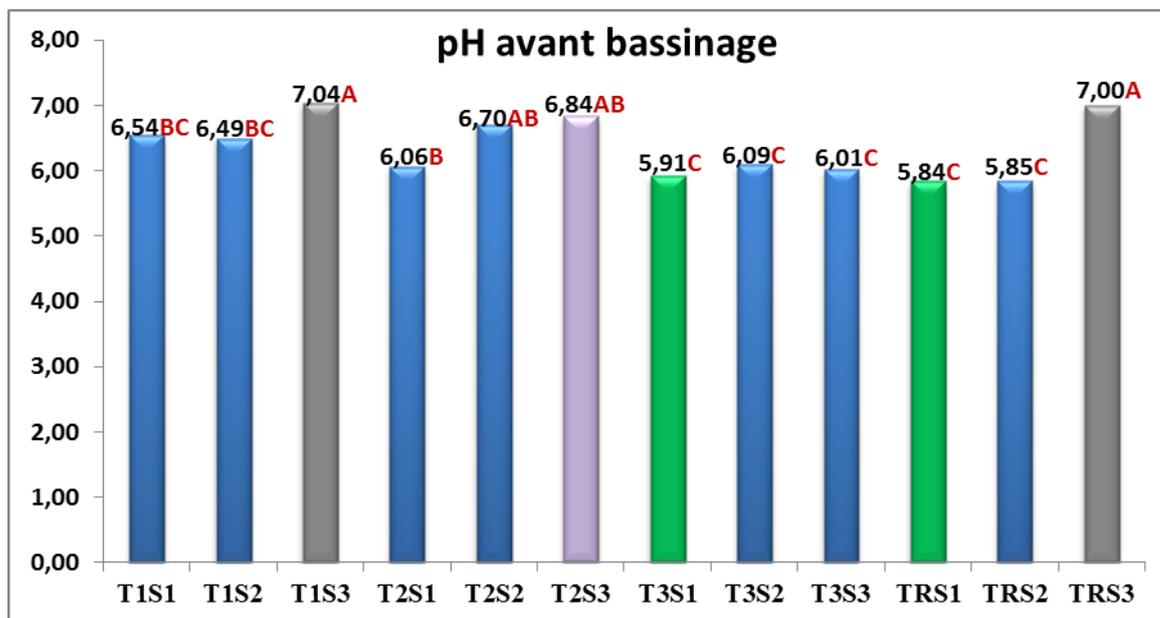


Figure 38 : pH de drainage avant bassinage

Après 30 jours de fertilisation, on constate une différence apparente entre les plantes avant fertilisation et après fertilisation, apparition des fleurs et fruits et une couleur plus verte des feuilles. On note qu'une ouverture quotidienne de la serre est obligatoire pour l'aération et la pollinisation

La figure 39 suivante de l'usine montre la différence :



Figure 39 : plante du poivron après fertilisation (**originale, 2020**)

3. Etude Morphologique du poivron (plante et fruits)

3.1 Système racinaire

3.1.1 Longueur des racines

En réalité et selon l'objectif visé de notre culture, est l'étude des racines (longueur, volume et forme) car ils ont une relation directe avec l'absorption des nutriments et la partie aérienne. En comparant les moyennes (figure 40), nous avons obtenu six groupes différents : A-B-C-BC-D et CD. La valeur remarquable et la plus élevée a été enregistrée pour T3S1 riche en terre végétale avec 36.8 cm de longueur puis T2S2 (32.48 cm). TRS2 présente la valeur la plus faible (20.2 cm).

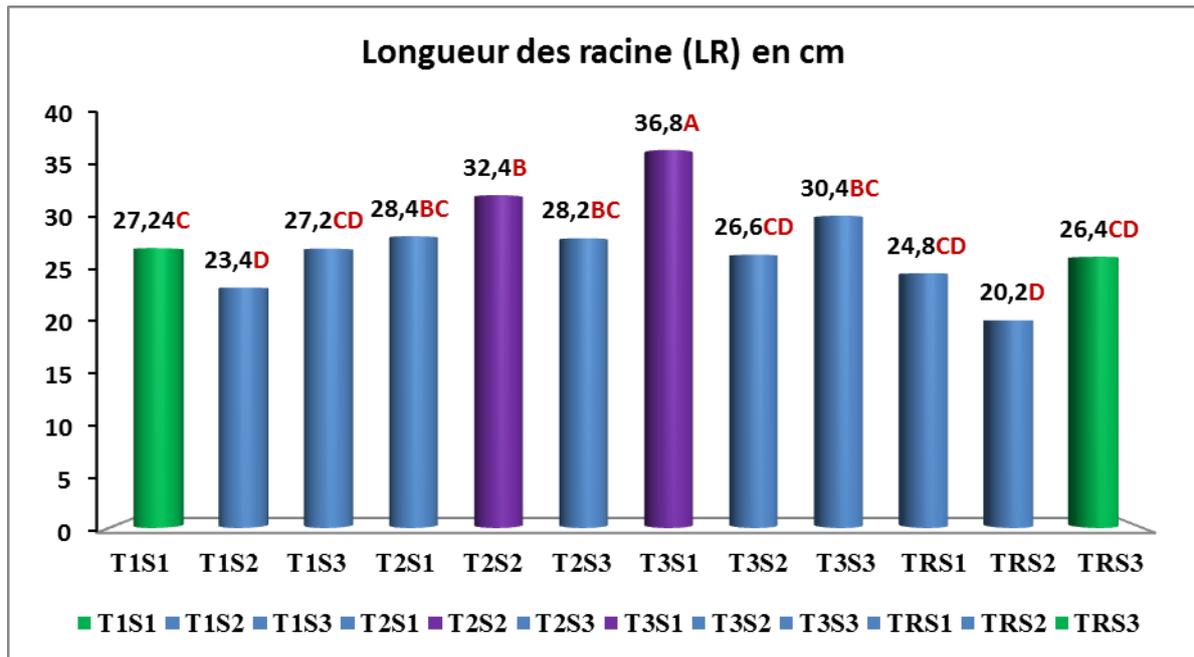


Figure 40 : longueur des racines en cm

3.1.2 Volume des racines

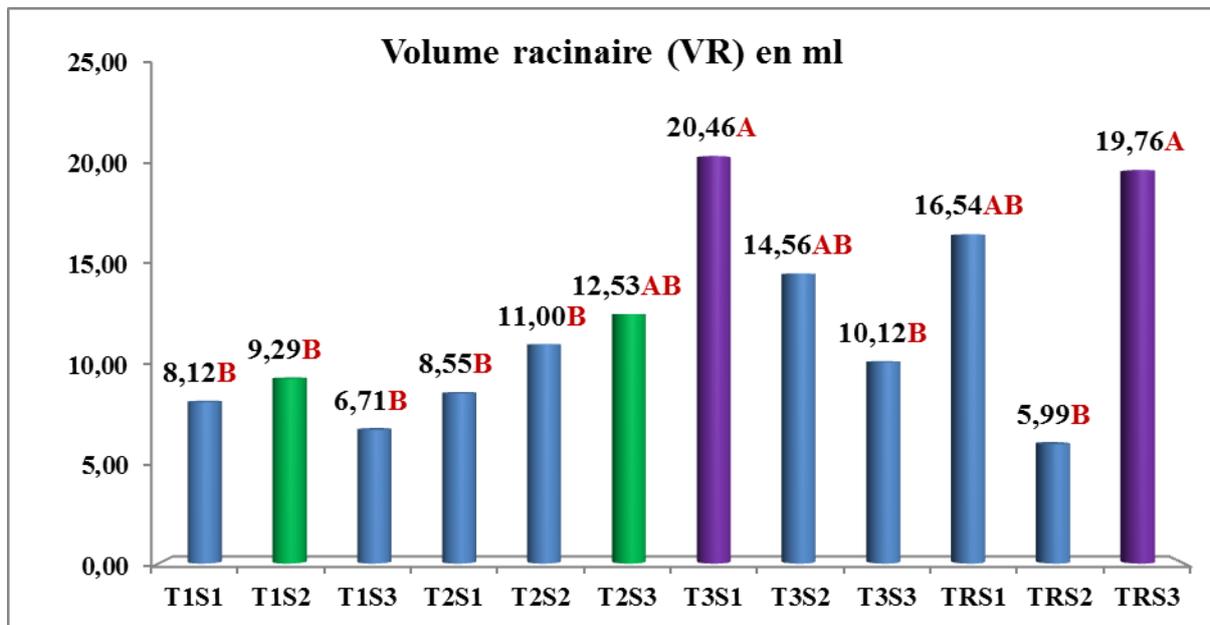


Figure 41 : Volume des racines en ml

Le diagramme de la Figure 41 (ci dessus) pour les 12 traitements différents (de T1S1 jusqu'à TRS3) montre l'existence de 3 groupes différents (A-B et AB). Les volumes les plus élevés sont ceux de TRS3 et T3S1 avec une très faible valeur (19.76 et 20,46 ml). Ce résultat veut dire que dans la culture hors sol du poivron, le volume racine le plus grand obtenu est favorisé pour un traitement riche en terre végétale (T3S1) avec une solution nutritive de drainage 70%. Tandis que TRS2 présente la moindre valeur (5,99 ml).

Selon les travaux de **Lacroix (1998)**. L'augmentation de la densité racinaire est liée au développement beaucoup plus des racines latérales. Donc, notre traitement T3 est le meilleur en le comparant avec TR.



Figure 42: Racines du poivron (forme et longueur) (S1 (70%), S2 (100%) et S3 (130%) : T1, T2, T3, TR) (originale ,2020)

La figure 42 prouve visuellement les résultats du diagramme précédent. On remarque clairement que la forme et le volume des racines pour TR sont volumineux pour S1 et S3, pour S2 (faible). T3 a une grande forme pour S1 et S2.

3.1.3 Matière sèche racinaire

La matière sèche (MS) qui est le rapport entre le poids sec et la matière hydratée.

En réalité, le taux de la MS dans la partie aérienne ou dans les racines d'une plante est un phénomène complexe. Il est influé par plusieurs facteurs : le sol, la fertilisation (spécialement avec l'azote (N)). Selon (**Raynal, 2012**) où il a étudié le fraisier dans le sol naturel. Il a trouvé que la présence de l'azote dans la fertilisation influe directement sur le % de la MS (racines ou feuilles...). Un fraisier qui a été bien fertilisé avec le nitrogène a des % de la MS entre 5 et 35% (dans les racines, les racinelles, les feuilles ou les organes fructifères).

La figure 43 présente 5 groupes de moyennes (A-B-AB-BC et C). La valeur élevée est pour T2S2 (18.11 %) puis T3S3 (14,31%). La plus faible est pour TRS2 (7.66%). Tous nos résultats obtenus pour le calcul de la MS racinaire du poivron riches en azotes coïncident avec celles de (**Raynal, 2012**).

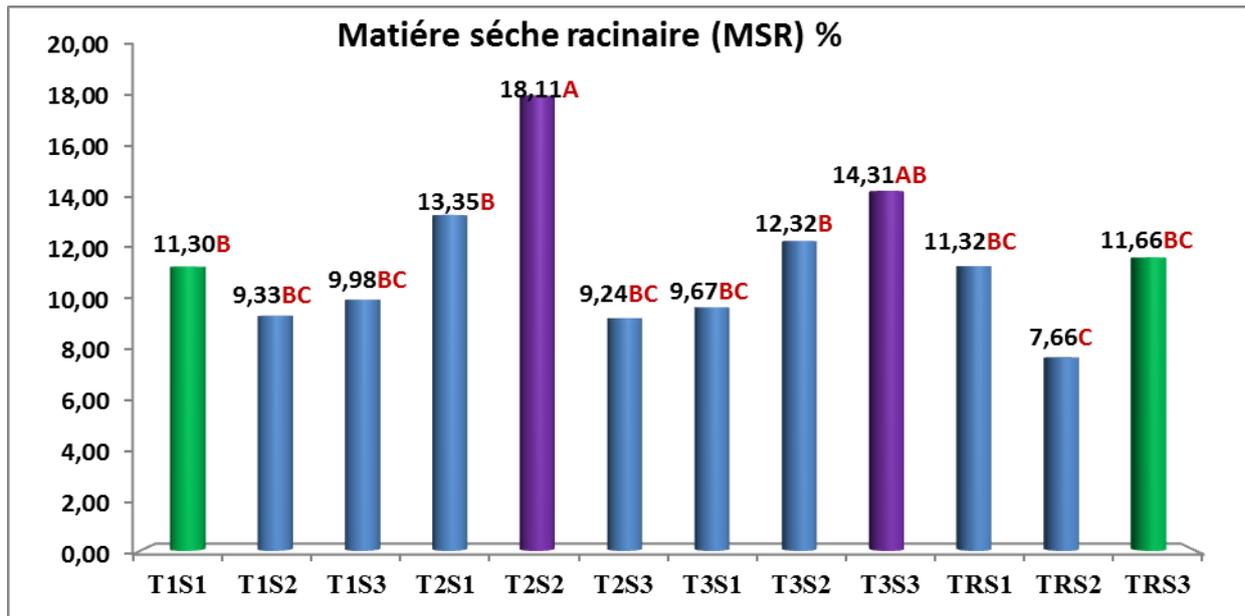


Figure 43: matière sèche des racines (%)

3.2 Système aérien

3.2.1 Longueur des plantes

Comme dans le cas du système racinaire, il se voit claire (figure 44) que la valeur la plus grande pour la longueur des plantes est T2S3 (67.20 cm) suivi par T3S3 (64.90 cm). La plus faible aussi est TRS2 (42.40 cm).

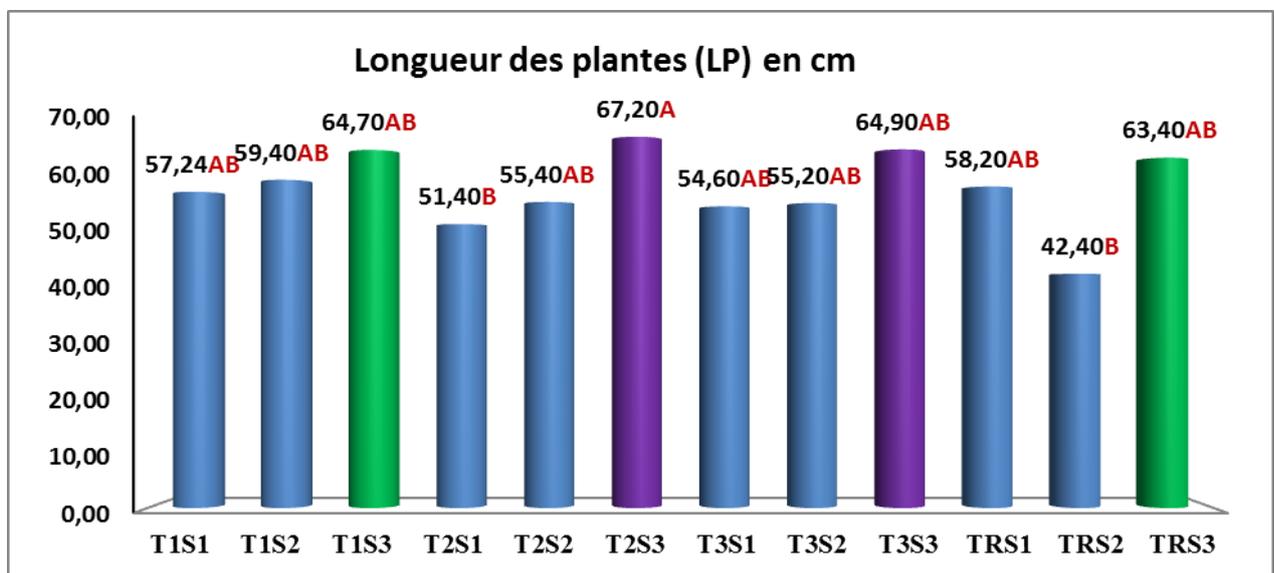


Figure 44 : longueur des plantes en cm

3.2.2 Poids des fruits

La culture hors sol ou n'importe quelle autre culture à un but principal qui est la production et la qualité et les paramètres morphologiques des fruits (forme, couleur, goût...etc). La figure 45 (poids de la récolte globale) donne un poids significatif pour TRS1 (387.1 gr) puis T3S1 (378 gr). Dans notre culture, nous avons fais la récolté des fruits deux fois.

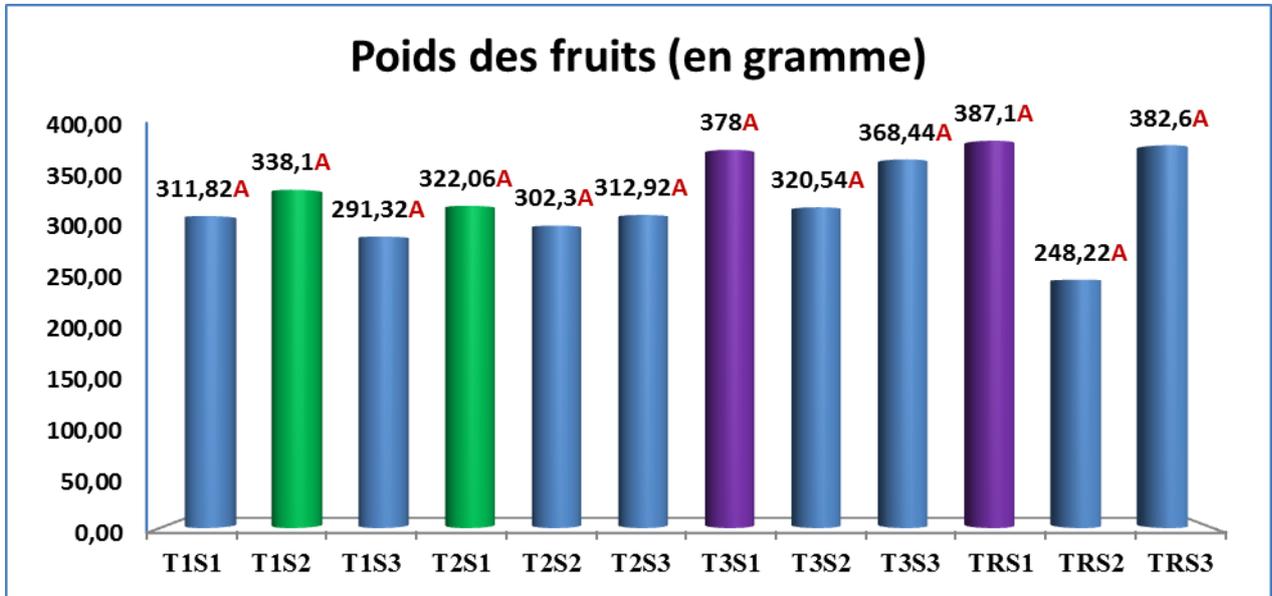


Figure 45 : poids des fruits maturés

La figure 46 présente le meilleur fruit pour chaque traitement et solution selon la concentration. Il y a une différence dans la taille des fruits. Pour S1, le meilleur T3. Pour S2, c'est T2 et TR et enfin pour S3 (T2 et T3). Donc T3 a toujours de bonnes valeurs morphologiques.



Figure 46 : Meilleur fruit en fonction du Traitement et solution (de gauche à droite : (S1 (70%), S2 (100%) et S3 (130%) : T1, T2, T3, TR) (originale ,2020)

La comparaison aussi des meilleures plantes (longueur visuelle) nous a donné les résultats suivants :

- Pour S1 : T1 et TR

- Pour S2 : T1 et T2
- Pour S3 : T2 et T3

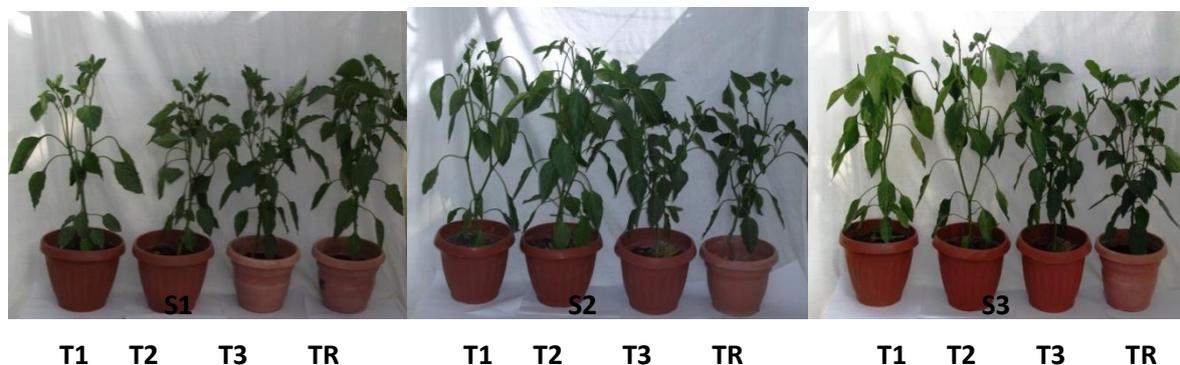


Figure 47: Meilleures plantes : S1 (70%), S2 (100%), S3 (130%) : T1, T2, T3, TR) (originale ,2020)

4. Température et Humidité dans la serre

En utilisant un thermo-hygromètre numérique (voir annexe), on a suivi quotidiennement la variation de la température et l'humidité dans la serre à 15H du soir (c'est l'heure où T et HR ont les valeurs maximales). En effet, l'augmentation de la température et la diminution de l'humidité relative influent directement sur les valeurs d'EC et pH. Au début et à la fin du mois de Mai, on a remarqué une température dans la serre allant jusqu'à 40 °C et une chute de l'humidité relative (18%).

En réalité, la température joue un rôle très important dans la photosynthèse, la respiration et le développement des plantes. Son effet sur la plante peut être différent selon les niveaux de rayonnement global, de (CO₂) et du taux d'humidité. Globalement, autour de la température ambiante on peut avoir une bonne photosynthèse des plantes. Si la température dépasse 30 °C et s'il y a une manque d'aération, on peut avoir une modification dans le % du CO₂ dans l'air et le sol. Avec l'eau du sol et le calcium, on peut avoir une alcalinité du sol et précipitation des minéraux. Par conséquent EC et pH augmentent et la photosynthèse diminue. Le taux de fabrication des sucres réduit d'une manière forte et il y a une accumulation des sels autour des racines (cause des brûlures). Si la température dure longtemps, cela peut causer un stress total et irréversible des plantes. Au-delà de 80%, l'humidité cause des maladies foliaires et un stress chez les plantes. Une valeur < 35 %, l'air est sec, on a aussi le risque de brûlure des feuilles et stress des plantes (**Denise, 1987**).

Les deux figures (48 et 49) montrent la variation de T et HR% pendant 28 jours du mois de Mai (Fin de culture). Pour T, deux variations de températures différentes :

- Des valeurs > à 30 °C, la première au début du mois pendant 3 jours (jusqu'à 36 °C)
- La deuxième à la fin du mois pendant une semaine (jusqu'à 40 °C).

Dans ces deux périodes, il y a une altération dans les valeurs de pH et EC selon l'étude précédente.

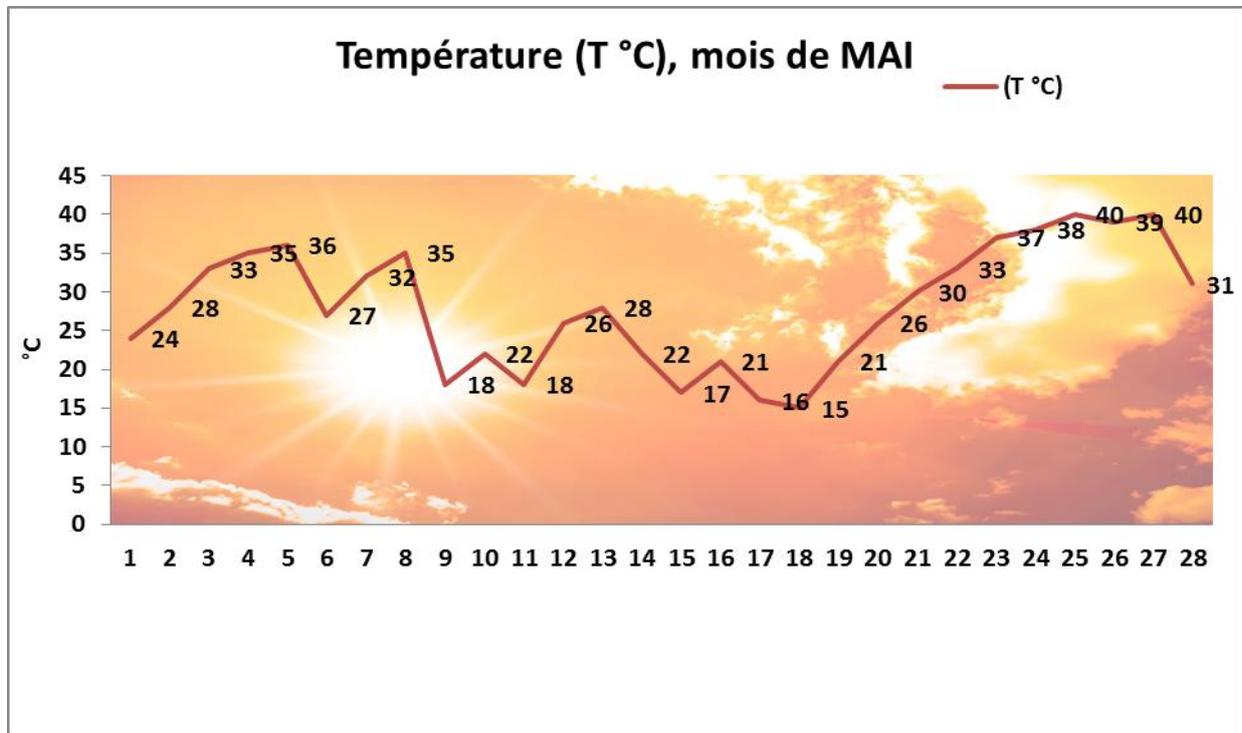


Figure 48 : Température dans la serre à 15H du soir (mois de Mai)

D'un autre coté dans la même période, on a remarqué l'inverse pour l'humidité :

- Une diminution de HR jusqu'à 22% pendant la première période
- Une chute à 18% dans la deuxième période.
- La valeur la plus haute a été prise, le 18 et le 19 Mai (pluies fortes)

Le climat très sec influe directement sur la partie aérienne et sur le traitement lui-même.

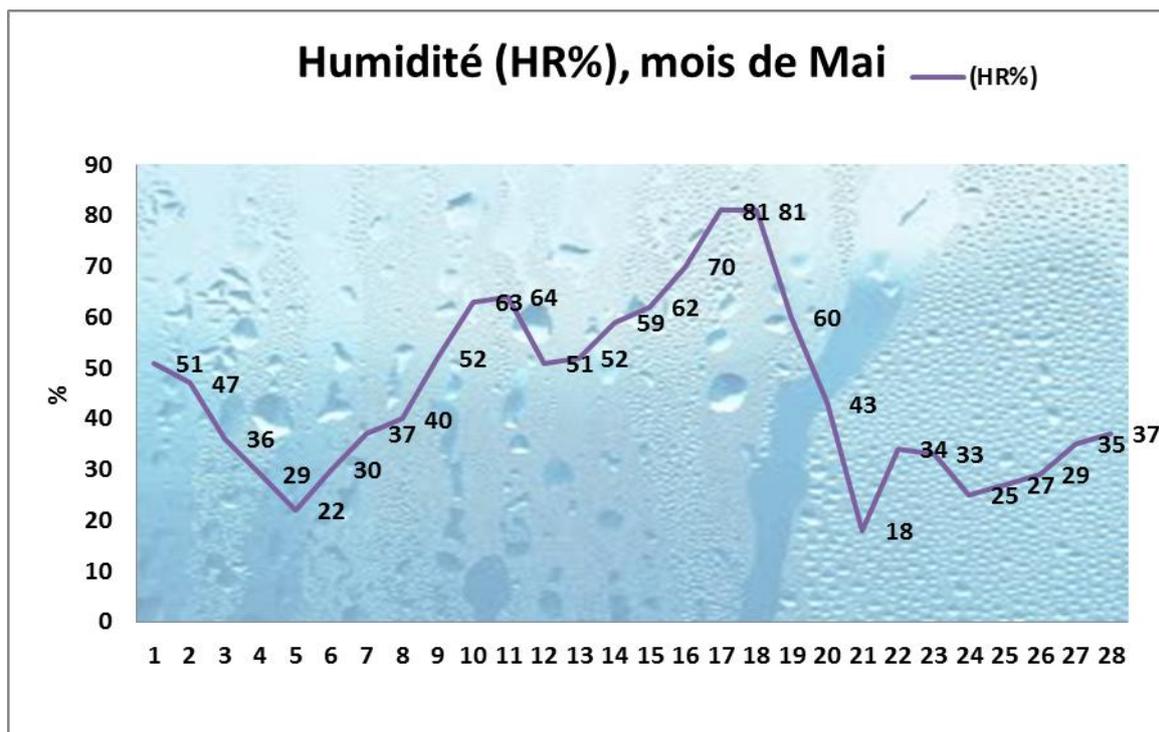


Figure 49 : Humidité relative dans la serre à 15H du soir (mois de Mai)

Enfin, le tableau 09 regroupe tout les meilleurs résultats selon les résultats physiques et morphologiques faites. Pour les résultats chimiques, c'est un control de pH et EC seulement et une nécessité pour avoir une bonne absorption des nutriments, même chose pour et le % de drainage. Le calcul de la fréquence des résultats montre le meilleur traitement. Il se voit bien clair que T3 riche en terre végétale qui a (4/8) des meilleurs résultats et qui a la formule (30% pouzzolane, 30% fibre de palmier et 40% terre végétale) est le adapté pour notre culture hors par rapport aux autres traitements et par rapport même au terreau commercial importé.

Tableau 09 : Résultats de différentes analyses effectuées selon les normes et la plus grande valeur

Analyses		Traitements (Espèce : Poivron)			
		T1	T2	T3	TR
physiques des Traitements	TH (taux d'humidité)				72.92
	DA (densité apparente)			0.51	
	PD (pourcentage de drainage)			32	
Morphologiques	LP (longueur des plantes)		67.20		
	LR (longueur des racines)			36.80	
	VR (volume des racines)			20.46	
	PF (poids de fruits)				387.1
	MSR (matière sèche racinaire)		18.11		
Fréquence (Meilleur	/ 8 test)	0/8	2/8	4/8	2/8

Conclusion générale

Notre travail a été porté sur l'étude comparative de différents substrats (pouzzolane, fibre de palmier dattier et terre végétale) ainsi que le terreau commercial utilisés comme trainements (mélanges) pour la production de poivron (*Capsicum annuum*) à base de culture hors sol sous serre. Nous avons suivi cette expérience du début jusqu'à le stade de production et par un pilotage régulier de l'irrigation en utilisant une solution nutritive appropriée à ce type de cultures, de différentes concentrations et riche en macro et micro éléments. La vérification d'EC et pH est continu pour ne pas avoir une altération de nos plantes.

La mesure des paramètres physico-chimiques et de croissance (morphologiques), des plantes (partie aérienne et racinaire), nous a permis d'apporter les conclusions suivantes :

- Pour les résultats physiques : le taux d'humidité élevé pour le TR commercial riche en MO lui rend idéal dans la première phase de culture des plants, mais sa DA faible lui rend défavorable en culture hors sol à longue durée. Les 3 traitements spécialement T3 sont riches en MS vu leurs % en terre végétale (30 ou 40%)
- l'utilisation de la pouzzolane aide à l'aération des substrats. La fibre de palmier dattier aussi porte une bonne aération et une bonne rétention en eau pour les plantes.
- Pour les résultats chimiques et control d'EC et pH : au début, les valeurs d'EC et pH sont normales (< à 7,5). Avec le temps et l'épuisement des traitements et l'absorption des nutriments, les valeurs d'EC et pH on dépassé les normes (pH > à 8 et EC < à 1,5) d'où la nécessité de fertiliser et acidifié pour tomber dans les intervalles idéales de culture hors sol : EC entre 1,5 et 2,5 mS/cm et pH entre 5,5 et 6,5 (Yeager, 1995) et (Sonneveld, 2002).
- Le choix porté sur les paramètres morphologiques ou visuels nous a amené de conclure que soit pour la LR, VR ou même pour la LP et PF et la MSR, le traitement T3 riche en terre végétale (40%) présente les meilleures valeurs par rapport au TR commercial. Pour les racines ou le les fruits, des bonnes résultats sont remarquées par l'utilisation de la solution S1 (70%)

En basant sur ces résultats, nous pouvons dire à la fin que notre traitement T3 peut être utilisée dans la culture hors sol sous serre comme un remplaçant du terreau commercial (TR) importé et qui coute chère dans le marché agricole.

Comme perspective, nous suggérons l'élargissement de notre travail en culture hors sol et utiliser d'autres substrats locaux en mélanges et étudier encore plus de paramètres physiques et morpho-physiologiques.

Références bibliographiques

1. **Adams,r** 1994; Nutrition of Grenhouse végétales un NFF and hydroponies systéms Acta Hotie 361:145-257
2. **AND P.W., VOTANA.E.J.,**2000 pépères :végétale au des pice eapsienmI .CABI publishing.
3. **Balanc,D,** 1987:Ces cultures hors sol. ED. INRA. Paris..
4. **Blanc,D,** 1987,les culture hors sol.ED.INRA. Paris..
5. **Boualem M, Maameri E, Abbou A, Ghelamallah A, 2014 :** Etude bioecologique de deuxpucerons *Myzus persicae* et *Aphis gossypii* et leurs ennemis naturels sur poivron sous serre. 10eme Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture - 21.22 et 23 octobre 2014 – Montpellier.
6. **Chaux C et Foury C, 1994 :** Productions légumière. Tome 3. Légumineuses potagères– Légumes - Fruits. Coll. (AGRICULTURE D’AUJOURD’HUI : Sciences, Techniques, Applications) Tec & Doc. Lavoisier, Paris, France.
7. **CHAVXCI, FOURYCI,** 1994.pinent In"productions légnmnières", Tnrne3, Tec et doc,
8. **CHOUARD P et RENAUD V.,** 1961. Mise au point de culture hydroponique au Sahars: preniers résultats obtenus CR.Acard.Âge.Fr.,47p:922.1013.
9. **DIGAT et LEMAIRET.,**1993.Nitrogen from and Xanthomonas Susceptibility of pelar goniunx Hortorum.Synposiutm of the International Society for orticultural science. 6-11
10. **DINON,E, et GERSTMANS.A,**2008: l'influence du PH sur l'assimilation des éléments nutritifs du Sol par plantes et sur la Variété des plantes. Université de liège .
11. **DocV3-1HRS 12 Ind A**
12. **DVBONG,** 2001.Poivron:un complément à la tomate .Réussi on Fruit et légumes, octobre 2001, n°200.
13. **FAO, 2015:** Foods and Agricultural Organization, Statistique agricole.
14. **FAO. 2016.** Agir sur l’environnement alimentaire pour une alimentation saine. Rome (également disponible en ligne, aux adresses: www.fao.org/3/a-i6484e.pdf [document complet, en anglais] et <http://www.fao.org/3/a-i6491f.pdf> [résumé en français]).
15. **FORMATEUR, Vanmona Foglian** le 28-07-2016
16. **HENNARD J.W.,** 1995.Qualité et sélection dupiment.PHM.Revue Horticole, décembre 1995.janvier1996,n°364,.
17. **JEANNGUIN.B,** 1992:les plastique en agriculteur.**ED.C.A.**prévue horticole153-161p
18. **JOURDANF.,** 2002 .communication personnelle. Entretien du 8 juillet 2002
19. **Laumonier R, 1979 :** Les cultures légumières et maraichères, tome III. 3ème édition. Collection(Encyclopédie Agricole) Editions J-B. Baillièrè, Paris, France, .
20. **Laumonier R, 1979 :** Les cultures légumières et maraichères, tome III. 3ème édition. Collection(Encyclopédie Agricole) Editions J-B. Baillièrè, Paris, France, ..
21. **Le QUILLEC ,**2002:Gestion des effluents des cultures légumière substrat .ED.CTIFL.
22. **LEMAIRE,F,**1989;cultures en pots et contenents.**ED.INRA.**Paris.
23. **LEMARIRE F.,** 1989: culture en pots et en contenurs. ED.INRA. Paris.
24. **Maitrise en sols etenvironnemntMaitrise** es sciences (M.SC)
25. **Marchoux, G., P. Gognalons et K.G. Sélassié. 2008.** Virus des Solanacées. Du génome viral à la protection des cultures. Quae, Paris, France.
26. **MARCHOUXG** et la,2000.la percée des virus .le marancher de France,Jan –vie ,2000,pp.XVLL àXX.

27. **MATHEIEVC.,PIELTAINF.**,1988 Analyses physiques des sols. Méthodes choisies.Édition Tec et Doc.
28. **MORARD P.**,1995.les cultures végétales hors sol Ed. Lavoisier, 208p développement génétique et amélioration Ed Lavoisier .
29. **NAMESNY VALLESPIRA**, 1996,pimientes de Hortientlura,.
30. **NAMESNY VALLESPIRA**,1996 .pimientos. Ediciones de Hortianlura,
31. **NUEZF., GILOREGR., COSTA.**,1906.ELcultivo de pimentons ,chutes y objies,Edicionnes Mund-Prensa.
32. **NVEZF., GILORTEGAR, COSTAJ.**,1996.Edicions Mundi-Prensa,607p.
33. **PALLOXA.et DAVBEZEA.M.**, 2002.communication personnelle sur la phisionlogie du poivron.
34. **PAUOIXA,PHALUT.**,1995.Histoire du piment: de la plante salvage aux variétés modernes.PHM-Revue Horticole,décembre.1995-janvier1996,n°365.
35. **PERON J.Y.**,1999.production légumières : le piment doux .Ed. Référence. synthèse Agricole 1999,.
36. **PERRIN .R. et COMPOROTA AP.**, 1982.Étud de la Méceptive des substrats Organiques aux maladies de fontes des semis provoquées par pylhium SP.Et Rhizo ctonic Solani Kuhn. Acta horticulture.
37. **PERRINR et COMPOROTA AP.** Étude de la réceptive des substrats organique ou maladies de fontes de senis provoqué par pylhin Sp.Et Rhizoctonia Solani Kuhn .Acter horticulture.
Pochard E, Palloix A, Daubeze M, 1992 : Le piment.
38. **Polese J-M. et Devaux S., 2007 : Plante aromatique et condimentaire, flore de France.**
39. **Qmébec, Canada, valerie Prémont, 2015**
septembre 1992. Florence. Italy
40. **SERRANOCRMENOZ.**, 1996.Cultivo del pimmiendo "veinte culticos de Hortalizas en invernadero" Zoilo Serrano cermen.
41. **Simon H., 1994 : Agriculture d'aujourd'hui sciences techniques et application. La protection des cultures. Ed. Lavoisier Londres, Tec. Et Doc., New York : 21-22.**
42. **Sivirop.,Grallerani M.**,1992.La coltivazione de l'éperon. Edition l'informa tore Agrario.
43. **Skiredj A, Elattir H, Elfadl A, 2005 : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,Département d'horticulture. Site Internet : www.legume-fruit-maroc.com, 2005. Consulté le 30 Mai 2007.**
44. **SNOUSSI,SA**,1980: caractérisation de quelques substrats disponible dans la région.
45. **THIAULT.J F.**,2014:la maitrise de la culture hors sol .Bulletin Détail,n°215 EDCTIFL.ISSN 0758-4334.
46. **VILAIN,M**,1997: LA production végétale.La maîtrise technique de la production. Volume 2 ème édition ED.Technique et documentation , Paris.
47. **VITRE.A.**,2013. Fondement et principes du hors sol.Doc v 3.1 hrs 12 inda .p4
48. **VOGELG-et ANGERMANNH.**,1984.Atlas de biologie. Édition Encyclopédies d'an-jour d'hui,le livre de poche.
49. **VRBAN,L**,1997: Introduction a la production sous serre (L'inigation fertilisent eu culture hors sol) .ED.Lavoisier Tec et Doc.Paris .

50. **WILLIAMS, C.M.; LEE, C.G.; GARLICH, J.D. and SHIH, J.C.H.** Evaluation of a bacterial feather fermentation product, feather-lysate, as a feed protein. *Poultry Science*, January 1991, vol. 70, no 1.
51. **Wong J Y et Lin H, 2000** : Effect of soil pH, nitrogen from and VA-mycorrhiza infection on acquisition of soil phosphorus by paprika plant. *Food Science and Agricultural Chemistry*, 2(3) .
52. **YEAGER,T,H** (1995)the woody ornamentalist, container substrate physical properties environmental horticulture department, university of florida vol20, no1

Annexes

- **Chronologie de culture du Poivron (Original, 2020), FSNV (Karman, Univ de Tiaret)**
- **Appareillage utilisés, tableaux des résultats et ELLISTAT**



Annexe 1 : préparation des 3 traitements



Annexe 2 : Plants du poivron dans les alvéoles



Annexe 3 : Plants du poivron dans les pots



Annexe 4 : 10 jours après fertilisation



Annexe 5 : Poivron et les 3 réservoirs



Annexe 6 : Engrais (Codafol : Macro éléments)



Annexe 7 : Oligo éléments (Codamix)



Annexe 8 : Floraison du poivron



Annexe 9 : 1^{er} fruit du poivron



Annexe 10 : Fruit non mûré



Annexe 11 : Fruits mûrés (traitement T1)



Annexe 12 : Solution nutritive (S1)



Annexe 13 : Table pour mesure (Engrais, pH mètre, conductimètre, verreries, solution de drainage)



Annexe 14 : Thermo-hygromètre digital

The screenshot shows the ELLISTAT software interface. The main window displays a summary table with columns for treatments (T1S1 to TRS3) and rows for statistical measures (Nb, Moy, Med, Sigma, Var, Min). Below this, a detailed data table shows values for each treatment across multiple parameters (A to O).

	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	54,00	63,00	63,00	47,00	62,00	63,00	50,00	58,00	70,00	61,00	37,00	60,00			
3	52,00	56,00	67,00	53,00	40,00	69,00	55,00	48,00	60,00	52,00	49,00	70,00			
4	58,00	57,00	63,00	55,00	67,00	70,00	59,00	61,00	62,00	63,00	40,00	58,00			
5	57,00	62,00	66,00	48,00	42,00	65,00	58,00	49,00	62,00	53,00	38,00	60,00			
6	55,00	59,00	65,00	54,00	66,00	69,00	51,00	60,00	62,00	48,00	69,00				

Annexe 15 : ELLISTAT

Traitements	R1		R2		R3		R4		R5	
	EC	pH								
T1S1	1,70	5,85	1,60	5,81	1,60	5,83	1,60	5,84	1,70	5,82
T1S2	2,00	6,10	1,90	6,00	2,00	6,05	2,00	6,07	1,90	6,09
T1S3	2,40	5,87	2,40	5,90	2,30	6,00	2,30	5,96	2,40	5,88
T2S1	1,80	5,99	1,90	6,00	1,80	6,01	1,90	6,00	1,80	6,01
T2S2	2,10	5,96	1,90	5,99	2,00	6,01	1,90	5,98	2,00	6,00
T2S3	2,30	6,01	2,40	6,11	2,40	6,11	2,30	6,05	2,40	6,09
T3S1	1,80	5,87	1,90	5,93	1,80	6,10	1,80	5,90	1,80	6,04
T3S2	2,00	6,00	2,00	6,01	1,90	6,03	1,90	6,02	2,00	6,00
T3S3	2,40	5,97	2,30	5,77	2,40	5,84	2,30	5,80	2,30	5,91
TRS1	1,70	5,61	1,60	5,65	1,70	5,70	1,60	5,66	1,70	5,68
TRS2	2,00	5,70	1,90	5,71	2,10	5,72	2,00	5,71	2,10	5,70
TRS3	2,30	5,66	2,40	5,68	2,30	5,73	2,30	5,70	2,40	5,72

Annexe 16 : Début de fertilisation avec les 3 solutions nutritives (16/04/2020)

Traitements	R1		R2		R3		R4		R5	
	EC	pH								
T1S1	3,20	6,41	3,10	6,38	2,90	6,43	3,20	6,40	3,10	6,39
T1S2	3,00	6,50	2,90	6,47	3,00	6,52	3,00	6,50	2,90	6,49
T1S3	3,70	7,05	3,80	7,00	3,70	7,08	3,70	7,03	3,80	7,04
T2S1	3,00	6,08	3,00	6,03	3,00	6,10	2,90	6,07	2,90	6,05
T2S2	3,20	6,71	3,10	6,66	3,10	6,73	3,20	6,70	3,20	6,69
T2S3	3,60	6,88	3,50	6,74	3,70	6,90	3,60	6,78	3,50	6,89
T3S1	3,00	5,92	3,10	5,89	2,90	5,94	3,00	5,90	3,10	5,93
T3S2	3,10	6,10	3,10	6,05	3,20	6,13	3,00	6,08	3,10	6,11
T3S3	3,90	6,01	4,00	5,99	3,80	6,04	4,00	6,00	3,90	6,02
TRS1	3,40	5,85	3,50	5,81	3,40	5,87	3,50	5,83	3,40	5,85
TRS2	3,30	6,65	3,30	5,62	3,40	5,66	3,30	5,65	3,40	5,63
TRS3	4,00	7,00	4,00	7,03	3,90	6,97	3,90	7,00	4,00	7,01

Annexe 17 : Les valeurs d'EC atteignent 4 mS/cm, un bassinage de 2 litres (01/05/2020)

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	54,00	52,00	58,00	57,00	55,00
T1S2	63,00	56,00	57,00	62,00	59,00
T1S3	63,00	67,00	63,00	66,00	65,00
T2S1	47,00	53,00	55,00	48,00	54,00
T2S2	62,00	40,00	67,00	42,00	66,00
T2S3	63,00	69,00	70,00	65,00	69,00
T3S1	50,00	55,00	59,00	58,00	51,00
T3S2	58,00	48,00	61,00	49,00	60,00
T3S3	70,00	60,00	62,00	62,00	69,00
TRS1	61,00	52,00	63,00	53,00	62,00
TRS2	37,00	49,00	40,00	38,00	48,00
TRS3	60,00	70,00	58,00	60,00	69,00

Annexe 18 : Longueur des plantes (LP)

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	25,00	24,00	26,00	24,00	25,00
T1S2	24,00	23,00	23,00	24,00	23,00
T1S3	27,00	28,00	26,00	27,00	28,00
T2S1	28,00	29,00	28,00	28,00	29,00
T2S2	32,50	32,00	33,00	32,50	32,00
T2S3	28,00	27,00	29,00	28,00	29,00
T3S1	37,00	38,00	36,00	37,00	36,00
T3S2	27,00	25,00	28,00	27,00	26,00
T3S3	30,00	30,00	31,00	31,00	30,00
TRS1	25,00	26,00	24,00	25,00	24,00
TRS2	21,00	19,00	20,00	21,00	20,00
TRS3	26,00	27,00	26,00	26,00	27,00

Annexe 19 : Longueur des racines (LR)

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	5,00	4,85	5,13	4,88	5,06
T1S2	9,00	9,45	9,95	8,86	9,20
T1S3	6,70	6,88	6,57	6,76	6,66
T2S1	8,60	8,92	8,10	8,72	8,41
T2S2	10,90	11,44	10,44	10,86	11,33
T2S3	12,50	12,97	12,00	12,34	12,84
T3S1	20,50	21,23	19,86	20,32	20,42
T3S2	14,50	14,94	14,22	14,83	14,33
T3S3	10,00	10,72	9,38	9,93	10,60
TRS1	16,50	16,93	16,14	16,40	16,72
TRS2	6,00	6,55	5,56	6,07	5,81
TRS3	19,50	19,70	20,30	19,77	19,56

Annexe 20 : Volume des racines (VR)

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	430,00	171,00	305,50	420,00	200,00
T1S2	275,00	330,50	405,00	280,00	400,00
T1S3	300,00	232,00	344,40	240,00	340,20
T2S1	329,00	356,20	281,00	290,00	354,10
T2S2	335,60	310,40	265,00	270,00	330,50
T2S3	370,60	247,00	400,00	250,00	297,00
T3S1	403,00	330,00	410,00	340,00	407,00
T3S2	268,00	398,70	271,00	275,00	390,00
T3S3	331,60	423,60	332,00	335,00	420,00
TRS1	279,80	540,70	298,00	280,00	537,00
TRS2	228,40	248,70	269,00	230,00	265,00
TRS3	362,00	270,80	505,70	274,50	500,00

Annexe 21 : Poids des fruits (PF)

	R1	R2	R3	R4	R5
T1S1	8,57	8,60	8,49	8,52	8,55
T1S2	9,31	9,22	9,40	9,37	9,38
T1S3	10,00	9,81	10,13	10,03	9,96
T2S1	13,33	13,67	12,89	13,50	13,38
T2S2	18,14	18,00	18,17	18,16	18,07
T2S3	9,20	9,32	9,18	9,27	9,23
T3S1	9,67	9,74	9,58	9,70	9,69
T3S2	12,30	12,40	12,25	12,37	12,29
T3S3	14,43	14,48	14,10	14,17	14,38
TRS1	11,35	11,12	11,53	11,20	11,40
TRS2	7,83	7,70	7,43	7,79	7,56
TRS3	11,66	11,74	11,61	11,62	11,70

Annexe 22 : Matière sèche racinaire (MSR)

Concentration des oligo-éléments en g/l

- La bouteille de $v = 1$ litre pèse 1,28 kg (sa masse m)
- Les valeurs qui figurent sur la bouteille sont des % par rapport au poids (1 kg) :
% p/p
-

On doit les calculer/ $1,28 \text{ kg} \equiv 1 \text{ litre}$. On multiplie les % p/p par 1,28 pour trouver % p/v

- Pour la concentration en g/l : on prend comme exemple le Bore

0,38 % \longrightarrow 100 ml (100 %)

C (g/l) \longleftarrow 1000 ml (1 litre) Alors $C = 0,38 \times (1000/100) = 0,38 \times 10 = 3,8 \text{ g/l}$

On va donc multiplier tout les valeurs de % p/v pour trouvez C (g/l) (voir : tableau 7)

Résumé

Ce modeste travail est porté sur l'étude comparative de différents substrats (pouzzolane, fibre de palmier dattier et terre végétale) ainsi que le terreau commercial utilisés comme mélanges en culture hors sol sous serre pour la production de poivron (*Capsicum annuum*). L'irrigation avec la solution nutritive est contrôlée avec précision. Le suivi quotidien, les résultats physico-chimiques et morphologiques nous ont permis de conclure que le mélange **T3** riche en terre végétale présente les meilleurs résultats (parfois mieux que le terreau commercial) et favorise une bonne croissance de nos plantes durant toute la période de culture hors sol.

Mots clés : pouzzolane, fibres de palmiers dattier, terre végétale, terreau commercial, hors sol, substrat, poivron, analyses, morphologiques

ملخص

يركز هذا العمل المتواضع على الدراسة المقارنة لمختلف الركائز (البوزولان وألياف نخيل التمر والتربة السطحية) وكذلك التربة التجارية المستخدمة كخلائط في الزراعة بدون تربة داخل البيوت المحمية لإنتاج الفلفل (الفليفلة الحولية). يتم التحكم بدقة في الري بمحلول مغذي. سمحت لنا المراقبة اليومية ، النتائج الفيزيائية والكيميائية والمورفولوجية باستنتاج أن الخليط **T3** الغني بالتربة النباتية يقدم أفضل النتائج (أحياناً أفضل من التربة التجارية) ويعزز النمو الجيد لنباتاتنا طوال فترة الزراعة خارج التربة.

الكلمات المفتاحية: البوزولان ، ألياف نخيل التمر ، التربة السطحية ، ال تربة التجارية ، خارج التربة، الركيزة ، الفلفل ، التحاليل ، الشكلية

Summary

This modest work is focused on the comparative study of different substrates (pozzolana, date palm fiber and topsoil) as well as commercial soil used as mixtures in soilless greenhouse cultivation for the production of peppers (*Capsicum annuum*). Irrigation with nutrient solution is precisely controlled. Daily monitoring, physicochemical and morphological results have allowed us to conclude that the **T3** mixture rich in plant soil presents the best results (sometimes better than commercial soil) and favorites good growth of our plants throughout all the period of cultivation without soil.

Key words: pozzolana, date palm fibers, topsoil, commercial compost, soil-less, substrate, pepper, analyzes, morphological