

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB – BLIDA 1
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES

THÈSE DE DOCTORAT 3^{ème} CYCLE (LMD)
en Science Agronomique
Spécialité : Biotechnologie Végétale et Ago-Alimentaire

THÈME :
EFFET DE LA SOLUTION NUTRITIVE DE BASE DANS DIFFÉRENTS
SUBSTRATS EN HORTICULTURE

Par

Youcef HAMIDI

Devant le jury composé de :

M. BENMOUSSA	Professeur	U. Blida 1	Président
S.A. SNOUSSI	Professeur	U. Blida 1	Directeur de thèse
C. CHAOUIA	M. C. A	U. Blida 1	Co-directeur de thèse
A. BENAZIZA	Professeur	U. Biskra	Examineur
M. MEFTI	M. C. A	ENSA El Harrach	Examineur

Blida, 2018

RÉSUMÉ

Le substrat représente un facteur majeur en horticulture. Il assure le maintien de la plante et par l'intermédiaire de la solution nutritive, il assure également son alimentation hydrique et minérale et les échanges respiratoires avec le système racinaire. L'étude a porté sur l'évaluation de cinq substrats de culture constitués de sol et de diverses fractions de sable et de tourbe sur la croissance et le comportement de deux espèces maraichères (tomate et aubergine) et une espèce arboricole (pistachier en stade pépinière) cultivées sous serre.

En plus de l'irrigation apportée lorsque c'est nécessaire, un apport de la solution nutritive est réalisé tous les trois jours sur cinq substrats composés de sol (terre végétale) et un mélange de sable grossier + tourbe (50% sable + 50% tourbe) ont été testés : T1 (100 % sol), T2 (80% sol + 20% de mélange), T3 (60% sol + 40% de mélange), T4 (40% sol + 60% de mélange) et T5 (20% sol + 80% de mélange). L'addition au sol du mélange retenu affecte considérablement les propriétés physiques et chimiques des substrats testés.

Pour le pistachier les résultats obtenus ont révélé un effet marqué du facteur substrat sur la croissance végétative, sur le nombre de feuilles, la surface foliaire ainsi que sur le poids frais du système racinaire. Les résultats les plus performants sont enregistrés au niveau des plantules issues du traitement T5 (20% sol + 80% de mélange) et ce pour la majorité des paramètres testés. Cependant, le substrat T1 (100% sol) présente les paramètres mesurés les plus faibles. En revanche, le comportement des plantes de tomate et d'aubergine était plus remarquable et de manière significative pour l'ensemble des paramètres morphologiques, physiologiques et de productions testés.

Mots clés : Substrat ; Solution nutritive ; Croissance ; Propriétés physico-chimiques ; Pistachier ; Tomate ; Aubergine.

ABSTRACT

Substrate has a major importance in horticulture. It ensures the stability of the plant and through the nutrient solution; it ensures its water and mineral supply and the respiratory exchanges with the root system. This study was conducted to compare the effect of five mixtures substrates on the growth and behavior of two vegetable species (tomato and eggplant) and an arboreal (pistachio in nursery) on greenhouse.

In addition to irrigation when necessary, a nutrient solution is added every three days on five substrates composed of soil and a mixture of coarse sand + peat (50% sand + 50% peat) was tested: T1 (100% soil), T2 (80% soil + 20% mixture), T3 (60% soil + 40% mixture), T4 (40% soil + 60% mixture) and T5 (20% soil + 80% mixture). The increasing addition of mixture to the soil affects greatly the physicochemical properties of the growth media.

For the pistachio seedling plants, a significant treatment's action was observed on growth in height, leaf number, leaf area, and fresh root system weight. The best results are those of the seedlings obtained from the T5 treatment (20% soil + 80% of mixture) for the most of tested parameters. However, T1 substrate (100% soil) gives the lowest values. Besides that, the behavior of tomato and eggplant plants to the studied treatments was significant for the totality of the morphological, physiological and production tested parameters.

Keywords: Substrate; Nutrient solution; Growth; Physicochemical properties; Pistachio; Tomato; Eggplant.

الملخص

إن وسط نمو النبات هو عامل رئيسي في البستنة. فهو يضمن ثبات النبتة ومع وجود المحلول المغذي، فإنه يضمن أيضا تغذيتها بالمياه والمعادن، وكذلك يساعد في التبادلات التنفسية مع الجذور. لقد ركزت الدراسة على تقييم خمسة أوساط نمو تتكون من التربة ومختلف أجزاء الرمال والجفت على نمو وسلوك نوعين من الخضروات (الطماطم والباذنجان) ونوع واحد شجري (الفسق في مرحلة المشتلة) تحت بيت بلاستيكي.

بالإضافة إلى الري بالماء عند الضرورة، يتم إضافة محلول غذائي كل ثلاثة أيام على خمسة أوساط نمو تتكون من التربة (التربة العليا) وخليط من الرمل الخشن + الجفت (50% رمال + 50% جفت) تمت دراستها وتوزيعها كما يلي: T1 (100% تربة)، T2 (80% تربة + 20% خليط)، T3 (60% التربة + 40% خليط)، T4 (40% التربة + 60% خليط) T5 (20% تربة + 80% الخليط). إن الخليط المضاف إلى التربة يؤثر بشكل كبير على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأوساط المستخدمة في دراستنا.

أما بالنسبة للفسق فقد أظهرت النتائج المتحصل عليها تأثيرا ملحوظا لعامل الوسط على النمو، وعلى عدد الأوراق، ومساحة الورقة وكذلك على الوزن الرطب للجذور. لقد تم تسجيل أفضل النتائج في الشتلات الناتجة عن المعامل T5 (20% تربة + 80% الخليط) لمعظم المقاييس المجربة. ومن ناحية أخرى، وسط النمو T1 (100% تربة) سجل لديه أدنى المعايير المقاسة. من جهة أخرى، كان الاختلاف في سلوك نباتات الطماطم والباذنجان أكبر وأكثر وضوحا بالنسبة لجميع المعايير المورفولوجية، الفيزيولوجية والإنتاجية التي تم دراستها.

الكلمات الدالة: وسط النمو؛ محلول مغذي؛ نمو؛ خصائص فيزيائية وكيميائية؛ فسق؛ طماطم؛ باذنجان.

Remerciements

La réalisation de ce mémoire n'a été possible que grâce au soutien de certaines personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Je tiens à remercier dans un premier temps mon directeur de thèse le Professeur SNOUSSI Sid Ahmed, pour qui je ne trouve pas les mots pour exprimer ma gratitude. Ses capacités scientifiques et ses compétences étaient mon grand support. Faire mon projet sous sa direction était pour moi un grand honneur et un immense bonheur. Ses conseils et ses encouragements ont permis à ce travail d'aboutir. La liberté qu'il m'a accordée et les responsabilités qu'il m'a confiées ont beaucoup contribué à la formation de ma personnalité et à mon autonomie de travail.

Je remercie également vivement Docteur CHAOUIA Cherifa, d'avoir accepté d'être le co-directeur de cette thèse. Sa disponibilité et ses qualités pédagogiques et humaines ont été d'une grande aide pour le bon déroulement de ma thèse. Ses conseils ont toujours été judicieux et m'ont permis de maintenir ma motivation afin que je puisse achever ce travail dans les temps.

Je tiens à remercier amplement M. Benmoussa Mebrouk Professeur de l'université Blida 1 qui a bien voulu porter un jugement sur cette étude et je le remercie également pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant le jury de cette thèse.

J'adresse de sincères remerciements aux personnes qui ont accepté d'examiner mon travail, M. Benaziza Abdelaziz, Professeur de l'université de Biskra et M. Mefti Mohamed, Docteur de l'ENSA d'El Harrach. Je les remercie profondément pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être membres de mon jury et pour le temps consacré à la lecture de cette thèse.

Je désire en outre remercier particulièrement Pr Lopez Salvador de l'université polytechniques de Valence pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et m'avoir transmis ces connaissances sur le sujet de mon travail. Merci également aux membres du Laboratoire de Suelo du département de Production Végétale de l'UPV, au Dr. Hector Hermano pour son aide dans les analyses du sol et à Jesie le technicien de laboratoire pour son aide et sa bonne humeur.

Je remercie au final l'ensemble des enseignants que j'ai rencontré lors de mon parcours, pour leurs instructions, leurs connaissances, leur patience, leur disponibilité et leur dévouement.

TABLE DES MATIERES

RESUME	1
REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIERES	5
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUE ET TABLEAUX	7
INTRODUCTION	13
1. SUBSTRATS DE CULTURE	17
1.1. Généralités sur les substrats de culture	17
1.2. Propriétés physico-chimiques des substrats	17
1.3. Différents types de substrats	22
1.4. Désinfection du substrat	25
2. NUTRITION HYDROMINERALE ET SOLUTION NUTRITIVE	27
2.1. Généralité sur la nutrition hydrominérale des plantes	27
2.2. Nutrition hydrique	27
2.3. Nutrition minérale	27
2.4. Importance des éléments minéraux	28
2.5. Importance de la solution nutritive	34
3. GENERALITES SUR LES CULTURES ETUDIEES	38
3.1. Famille des solanacées	38
3.2. Famille des anacardiées	53
4. MATERIEL ET METHODES	58
4.1. Objectif de l'expérimentation	58
4.2. Matériel végétal	58
4.3. Conditions expérimentales	59
4.4. Paramètres étudiés	74
4.5. Analyse des données	77

5. RESULTATS ET DISCUSSION	79
5.1. Evaluation des caractéristiques physiques et chimiques des substrats	79
5.2. Pistachier vrai (<i>Pistacia vera</i>)	86
5.3. Culture de tomate et d'aubergine	99
CONCLUSION	137
Références bibliographiques	142

LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES

Figure 4.1 : Lieu de l'expérimentation	60
Figure 4.2 : Près-germination des graines de tomate et d'aubergine	60
Figure 4.3 : Dispositif expérimental adopté	69
Figure 4.4 : Dispositif expérimental du pistachier	70
Figure 4.5 : Dispositif expérimental de la tomate et de l'aubergine	71
Figure 4.6 : Préparation du mélange tourbe-sable	72
Figure 5.1 : Taux de la matière organique dans les substrats	81
Figure 5.2 : Porosité totale des différents substrats	83
Figure 5.3 : Courbe de rétention d'eau des différents substrats	84
Figure 5.4 : Hauteur finale des plantules	86
Figure 5.5 : Diamètre des tiges	87
Figure 5.6 : Nombre de feuilles par plantule	87
Figure 5.7 : Surface foliaire des plantules	88
Figure 5.8 : Poids frais des feuilles	89
Figure 5.9 : Biomasse fraîche des tiges	90
Figure 5.10 : Poids frais des racines	90
Figure 5.11 : Poids sec des feuilles	91
Figure 5.12 : Poids sec des tiges	92
Figure 5.13 : Poids sec des racines	93
Figure 5.14 : Teneur en chlorophylles « a » et « b » dans les feuilles	94
Figure 5.15 : Taux de matière sèche de la partie aérienne	95
Figure 5.16 : Taux de matière sèche des racines	95
Figure 5.17 : Hauteur finale des plants	99
Figure 5.18 : Diamètre des tiges	100
Figure 5.19 : Nombre de feuilles par plant	101
Figure 5.20 : Surface foliaire des plants	102
Figure 5.21 : Poids frais des feuilles	103
Figure 5.22 : Biomasse fraîche des tiges	104
Figure 5.23 : Poids frais des racines	104
Figure 5.24 : Poids sec des feuilles	105

Figure 5.25 : Poids sec des tiges	106
Figure 5.26 : Poids sec des racines	107
Figure 5.27 : Taux de matière sèche de la partie aérienne	108
Figure 5.28 : Taux de matière sèche des racines	109
Figure 5.29 : Taux de cendres des feuilles	110
Figure 5.30 : Taux de cendres des racines	110
Figure 5.31 : Nombre de fleurs par plant	111
Figure 5.32 : Nombre de fruits par plant	112
Figure 5.33 : Taux d'avortement	113
Figure 5.34 : Production par plant	114
Figure 5.35 : Taux de matière sèche des fruits	115
Figure 5.36 : Taux d'humidité des fruits	115
Figure 5.37 : Taux de cendres des fruits	116
Figure 5.38 : Teneur en sucres totaux (degré Brix)	117
Figure 5.39 : Teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade floraison	118
Figure 5.40 : Teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade nouaison	119
Figure 5.41 : Teneur de la teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade finale	120
Figure 5.42 : Teneur en proline	121

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Disponibilité des éléments selon le pH d'un substrat	20
Tableau 3.1 : Production mondiale de tomate en 2016	41
Tableau 3.2 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie	41
Tableau 3.3 : Quelques maladies et ennemis de la tomate	45
Tableau 3.4 : Production mondiale d'aubergine en 2016	48
Tableau 3.5 : Evolution de l'Aubergine en Algérie	48
Tableau 3.6 : Quelques maladies et ennemis de l'aubergine	52
Tableau 3.7 : Production mondiale de pistachier en 2016	55
Tableau 4.1 : Epoques des différents stades de croissance et de développement	61
Tableau 4.2 : Teneurs en éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida	65
Tableau 4.3 : Composition de l'eau de Blida pH = 7,8	68
Tableau 4.4 : Eau de Blida corrigée (solution nutritive de base) pH = 5,8	68
Tableau 4.5 : Description des différents traitements	72
Tableau 4.6 : Programme des traitements phytosanitaires	73
Tableau 5.1 : Teneur en anions des substrats testés	79
Tableau 5.2 : Teneur en cations des substrats testés	81

LISTE DES ABREVIATIONS

%	: pourcentage
°C	: degré Celsius
µg/g MF	: microgramme par gramme de matière fraiche
CE	: conductivité électrique
cm	: centimètre
cm ²	: centimètre carré
cm ³	: centimètre cube
C.V	: coefficient de variation
DDL	: degré de liberté
DO	: densité optique
ETP	: évapotranspiration potentielle
E.T	: erreur type
g	: gramme
ha	: hectare
Kg	: kilogrammes
KPa	: kilo Pascal
Km	: kilomètre
l	: litre
LSD	: least significant difference
m	: mètre
mS/m	: milli siemens/mètre
méq	: milliéquivalent
méq/l	: milliéquivalent par litre
MF	: matière fraiche
mg	: milligramme
ml	: millilitre
mm	: millimètre
MO	: matière organique
MS	: matière sèche

nm	: nanomètre
P	: probabilité
pH	: potentiel hydrogène
PROBA	: probabilité
Pt	: porosité totale
Qx	: quintaux
S.C.E	: somme des carrés et des écarts
T	: tonne
t°	: température

Introduction

INTRODUCTION

De nos jours, la notion d'une agriculture compétitive pour satisfaire les besoins croissants de la population mondiale et respecter l'environnement demeure une nécessité, afin de confronter les défis relatifs à la sécurité alimentaire des populations. A cet égard, les recherches récentes se sont orientées vers l'adaptation des nouvelles techniques de production et la mise en œuvre de processus pour une production en quantité et en qualité supérieure [1].

En Algérie, la production végétale reste diversifiée en raison des conditions pédoclimatiques variées.

Les milieux de croissance sont des matériaux, autres que le sol in situ, dans lesquels les plantes sont cultivées. Ceux-ci peuvent inclure des composés de natures organiques tels que la tourbe, le compost, l'écorce des arbres, la noix de coco (*Cocos nucifera* L.), et les plumes de volaille, ou inorganiques tels que l'argile, la perlite, la vermiculite et la laine minérale [2] et [3] ou des mélanges tels que la tourbe et la perlite, la noix de coco et l'argile, la tourbe et le compost [4]. En outre, le sol et le sable sont utilisés en mélanges aussi avec les autres matériaux pour la culture de légumes dans les serres [5].

Le développement optimal des plants de qualité, ainsi que leur taux de survie dépendent des caractéristiques essentielles des substrats constituant le support d'ancrage et de prospection des racines, dans lequel ils doivent trouver en quantités suffisantes, les ressources nutritionnelles nécessaires à leur croissance et à leur développement [6].

Cependant, la demande croissante et le prix onéreux de la tourbe, ainsi que son intérêt pour l'environnement dans le maintien de la biodiversité des écosystèmes, ont augmenté la pression sociale contre l'exploitation excessive des tourbières. Partant du fait que cette ressource n'est pas facilement renouvelable, les responsables des pépinières se sont orientés vers la recherche de substituts de tourbe qui sont socialement, économiquement et écologiquement acceptables [7] et [1].

La tourbe constitue le substrat de référence pour la croissance des plants en pépinière maraîchère moderne. Cependant, cette matière ne cesse de poser des problèmes en matière d'approvisionnement et de dépenses de devises [8].

Tzortzakis et Economakis [9], ajoutent que la possibilité d'utiliser des différents constituants pour les substrats, localement disponibles et dont le coût est moindre que ceux importés, des substituants non polluants et qui possèdent des propriétés physico-chimiques adéquates, reste un facteur très important pour résoudre ces problèmes.

Le choix du substrat dans la production horticole est très important. La tourbe est la principale composante des substrats utilisés en pépinière grâce à ses nombreuses caractéristiques intéressantes. Elle possède une rétention très élevée, c'est pourquoi d'autres matières y sont généralement ajoutées en mélange. Le coût et les effets environnementaux de l'extraction de la tourbe amènent les recherches à évaluer différents produits qui pourraient la remplacer [10].

La qualité du substrat est l'un des éléments les plus importants parmi ceux qui ont une influence sur la croissance du plant [11]. Un bon substrat a un ensemble de propriétés physiques et chimiques qui conditionnent une bonne et rapide croissance du plant. Une bonne pratique de pépinière consiste à mélanger le sol avec un matériau inerte (inactif) comme du sable et un autre riche comme la matière organique bien décomposée [12].

Il n'existe jusqu'à présent pas de matériau réellement alternatif à la tourbe en terme de qualité physique. Néanmoins, de nombreux produits complémentaires (notamment pour permettre une meilleure aération du substrat) sont disponibles et peuvent être ajoutés à celle-ci et qui contribuent à une diminution de l'utilisation de la tourbe dans les supports de culture horticoles [13].

Dans ce contexte s'inscrit notre travail de recherche qui consiste à tester différents substrats en mélange (sol/tourbe/sable) en comparaison avec un témoin (100% sol) sur trois espèces horticoles. Notre choix s'est porté sur une espèce ligneuse (pistachier vrai) et deux espèces maraîchères (tomate et aubergine).

En effet, le pistachier vrai (*Pistacia vera* L.) est une espèce fruitière appartenant à la famille des Anacardiacees. Il est généralement cultivé dans les régions arides et semi-arides [14] et [15].

Le développement de la culture du pistachier revêt un intérêt certain pour de nombreuses régions arides et semi-arides en Algérie [16].

Cependant, ceci n'est possible que par la réussite de sa régénération par semis compte tenu de son mode de multiplication végétative difficile.

La tomate (*Solanum lycopersicum*) de la famille des solanacées, occupe une place importante à l'échelle mondiale et nationale. Elle constitue un enjeu majeur des échanges commerciaux intra et extra-communautaires. En Algérie, la tomate possède un intérêt considérable, car elle constitue la 3^{ème} activité agricole, après les céréales et la pomme de terre [17].

L'Aubergine (*Solanum melongena* L.), appartient à la famille des solanacées. Elle nécessite de gros besoins nutritifs et a une forte exigence en chaleur et en eau. Comme la tomate, l'aubergine est consommée depuis très longtemps. Aujourd'hui, c'est un des légumes d'été les plus appréciés et recherchés.

Notre expérimentation vise l'amélioration des techniques culturales spécifiques aux propriétés physiques et chimiques des substrats utilisés en pépinière pour la production de plants en horticulture en récipients. À cet égard, nous envisageons l'optimisation des propriétés physico-chimiques du substrat avec un apport de la solution nutritive équilibrée et adaptée aux besoins évolutifs des cultures, ce qui permettra une disponibilité permanente de l'eau, de l'oxygène et des éléments nutritifs.

Cette étude contribuera à l'amélioration de la croissance du plant, avec un système racinaire performant, efficace permettant une vulgarisation pour son utilisation auprès des pépiniéristes.

Les objectifs tracés sont de deux types :

- i) Caractérisation des propriétés physiques et chimiques de différents substrats à base de sol, de tourbe et de sable, avec identification du comportement des espèces testées.
- ii) Evaluation de la capacité de la croissance racinaire en fonction des mélanges de substrats préparés sur les espèces étudiées et ce par rapport à la biomasse totale produite.

Chapitre I : ***Substrats de culture***

Chapitre I

Substrats de culture

1.1. Généralités sur les substrats de culture

Lorsqu'on veut comprendre les facteurs responsables de la croissance des plantes et l'impact de ceux-ci sur l'équilibre requis par les végétaux, il faut mettre en valeur deux éléments complémentaires : l'eau et le substrat [18].

Au début du 20^{ème} siècle, lorsque certaines espèces légumières ont commencé à être produites dans des serres pour la première fois, les horticulteurs ont investi dans les nouvelles technologies et les nouvelles méthodes de production. L'un de ces plus grands avancements technologiques a sûrement été l'usage d'un substrat de culture comme substituant du sol. Plusieurs types de substrats ont été utilisés dans les serres, notamment la laine de roche, la sciure de bois, la laine de verre, la fibre de noix de coco et la tourbe [19].

Blanc [20], souligne que le terme de substrat est appliqué à tout matériau, naturel ou artificiel qui permet l'ancrage du système racinaire de la plante. Tout matériau solide peut être utilisé comme substrat dans la mesure où il est compatible avec un développement normal du système racinaire et son activité métabolique.

Les substrats de cultures contribuent à l'alimentation hydrique et minérale des plantes. Ils peuvent être constitué d'un seul matériel ou d'un mélange de matériaux organiques et minéraux (sable, gravier,...). La nature du substrat joue également un rôle important dans le développement du système racinaire et la physiologie du plant [21].

1.2. Propriétés physiques et chimiques du substrat

Un substrat de culture doit être hétérogène, il comporte la phase solide qui assure le maintien mécanique du système racinaire en tant que support, il permet l'alimentation hydrique et minérale de la plante et assure également les échanges gazeux (oxygène et dioxyde de carbone) lors de la respiration racinaire [22].

Un bon substrat a un ensemble de propriétés physiques et chimiques qui se conjuguent ensemble et qui conditionnent une bonne et rapide croissance du plant [12].

1.2.1. Propriétés physiques d'un substrat

Pour une conduite et un comportement normal des plants, il est obligatoire d'utiliser un substrat de croissance ayant une bonne qualité physique. Les propriétés physiques jouent un rôle primordial dans l'alimentation des plants, et le développement du système racinaire.

Les principales propriétés sont :

1.2.1.1. Porosité, rétention en eau et en air

La porosité est représentée par l'ensemble des espaces libres entre les particules élémentaires occupés par l'air et l'eau. Le volume total des espaces vides, soit la porosité totale, existant à l'intérieur d'un volume de substrat ne permet toutefois pas de connaître la proportion en eau et en air de ce substrat après saturation [18].

Le substrat doit présenter une porosité (micro et macro) telle qu'elle ménage des vides où l'air et l'eau sont présents en proportions satisfaisantes [23]. A ce sujet, Vallée et Bilodeau [24], précisent que dans un substrat humide et bien drainé, les macropores sont pratiquement toujours occupés par l'air tandis que les micropores par l'eau. En effet, les dynamiques structurales d'un support sont étroitement liées à sa dynamique hydrique [25].

Goulet et *al.* [26], ajoutent qu'au niveau du substrat il y'a la porosité ouverte et la porosité fermée, selon que les pores communiquent ou non avec l'extérieur. Les macropores doivent être toujours ouverts pour permettre une bonne diffusion de l'oxygène et du gaz carbonique dans le substrat. Les pores fermés sont emprisonnés dans la phase solide et ne servent ni à la rétention d'eau ni à la rétention d'air.

L'état du substrat dépend largement de l'état de l'humidité dans les pores. C'est la rétention en eau qui recommandera la teneur en air. Cette dernière, est indispensable pour assurer l'oxygénation des racines. Au delà de 20% la teneur en air est suffisante pour un bon développement du système racinaire des plants [27].

1.2.1.2. Structure

La structure est le mode d'assemblage des particules élémentaires (sables, limons et argiles). Elle se forme grâce à la floculation des colloïdes qui se fixent à la surface des éléments grossiers et les relient [28].

La formation et l'évolution de la structure dépendent de la dynamique des populations de bactéries et de champignons (activité biologique). Les conséquences de la structuration des sols sont multiples ; l'arrangement des particules influe sur la forme, la dimension et la distribution des vides et par conséquent sur les propriétés de transfert. Tandis que le mode et la force de liaison entre les particules ont des conséquences sur les propriétés mécaniques, en particulier sur leur résistance à la pénétration des racines [25].

1.2.1.3. Texture

La texture traduit la distribution dimensionnelle des particules et se rapporte habituellement aux éléments les plus actifs, que l'on situe au-dessous d'une dimension inférieure à 2mm. Elle représente alors l'ensemble des propriétés, qui résultent de la taille des constituants [28].

Comtois et Légaré [18], soulignent que la granulométrie des particules d'un substrat est importante, car elle a un effet direct sur la porosité. L'emploi de particules fines comme le sable fin et la tourbe noire, augmente la rétention en eau, mais diminue l'aération. L'emploi de particules grossières de granulométrie homogène comme le sable grossier tamisé et la perlite augmente l'aération, mais diminue la rétention en eau.

1.2.2. Propriétés chimiques d'un substrat

La disponibilité des éléments minéraux est influencée de manière importante par les propriétés chimiques du substrat [29].

1.2.2.1. pH

Le pH des substrats est très variable. Il se situe entre 4,5 et 8,5 et il est généralement, plus faible dans les substrats organiques que dans les substrats minéraux [30].

Le pH est l'indicateur de la solubilité des éléments nutritifs dans le substrat, il joue un rôle très important dans la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante. C'est pourquoi il est recommandé de surveiller le pH du milieu de croissance [31] et [24].

Tableau 1.1 : Disponibilité des éléments selon le pH d'un substrat [18].

Valeur de pH	
0	14
<p>→ 5,5</p> <p>Excès possible</p> <p>Manganèse</p> <p>Fer</p> <p>Bore</p> <p>Cuivre</p> <p>Zinc</p> <p>Sodium</p>	<p>← 6,5</p> <p>Excès possible</p> <p>Calcium</p> <p>Azote</p>
<p>(comprise entre 5,5 et 6,5)</p> <p>Bonne disponibilité des éléments</p>	
<p>Carence possible</p> <p>Calcium</p> <p>Magnésium</p> <p>Phosphore</p> <p>Potassium</p> <p>Soufre</p> <p>Molybdène</p>	<p>Carence possible</p> <p>Fer</p> <p>Manganèse</p> <p>Bore</p> <p>Cuivre</p> <p>Zinc</p> <p>Phosphore</p> <p>Magnésium (>8,5)</p>

1.2.2.2. Rapport C/N

Le rapport C/N traduit la capacité minéralisatrice, plus cet indice est élevé, et plus la capacité diminue [32]. Le rapport C/N d'un substrat devrait être inférieur à 25. Ce facteur n'est cependant pas toujours exact. La résistance naturelle des

composantes d'un substrat à la décomposition doit également être prise en considération [33].

Une matière organique bien décomposée (humus stable) à un rapport C/N voisin de 10. Cette valeur indique une vie microbienne active se déroulant dans le sol. Si ce rapport est faible, cela est dû à l'importante activité microbienne qui s'y déroule [34].

1.2.2.3. Pouvoir nutritif

Selon Wightman [12], le pouvoir nutritif du substrat regroupe la quantité d'éléments nutritifs qu'il contient, la facilité d'accès des plants aux nutriments et le taux d'absorption par les plants.

Lemaire et *al.* [22], ajoutent que le pouvoir nutritif du substrat est aussi fonction de la qualité d'éléments présents dans celui-ci. Les substrats sont donc choisis en fonction de leur pouvoir de modifier la composition chimique de la phase liquide et la teneur en éléments minéraux nécessaires à la nutrition végétale.

Certaines composantes du substrat libèrent des éléments nutritifs. L'importance de cette libération peut être d'ordre mineur ou majeur, comme par exemple pour la vermiculite, elle contient une quantité importante de potassium, mais la libération de cet élément est d'ordre mineur pour les plantes ligneuses. Les plantes consommant beaucoup plus de potassium que la vermiculite peut en libérer [18].

1.2.2.4. Capacité d'échange cationique (C.E.C)

La capacité d'échange cationique (CEC) est l'aptitude d'un substrat à retenir et échanger des cations [35].

Vallée et Bilodeau [24], soulignent que la majorité des composantes d'un substrat possèdent une certaine capacité à retenir les éléments minéraux, en particulier les cations. Un substrat possédant une capacité élevée d'échange cationique peut emmagasiner une plus grande réserve en cations qu'un substrat à faible capacité d'échange.

La CEC est une propriété importante à prendre en considération lors de la production des plants en récipients, car lorsqu'elle augmente, elle permet de retenir une quantité plus importante d'éléments nutritifs dans le récipient [29].

1.3. Différents types de substrats

Le choix des substrats dans la production horticole est très important. Ils varient énormément dans leur composition et leurs propriétés physiques et chimiques selon les sources d'approvisionnement [36]. Ils peuvent être des :

- Matériaux organiques naturels : la tourbe, l'écorce et les déchets cellulo-ligneux.
- Matériaux minéraux naturels : sable, gravier, pouzzolane et les tufs volcaniques.
- Matériaux minéraux traités : laine de roche, perlite, vermiculite et argile expansée.

1.3.1. Matériaux organiques naturels

1.3.1.1. Tourbe

La tourbe est un matériau organique naturel provenant des anciens marais. Elle est d'origine végétale essentiellement organique, plus ou moins humifiée, ne renfermant pas de contamination minérale (moins de 10%). Les sols tourbeux peuvent présenter une teneur en matière organique supérieure à 50-60% [20] et [37].

Elle a une forte porosité et une capacité de rétention en eau élevée, jusqu'à vingt fois son poids. Sa réactivité naturellement acide est facile à contrôler par addition de carbonate de calcium et de magnésium. La tourbe est, du point de vue cultural, un bon substrat, difficile à remplacer dans certains cas, comme pour la culture des plantes en pots et la réalisation de mottes [38].

1.3.1.2. Ecorce

L'écorce est un substrat léger, très poreux, aéré mais à faible rétention d'eau. Le pH dans l'eau est compris entre 4 et 5.5, ce qui peut nécessiter une neutralisation avant culture. L'écorce est un produit organique instable dont la durabilité est limitée de 4 à 8 cultures [39].

C'est une ressource renouvelable et, de plus, un produit de recyclage d'une activité industrielle. Ce sous-produit a longtemps été valorisé en tant qu'amendement organique et depuis quelques années, il est utilisé en support de culture. C'est un produit dont le coût est variable selon le compostage et la granulométrie. Les écorces sont utilisées fraîches ou compostées, pures ou en mélange. Il permet aussi de limiter l'utilisation de la tourbe [38].

1.3.1.3. Fumier de ferme

Le fumier de ferme est constitué d'un mélange de déchets végétaux imbibés de purin et de déjections animales, de telle manière qu'on y trouve tous les éléments essentiels qui composent la plante. Il convient de préparer convenablement le fumier de ferme et de l'employer dans les champs cultivés afin de restaurer la fertilité des sols [40].

Le même auteur ajoute que la composition et la valeur fertilisante du fumier de ferme dépendent de l'espèce animale. Malgré sa teneur insuffisante en éléments minéraux, le fumier de ferme est une source précieuse d'humus.

1.3.2. Matériaux minéraux naturels

Crozon et Neyroud [41], classent ce type de matériaux dans la catégorie des substrats physico-chimiques inactifs, car ils n'interviennent pas dans l'approvisionnement minéral du plant. Ces matériaux présentent l'avantage d'avoir une stabilité structurale plus ou moins inaltérable (contribuent à l'amélioration de la structure), et une perméabilité élevée. Ils existent sous forme naturel ou synthétique [42].

Selon Moinreau et *al.* [43], ce sont des matériaux qui ne subissent aucune dégradation et sont chimiquement neutre. En Algérie, on utilise fréquemment le sable. Ce dernier est une matière minérale, pulvérulente composée d'un ensemble de particules généralement fines (de 0.002 à 2mm de diamètre). Il provient de la désagrégation des roches siliceuses ou calcaires, ayant la même composition que les minéraux qui constituent la roche mère.

La pouzzolane est un matériau naturel issu d'une roche obtenue après refroidissement des cendres projetées lors des éruptions volcaniques. Elle est essentiellement constituée de silice, d'alumine et d'oxydes de fer [44].

1.3.3. Matériaux minéraux synthétiques

Ce sont les matériaux naturels qui ont subi un traitement par la chaleur. On distingue : la laine de roche, la perlite, la vermiculite et l'argile expansée.

1.3.3.1. Laine de roche

La laine de roche est un milieu de croissance inerte, poreux et presque stérile fabriqué à partir de roche volcanique liquéfiée et extrudée ou provenant de sous-produits de hauts-fourneaux. Elle sert de substrat dans certaines formes de cultures hydroponiques. La laine de roche peut à la longue libérer du calcium et augmenter le pH. Des mesures correctives sont généralement à prévoir, comme une préparation initiale ou l'emploi de substances acidifiantes. La laine de roche est disponible sous différentes formes, en granulés, en blocs de culture pour les semis et les jeunes plants et en pains de culture [24] et [45].

1.3.3.2. Perlite

La perlite est produite en chauffant un silicate naturel volcanique à 1200°C. Cette température de chauffage très élevée provoque la fusion du matériau. Elle apparaît sous forme de granules très légers d'une couleur très blanche qui s'écrase facilement en poussière entre les doigts. La perlite est bien plus stable que la vermiculite mais accumule sensiblement moins d'eau. Ce matériau est très pratique pour alléger un substrat, et a une bonne tenue au temps [46].

1.3.3.3. Vermiculite

La vermiculite est un mica (silicate d'alumine magnésien et potassium en feuillet) expansé par choc thermique. Au cours du temps, la vermiculite tend à se tasser et à devenir asphyxiante. Au regard de ces considérations, il apparaît que la vermiculite n'est pas un substrat très recommandable, sauf peut-être en mélange avec des matériaux très aérés [44].

1.3.3.4. Argile expansée

L'argile expansée est un produit obtenu par granulation et chauffage à 1100°C de nodules d'argiles humide. Par ébullition brutale de l'eau, on obtient des boulettes dures et poreuses. Ces dernières possèdent une porosité grossière et fermée, de ce fait sa rétention d'eau est faible et varie selon la granulométrie utilisée. Par contre, c'est un matériau très aéré qui peut entrer dans la fabrication des mélanges à base de tourbe [47].

1.4. Désinfection du substrat

Les substrats constituent un milieu très favorable au développement des systèmes racinaires des plantes supérieures, mais aussi des micro-organismes. Parmi ces micro-organismes, on trouve en particulier les agents pathogènes telluriques. Ces derniers véhiculés par le sol constituent l'un des principaux problèmes pour la production de plants sains. Ils peuvent être responsables de la fonte des semis, de la mort des plantules, du flétrissement des plants en cours de la croissance, et de la pourriture ou dégénérescence des racines [48] et [49].

Les principales maladies sont celles causées par les champignons des genres *Rhizoctonia*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Colletotrichum*, *Sclerotium*, *Sclerotinia* et *Pythium* qui est le plus fréquemment rencontré, ainsi que par les bactéries des genres *Ralstonia* et *Agrobacterium*. Les nématodes peuvent être aussi véhiculés par les substrats, particulièrement ceux du genre *Meloidogyne* [50] et [48].

Il est à noter que dans les milieux biologiquement peu actifs, tels que les tourbes, le développement des germes peut être facilité du fait qu'il n'existe pas de concurrence. Dans ce cas on peut penser à introduire des micro-organismes compétiteurs tels que les rhizobactéries, comme moyen de prévention. Par contre, les substrats biologiquement actifs tels que les composts de feuilles, ont pu être infestés s'ils ont été préparés avec des résidus de végétaux abritant l'agent causal. Dans tous les cas, la sécurité exige que l'on dispose avant culture d'un matériau indemne de germes d'agents phytopathogènes. L'introduction de substrats porteurs de pathogènes dans un sol sain peut résulter d'une infestation qui nuira à la viabilité de la culture implantée mais aussi de celles qui la suivront [49].

***Chapitre II :
Nutrition hydrominérale et
solution nutritive***

Chapitre II

Nutrition hydrominérale et solution nutritive

2.1. Généralités sur la nutrition hydrominérale des plantes

Comme tous les êtres vivants, les plantes ont besoin de nourriture pour croître, se développer et se reproduire. L'homme et les animaux ne vivent que d'aliments sous forme organique, c'est-à-dire dérivés de plantes ou d'animaux. Les plantes, au contraire, utilisent pour se développer de l'eau et des substances minérales et peuvent constituer des tissus organiques directement à partir d'éléments minéraux [51].

A l'exception du carbone et de l'oxygène, qui sont fournis sous forme de dioxyde de carbone par l'air. Les plantes supérieures prélèvent leurs éléments nutritifs dans la solution du sol par leur système racinaire [52].

2.2. Nutrition hydrique

Lambers et *al.* [53], précisent que la vie des plantes dépend énormément de l'eau. Cette dernière représente une source de vie indispensable, sa disponibilité est un facteur limitant dans la production végétale et la productivité de nombreux écosystèmes naturels, en particulier dans les climats secs. L'eau joue un rôle crucial pour les plantes. Elle est importante pour le développement des plantes et rentre dans tous les processus physiologiques. L'eau intervient aussi au niveau cellulaire où elle est le principal moyen de transport des métabolites à travers la cellule.

2.3. Nutrition minérale

Les plantes prélèvent les éléments minéraux du sol pour produire les composés organiques. Il est établi que plusieurs éléments sont nécessaires pour le fonctionnement normal de la machine biochimique de la plante. On connaît de nos jours plus de 100 éléments chimiques, mais seulement quelques uns sont considérés essentiels à cause de leur importance pour la croissance et le développement des plantes. Ces éléments sont classés en trois catégories : les éléments essentiels majeurs (Azote, phosphore et Potassium) ; les éléments secondaires (Calcium, Magnésium et Soufre), et les oligo-éléments (Fer, Zinc, Manganèse, Cuivre, Bore, Molybdène, Chlore et Nickel) [54].

2.4. Importance des éléments minéraux

D'après Urban et Urban [44], il y'a douze éléments minéraux indispensables à la nutrition des végétaux. Ces éléments sont regroupés selon leur teneur dans les plantes en deux catégories.

La première catégorie renferme les macro-éléments qui sont requis en grande quantité par la plante. Il s'agit de l'azote (N), du phosphore (P), du soufre (S), du potassium (K), du calcium (Ca) et du magnésium (Mg).

La deuxième catégorie est celle des micro-éléments ou oligo-éléments, qui sont le bore (Bo), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le zinc (Zn), le molybdène (Mo) et le manganèse (Mn). Ces derniers sont présents en très faible quantité.

2.4.1. Macro-éléments

2.4.1.1. Azote

Selon Hopkins [52], l'azote est le moteur de la croissance végétale. Il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique (NO_3^-) soit ammoniacal (NH_4^+). Etant le constituant essentiel de plusieurs molécules importantes comme les protéines, les acides nucléiques, les hormones et la chlorophylle, il intervient dans les principaux processus de développement de la plante et de la détermination du rendement. Un bon apport d'azote à la plante est aussi important pour l'absorption d'autres éléments nutritifs.

Une insuffisance en azote provoque d'après Zaoui [55], une décoloration puis un jaunissement des feuilles qui restent petites puis se nécrosent et tombent rapidement en vieillissant. Les fruits aussi sont atteints et forment de petits calibres. La croissance des plantes est donc limitée. Au contraire un excès d'azote provoque une végétation excessive sensible aux maladies, une mauvaise mise à fleurs et un retard de maturité des fruits avec apparition possible de carence en oligo-éléments.

2.4.1.2. Phosphore

D'après Michelot [56], le phosphore participe dans la constitution de plusieurs molécules indispensables pour la vie de la cellule. Il est ainsi trouvé dans les phospholipides et dans les acides nucléiques. Il joue un rôle important dans tous les mécanismes d'échange et de transfert d'énergie, vu qu'il rentre dans la composition de l'ADP et de l'ATP, ainsi que dans d'autres réactions enzymatiques où il intervient comme activateur.

Le phosphore a un rôle physique dans la plante, il favorise l'entrée du magnésium. Il permet le maintien de la turgescence cellulaire, le maintien du pH interne (système tampon) et la création de potentiels membranaires qui agissent sur la perméabilité de la membrane et par conséquent les échanges cellulaires [52].

Une forte teneur en phosphore rend le système racinaire plus fourni et provoque une carence en zinc ainsi qu'en fer. Les parties apicales sont nécrosées et les fruits sont creux. Par contre, en présence d'une forte teneur en phosphore, les feuilles vert sombre se colorent en violacée à leur face inférieure et se courbent vers le dessous. Les tiges aussi manifestent une teinte comparable et les fruits subissent un défaut de coloration [55].

2.4.1.3. Soufre

D'après Vallée et Bilodeau [24], le soufre est absorbé par les plantes sous forme de sulfate (SO_4^{2-}). Ces dernières en ont besoin très tôt car cet élément est indispensable à la synthèse des protéines et notamment à la formation de la chlorophylle dans les feuilles. Le soufre est le constituant de trois des vingt acides aminés indispensables à la formation des protéines. Ces acides aminés soufrés interviennent dans l'architecture de protéines complexes. Pour cela une déficience en soufre induit un symptôme de jaunissement des feuilles comme pour l'azote puisqu'il se forme moins de chlorophylles et peut aussi affecter la teneur et la composition en protéine des plantes.

Une carence en soufre dans le sol ou sa présence en faible quantité entraîne une croissance et un développement limités de la plante. Les jeunes feuilles prennent

une couleur vert-jaune pâle uniforme, la croissance des pousses est ralentie et les tiges sont moins vigoureuses [51].

2.4.1.4. Potassium

Le potassium est le cation le plus abondant dans le cytoplasme. Il contribue de façon majeure au potentiel osmotique et a un rôle pour stabiliser le pH [57] et [58]. Le K^+ est très mobile dans la plante, il joue un rôle majeur de transporteur membranaire. Il est aussi impliqué dans l'activation de plusieurs réactions enzymatiques dont celles intervenant dans la synthèse protéique. De plus, le K^+ affecte la photosynthèse étant donné son rôle dans l'ouverture et la fermeture des stomates. Il joue également un rôle dans l'équilibre cationique-anionique de la plante. Sa prédominance fait qu'il peut inhiber les anions présents dans le cytoplasme, les vacuoles, le xylème et le phloème [58] et [59].

Selon Zaoui [55], des teneurs en potassium trop élevées peuvent induire des carences en magnésium. Cependant, une carence en potassium cause des décolorations grisâtres provoquant des taches sur les tissus internervaires qui se nécrosent par la suite. La plante prend aussi une coloration pourpre dans la portion inférieure de la tige s'exprimant par le jaunissement du collet. Les fruits, quant à eux subissent une baisse de qualité et peuvent être plus mous, creux, et de taille irrégulière, mal colorés et marbrés.

2.4.1.5. Calcium

Le calcium améliore la rigidité des tiges et la maturité des fruits et des graines. Il est contenu dans les eaux d'arrosage et est souvent suffisant aux besoins des plantes [60].

Le calcium joue également un rôle important à l'extérieur des cellules. Il crée des liens entre les parois des cellules. Il maintient la structure entre les cellules en les cimentant les unes aux autres et intervient dans l'hydratation et la perméabilité cellulaire [61].

Zaoui [55], indique que de fortes carences en calcium causent des lésions nécrotiques sur la périphérie des jeunes folioles. Les bourgeons terminaux brunissent et se nécrosent. Les fruits peuvent manifester des altérations humides en se nécrosant

à leur extrémité. Toutefois, des excès en calcium rendent les tissus rigides et permettent une accumulation de cristaux d'oxalate de calcium.

2.4.1.6. Magnésium

D'après Marschner [62], le magnésium Mg^{2+} est un cation très mobile dans la plante. Sa fonction majeure est liée à cette mobilité dans les cellules. Il contribue à l'équilibre cationique-anionique et a un rôle dans la régulation du pH cellulaire.

Barker et Pilbeam [59], ajoutent que le magnésium exerce une action fondamentale dans la photosynthèse. Il rentre dans la constitution de la chlorophylle et a des liaisons étroites avec ses molécules. En plus de cela, il active de nombreux processus enzymatiques et en particulier celui lié au métabolisme des hydrates de carbone. Il régularise aussi la réduction des nitrates et influence l'absorption et la translocation des phosphates. Le Mg^{2+} agit également au niveau de la synthèse des protéines et des sucres.

Lorsque le magnésium est en manque dans le sol, il y'a apparition de chlorose striée typique et de nécrose (surtout chez les feuilles les plus âgées) dues au jaunissement internervaire des feuilles. La carence en magnésium développe chez la plante une sensibilité aux maladies cryptogamiques, et ralentie aussi le développement des rameaux avec une croissance limitée des feuilles qui auront une petite taille [51].

2.4.2. Micro-éléments

2.4.2.1. Bore

Selon Skiredj [63], le bore est absorbé par la plante sous forme d'acide borique H_3BO_3 . Son absorption est possible dans des sols ayant un pH ne dépassant pas 9. Cet oligo-élément a de nombreuses fonctions et cela malgré sa faible quantité. Il contribue à la migration et l'utilisation des glucides. Il rentre dans la formation des ribosomes, la synthèse des protéines et la croissance méristématique. Il joue aussi un rôle dans l'absorption de plusieurs cations parmi eux, le potassium, le phosphore et le magnésium. Le bore est également nécessaire au bon développement et à la différenciation des tissus des végétaux.

Etant donné que le bore est relativement immobile dans les végétaux, la carence en bore affecte surtout les parties jeunes de la plante. Elle provoque aussi souvent la stérilité et la malformation des organes végétaux. La pourriture du collet et du cœur de la betterave sucrière sont les plus connues de la carence en bore [64].

2.4.2.2. Cuivre

Selon Mengel et Kirkby [65], le cuivre est absorbé par les racines sous forme du cation Cu^{2+} . Il est assez abondant dans le sol, mais est fortement groupé en complexe humique avec la matière organique. Les fonctions du cuivre, composant essentiel de nombreuses enzymes, concernent la photosynthèse et la synthèse de protéines, particulièrement la chlorophylle. En effet, le cuivre influe à la fois sur le métabolisme des glucides et sur celui de l'azote. Une carence en Cu^{2+} au stade végétatif peut induire une faible concentration de glucides solubles.

Comtois et Légaré [18], notent que les symptômes de carence du cuivre se produisent dans les nouvelles feuilles. Les symptômes commencent par une coloration bleu-vert du feuillage et un bombement accompagné d'une légère chlorose des jeunes feuilles. Ces dernières sont plus petites, perdent leur lustre et peuvent faner dans certains cas. Les plantes ont une apparence compacte et tassée car elles présentent des entre-nœuds très courts.

2.4.2.3. Fer

D'après Pousset [66], Le fer est trouvé dans tous les tissus végétaux jeunes comme les bourgeons et les fleurs. Il est rencontré dans le sol sous plusieurs formes mais c'est le fer libre assimilable par les plantes qu'on dose habituellement dans les analyses de sol. Sa disponibilité est fortement influencée par le pH du sol ; avec un pH au-dessous de 6.5, le fer est fortement fixé au substrat et des problèmes de carence peuvent survenir. Des difficultés d'absorption sont constatées. En effet, si le pH est assez acide le fer libre se combine aux phosphates et forme avec ces derniers des composés presque insolubles et le phosphate sera alors en manque pour la plante.

Hopkins [52], ajoute que le fer joue un rôle de catalyseur dans la formation de la chlorophylle. Il active plusieurs réactions cellulaires (photosynthèse, transfert

d'énergie...). Il a le rôle de transporteur d'oxygène et entre dans la formation de nombreux enzymes et protéines. Le fer étant un élément non mobile dans la plante, les symptômes de carence apparaissent aux points de croissance [24].

2.4.2.4. Zinc

Selon Hopkins [52], le zinc est absorbé sous la forme du cation bivalent Zn^{2+} . Il est nécessaire à la formation de certaines auxines, qui sont des hormones de croissance. C'est un activateur de nombreuses enzymes comme l'alcool déshydrogénase qui catalyse la réduction d'acétaldéhyde en éthanol, l'anhydrase carbonique qui catalyse l'hydratation du dioxyde de carbone en bicarbonates et en association avec le cuivre, le superoxyde dismutase. Il intervient dans la régulation de la croissance et dans la transformation des sucres.

Un déficit en zinc se traduit par une chlorose internervaire des feuilles, une réduction de leur taille et une coloration grisâtre du feuillage avec enroulement du limbe vers le bas. Dans certains cas graves on a une nécrose et chute des feuilles. La carence en zinc affecte aussi les tiges, les entre-nœuds se raccourcissent et la croissance devient alors rabougrit [18].

2.4.2.5. Molybdène

D'après Hopkins [52], le molybdène est le microélément dont les besoins sont parmi les plus faibles pour la plante. Pourtant, ces fonctions sont très spécifiques. C'est une composante essentielle de certaines enzymes comme celles responsables de la conversion du nitrate en nitrite (une forme toxique d'azote) et ensuite en ammoniac, avant qu'il ne soit utilisé pour la synthèse des acides aminés. Il est également utilisé par les plantes pour transformer le phosphore inorganique en formes organiques et est requis par les bactéries symbiotiques fixatrices d'azote chez les légumineuses pour la fixation de l'azote atmosphérique.

La même source ajoute qu'une carence en molybdène se traduit logiquement par des symptômes de carence azotée. C'est derniers apparaissent essentiellement sur les feuilles adultes et cela est dû à la mobilité du molybdène dans la plante.

2.4.2.6. Manganèse

Le manganèse joue un rôle de catalyseur dans les réactions d'oxydation. Il est impliqué dans la formation de la chlorophylle et active plusieurs réactions enzymatiques. Le manganèse favorise la résistance des racines aux maladies et stimule l'élongation de leurs cellules. C'est un élément essentiel pour la respiration et pour le métabolisme de l'azote dans la plante [24].

Pousset [66], mentionne que le manganèse est présent dans les plantes en grande quantité (jusqu'à deux cent milligrammes par kilogramme de matière sèche). Il doit être suffisamment présent dans le sol pour éviter tout risque de carence. Cette dernière est surtout à redouter en terre légère, calcaire, aéré et pauvre en matières organiques.

2.5. Importance de la solution nutritive

La solution nutritive représente une eau d'irrigation, filtrée, dans laquelle les éléments minéraux nécessaires à la plante sont apportés, en y maintenant des valeurs correctes de pH et de conductivité électrique [67].

Selon Morard [30], la solution nutritive doit fournir à la plante en permanence et en quantité suffisante l'eau, les éléments minéraux et l'oxygène.

Les sels dissous que contient la solution nutritive sont choisis et quantifiés de manière à apporter les différents éléments minéraux nutritifs dans des proportions conformes aux besoins de la plante cultivée [68].

Lesaint et Coic [69], ajoutent que la solution nutritive est une source d'alimentation en eau et ions minéraux de la plante. Il est nécessaire que la composition de cette solution soit équilibrée entre les besoins en eau et en ions minéraux de la plante.

La solution nutritive est caractérisée par trois principaux paramètres qui sont :

- pH

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité d'un liquide. Sa valeur s'exprime sur une échelle graduée de 0 à 14. Un pH égal à 1 désigne une substance fortement acide, un

pH = 7, une substance neutre, et un pH = 14, une substance fortement basique. Ainsi, les substances ayant un pH inférieur à 7 sont acides tandis que les substances ayant un pH supérieur à 7 sont basiques [70]. Selon Dinon et Gerstmans [71], les plantes peuvent être réparties en trois catégories en fonction du pH du milieu dans lequel elles poussent :

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

Il est indiqué que pour éviter tout risque de conflits électriques entre les racines et les ions contenus dans la solution, le pH doit être au plus proche de celui de la plante. C'est en fonction du pH de la solution que les éléments nutritionnels subiront des variations de charges électriques. Si cette charge dépasse les limites tolérables et admises par les racines de la plante l'élément ne sera plus absorbé aussi rapidement qu'il le devrait. Cette altération se traduit par des plantes frêles [72].

Loué [73], montre que le pH peut influencer d'une façon très marquée l'assimilabilité et par suite l'absorption des oligo-éléments par les plantes. L'augmentation du pH réduit la solubilité et l'absorption de l'aluminium, cobalt, cuivre, fer, zinc et plus particulièrement manganèse et augmente celle du molybdène. En effet, les travaux de Dinon et Gerstmans [71], montrent que dans un milieu acide, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et le molybdène sont difficilement assimilables par la plante tandis que le fer, le manganèse, le bore, le cuivre et le zinc le sont moins dans un milieu basique. A l'exception des espèces acidophiles ou basophiles strictes qui exigent ou supportent des valeurs de pH extrêmes, l'optimum physiologique du pH pour la majorité des espèces cultivées se situe entre 5,5 et 6,5 [20].

En ce qui concerne la mesure du pH, plusieurs méthodes existent, mais elles n'offrent pas toutes le même degré de précision et rendent les données parfois incertaines. La méthode dépend de la précision des données qu'on souhaite obtenir. Le papier indicateur par exemple est imprégné de substances qui changent de couleur selon le pH de la solution. Cette méthode fournit une valeur approximative et ne peut être utilisée à des fins d'analyses rigoureuses. La méthode la plus précise et la plus simple consiste à utiliser un pH-mètre qui représente un appareil électronique muni d'une sonde [70].

- Conductivité électrique (CE)

Les travaux de Blanc [20], ont montré que la concentration en sel de la solution nutritive joue un rôle primordial dans l'alimentation hydrique de la plante car elle détermine la pression osmotique de la solution. Cette dernière doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire, afin de permettre à l'eau présente dans la solution de se déplacer vers la plante. Cette concentration saline s'exprime en grammes de sels par litre d'eau et est contrôlée par la mesure de la conductivité électrique. La mesure de la conductivité de la solution permet donc de vérifier si la solution nutritive employée correspond bien, en moyenne, à l'équilibre eau-ions nécessaire à la plante.

Une forte valeur de conductivité électrique correspond à une charge élevée en sels minéraux dissous. Inversement, une faible valeur de conductivité reflète à coup sûr une eau douce. Cependant, il faut attirer l'attention sur le fait que le caractère acide ou basique d'une solution peut aussi être responsable d'une grande conductivité électrique [70].

En effet, Le Quillec [74], affirme qu'une diminution de la conductivité au-delà des seuils bas correspond à un apport insuffisant en éléments minéraux, une absorption hydrique faible ou à un excès d'arrosage. Une augmentation de la CE au-delà des seuils élevés correspond à un apport excessif d'éléments minéraux, une absorption minérale et hydrique élevée ou à un manque d'arrosage. Selon Erard et *al.* [67], la conductivité d'une solution s'exprime en millisiemens par centimètre (mS/cm) et se mesure avec un conductimètre.

- Equilibre ionique :

Pour l'alimentation hydrique et minérale les équilibres ioniques ne sont pas indifférents et pourront être modulés en fonction des stades de développement [75].

Selon Coic [76], l'égalité entre ions et cations y compris les ions H^+ est obligatoire dans la solution comme elle est dans les sels apportés. La proportion entre les ions azotés NO_3^- et NH_4^+ est assurée en fonction des besoins spécifiques des plantes et la nécessité de maintenir un certain pH.

***Chapitre III :
Généralités sur les cultures
étudiées***

Chapitre III

Généralités sur les cultures étudiées

Les plantes horticoles sont pour la majorité exigeantes, elles nécessitent des sols fertiles et riches en éléments minéraux. Parmi ces plantes nous citons deux espèces de la famille des solanacées et une espèce de la famille des anacardiées.

3.1. Famille des Solanacées

3.1.1. Tomate :

3.1.1.1. Origine et historique de la tomate :

La tomate est originaire de l'Amérique du Sud, et bien qu'on ait longtemps pensé que cette plante provenait des montagnes péruviennes, où poussent encore des formes sauvages. Ce sont les peuplades primitives du Mexique qui cultivèrent les premières tomates [77].

En effet, la tomate cultivée, *Lycopersicon esculentum*, s'est différenciée au Mexique à partir d'une forme à fruits plus petits (*Lycopersicon esculentum. var. cerasiforme*) originaire de la zone andine. Les indigènes du Mexique l'appelaient « Tomati » qui dérive d'un mot aztèque « Zitomate » [78].

D'après Polese [79], la tomate arriva d'abord en Espagne, puis très vite, elle parvint en Italie et gagna le reste de l'Europe. En Italie, on commença à consommer ses fruits vers 1550, mais seulement en petites quantités, car on montrait une certaine réticence à utiliser ce nouveau fruit dans la cuisine courante. Les italiens la baptisèrent *pomo d'oro* qui signifie pomme d'or.

La tomate qui représente de nos jours un des légumes-fruits des plus populaires et des plus recherchés a longtemps était considérée, comme une plante contenant des substances narcotiques et vénéneuses, ce qui la limita pendant une longue période à un unique rôle ornemental [80] et [75].

La première évocation de la tomate dans le vieux monde est celle du botaniste italien Matthioli en 1544, dans un chapitre traitant de la Mandragore [81]. Mais ce n'est qu'en 1778 que la tomate apparaît dans les catalogues de graines potagères [77]. La tomate fit son apparition en Afrique du nord au XVII^{ème} siècle au Maroc d'abord puis en Algérie et en Tunisie [82].

3.1.1.2. Classification botanique et caractéristiques morphologiques

La tomate appartient à la famille des *Solanaceae* qui regroupe la pomme de terre, l'aubergine, le poivron et le tabac [83].

Le genre *Lycopersicon* dont le nombre chromosomique est ($2n = 2x = 24$) comprend huit espèces parmi lesquelles cinq sont susceptibles de se croiser facilement [75].

Selon Gallais et Bannerot [84], la tomate est classée botaniquement comme suite :

- Règne : *Plantae*
- Embranchement : phanérogames.
- S / E : spermaphytes.
- Ordre : polemoniales.
- Famille : *Solanaceae*.
- Genre : *Lycopersicon*.
- Espèce : *Lycopersicon esculentum*.

3.1.1.2.1. Système racinaire

Le plant de tomate présente un système racinaire puissant très ramifié et à tendance fasciculée. Il est constitué d'une racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus et qui produit une haute densité de racines latérales et adventives très actives sur les 30 à 40 premiers centimètres [85] et [75].

3.1.1.2.2. Tige

Les tiges d'un plant de tomate sont vertes et pourvues de poils blanchâtres. Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits [86]. Il y'a deux types différents de plantes de tomates, selon le mode de croissance de la tige :

- Variétés à croissance déterminée, où la tige émet un nombre donné de bouquets floraux et la croissance de la tige s'arrête d'elle-même.
- Variétés à croissance indéterminée, dont la tige principale pousse avec régularité en formant un bouquet floral toutes les trois feuilles généralement [80].

1.1.2.3. Feuilles

Les feuilles de la tomate sont composées et possèdent de sept à onze folioles. La forme des folioles peut varier selon les variétés : arrondies ou, au contraire, dentelées et pointues à leur extrémité. Ces feuilles mesurent de 15 à 25 cm de long et sont d'un vert franc, poilues et odorantes [77].

3.1.1.2.4. Fleurs

Les fleurs sont petites, jaunes et en forme d'étoile. Elles sont groupées sur un même pédoncule en bouquet de trois à huit fleurs. Elles sont hermaphrodites avec un appareil reproducteur mâle et femelle fonctionnelles et sont principalement auto-pollinisées par le vent [79] et [86].

La structure de la fleur assure une autogamie stricte. Cependant, elle peut se comporter comme une plante allogame présentant ainsi deux types de fécondation qui divisent la tomate en deux variétés ; variété fixée et variété hybride [87].

1.1.2.5. Fruits

La tomate est une baie qui provient du développement de l'ovaire. Les fruits de tomate sont très variés, certains s'ouvrent à maturité pour libérer leurs graines, d'autres non. Ces dernières contiennent elles-mêmes l'embryon [88].

3.1.1.3. Importance économique de la tomate

3.1.1.3.1. Dans le monde

La tomate est une culture importante de l'économie mondiale. Elle représente l'un des légumes les plus consommés car elle fournit des nutriments essentiels dans l'alimentation humaine [89].

La tomate est cultivée dans plusieurs pays et à travers le monde entier. En ce qui concerne la consommation en frais, la production mondiale de tomates a atteint, en 2016 près de 177,04 million de tonne pour une surface de 4,78 million d'hectare, soit un rendement moyen de 36,38 tonnes à l'hectare [90].

Tableau 3.1 : Production mondiale de la tomate en 2016 [90].

Pays	Production (T)	Pays	Production (T)
1- Chine		11-Russie	
2- Inde	56308914	12-Ouzbékistan	2986209
3- USA	18399000	13-Nigéria	2648017
4- Turquie	13038410	14-Ukraine	2243228
5- Egypte	12600000	15-Portugal	2229690
6- Italie	7943285	16-Tunisie	1693860
7- Iran	6437572	17-Algérie	1303000
8- Espagne	6372633	18-Maroc	1280570
9- Brésil	4671807	19-Cameroun	1231248
10-Mexique	4167629	20-Grèce	1182114
	4047171		1044346

3.1.1.3.2. En Algérie :

La tomate occupe une place remarquable dans l'économie agricole algérienne. C'est une culture très répandue, des milliers d'hectares y sont consacrés chaque année. C'est un légume de base pour la population. Elle prend le deuxième rang en cultures maraîchères après la pomme de terre. Le tableau n°3.2 montre l'évolution de la superficie, de la production et du rendement de la tomate fraîche durant les dix dernières années.

Tableau 3.2 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie [90].

Années	Superficies (Ha)	Productions (Qx)	Rendements (Qx/Ha)
2007	20079	5673130	282.54
2008	19655	5592490	284.53
2009	20789	6410340	308.35
2010	21358	7182350	336.28
2011	20575	7716060	375.02
2012	21542	7969630	379.95
2013	22497	9750750	433.42
2014	22646	10656090	470.55
2015	24065	11637660	483.59
2016	22556	12805700	567.72

3.1.1.4. Importance nutritionnelle de la tomate

La tomate est très riche en sels minéraux ainsi qu'en provitamines. La consommation d'une tomate de taille moyenne apporte des doses journalières recommandées en vitamine C, en vitamine A (b-carotène) et en fer respectivement de 57%, 25% et 8%. Elle est aussi très riche en lycopène, antioxydant le plus actif des caroténoïdes alimentaires qui donne la couleur rouge à la tomate mûre. Tous ces éléments font que cette dernière est bénéfique pour la santé humaine [91] et [92].

3.1.1.5. Exigences pédoclimatiques de la tomate

3.1.1.5.1. Exigences climatiques

- Température :

La tomate est exigeante en températures. L'optimum se situe entre 13 et 20°C pendant la nuit et entre 20 et 27°C pendant la journée. Pour obtenir une bonne production, un écart de 6 à 7°C entre les températures diurnes et les températures nocturnes est nécessaire au moment de la floraison [93].

- Lumière :

La tomate est peu sensible au photopériodisme, mais est exigeante en énergie lumineuse. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet, affecte la fécondation et conduit ainsi à l'avortement des fleurs et des fruits [94].

- Hygrométrie :

L'hygrométrie doit être comprise entre 70 et 80% durant la phase végétative, au-delà de cette valeur les risques de maladies augmentent notamment le Botrytis. Au moment de la floraison il est souhaitable de descendre à 40 et 50% afin de faciliter la dispersion du pollen [75].

3.1.1.5.2. Exigences pédologiques

La tomate s'adapte à de nombreux types de sols à condition qu'ils soient profonds et suffisamment perméables. Le plant de tomate est moyennement tolérant vis-à-vis de la salinité et supporte une légère acidité [95].

La tomate tolère modérément un large intervalle de pH, mais pousse mieux dans des sols où le pH varie entre 5,5 et 6,8 et où l'approvisionnement en éléments nutritifs est adéquat et suffisant [85].

3.1.1.5.3. Exigences hydriques et nutritionnelles

L'irrigation est très importante pour assurer un bon développement de la plante pendant la phase de croissance végétative, mais elle est encore plus importante pendant la formation des fruits [96].

Cependant Schiffers [97], indique que l'irrigation est souvent indispensable pour obtenir une production maximale. La tomate est une plante très sensible à l'asphyxie radiculaire. Cette dernière est due à un excès d'eau qui peut provoquer des carences en magnésium, en phosphore et en azote. L'apport d'eau recommandé doit être régulier et surtout aux moments critiques ; floraison, nouaison et grossissement des fruits.

La tomate est exigeante en azote, potassium, magnésium et soufre. Ses besoins en éléments fertilisants sont importants. Ils demandent à être ajustés en fonction de la technique de production, de la nature du sol, de la stratégie d'irrigation et du rendement escompté [98] et [99].

Les besoins d'engrais représentent pour des variétés fortement productives, 100 à 150 kg/ha d'azote ; 65 à 110 kg/ha de phosphore et 160 à 240 kg/ha de potassium [100].

3.1.1.6. Différents travaux d'entretien

3.1.1.6.1. Palissage

Le palissage a pour but de maintenir les plants et faciliter la circulation de la sève et des substances de croissance, il permet de mieux tirer profit de la lumière et de bien alimenter la partie aérienne. Il contribue également à une meilleure aération de la culture, du feuillage et des fruits augmentant ainsi les rendements et la qualité des fruits. Le palissage commence dès que les plants ont atteint une hauteur de 20 à 30 cm [101] et [97].

3.1.1.6.2. Taille

La taille a pour objectif de limiter la hauteur des plantes et le nombre de ses ramifications. On a plusieurs types de taille parmi elles : la taille à un bras pour les variétés hâtives et la taille à deux bras pour les variétés vigoureuses et demi tardives [80].

D'après Snoussi [102], la taille permet d'obtenir de beaux fruits mûrissant hâtivement. Quand la taille n'est pas faite, les pieds de tomate abandonnés à leur végétation fournissent généralement en abondance, mais tardivement des petits fruits.

3.1.1.6.3. Ebourgeonnage

Selon Devignes [103], l'ébourgeonnage consiste en la suppression de tous les bourgeons qui se forment à l'aisselle des feuilles sur la tige. On peut aussi limiter la production de la plante et concentrer sa force végétative pour obtenir des fruits particulièrement développés, en pinçant la tige principale au-dessus du 5^{ème} ou 6^{ème} bouquet de fruits.

3.1.1.6.4. Effeuillage

L'effeuillage débute à la maturité du premier bouquet et a lieu jusqu'au début de la floraison du 7^{ème} bouquet. Il permet la pénétration de la lumière et l'aération des fruits par la circulation de l'air et rend facile la récolte [104].

3.1.1.6.5. Ecimage

La tomate maraichère est une culture à croissance indéterminée. Afin d'arrêter la plante à un niveau de croissance déterminé et limiter le nombre de bouquets, un écimage est nécessaire. L'opération consiste à pincer la tige principale au niveau désiré. L'opération doit se faire 2 à 3 feuilles après le dernier bouquet afin de permettre un grossissement normal des fruits des bouquets supérieurs [105].

3.1.1.7. Maladies et ennemis de la tomate

La tomate est une plante très sensible aux maladies. Parmi elles, Baire et *al.* [106] et Blancard [107], citent les plus importantes (tableau n°3.3).

Tableau 3.3 : Quelques maladies et ennemis de la tomate [106] et [107].

	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Chancre bactérien	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>Michiganensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Flétrissement et dessèchement des folioles. - Présence sur le fruit de taches blanchâtres brunes au centre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter d'irriguer par aspersion. - Arrachage des plants malades et les brûler. - Effectuer des traitements au cuivre.
Gale bactérienne	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Taches brunes à noires, anguleuses sur les feuilles, la tige, les fleurs et les fruits. - Pustules liégeuses superficielles avec un halo huileux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les traitements s'effectuent en général avec des produits à base de cuivre. - Utilisation de semences désinfectées.
Filiformisme, Mosaïque et Nécrose de la tomate	Virus de la Mosaïque du Concombre (CMV)	<ul style="list-style-type: none"> - Apparition de folioles filiformes. - Stérilité des plantes. - destruction partielle ou totale des plants. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lutter contre les pucerons (agents vecteurs du virus) par des pulvérisations d'insecticides.
Alternariose	<i>Alternaria solani</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Taches noires de taille variable sur feuilles. - Noircissement de la base des tiges causant la mort de ceux-ci. 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitements aux fongicides tel le Manèbe, le Captafol et le Mancozèbe. - Procéder à l'élimination des déchets végétaux en fin de culture.
Botrytis (pourriture grise)	<i>Botrytis cinerea</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Taches marron et feutrage gris sur feuilles et sur fruits avec chute de ces derniers. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter une hygrométrie élevée par une bonne aération. - Faire alterner des traitements fongicides comme le Thirame.
Acariens	<i>Tetranychus</i> spp	<ul style="list-style-type: none"> - Jaunissement des feuilles suivi par leur dessèchement et leur chute. - Avortement des fleurs. - immaturité des fruits. 	<ul style="list-style-type: none"> - Application d'acaricide à base de soufre, d'acrinathrine ou d'abamectin. - Utilisation d'auxiliaires tels que les acariens prédateurs.
Pucerons	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ralentissement de la croissance des plantes. - Apparition de feuilles recroquevillées et souillées. - Transmission de virus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement à base de méthomyl, de deltaméthrine ou de pymétozine. - Bien aérer et éviter les excès d'arrosage - choisir des variétés résistantes.

3.1.2. Aubergine

3.1.2.1. Origine et historique de l'aubergine

L'aubergine est reconnue comme étant originaire des Indes Orientales où l'on rencontre encore aussi bien des cultivars domestiques à gros fruits que des formes sauvages à petits fruits. C'est une culture très ancienne. La plante n'a pas connu de changement depuis 2 ou 3 mille ans. C'est pourquoi, on pense que le premier centre de domestication de l'aubergine est la région comprise entre l'Inde, la Birmanie et l'Indochine [108] et [109].

L'aubergine était connue en Iran dès le VI-VII^{ème} siècle après J.-C. Suite à la grande expansion musulmane vers l'occident (VIII-IX^{ème} siècle après J.-C.). Elle s'est diffusée vers le Maghreb et probablement plus au sud vers les Oasis du Sahara et vers l'Afrique tropicale, ainsi que vers l'Europe méridionale. Elle a été décrite en Ethiopie au XIV^{ème} siècle. De nos jours, l'aubergine est cultivée dans le monde entier, mais ses deux principales régions de production sont l'Asie et la région méditerranéenne [110].

3.1.2.2. Classification botanique et caractéristiques morphologiques

Les aubergines appartiennent à la famille des Solanacées. Parmi les espèces bien connues de cette famille, on trouve le piment, la pomme de terre et la tomate [81].
Suivant la classification de Cronquist (1988), nous avons la systématique suivante :

- Règne : *Plantae*
- Sous-règne : *Tracheobionta*
- Embranchement Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Sous-classe : *Asteridae*
- Ordre : *Solanales*
- Famille : *Solanaceae*
- Genre : *Solanum*
- Espèce : *Solanum melongena L.*

3.1.2.2.1. Système racinaire

Le système racinaire de l'aubergine est soit pivotant dans le cas d'un semis direct soit fasciculé avec quelques racines adventives dans le cas du repiquage. L'ensemble du système racinaire est relativement peu profond (50cm) mais suffisamment puissant pour explorer un grand volume de terre [108].

3.1.2.2.2. Tige

L'aubergine est une plante herbacée vivace d'environ 70 cm de haut. Sa tige est vigoureuse et couverte de poils. Elle se ramifie et se développe en plusieurs branches selon un schéma de ramification approximativement dichotomique qui donne à la plante un port étalé [111].

3.1.2.2.3. Feuilles

Le plant d'aubergine a des feuilles alternées, amples, surtout sous faible éclaircissement et forte humidité. Elles sont entières, lobées, présentent de nombreuses nervures et sont généralement épineuses. Le limbe peut être parfois violacé [75].

3.1.2.2.4. Fleurs

L'aubergine a un mode de développement tout différent de celui de la tomate. Elle ne produit de fleurs (le plus souvent solitaire) qu'au niveau des bifurcations [78].

3.1.2.2.5. Fruits

Le fruit d'aubergine a une forme sphérique, côtelée ou allongée. Son calice est soit lisse soit épineux. La couleur des fruits résulte de la combinaison de celle de leur chair (verte ou blanche) et de celle de l'épiderme translucide (incolore, strié de violet ou uniformément violet). On aura ainsi des variétés à fruits verts, rayés marron et vert, ou noirs à chair verte qui ont une amertume caractéristique liée à la présence de solanine, appréciée des Provençaux et Rhodaniens, ou des variétés à fruits blancs, striés de mauve, ou violets à chair blanche de saveur plus délicate rappelant celle des champignons [78].

3.1.2.3. Importance économique de l'aubergine

3.1.2.3.1. Dans le monde

L'aubergine est cultivée dans plusieurs pays et à travers le monde entier. En ce qui concerne la consommation en frais, la production mondiale d'aubergine a atteint, en 2016 près de 51,28 million de tonne pour une superficie d'environ 1,79 million d'hectare, soit un rendement moyen de 28,58 tonnes à l'hectare [90].

Tableau 3.4 : Production mondiale de l'aubergine en 2016 [90].

Pays	Production (T)	Pays	Productions (T)
1- Chine	32001667	11- Mexique	172112
2- Inde	12552000	12- Sri Lanka	144196
3- Egypte	1194315	13- Syrie	128075
4- Turquie	854049	14- Algérie	126851
5- Iran	677730	15- Roumanie	116225
6- Indonésie	509749	16- Iraq	102452
7- Italie	317585	17- USA	100598
8- Japon	306000	18- Côte d'Ivoire	93328
9- Espagne	238750	19- Mali	88806
10- Philippines	235626	20- Azerbaïdjan	87981

1.2.3.2. En Algérie :

L'aubergine est comme les autres espèces la tomate et la pomme de terre, une culture très appréciée et très répandue en Algérie. Sa production a augmenté au fil des années comme le montre le tableau n°3.5.

Tableau 3.5 : Evolution de l'Aubergine en Algérie [90].

Années	Superficies (Ha)	Productions (Qx)	Rendements (Qx/Ha)
2007	3764	584000	155.15
2008	3773	537620	142.49
2009	4133	763170	184.65
2010	4589	906830	197.61
2011	4435	948070	213.77
2012	4251	918250	216.0
2013	5100	1186650	232.67
2014	5090	1380840	271.28
2015	5586	1361280	243.69
2016	6683	1268510	189.81

3.1.2.4. Importance nutritionnelle de l'aubergine

D'après Grubben et Denton [110], l'aubergine est caractérisée par une teneur très élevée en eau, environ 92%. Elle est très riche en fibres mais son contenu en vitamines et en minéraux est très faible. Un fruit d'aubergine contient pour 100 g de la partie comestible 92.9 g d'eau, 0.9 g de protéines, 0.4 g de lipides, 2.2 g de glucides, 2.3 g de fibres, avec 15 Kcal.

Kole [111], ajoute que les anthocyanines qui sont des antioxydants très favorables à notre santé et notamment en ce qui concerne le vieillissement cellulaire, se trouvent en abondance dans la peau richement pigmentée du fruit d'aubergine.

3.1.2.5. Exigences pédo-climatiques de l'aubergine

3.1.2.5.1. Exigences climatiques

- Température :

D'après Erard [108], l'aubergine est plus sensible aux basses températures que la tomate et le piment, plus particulièrement lors de la plantation. L'optimum de croissance est situé entre 16 et 20°C pendant la nuit et entre 22 et 26°C pendant la journée. Le développement végétatif devient médiocre à des températures inférieures à 15°C pour se bloquer aux alentours de 10 à 12°C. Cependant, la croissance végétative et le rythme d'émission des feuilles sont ralentis et la floraison est retardée au-delà de 35°C.

- Lumière :

L'aubergine est relativement exigeante en éclairage, ceci est dû à son origine écologique où elle est très développée en Extrême-Orient [112].

- Hygrométrie :

L'humidité relative optimale de culture est de 50 à 65%. Une hygrométrie trop élevée entraîne le développement de maladies cryptogamiques et une faible pollinisation entraînant des problèmes de nouaison [108].

3.1.2.5.2. Exigences pédologiques

L'espèce est adaptée à de nombreux types de sols (texture et pH). La préférence sera tout de même donnée aux sols profonds, se réchauffant vite et se ressuyant bien [113]. En effet, d'après Munro et Small [114], l'aubergine donne de meilleurs résultats sur les

terres glaises chaudes, sablonneuses et riches en matières organiques. Il faut travailler le sol profondément pour faciliter l'ancrage des racines.

3.1.2.5.3. Exigences hydriques et nutritionnelles

L'aubergine consomme beaucoup de nutriments et elle reste au champ pendant une période relativement longue. Le sol s'épuise donc rapidement et pour avoir de hauts rendements, de fortes quantités d'engrais et de fumier sont nécessaires. La fertilisation doit être adaptée à la richesse locale du sol, aux conditions de précipitation et aux compétences techniques des paysans. Les besoins en N, P et K sont plus élevés que pour la tomate. Les exportations de minéraux par tonne de fruits sont de 7 Kg pour l'azote, de 0.7 Kg pour le phosphore et de 6 Kg pour le potassium. La teneur en azote du sol ne doit pas être excessive, pour éviter que les jeunes aubergines développent trop de feuillage au détriment de la production de fruits. Il est recommandé d'appliquer les engrais azotés en surface à trois doses égales 6, 10 et 15 semaines après repiquage [110].

L'aubergine a besoin d'une humidité constante pour produire des fruits de qualité. Les cultures d'aubergines s'irriguent souvent et doivent être bien drainées [114]. En plein champ ou sous abri plastique, il est recommandé d'apporter 50% de l'ETP jusqu'au début de la floraison, 60 à 70% au grossissement des premiers fruits puis 80 à 100% de l'ETP ensuite. En raison de la sensibilité de l'espèce à l'asphyxie, l'irrigation par localisation est recommandée [112].

3.1.2.6. Différents travaux d'entretien

3.1.2.6.1. Palissage

Le palissage permet de soutenir les ramifications porteuses de fruits et de bien maintenir la tige d'aubergine afin d'éviter sa cassure ou sa tombée sous le poids de ses fruits qui sont généralement généreux et lourds. Le palissage est mis en place soit sur des fils horizontaux le long de la ligne de plantation soit verticalement plante par plante. Cette dernière méthode permet une meilleure pénétration des produits dans la végétation et améliore l'efficacité des traitements [115].

3.1.2.6.2. Taille

Pour l'obtention d'une belle récolte d'aubergine, il est nécessaire de tailler les pieds. Les producteurs suppriment les pousses secondaires qui partent du collet, et

conservent seulement la tige principale. Cette dernière est pincée généralement au dessus de la deuxième inflorescence, pour que la mise à fruit soit régulière [80].

3.1.2.6.3. Ebougeonnage et effeuillage

L'ébougeonnage consiste à enlever les bourgeons axillaires qui poussent sur la tige principale au fur et à mesure du développement de la plante. L'ébougeonnage se répète suivant l'allure à donner au plant.

L'effeuillage sert à éliminer les feuilles basales touchants le sol ou les feuilles âgées non fonctionnelles. Il commence dès que les premières feuilles jaunissent, ce qui permet une meilleure aération de la base de la plante [109].

3.1.2.6.4. Désherbage

Le désherbage est nécessaire, en particulier chez une culture récemment implanté. C'est une méthode de lutter contre les mauvaises herbes qui poussent autour ou entre les plantes [85].

3.1.2.6.5. Buttage et binage

Le buttage est une opération nécessaire pour augmenter la résistance de la plante et protéger le pied. Il consiste à ramener la terre en forme de butte au pied des plantes. Le binage quant à lui permet d'aérer le sol pour une bonne circulation de l'eau et de l'air [80].

3.1.2.7. Maladies et ennemis de l'aubergine

L'aubergine est sensible à différentes maladies et à différents ravageurs. Les dommages causés par ceux-ci peuvent conduire à une diminution de la récolte. Les principaux ravageurs et maladies pouvant toucher le plant d'aubergine sont cités dans le tableau n°3.6.

Tableau 3.6 : Quelques maladies et ennemis de l'aubergine [108].

	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Botrytis (pourriture grise)	<i>Botrytis cinerea</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Feutrage grisâtre observé à la face supérieure des feuilles. - Tache marron sur les fruits provoquant par la suite leur chute. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conditionner une bonne aération, une fertilisation et une irrigation raisonnées. - Appliquer des traitements chimiques comme le cyprodinile. - Eliminer des organes malades.
Oïdium	<i>Leveillula taurica</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Présence sur les feuilles d'un feutrage blanc à blanc-grisâtre poudreux à la face inférieure. - Déformation des feuilles qui se gondolent et se boursouflent. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de variétés tolérantes. - Faire le désherbage et éviter l'arrosage du feuillage lorsqu'il fait chaud. - Appliquer des traitements à base de soufre.
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Maladie grave à évolution très rapide provoquant de grandes taches brunes jaunâtre sur les feuilles et les tiges, ainsi que la pourriture des racines et du collet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des variétés résistantes et des plants sains. - Eviter que la maladie ne se propage par la suppression des parties ou sujets atteints. - Effectuer des traitements avec du purin de prêle ou de la bouillie bordelaise.
Verticilliose	<i>Verticillium dahliae</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Coloration gris clair à brun clair des tissus vasculaires - Dessèchement des branches et flétrissement de la plante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Désinfection du sol et des substrats avant plantation. - Traitement par le thiophanate-méthyle.
Aleurodes (mouche blanche)	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les larves en minant les feuilles peuvent causer la mort des plantes. - Présence de miellat, fumagine. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminer des plants contaminés et procéder au désherbage tous au long de la culture. - Utilisation d'auxiliaires (guêpe parasites) ou traitement chimique par cyperméthrine.
Acariens	<i>Tetranychus urtica</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Jaunissement des feuilles suivi par leur dessèchement et leur chute. 	<ul style="list-style-type: none"> - Application d'acaricide à base de soufre, d'acrinathrine ou d'abamectin. - Utilisation d'auxiliaires tels que les acariens prédateurs.

3.2. Famille des Anacardiacées

3.2.1. Pistachier

3.2.1.1. Origine et historique

Le genre *Pistacia* a une origine très ancienne et comptait avant l'ère tertiaire de nombreux représentants. Les savants accompagnants Alexandre le Grand signalaient déjà la culture du pistachier en Bactriane [116].

Le pistachier est originaire d'Asie Centrale, il était présent en Turquie depuis 7000 ans avant J. C. Il a été introduit en Italie dès le premier siècle avant J. C., de là, il parvint en Espagne. C'est probablement à partir des arbres importés d'Italie que les plantations se créent dans l'empire Romain (France, Grèce et Afrique du Nord). Par la suite, sa culture s'est étendue aux autres pays méditerranéens et aux Etats-Unis où il a connu une première importation vers 1854 [15].

En ce qui concerne le *Pistacia*, le plus important du genre d'où dérive l'espèce *Pistacia vera* qui à elle seule produit des fruits comestibles. La détermination de l'aire géographique d'origine est assez difficile en raison de l'ancienneté de la culture qui a conduit à une vaste dispersion dans les pays chauds de l'Asie occidentale [116].

3.2.1.2. Classification botanique et caractéristiques morphologiques

Le pistachier vrai est une espèce fruitière appartenant à la famille des Anacardiacées. Le genre *Pistacia* regroupe, à l'exception de l'espèce *Pistacia vera*, un important nombre d'espèces qui n'ont d'autre intérêt agronomique que leur possible utilisation comme porte-greffes telles que : *P. atlantica*, *P. palestina*, *P. terebinthus* ou *P. integerrima* sont celles les plus fréquemment utilisées [117].

3.2.1.2.1. Système racinaire

Le pistachier a un enracinement semblable à celui des phreatophytes. Cet arbre a un système racinaire puissant, profond et étendu qui lui permet de puiser l'eau dans les nappes phréatiques. Le pistachier est donc adapté pour survivre à de longues périodes de sécheresse [118].

3.2.1.2.2. Port

Le pistachier possède un tronc couvert d'une écorce rugueuse. Il peut être simple ou multiple, avec de nombreuses branches très longues qui forment une large couronne. Les branches varient en fonction de leur âge. Les jeunes branches montrent une couleur orange-rouge profond, alors que les branches âgées sont d'une couleur plus terne et plus foncées [118].

3.2.1.2.3. Feuille

Les feuilles du pistachier sont généralement décrites comme étant composées, imparipennée avec 3 ou 5 folioles. Cette caractéristique est commune à *Pistacia vera* L. De façon rare, on peut trouver une feuille paripennée se terminant alors par deux folioles [119].

3.2.1.2.4. Fleurs et fruits

Le pistachier est un arbre dioïque ayant des pieds mâles et femelles distincts. Selon Ferguson et al. [117], les fleurs du pistachier sont petites et ont une couleur verte avec des tons marron. Elles sont distribuées en panicules et apparaissent en grand nombre. La pistache est une drupe sèche de la grosseur d'une belle olive. Elle est monosperme, ovoïde généralement déhiscente, et mûrit en septembre. La description de la drupe est comme suit :

- Le péricarpe : de couleur verdâtre avant maturité, il devient rose jaunâtre ou rouge vif à maturité puis se dessèche et se détache facilement.
- Le mésocarpe : il est spongieux à maturité.
- L'endocarpe ou coque : la coque est bivalve (déhiscente ou non) Lignifiée, de couleur blanchâtre.
- L'amandon : c'est la partie comestible de la pistache. Ses deux cotylédons à chair jaunâtre ou verte «pistache», sont enveloppés d'un tégument de couleur brune trachée de rouge autour du hile [120].

3.2.1.3. Importance économique

3.2.1.3.1. Dans le monde

La pistache est cultivée à travers le monde entier. En ce qui concerne la consommation en frais, la production mondiale de pistache a atteint, en 2016 près de 1.05 million de

tonne pour une superficie d'environ 0.64 million d'hectare, soit un rendement moyen de 0.77 tonne à l'hectare [90] (tableau n°3.7).

Tableau 3.7 : Production mondiale de pistachier en 2016 [90].

Pays	Production (T)	Pays	Productions
1- USA	406646	11-Madagascar	1730
2- Iran	315151	12-Australie	1378
3- Turquie	170000	13-Jordanie	967
4- Chine	83310	14-Kirghizistan	947
5- Syrie	56833	15-Ouzbékistan	873
6- Grèce	6338	16-Pakistan	664
7- Italie	3649	17-Côte d'Ivoire	308
8- Tunisie	3400	18-Mexique	54
9- Afghanistan	2814	19-Maroc	47
10-Espagne	2418	20-Azerbaïdjan	25

2.1.3.2. En Algérie

Le pistachier vrai est une espèce fruitière intéressante pour son impact tant écologique qu'économique en régions arides et semi-arides. Il permet de donner des rendements appréciables et joue un rôle dans la réhabilitation des terres à faible productivité agricole. Le développement de la culture du pistachier revêt un intérêt certain pour de nombreuses régions arides et semi-arides en Algérie [121].

3.2.1.4. Importance nutritionnelle du pistachier

La pistache est très bénéfique pour la santé, elle contient différents composés, comme des acides gras insaturés, des fibres solubles et des phytostérols. La pistache est une excellente source de cuivre de phosphore et de vitamine B6 aussi appelée pyridoxine enzyme très active dans le métabolisme des protéines et des acides gras. Une portion de pistache de 32g contient environ : 174 calories, 6,4g de protéines, 8,7g de glucides, 13,9g de lipides et 2,7g de fibres alimentaires [122].

3.2.1.5. Exigences pédo-climatiques du pistachier

3.2.1.5.1. Exigences climatiques

Le pistachier est une espèce qui exige un climat sec et chaud. Il supporte également les hivers rigoureux, s'ils ne sont pas trop longs. Il préfère les régions à climat aride avec des disponibilités en froid supérieures à 500 heures de températures inférieures

à 7,2°C [123]. En Afrique du Nord, il trouve son optimum dans les bioclimats arides et semi-arides à hivers frais à chauds, et bien qu'il redoute l'humidité atmosphérique il nécessite une pluviométrie de 200 à 1100 mm/an [124].

3.2.1.5.2. Exigences pédologiques

Selon Demirkiran et Cengiz [125], le pistachier pousse dans pratiquement tous les sols. Cependant, il exige des sols profonds, friables et bien drainés, mais qui conservent l'humidité. Cet arbre peut survivre sur des sols pauvres, pierreux, calcaires, hautement alcalins ou légèrement acidifiés et salins. Il est plus tolérant à ces conditions que la plupart des autres arbres à noix. Le pistachier peut également survivre à une large gamme de pH du sol compris entre 7,1 et 7,8.

3.2.1.5.3. Exigences hydriques et nutritionnelles

La culture du pistachier est très exigeante en calcaire, elle supporte entre 25 et 30% de calcaire, c'est une caractéristique de l'espèce. Il résulte que les rendements des plantations de pistachiers, s'améliorent avec l'augmentation du pourcentage de CaCO_3 , dans le sol. L'exigence du pistachier en chaux est telle, que dans certaines régions où le sol est insuffisamment calcaire, on est forcé de chauler copieusement le terrain pour créer un milieu favorable à l'arbre [126].

La même source ajoute que les besoins en azote sont semblables à d'autres arbres à noix. L'engrais azoté ne doit pas être appliqué l'année où les arbres sont plantés, une livre de sulfate d'ammonium par arbre devrait être appliquée pendant la deuxième année. A la troisième année si les arbres sont très productifs, une livre de sulfate d'ammonium devrait être appliquée en mars et une autre en juin. Aussi, les arbres du pistachier sont très tolérants aux conditions salines. Ils poussent bien dans certains vergers irrigués avec de l'eau contenant 4 à 6 g/l de sels solubles.

Oukabli [123], signale que des arrosages à la raie peuvent favoriser le développement du phytophthora à laquelle l'espèce est très sensible. Selon l'expérience Iranienne (grand producteur de pistaches), des irrigations localisées avec des volumes d'eau de 2500 m³/ha/an suffisent à assurer une bonne production.

Chapitre IV : ***Matériel et méthodes***

Chapitre IV

Matériel et méthodes

4.1. Objectif de l'expérimentation

Le présent travail a pour objectif d'étudier l'effet des mélanges du substrat en combinaison avec la solution nutritive sur la croissance et le développement des plantes horticoles cultivées sous serre.

Notons que le substrat a une importance majeure en horticulture, il assure le maintien de la plante et par l'intermédiaire de la solution nutritive assure également son alimentation hydrique, minérale et les échanges respiratoires avec le système racinaire.

Nous avons utilisé comme substrat la tourbe matière la plus utilisée en horticulture par les pépiniéristes. Nous l'avons employé en mélange avec le sol et le sable à différentes proportions.

Cette étude nous permettra de suivre :

- L'effet des différents substrats préparés (sol/tourbe/sable) sur la croissance et le développement de trois espèces horticoles testées (tomate, aubergine et pistachier) irriguées avec une solution nutritive standard.
- L'effet de l'interaction substrat/solution nutritive sur le comportement des plantes étudiées.
- L'effet de l'interaction entre les propriétés physiques et chimiques du substrat sur la prolifération des racines et le développement des plantes.

Cette expérimentation permettra à travers les différents essais entrepris d'identifier le ou les substrats les plus performants afin de les vulgariser auprès des pépiniéristes pour améliorer et s'assurer que l'élevage des plantules obtenues soit vigoureux et sain.

4.2. Matériel végétal

Les espèces étudiées durant l'expérimentation sont :

1. La tomate : *Solanum lycopersicum*, variété Saint-Pierre dont les semences proviennent de l'Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles (ITCMI) de Staouali (Algérie). La semence

est récoltée en 2013 avec une pureté spécifique de 99% et un taux de germination de 98%.

La Saint-Pierre est une variété très cultivée en Algérie et utilisée pour la consommation en frais. C'est une variété fixée à croissance indéterminée, vigoureuse, à feuillage moyen, précoce, productive, résistante à la chaleur et peu sensible aux maladies. Ses fruits gros et ronds sont d'un rouge éclatant et de bonne qualité gustative [82].

2. L'aubergine : *Solanum melongena* L., variété blanche, dont les semences proviennent de l'Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles (ITCMI) de Staouali. Les graines sont récoltées en 2013 et présentent une pureté spécifique de 98% et une faculté germinative de 90%. Cette variété est une variété fixée, productive, formant des fruits à chair et épiderme blanc, et de forme ovoïde.

3. Le pistachier : *Pistacia vera* L., est une espèce pérenne. Nous avons utilisé des drupes mûres des arbres situés au niveau de la ferme expérimentale de l'Institut Technique d'Arboriculture Fruitière et de Vigne (I.T.A.F.V) dans les régions de la wilaya de Sidi Bel Abbes. Les graines ont été récoltées en septembre, elles sont conservées à l'abri de l'humidité jusqu'à leur utilisation au laboratoire.

4.3. Conditions expérimentales

4.3.1. Lieu de l'expérience

Notre expérimentation a été réalisée dans une serre semi-contrôlée en polycarbonate au Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales (LBPV), du département de Biotechnologie, Université de Blida 1. Les coordonnées géographiques sont 36° 28' 7" Nord, 2° 49' 44" Est et 260 m d'altitude. Cette serre dont l'orientation est nord-sud est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement. Le chauffage en hiver est assuré par des radiateurs à eau chaude installé à l'intérieur de la serre. Les températures sont relevées à l'aide du thermomètre placé au milieu de la serre.



Figure 4.1 : Lieu de l'expérimentation
(Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales).

4.3.2. Pré-germination

4.3.2.1. Tomate et aubergine

La prè-germination des graines a été effectuée le 24/11/2014 directement dans des alvéoles de couleur brune et d'une capacité de 10 ml contenant de la tourbe (figure n°4.2).



Figure 4.2 : Près-germination des graines de tomate et d'aubergine.

4.3.2.2. Pistachier (*Pistacia vera* L.)

Après sélection des graines, la levée de la dormance constitue une étape primordiale. Pour cela nous avons adopté les techniques suivantes :

- ✓ Une stratification consistant à faire subir aux graines un traitement au froid à une température de 4°C pendant 30 jours.
- ✓ Elimination du mésocarpe par stratification mécanique à l'aide d'un outil tranchant.

- ✓ Trempage dans l'hypochlorite de sodium (NaClO) à 8% pendant 5 minutes pour éviter la prolifération des champignons et autres contaminations.
- ✓ Rinçage abondant à l'eau distillée (3 rinçages).

Nous avons réalisé les essais de germination dans des boîtes de Pétri en plastique contenu du papier buvard imbibée d'eau, le tout est mis dans une étuve à 25°C.

4.3.3. Repiquage des plantules

Les jeunes germes de tomate et d'aubergine ont été repiqués dans des pots en plastique en date de 03/01/2015 soit 40 jours de pépinière pour la tomate et en date de 25/01/2015 soit 60 jours pour l'aubergine. Les plantules ont été transplantées en place définitive à raison de deux plantules par pot. Les jeunes plantules ont été arrosées avec l'eau du robinet pour favoriser leur reprise (tableau n°4.1).

Pour le pistachier le repiquage a été réalisé juste après la germination des graines durant la période du 15/03/2015 (tableau n°4.1).

Tableau 4.1 : Epoque des différents stades de croissance et de développement

	Tomate	Aubergine	Pistachier
Pré-germination	24 /11/2014	24/11/2014	07/03/2015
Repiquage	03/01/2015	25/01/2015	15/03/2015
Stade floraison	04/03/2015	12/04/2015	-
Stade nouaison	28/03/2015	05/05/2015	-
Coupe finale	25/04/2015	28 /05/2015	29/06/2015

4.3.4. Containers

Les containers utilisés sont des pots en plastique de couleur sombre, ayant une capacité de 5 litres et présentant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de l'eau en excès. D'après Cottineau et *al.* [27], le volume optimal semble se situer entre 5 et 6 litres par plante.

4.3.5. Substrats utilisés

Les substrats utilisés dans notre expérimentation sont des mélanges préparés à partir de sol, de tourbe et de sable de rivière à différentes proportions. Aussi on a

utilisé du gravier concassé de carrière (3 à 8 mm de diamètre) à la base de chaque pot pour assurer un meilleur drainage.

4.3.5.1. Composition du substrat

3.5.1.1. Sol

Le sol utilisé provient de la station expérimentale, d'une parcelle inculte non travaillée et non cultivée du département de Biotechnologie de Blida. Avant la réalisation des mélanges, le sol prélevé est tamisé à l'aide d'un tamis à mailles moyennes afin d'éliminer les grosses particules terreuses.

3.5.1.2. Tourbe

La tourbe est originaire des tourbières d'Allemagne. Elle se compose d'éléments partiellement décomposés provenant de la végétation et de la faune aquatique des marais. La tourbe brune a un degré de décomposition intermédiaire et dérive principalement de sphaignes et de mousses. Elle présente les caractéristiques suivantes :

- Matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brut : 35%.
- Matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brut : 25%.
- pH (H₂O) : 5,8 - 6,8.
- Rétention en eau : 80%.

3.5.1.3. Sable grossier

Les origines des différents sables sont diverses. Ils proviennent de rivières, des régions sablonneuses, ou encore de l'industrie du verre. En effet, le sable grossier de rivière (> 0,2 mm de diamètre) a été utilisé pour améliorer la porosité des substrats. Le sable ne contient pas de matière organique, il est inerte, ne retient pas de l'eau et présente un pH alcalin.

4.3.5.2. Analyses physico-chimiques des substrats

Les principales propriétés physiques et chimiques ont été déterminées dans un laboratoire des analyses du sol du département de production végétale de l'Université Polytechnique de Valence (Espagne). Trois échantillons de chaque substrat testé ont été prélevés pour réaliser différents paramètres physico-hydriques et chimiques.

- Minéralisation des échantillons

Ce mode de minéralisation a pour principe d'éliminer la matière organique par la calcination au four à moufle à une température de 450°C pendant deux à trois heures pour obtenir une poudre de cendres généralement claires. La détermination du taux de la matière organique contenue dans les échantillons est obtenue par une opération de différence des poids avant et après calcination. Les cendres obtenues sont soumises à l'attaque d'acide chlorhydrique concentré et par une dilution à l'eau distillée, on obtient des solutions prêtes aux dosages.

- Dosage des éléments P, K, Ca, Mg

Ces analyses quantitatives de la solution de cendres sont obtenues selon trois techniques qui sont :

- La spectrophotométrie d'absorption atomique pour le Ca^{2+} , et le Mg^{2+} .
- La photométrie à flamme pour le potassium K^+ .
- La photocolorométrie pour le phosphore P_2O_5 .

- Détermination de l'azote total

Le dosage de l'azote s'effectue par la méthode KJELDAHL qui a pour principe, la décomposition de l'azote organique en sulfate d'ammonium après une attaque par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur (du sulfate de cuivre et du sulfate de potassium) à la température de 360 à 400°C. On réalise la distillation avec un excès de soude et un titrage de l'ammoniac entraîné par l'acide sulfurique (N/14).

- Mesure du pH et de la conductivité électrique

La préparation du matériel nécessaire est la suivante :

- Prendre un échantillon de substrat.
- Brasser l'échantillon avec une tige de verre ou de plastique ;
- Disposer d'un pH-mètre ;
- Disposer d'un conductivimètre (salinimètre) ;
- Disposer d'une eau déionisée ou déminéralisée ou distillée ;
- Disposer de solutions standards à pH 4 et 7 pour calibrer le pH-mètre ;
- Disposer de solutions standards pour calibrer le salinimètre (concentration adaptée à l'appareil).

La préparation de l'échantillon s'effectue comme suit :

- Mesurer 100 ml de substrat et le déposer dans un contenant de 400 ml ;
- Ajouter 200 ml, d'eau déionisée ou distillée ;

- c) Bien agiter avec la tige de verre ou de plastique ;
- d) Laisser reposer vingt minutes à une demi-heure ;
- e) Agiter de nouveau ;
- f) Laisser reposer cinq minutes et prendre les lectures dans le surnageant (partie liquide) ;
- g) Éviter d'attendre plusieurs heures avant de prendre la mesure de l'analyse.

➤ Lecture du pH

- a) Effectuer préalablement une calibration à l'aide des deux solutions standards. Cette calibration devrait être faite au minimum une fois par semaine ou plus, selon le nombre d'utilisation de l'appareil (il est préférable de la faire à chaque prise d'analyse).
- b) Introduire l'électrode dans le mélange échantillon/eau (ne pas enfoncer l'électrode dans le substrat, il faut que l'électrode soit tremper uniquement dans le liquide), et prendre la mesure du pH après stabilisation.

➤ Lecture de la conductivité électrique (salinité)

- a) Effectuer préalablement une calibration à l'aide de la solution standard adaptée à l'appareil. Cette calibration devrait être faite au minimum une fois par semaine et plus si l'appareil est utilisé souvent ;
- b) Introduire l'électrode dans le mélange échantillon/eau (ne pas enfoncer l'électrode dans le substrat, il faut que l'électrode soit tremper uniquement dans le liquide) ;
- c) Prendre la mesure après stabilisation (laisser tremper l'électrode environ une minute). Pour obtenir la conductivité du substrat, prenez la lecture de l'appareil.

• Courbe de rétention

Afin d'établir la courbe de rétention d'eau, les échantillons ont été placés dans la table de succion. Ils ont été mis en contact avec une colonne d'eau par l'intermédiaire d'une couche de sable saturée d'eau. Le potentiel hydrique de l'échantillon testé se met en équilibre avec la pression hydrostatique de la colonne d'eau.

L'essai a été réalisé en anneaux de caoutchouc à raison de 03 répétitions pour chaque substrat et pour chaque pression utilisée.

Principe de la manipulation

- Peser les anneaux de caoutchouc (de 1 cm de hauteur et 5 cm de diamètre).
- Remplir les anneaux avec le substrat et peser l'ensemble.
- Placer l'ensemble dans le plateau de céramique pour pression de 01, 03 et 15bar.

- Ouvrir le robinet de la bouteille d'alimentation en eau de la table de succion jusqu'à une humectation totale où les échantillons sont saturés d'eau.
- Après saturation, mettre le régulateur de pression au niveau de 01, 03 et 15 bar, l'évacuation d'eau est orientée vers l'extérieur.
- Après 24 heures, réaliser des peser des anneaux pour chaque substrat et au niveau des trois pressions et mettre les échantillons dans une étuve pour sécher pendant 24 heures à une température de 105°C.

La rétention en eau est calculée par la formule suivante :

$$\% \text{ d'humidité} = \frac{\text{Masse de l'échantillon humide (g)} - \text{Masse de l'échantillon sec (g)}}{\text{Masse de l'échantillon sec (g)}} \times 100$$

- Porosité totale

La porosité totale est exprimée par un rapport entre le volume d'espaces vides au volume total ou volume apparent [13].

La porosité totale (Pt) se définit comme suit :

$$\text{Pt (\%)} = \text{Volume des vides} / \text{volume total} \times 100$$

L'appareil utilisé dans la mesure de ce paramètre est le pycnomètre à air selon la méthode de Langer qui permet d'accueillir des cylindres calibrés d'échantillonnage d'une capacité de 100 cm³ en général et utilise le mercure enfermé comme moyen de mesure.

4.3.6. Préparation de la solution nutritive de base

Durant l'expérimentation, nous avons préparé une solution nutritive de reconstitution à base de l'eau de Blida qui a une concentration globale de sels avoisinant les 0.49 g/l.

Tableau 4.2 : Teneurs en éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida :

Eléments	Teneur en mg/l	Teneur en meq/l
K+	00.00	00.00
Ca⁺⁺	56.00	2.80
Na⁺	29.90	1.30
Mg⁺⁺	21.60	1.80
NO₃⁻	21.70	0.35
SO₄⁻	38.40	0.80
Cl⁻	21.30	0.60
HCO₃⁻	245.00	4.08
Total	433.90	11.73

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau n°4.2 révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4.08 méq/l) ; ce qui rend le milieu plus basique (pH = 7.8), nécessitant une correction de pH pour une bonne assimilation hydrominérale.

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

Deux types d'acides ont été utilisés, l'acide nitrique (HNO₃) et phosphorique (H₃PO₄). Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et les phosphates.

La quantité d'acide à apporter est calculée selon la formule suivante [127] :

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

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

Cette quantité d'acide sera partagée entre : H₃PO₄ = 1.1 méq/l (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 méq/l de phosphore), et HNO₃ = 3.39 – 1.1 = 2.29 méq/l (besoin partiel en nitrates).

4.3.6.1. Elaboration d'une solution nutritive de base à partir de l'eau de Blida

L'eau de Blida est une eau peu chargée en sels. Pour cela on ajoute des éléments pour corriger les déficits et équilibrer la balance ionique et ce afin d'avoir une solution de base selon les normes définies par Coic et Lesaint [128].

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

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

✓ 10.2 méq/l NO₃⁻ représentant 85%

✓ 1.8 méq/l NH₄⁺ représentant 15%

b) L'apport de chlorure et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0.2 méq/l), aucun apport complémentaire n'est nécessaire.

c) L'apport du phosphore est fixé à 3.3 méq/l de H₃PO₄, le phosphore est présent sous la forme trivalent PO₄³⁻, 1.1 méq/l de H₃PO₄ pour combler les besoins en phosphore.

d) Le bilan des anions restant à introduire dans la solution nutritive :

- Nitrates : besoins : 10,2 méq/l.

* déjà disponibles : 0,35 méq/l (eau) + 2,2 méq/l (correction de pH HNO₃) = 2,55 méq/l

* à apporter : 10,2 méq/l - 2,55 méq/l = 7,65 méq/l.

- Sulfate : besoins : 1.5 méq/l.

* déjà disponibles dans l'eau de Blida : 0,8 méq/l.

* à apporter : 1,5 méq/l - 0,8 méq/l = 0,7 méq/l.

e) L'apport d'ammonium (1,8 meq/l de NH₄⁺) est assuré par l'emploi de NO₃⁻ NH₄⁺ qui assurera en même temps l'apport de 1,8 méq/l de NO₃⁻. Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont désormais les suivants :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nitrates} = 7,65 - (1,8 \text{ NO}_3\text{NH}_4) = 5,85 \text{ méq/l} \\ \text{Sulfates} = 0,7 \text{ méq/l} \end{array} \right\} \text{Total} = 6,55 \text{ méq/l}$$

f) La somme totale des cations dans la solution nutritive finale = (k + Ca + Mg) déjà présents dans l'eau + (K + Ca + Mg) apportés sous forme de nitrates et de sulfates.

Total = (0 + 2,8 + 1,8) + 6,55 = 11,15 méq/l.

Selon les normes définies par Coic et Lesaint, les proportions relatives de ces cations doivent être proches des proportions suivantes :

K = 39,6%

Ca = 47,6%

Mg = 12,8%

$$\mathbf{K} = \frac{11.15 \times 39.6}{100} = 4.41 \text{ méq/l}, \mathbf{Ca} = \frac{11.15 \times 47.6}{100} = 5.31 \text{ méq/l}, \mathbf{Mg} = \frac{11.15 \times 12.8}{100} = 1.43 \text{ méq/l}$$

Ce qui donne dans le cas présent :

4,41 méq/l (K) + 5,31 méq/l (Ca) + 1,43 méq/l (Mg) = 11,15 méq/l.

Les besoins en Mg sont satisfaits par la quantité déjà contenue dans l'eau (1,80 meq/l).

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

K (4,41 méq/l), Ca (2,51 méq/l), Mg (0 méq/l).

L'apport de Mg n'étant pas nécessaire : la teneur de l'eau en Mg est supérieure à l'apport souhaitable. Les 11,15 méq/l - 1,8 méq/l (Mg) = 9,35 méq/l d'anions sont donc à partager entre K et Ca uniquement et en respectant les proportions K + Ca = 87.2 % soit :

$$\mathbf{K} = 9.35 \times \frac{39.6}{39.6 + 47.6} = 4.25 \text{ méq/l}, \mathbf{Ca} = 9.35 \times \frac{47.6}{39.6 + 47.6} = 5.10 \text{ méq}$$

La composition de l'eau de Blida et sa correction sont reportées dans les tableaux 4.3 et 4.4 :

Tableau 4.3 : Composition de l'eau de Blida corrigée

pH = 7,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 00	0.35	00	0.80	0.60	0
Na ⁺ 1.30					1,30
Ca ²⁺ 2.80					2,80
Mg ²⁺ 1.80					1,80
NH ₄ ⁺ 00					00
HCO ₃ ⁻ 4.08					4,08
Total	0,35	00	0,80	0,60	

Tableau 4.4 : Eau de Blida

(solution nutritive de base) pH = 5,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1.30					1,30
Ca ²⁺ 2.80	2,30				5,10
Mg ²⁺ 1.8					1,80
NH ₄ ⁺ 00	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	0,60	

Un certain ordre de dissolution doit être respecté afin d'éviter toute précipitation du milieu et ceci en commençant par les produits à fonction acide et les plus solubles, ensuite on rajoute au fur et à mesure les autres produits.

En dernier lieu, nous avons rajouté une solution d'oligo-éléments composée de deux solutions complémentaires préconisées par Coic et Lesaint [128]. Le contrôle du pH et de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

4.3.6.2. Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive de base élaborée avec l'eau de Blida

- HNO₃ = 2.20 × 63 = 138.6 mg/l
- H₃PO₄ = 1.10 × 98 = 107.8 mg/l
- KNO₃ = 3.55 × 101.09 = 358.86 mg/l
- K₂SO₄ = 0.70 × 87.12 = 60.98 mg/l
- Ca (NO₃) = 2.30 × 118.04 = 271.4 mg/l
- NH₄NO₃ = 1.80 × 80 = 144 mg/l

Total = 1530.34 mg soit 1.53 g/l + Oligo-élément A et B (14.80 mg/l).

La solution nutritive de base renferme aussi des oligo-éléments. Le fer est apporté à raison de 5 ml/l de solution d'une concentration de 2 g/l de séquestrène de fer. Les autres oligo-éléments contenant le molybdate d'ammonium (0,5 g/l), l'acide borique (15 g/l), le sulfate de manganèse (20 g/l) et le sulfate de cuivre (2,5 g/l) + sulfate de zinc (10 g/l) sont apportés à raison de 0,1 ml/l.

4.3.7. Dispositif expérimental

L'affectation des traitements se fait d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires. Nous avons un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale) comportant 05 traitements (T1, T2, T3, T4 et T5). Pour chaque traitement, on a 10 répétitions soit 50 observations au total pour les deux espèces tomate et aubergine.

Le même dispositif a été établi pour le pistachier avec 7 répétitions pour chaque traitement soit 35 observations au total.



Figure 4.3 : Dispositif expérimental adopté.

Le dispositif expérimental adopté dans notre étude pour les trois espèces horticoles est schématisé comme suite :

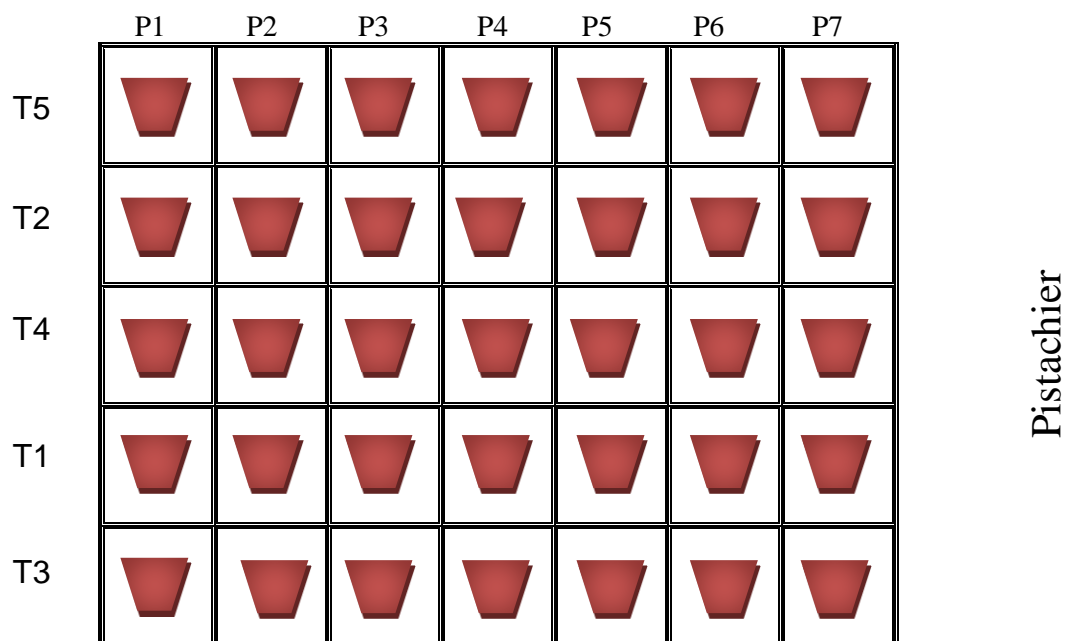


Figure 4.4 : Dispositif expérimental du pistachier.



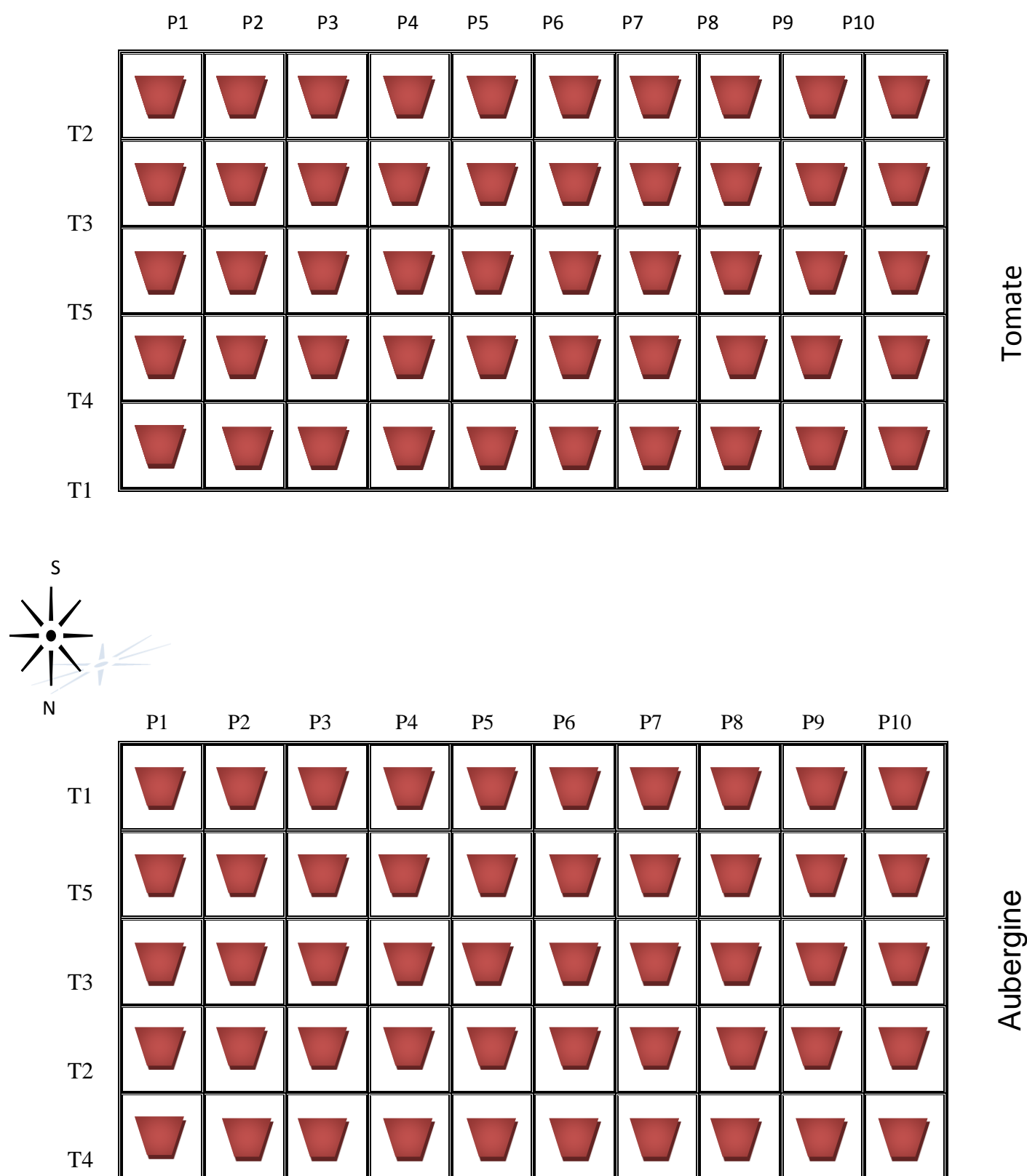


Figure 4.5 : Dispositif expérimental de la tomate et de l'aubergine

T1, T2, T3, T4 et T5 : Traitements et P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10 : Plans.

4.3.8. Description des traitements

Durant notre expérimentation nous avons étudié l'effet du facteur type de substrat à 5 variables avec l'incorporation de la solution nutritive tous les trois jours.

Dans notre travail nous avons testé 05 substrats irrigués par l'eau selon les besoins et/ou par la solution nutritive standard tous les trois jours.

Les substrats sont composés de différentes proportions de sol nu et de mélange sable-tourbe (50% sable, 50% tourbe). La préparation des proportions était faite par volume.

- Sol (Témoin).
- 04 mélanges (50% sable + 50% tourbe) repartis selon le tableau n°13.
- Irrigation par la solution nutritive tous les 03 jours.
- Irrigation selon les besoins (Eau du robinet).



Figure 4.6 : Préparation du mélange tourbe-sable.

Tableau 4.5 : Description des différents traitements.

	T1	T2	T3	T4	T5
Sol%	100	80	60	40	20
Mélange%	00	20	40	60	80
Irrigation	Eau + Solution nutritive tous les 3 jours				

4.3.9. Conduite de la culture

4.3.9.1. Traitements phytosanitaires

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs pour écarter toute attaque cryptogamique ou d'insectes nuisibles sur les plantes selon les maladies rencontrées (tableau n°4.6).

Tableau 4.6 : Programme des traitements phytosanitaires.

Applications	Produit	Matière active	Désignation	Doses	Fréquences d'applications
Préventive	Duresban	Chorpyriphos-éthyle (50g/kg)	Traitement contre les insectes	3g/l	1 fois/ mois
	Methomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement contre les maladies cryptogamiques	3g/l	1 fois/ mois

4.3.9.2. Palissage de la tomate

Vu que la variété Saint-Pierre testée est une variété à croissance indéterminée, nous avons remarqué que les plantes avaient tendance à se recourber, ce qui nous a obligé à placer des tuteurs avec de la ficelle, permettant de maintenir les plantes dressées.

Les deux autres espèces (aubergine et pistachier) ne nécessitent pas de palissage.

4.3.9.3. Ebourgeonnage de la tomate

La tomate a été conduite sur un seul bras. Une opération d'ébourgeonnage a été donc effectuée régulièrement sur les plants au cours de sa croissance et de son développement végétatif et cela dans le but de maintenir une seule tige.

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

4.3.9.4. Etêtage de la tomate

Cette opération consiste à éliminer l'apex (le bourgeon terminal) au-dessus du 3^{ème} bouquet floral de la variété de tomate, en laissant deux feuilles au-dessus du deuxième bouquet.

4.4. Paramètres étudiés

4.4.1. Mesures des paramètres biométriques

➤ Hauteur finale des plantes

La hauteur finale est mesurée au moment de la coupe à l'aide d'une règle graduée en centimètre (cm) du collet jusqu'à l'apex.

➤ Diamètre final des plantes

Le diamètre final des plants est mesuré au moment de la coupe finale à l'aide d'un pied à coulisse (en mm).

➤ Nombre total de feuilles

Le principe consiste à faire un comptage des feuilles lors de la coupe finale et ce pour chaque plant.

➤ Surface foliaire

La surface foliaire est déterminée sur sept plants pour chaque traitement et pour chacune des espèces étudiées à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image (Digimizer) qui permet de mesurer la surface des objets à partir des photos prises par un appareil photo numérique.

➤ Biomasse fraîche produite

Le paramètre consiste à peser les différents organes de la plante (feuilles, tiges, racines) à l'aide d'une balance (en gramme).

➤ Biomasse sèche produite

La biomasse sèche des espèces étudiées a été mesurée après dessiccation des organes frais (feuilles, tiges et racines) dans une étuve réglée à 75°C jusqu'au poids sec constant (en gramme).

La biomasse sèche des fruits a concerné les deux espèces maraichères uniquement (tomate et aubergine).

➤ Taux de matière sèche

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%]. Il est calculé comme suit :

$$\text{Taux de MS} = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100 = \text{taux de matière sèche (\%PS/gPF)}$$

➤ Taux de cendres

Le principe est basé sur la destruction totale de toutes les particules charbonneuses et la pesée de la matière minérale restante. La teneur en cendres est exprimée en pourcentage (%) de cendres par gramme de poids sec.

Nous avons fait la minéralisation selon le protocole de Martin et *al.* [129] et Pinta [130] et [131].

Mode opératoire :

Les étapes de la minéralisation sont les suivantes :

- Dans une capsule en porcelaine, nous pesons 1 gramme de poudre (plante) finement broyée,
- La capsule est déposée dans le four à moufle froid, puis nous élevons la température jusqu'à 450°C. Les échantillons y sont maintenus pendant 2 heures.
- Après refroidissement, nous humectons les cendres par 2 à 3 ml d'acide chlorhydrique concentré. Elles sont ensuite chauffées jusqu'à l'apparition des premières vapeurs, quelques millilitres d'eau déminéralisée sont ajoutés.
- Le contenu ainsi obtenu est filtré, puis rincé 3 ou 4 fois à l'eau déminéralisée tiède.

4.4.2. Paramètres de production

Nous avons mesuré les paramètres de production pour les deux espèces maraichères (tomate et aubergine) en faisant un comptage de fleurs par plant jusqu'à la fin de la phase floraison.

Nous avons suivi le taux d'avortement et nous avons calculé le nombre moyen de fruits par plant et la production par plant.

Quant au pistachier, espèce pérenne, nécessitant plusieurs années pour rentrer en production, il n'y a pas eu de mesure des paramètres de production.

4.4.3. Dosage des paramètres physiologiques

- Dosage de la chlorophylle

La chlorophylle « a » et « b » a été dosé durant les trois stades de croissance pour les plantes de la tomate et de l'aubergine et a été dosé avant la coupe finale pour les plantules du pistachier sur les feuilles médianes. Nous avons effectué 4 répétitions pour chaque traitement. L'extraction de la chlorophylle « a » et « b » est réalisée selon la méthode de Francis, (1970) qui consiste à :

- Fragmenter les feuilles et les mettre dans des boites sombres (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière).
- Macération de 0.1g des fragments de feuilles dans 10 ml d'un mélange contenant de l'acétone et de l'éthanol à 75 et 25% de volume et à 80 et 40% de concentration. Après 48h on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm).

La détermination des teneurs est réalisée selon les formules suivantes :

- **Chlorophylle a ($\mu\text{g/g MF}$) = $12,7 \times \text{DO (663)} - 2,59 \times \text{DO (645)} \times V / (1000 \times W)$.**
- **Chlorophylle b ($\mu\text{g/g MF}$) = $22,9 \times \text{DO (645)} - 4,68 \times \text{DO (663)} \times V / (1000 \times W)$.**

V : volume solution extraite et W : poids de matière fraîche de l'échantillon en gramme.

- Dosage de la proline chez la tomate et l'aubergine

La proline est dosée selon le procédé utilisé par Troll et Lindesly (1955), simplifié et mise au point par Dreier et Goring (1974), et modifié par Monneveux et Nemmar [132].

Le principe de cette technique est de quantifier la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline interagit avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

La méthode consiste à mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai et leur ajouter 2 ml de méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à ébullition au bain Marie à 85°C pendant 60 min.

Après refroidissement, 1 ml de la solution est prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, on ajoute 1 ml d'acide acétique, 25 mg de

ninhydrine ainsi que 1 ml d'un mélange contenant ; 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique et 80 ml d'acide ortho phosphorique.

Les tubes sont portés à ébullition au bain Marie durant 30 min. Après refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent. On prélève la phase supérieure à laquelle on ajoute 5 mg de sulfate de sodium, puis on les laisse au repos pendant 48h. On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre (UV) à la longueur d'onde de 528 nm.

La détermination de la teneur en proline est réalisée selon la formule :

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{528} \times 0.62$$

- Dosage des sucres solubles de la tomate et de l'aubergine (degré de Brix)

La détermination de ce paramètre est réalisée à l'aide d'un réfractomètre manuel. Le principe de mesure est basé sur la réfraction de la lumière créée par la nature et la concentration des solutés. Cette opération consiste à mettre une goutte de jus de tomate ou d'aubergine dans l'appareil puis passer à la lecture directe.

4.5. Analyse des données

Les résultats obtenus ont été traités par analyse de la variance avec le logiciel STATGRAPHICS- Centurion XVI (version 16.1.18) et les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Fisher (LSD) au seuil de probabilité de 5%.

Chapitre V : ***Résultats et discussion***

Chapitre V

Résultats et discussion

5.1. Evaluation des caractéristiques physiques et chimiques des substrats

La disponibilité des éléments minéraux est influencée de manière importante par les propriétés chimiques du substrat. Il est toutefois important de souligner que l'absorption des éléments minéraux par les plants est avant tout tributaire de quantités suffisantes d'eau et d'oxygène dans le substrat [29].

5.1.1. Propriétés chimiques

Les caractéristiques chimiques d'un substrat influencent la culture et peuvent modifier l'absorption des fertilisants par la plante [133].

Tableau 5.1 : Teneur en anions des substrats testés.

Substrats	pH	CE : p saturat mS/cm	CEC (méq/100g) sol	Sulfate (méq/l)	Chlorite (méq/l)	Carbonate	Bicarbonate (méq/l)
S1	7,58	1,23	145	13,161	10	0	6,272
S2	7,51	2,04	160	11,406	20	0	5,88
S3	7,26	2,15	179	28,253	22,666	0	5,488
S4	6,77	2,25	188	26,519	23,333	0	5,88
S5	6,43	2,29	192	34,961	27,666	0	5,88

Les résultats du tableau (5.1) présentent pour les substrats testés une variation du pH qui tend vers l'alcalinité excepté les traitements S4 et S5 qui se rapprochent vers un pH plus ou moins favorable en dépit des espèces cultivées.

Le pH influence la disponibilité d'absorption de certains éléments minéraux par la plante. Le pH idéal d'un substrat de culture est compris entre 5,5 et 6,5 où la majorité des éléments nutritifs sont disponibles à la plante [134], [18] et [35].

La conductivité électrique (CE) représente également un indice de la salinité, les résultats enregistrés ont montré un accroissement du paramètre mesuré avec l'augmentation de pourcentage du mélange (tourbe + sable) dans les substrats. Le substrat S1 (100% sol) présente la CE la plus faible avec une valeur de 1,23 mS/cm,

contrairement, la valeur la plus élevée est obtenue dans le substrat S5 avec 2,29 mS/cm. Il est à noter que le niveau de salinité des substrats contenant une grande proportion du mélange (tourbe + sable) reste élevé mais sans effet néfaste sur les espèces testées.

La conductivité électrique mesure les ions conducteurs d'une solution et peut être mesurée sur une solution extraite du substrat. En effet, une concentration d'ions trop élevée entraîne une modification du potentiel osmotique du milieu de culture, limitant ainsi les racines à extraire l'eau et les éléments minéraux du milieu de culture [133].

Un substrat possédant une capacité d'échange cationique supérieure à 100g/l peut emmagasiner une plus grande réserve de cations, ce qui diminue les pertes attribuables aux lessivages et les variations de pH [24] et [56].

L'analyse de la capacité d'échange cationique (CEC) est en relation avec la quantité de cations ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) existante dans ces substrats. En effet, les mélanges préparés (S2, S3 et S4) ainsi que le substrat témoin (S1) sont chimiquement actifs avec une CEC élevée à très élevée selon les traitements.

Notons que le substrat S5 (20% sol + 40% tourbe et 40 % sable) représente le stock le plus élevé d'éléments minéraux potentiellement disponibles pour la plante. Les résultats présentés dans le tableau (5.1) montrent que la progression des valeurs de CEC est en corrélation avec la quantité de tourbe utilisée dans la confection des différents substrats.

La capacité d'échange cationique (CEC) est un indice de la capacité que possède un substrat d'échanger des cations en solution avec des cations absorbés. L'analyse de la CEC permet donc d'évaluer l'aptitude du substrat à retenir des éléments minéraux essentiels à la croissance végétale [135]. La plupart des matériaux organiques possèdent une CEC moyenne ou élevée, alors que les matériaux minéraux ont une CEC faible.

Tableau 5.2 : Teneur en cations des substrats testés.

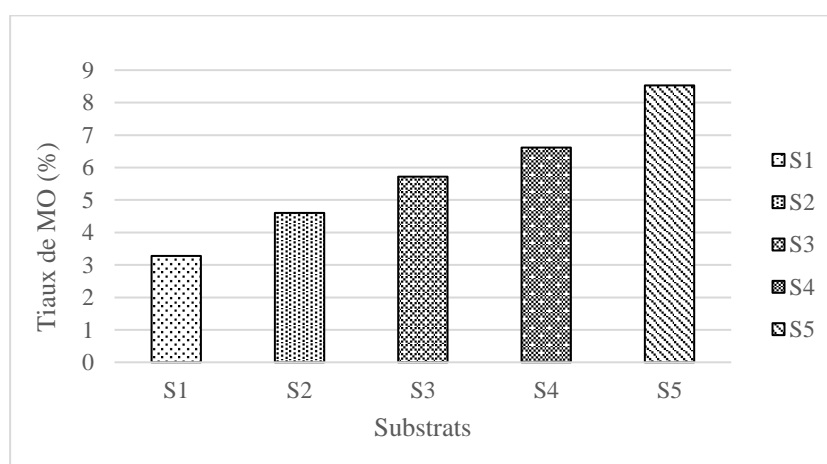
Substrats	Azote T%	Phosphore méq/l	Calcium méq/l	Sodium méq/l	Potassium méq/l	Magnésium méq/l
S1	8	0,361	7,9109	3,492	0,161	15,289
S2	5	0,361	10,504	4,423	0,161	19,895
S3	2	0,412	11,247	4,469	0,182	39,152
S4	-	0,445	12,319	4,345	0,345	45,680
S5	-	0,487	12,060	4,113	0,937	54,939

Les résultats de l'analyse chimique des substrats présentés dans les tableaux (5.1 et 5.2) montrent que le substrat S5 (20% sol + 80% mélange) est le plus riche en éléments minéraux, excepté pour l'élément bicarbonate. Une amélioration progressive de la disponibilité d'éléments minéraux dans les substrats testés est remarquée tout en augmentant la proportion du mélange (tourbe + sable) dans la préparation des substrats de culture. Le substrat témoin S1 (100% sol) présente la quantité minérale la moins importante.

Lors de la caractérisation finale des substrats, les analyses ont révélé des concentrations très faibles en N, P et K dans la solution des substrats, parfois même sous le seuil de détection (tableau 5.2).

➤ Taux de matière organique

La matière organique est la source de l'activité biologique tant animale que végétale du sol. Elle est constituée d'un ensemble de substances, essentiellement caractérisées de manière qualitative par leur nature chimique [37].

**Figure 5.1** : Taux de la matière organique dans les substrats.

L'analyse du taux de matière organique dans les différents substrats testés a montré que les résultats obtenus sont élevés comparés à ceux trouvés dans les sols cultivés (1 à 3 %) [136]. Le taux de MO le plus élevé est enregistré dans le substrat S5 (20% sol + 40% tourbe + 40% sable) avec une quantité de 8,5%. Le taux le plus faible est observé chez le substrat S1 avec la valeur de 3,27% de MO, il évolue progressivement avec l'augmentation de la quantité de tourbe en fonction des traitements (S2, S3, S4 et S5) en comparaison avec le témoin (S1). Il est aussi à noter qu'au niveau des traitements S4 et S5 une bonne partie de la matière organique reste inactive et ce compte tenu de l'absence de l'azote dans ces deux substrats en raison de l'activité microbienne qui se trouve fortement limitée. Les résultats similaires ont été signalés par Kemmit et *al.* [137].

La matière organique contribue à faciliter l'obtention d'un état structural stable. En effet, elle permet une meilleure porosité, perméabilité, aération, un meilleur réchauffement et joue un rôle dans l'économie d'eau. Mustin [42], Rosell et Chassin [138] et Michelot [56], soulignent que la capacité de rétention en eau peut améliorer considérablement la croissance végétale. La matière organique fournit des nutriments à la plante, augmente la porosité et la capacité de rétention d'eau, rend le substrat plus léger et plus facile à manipuler.

5.1.2. Propriétés physiques

Les propriétés physiques du substrat influencent la disponibilité de l'eau, de l'oxygène et des éléments minéraux pour les plantes. Une quantité élevée en eau et un apport suffisant en air sont considérés comme les propriétés physiques les plus importantes du substrat pour les cultures en récipients [139].

➤ Porosité totale

La porosité ou l'espace poral correspond à l'évaluation des espaces vides par rapport à l'encombrement total d'un substrat [30].

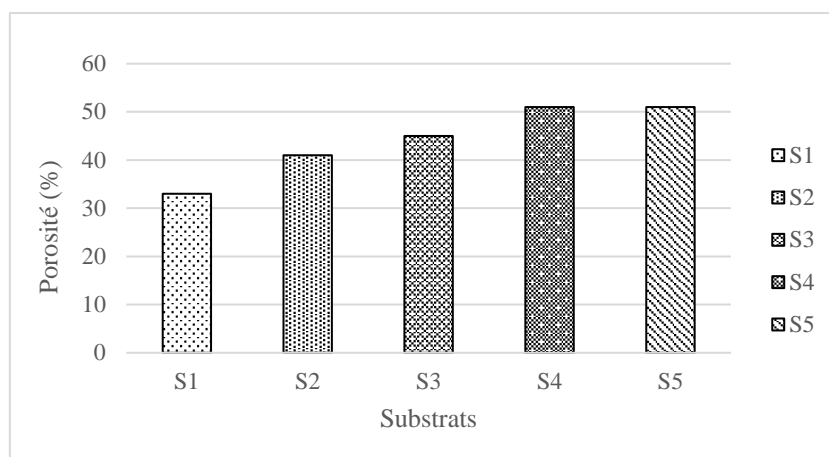


Figure 5.2 : Porosité totale des différents substrats.

Les résultats obtenus (figure n°5.2) montrent que la totalité des substrats confectionnés présentent une faible porosité, ne permettant pas une meilleure stabilité structurale. L'ajout du sable grossier dans notre étude a amélioré considérablement la porosité totale (Pt) des substrats de culture. Les résultats obtenus de la Pt sont influencés par la variation des proportions de tourbe et de sable qui diffère d'un substrat testé à un autre.

Un bon substrat de culture possède un ordre de grandeur de la porosité de 80 à 90% pour la tourbe brune selon les normes de Poncet et *al.* [38]. Les valeurs obtenues de Pt pour les divers substrats sont inférieures à 50%, ce qui indique que les résultats ne sont pas satisfaisants pour l'ensemble des traitements, mais la Pt des substrats S4 (40% sol + 60% mélange) et S5 (20% sol + 80% mélange) reste à la limite de la norme préconisée (>50%) pour les substrats en pépinière [8] avec une valeur de 51% pour les deux substrats.

Pour une plante, la porosité d'un sol, représente sa fertilité physique, elle est aussi meilleure que la macroporosité quand elle se trouve suffisante pour éviter les excès d'eau et les engorgements qui noient les racines. Elle doit être suffisante pour que l'eau soit retenue et mise à la disposition des racines au fur et à mesure des besoins [140].

➤ Capacité de rétention en eau des substrats

La courbe de rétention d'eau est un indicateur spécifique des propriétés hydriques d'un substrat [141]. La plupart des techniques d'analyses utilisent la courbe de rétention d'eau pour déterminer les caractéristiques hydriques d'un substrat [142].

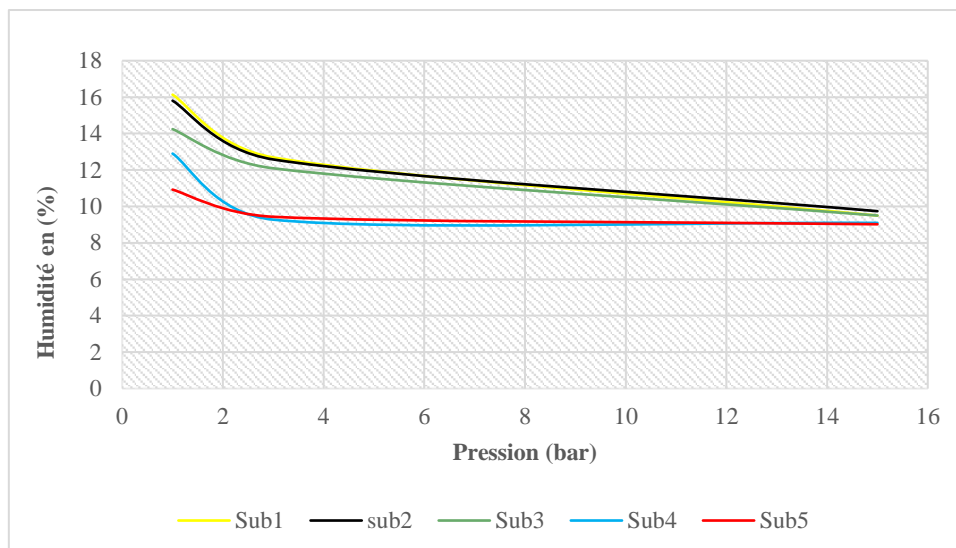


Figure 5.3 : Courbe de rétention d'eau des différents substrats.

Le tracé de ces courbes pour chacun des substrats permet de les comparer et de les caractériser en fonction de leurs propriétés hydriques [13].

La mesure de la capacité de rétention d'eau montre que les substrats S5 et S4 donnent les valeurs les plus élevées avec une disponibilité d'eau de plus de 90% et une humidité de 9% au point de flétrissement estimé souvent à une pression de 15 bars. Les substrats S1, S2 et S3 révèlent une disponibilité d'eau un peu plus faible avec 86% d'eau disponible pour (S1 et S2) et 87% pour (S3), et une humidité plus importante proche de 12% au point de flétrissement. Aussi il est à noter que la capacité au champ estimée généralement à la pression de 10 KPa (approximativement proche au point de saturation) est bonne pour la totalité des traitements testés. Ces résultats sont justifiés par le pourcentage de tourbe utilisée dans la préparation des différents substrats qui joue le rôle d'un élément rétenteur d'eau.

La capacité au champ traduit la capacité de rétention de l'eau où seul l'espace micro-poral est occupé. Le point de flétrissement correspond à la faible humidité contenue dans le sol où les plantes ne peuvent plus absorber d'eau. La conséquence sur la plante est le flétrissement, état irréversible. L'eau disponible est la quantité d'eau retenue dans le réservoir du sol et dans laquelle peuvent puiser les végétaux. Elle correspond à la différence : Capacité au champ - Point de flétrissement [136], [143] et [24].

La disponibilité de l'eau est en fonction des espaces vides entre les particules de sol. La grosseur de ces espaces et leurs connexions modulent la disponibilité de l'eau aux plantes. La plante entre en état de stress hydrique lorsqu'elle n'est plus capable d'exercer la tension nécessaire pour prélever l'eau des micropores, c'est le point de flétrissement [133].

Conclusion :

Dans ce cadre, il est à noter qu'aucun substrat n'a toutes les qualités recherchées. Certains producteurs ou expérimentateurs utilisent des mélanges, dont le plus courant est un matériau à faible capacité de rétention en eau avec un autre ayant une bonne capacité de rétention. D'autres préfèrent un seul matériau, dont ils connaissent bien les avantages et les inconvénients tels que la tourbe [39].

Par ailleurs, il est à préciser que les substrats S4 et S5 fournissent des mélanges dont la texture et la structure peuvent permettre aux plantules de se développer dans les meilleures conditions.

5.2. Pistachier vrai (*Pistacia vera* L.)

L'essai du pistachier sur les substrats testés a permis de ressortir les résultats morphologiques et physiologiques suivants :

5.2.1. Hauteur finale de la tige (cm)

Les résultats de la figure n°5.4 illustrent l'effet des différents substrats sur l'évolution de la croissance en hauteur des jeunes plantules de *Pistacia vera* L. et ce après 120 jours de culture.

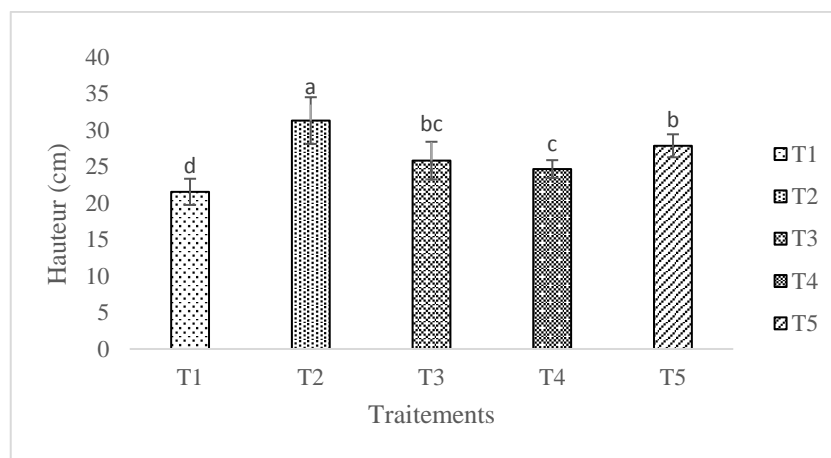


Figure 5.4 : Hauteur finale des plantules.

L'analyse de la variance a révélé une différence significative ($P < 0,001$) du facteur substrat sur ce paramètre. La hauteur finale la plus élevée est enregistrée sur les plantules du traitement T2 (80% sol+20% mélange) avec une moyenne de 31,31 cm, soit un accroissement de 45% par rapport au témoin T1 (100% sol). Les écarts trouvés entre les traitements testés et le témoin montrent bien l'effet bénéfique de la fraction organique du mélange apporté et notamment l'adjonction tous les trois jours de la solution nutritive sur l'amélioration de la croissance des jeunes plantules de pistachier en pépinière.

5.2.2. Diamètre au collet des tiges (cm)

Les résultats de la figure n°5.5 montrent l'impact des différents substrats de culture sur la variation du diamètre au collet des tiges des plantules de *Pistacia vera*.

L'effet traitement n'exerce aucune action significative sur le diamètre des plantules, néanmoins, il semble que le traitement T2 présente un résultat du diamètre légèrement supérieur comparativement à celui des plantules issues des autres traitements.

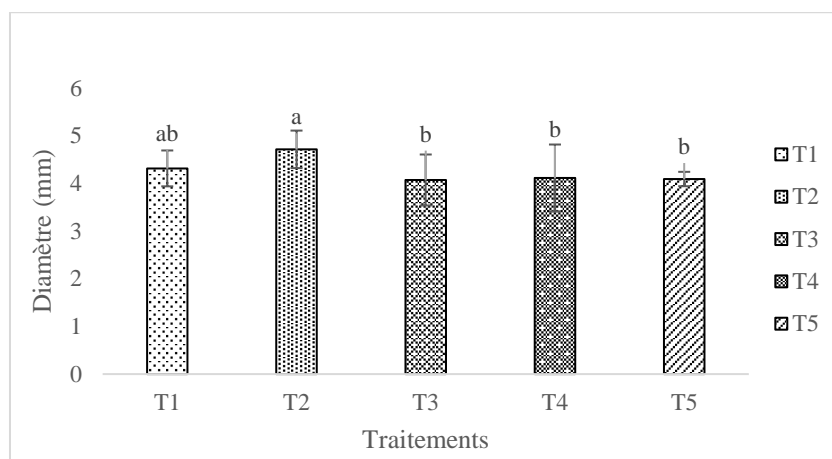


Figure 5.5 : Diamètre des tiges.

Il est important de noter que compte tenu de la pérennité de l'espèce étudiée et la phase d'étude en pépinière assez courte, l'influence de l'effet substrat peut ne pas se révéler précocement sur le diamètre des plantules.

5.2.3. Nombre de feuilles

L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence significative du facteur substrat sur le nombre final de feuilles par plante. Les moyennes illustrées dans la figure n°5.6 montrent que le traitement T5 (20% de sol et 80% de mélange) enregistre un nombre de 28 feuilles/plant, le plus élevé et ce comparativement aux différents traitements testés. L'accroissement du nombre de feuilles finales par plantule est de 60% par rapport à celles issues du traitement témoin (T1). Aussi, les traitements (T3, T2 et T4) enregistrent des accroissements du nombre de feuilles par plante de 33%, 30% et 24% respectivement et ce par rapport aux plantules témoins.

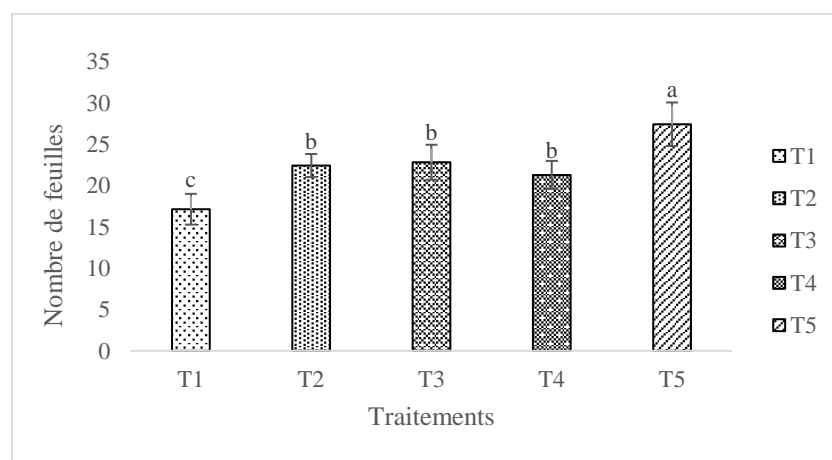


Figure 5.6 : Nombre de feuilles par plantule.

5.2.4. Surface foliaire des plants (cm²)

L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence significative du facteur traitement sur la surface foliaire des plantules de l'espèce étudiée (Figure n°5.7).

Les plantules repiquées dans le substrat témoin (100% sol) présentent la surface foliaire la plus faible, comparativement à celle enregistrée au niveau des plantules des autres traitements, ceci en raison de l'absence du mélange (sable + tourbe) au niveau du T1 inhibant partiellement le bon fonctionnement de la nutrition des plantes et par conséquent l'élargissement des feuilles. Ce résultat est en corrélation avec le nombre de feuilles par plantule où il a été montré que ce traitement T1 forme le nombre de feuilles le plus faible.

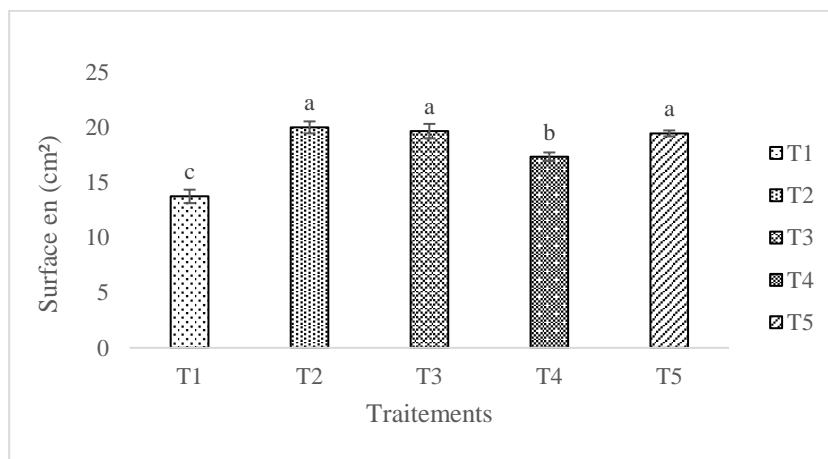


Figure 5.7 : Surface foliaire des plantules.

La feuille est la principale source de synthèse alimentaire, se traduisant ainsi par le développement important de la plante.

Aussi, il y'a lieu de noter que les mélanges T2 (80% sol + 20% mélange), T3 (60% sol + 40% mélange) et T5 (20% sol + 80% mélange) semble être les plus performants, néanmoins ils ne présentent pas de différence significative entre eux.

Les traitements T2, T3 et T5 ont enregistré les accroissements les plus élevés (45%, 43% et 41 %) respectivement et ce comparativement au traitement T1 (100% sol).

5.2.5. Poids frais des feuilles (g/plantule)

L'analyse de la variance montre que le facteur traitement a un effet remarquable sur le poids frais des feuilles.

D'après les résultats obtenus, on constate que le substrat T5 (20% sol + 80% mélange) a tendance à former des feuilles plus turgescentes avec une moyenne du poids frais de 6,23 g/plantule, suivi par les traitements T2, T3 et T4 qui ont donné un poids frais de 5,56 g, 5,43 g et 5,13 g respectivement. Le substrat T1 (100% sol) présente le poids frais des feuilles le plus faible avec une moyenne de 3,79 g. Ces résultats sont justifiés par la présence dans les substrats précités des éléments rétenteurs d'eau (tourbe) et aérateurs (sable) malgré le standard de l'alimentation hydrique et minérale administrée de manière uniforme dans le cycle de l'irrigation et ce pour tous les traitements testés (T1, T2, T3, T4 et T5).

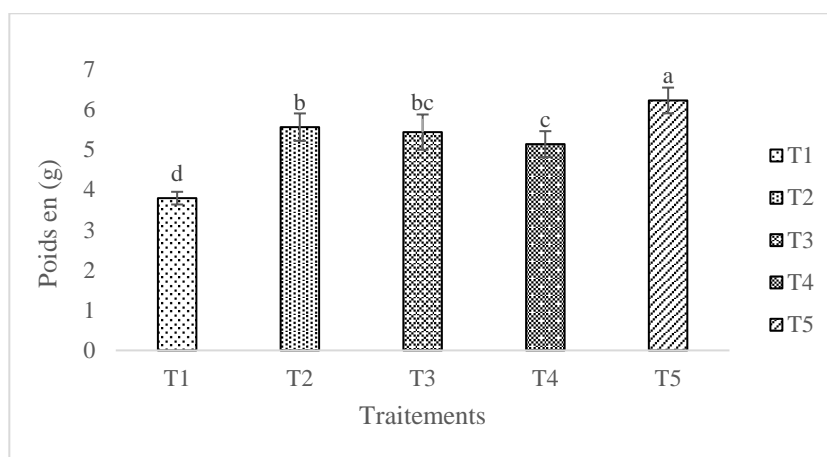


Figure 5.8 : Poids frais des feuilles.

L'accroissement le plus élevé est enregistré au niveau du traitement T5 par une augmentation du poids frais de plus 64% par rapport au témoin, suivi du traitement T2, T3 et T4 qui révèlent les biomasses fraîches les moins importantes avec une augmentation du poids de 46%, 43% et 35% respectivement comparés au témoin (T1).

5.2.6. Poids frais des tiges (g)

L'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence significative ($P < 0,05$) du facteur substrat sur le paramètre mesuré. Cette différence met en évidence l'influence favorable de la solution nutritive dans les différents substrats testés sur la biomasse fraîche des tiges.

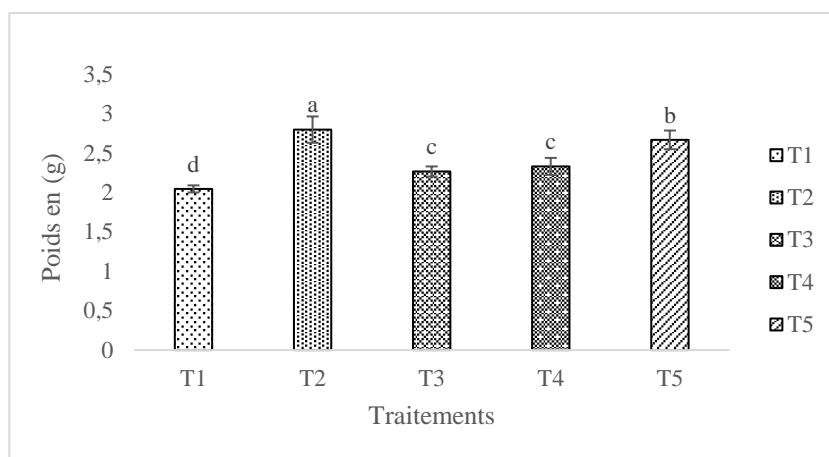


Figure 5.9 : Biomasse fraîche des tiges.

Les résultats mentionnés dans la figure n°5.9 montrent que les plantules issues du traitement T2 (60% sol + 40% mélange) présentent le poids frais des tiges le plus important avec 2,79 g/plantule, suivi par le substrat T5 (20% sol + 80% mélange) avec 2,66 g/plantule. Avec une augmentation de poids frais des tiges de 36% et 30% par rapport à celui produit par le traitement témoin (T1).

Les traitements T4 et T3 ne présentent pas une différence significative entre eux, mais sont presque similaires à la valeur représentée par le traitement T1 (100% sol) avec 2,04 g/plantule.

Les résultats de la biomasse fraîche des tiges ont montré l'effet marqué des propriétés physiques et chimiques des substrats expérimentés.

5.2.7. Poids frais des racines (g)

Le poids frais du système racinaire pesé après 12 semaines de culture sur les différents substrats testés est fonction des mélanges élaborés pour la constitution des milieux de culture.

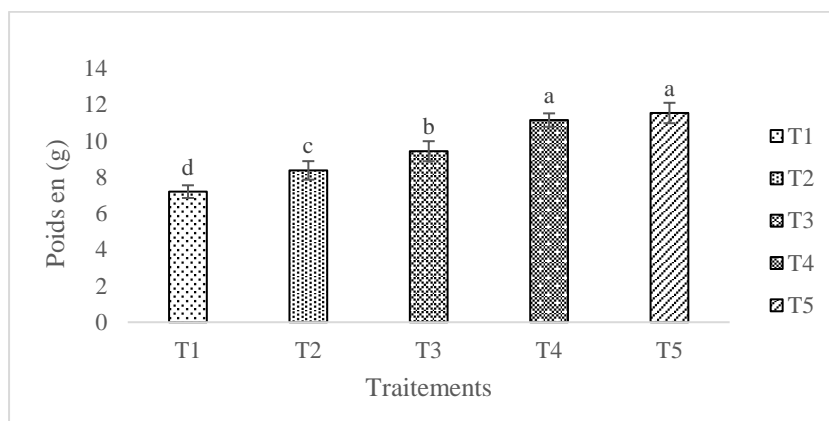


Figure 5.10 : Poids frais des racines.

Les poids frais racinaires les plus importants ont été enregistrés au niveau des plantules issus des substrats T5 et T4, avec des valeurs de 11,53g et 11,145g respectivement. A l'inverse les traitements T3 et T2 présentent les poids les plus faibles (9,43 et 8,37g/plantule) respectivement. Enfin, au niveau du témoin (T1), les plantules forment la matière fraîche racinaire la plus faible avec 7,2g/plantule. Ceci peut être justifié par la faible composition du substrat, freinant aussi le développement des racines et même des racines adventives, se traduisant par un ralentissement de la croissance aérienne et même une réduction de la biomasse fraîche totale produite (feuille, tige, racine).

Les accroissements observés les plus élevés par rapport au témoin (100% sol) sont ceux des plantules issus des substrats T5 et T4 (60 et 54%), et ce en raison de l'enrichissement important des substrats en mélange avec un taux de matière organique important, se traduisant inévitablement par une absorption accrue des éléments minéraux dans les milieux nutritifs.

5.2.8. Poids sec des feuilles (g)

Les données obtenues montrent l'existence de différences significatives entre les substrats testés au seuil ($\alpha = 5\%$) (figure n°5.11).

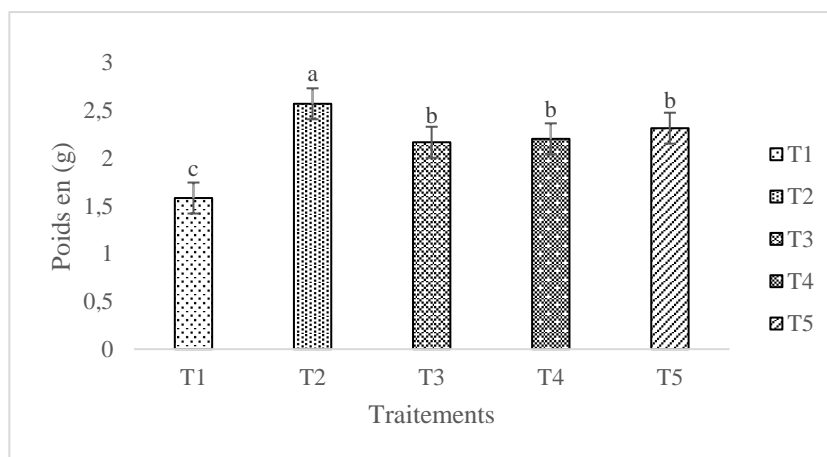


Figure 5.11 : Poids sec des feuilles.

Les résultats relatifs à la production de la matière sèche des feuilles la plus élevée est enregistrée au niveau des plantules issues du substrat T2 avec une moyenne de 2,57 g/plantule, suivi par les substrats T5, T4 et T3 avec des valeurs de 2,31, 2,20 et 2,16 g/plantule respectivement. Aucune différence significative entre elles n'est signalée.

L'analyse statistique du facteur substrat sur le paramètre mesuré montre bien l'effet marqué des aérateurs (sable), et les éléments rétenteurs (tourbe) sur le poids sec des feuilles de pistachier. L'accroissement le plus important du poids sec des feuilles (62%) est enregistré au niveau du substrat T2 et ce par rapport au traitement T1 (100% sol).

5.2.9. Poids sec des tiges (g)

A travers l'analyse de la variance du poids sec des tiges de pistachier, nous remarquons un effet significatif entre les différents substrats testés.

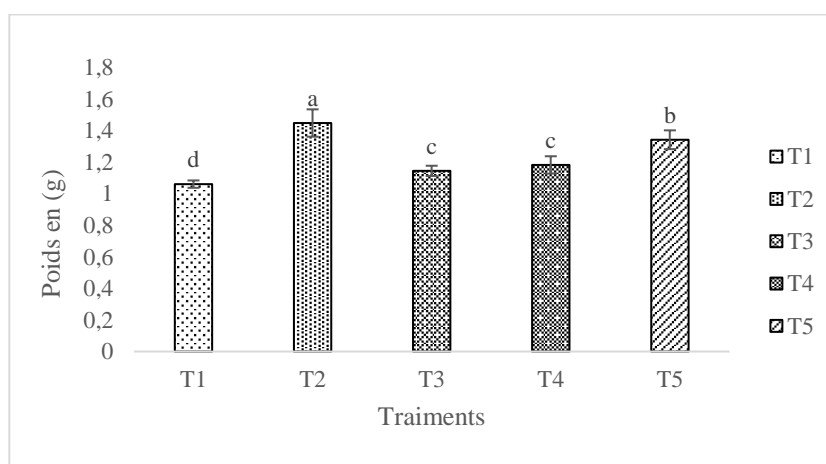


Figure 5.12 : Poids sec des tiges.

Les résultats obtenus montrent que les traitements testés exercent un effet hautement significatif sur la production de biomasse sèche des tiges de pistachier en pépinière (figure n°5.12).

Les plantules issus du substrat T2 (80% sol + 20% mélange) donnent le poids sec par plantule le plus élevé avec 1,45 g, suivi par le substrat T5 (20% sol + 80% mélange) avec une moyenne de 1,34 g/plantule. Celles cultivées dans les substrats T4 (40% sol + 60% mélange) et T3 (60% sol + 40% mélange) ne présentent pas de différence significative au niveau du paramètre mesuré. A l'inverse la biomasse sèche des tiges la plus faible est enregistrée au niveau des plantules issues du substrat témoin (100% sol).

On peut également noter que le substrat T2 présente l'accroissement le plus élevé avec un pourcentage de 36% par rapport au T1, suivie par le traitement T5 avec un pourcentage de 26%. Les traitements T4 et T3, présentent les accroissements les moins importants de 11% et 7% respectivement.

5.2.10. Poids sec des racines (g/plantule)

L'analyse de la variance montre que l'effet substrat exerce une influence hautement significative sur la matière sèche des racines chez les plantules de pistachier en pépinière.

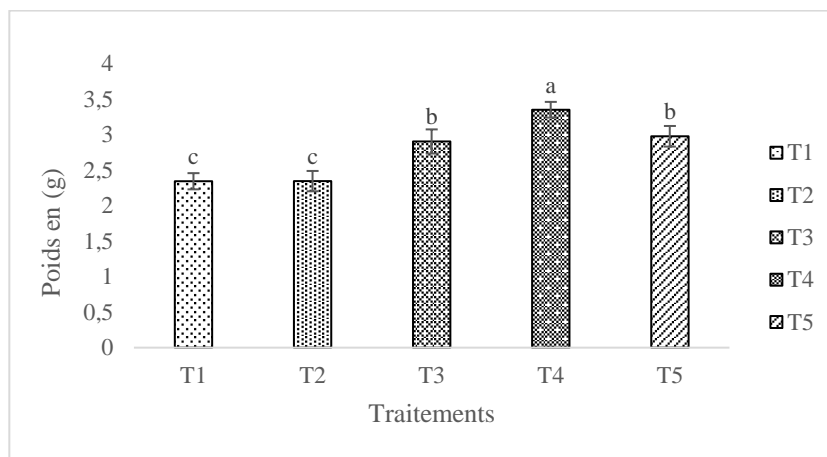


Figure 5.13 : Poids sec des racines.

On remarque que les substrats de cultures ne produisent pas la même quantité de matière sèche racinaire. En effet, on constate que les plantules de pistachier présentant le poids sec du système racinaire le plus élevé sont celles cultivées sur le substrat de culture T4 (40% sol + 60% mélange) avec une moyenne de 3,35 g/plantule, suivi par les substrats T5 et T3 avec des valeurs de poids sec très proche de 2,98g et 2,91 g/plantule. A l'inverse, des résultats similaires ont été observés chez les plantules issues des substrats T1 et T2 avec un poids sec de 2,35 g/plantule (figure n°5.13).

Une amélioration remarquable du poids sec de 42% est enregistrée au niveau du traitement T4, suivi par les traitements T5 et T3 avec un pourcentage de 26% et 23% respectivement, par rapport au traitement T1 (témoin).

5.2.11. Teneur en chlorophylles « a » et « b » dans les feuilles (µg/gMF)

L'analyse de la variance montre une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré à savoir la teneur de chlorophylles « a » et « b » analysées au niveau des feuilles de pistachier.

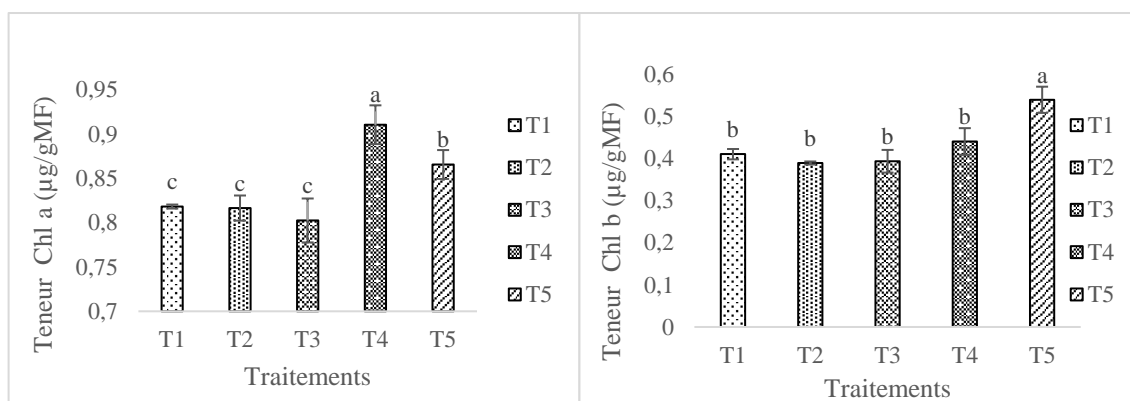


Figure 5.14 : Teneur en chlorophylles « a » et « b » dans les feuilles.

La quantité de chlorophylle « a » la plus élevée est enregistrée au niveau des feuilles des plantules issus du substrat T4 (40% sol + 60% mélange) avec une valeur de 0,910 µg/gMF. Les plantules issues du substrat composé de 20% de sol et 80% de mélange (T5) présentent une teneur de 0,865 µg/gMF. Aucune différence significative n'est observée entre les traitements T1, T2 et T3 qui présentent des teneurs en chlorophylle « a » presque similaire, mais les plus faibles.

Concernant la teneur en chlorophylle « b », l'analyse de la variance montre une différence significative du facteur substrat sur le paramètre mesuré. Les valeurs les plus élevées sont celles du traitement T5 et T4 avec une moyenne de 0,541 et 0,441 µg/gMF. Comme, il a été constaté au niveau de la chlorophylle « a », les substrats T1, T2 et T3 présentent des plantules ayant des teneurs en chlorophylle « b » très proches. Aucune différence significative n'est révélée.

Ces résultats se justifient par la disponibilité des éléments minéraux apportés aux plantules par la solution nutritive équilibrée ainsi que les proportions de mélange les plus élevées (T4 et T5), favorisant un bon développement des feuilles et par conséquent un taux de chlorophylle appréciable.

5.2.12. Taux de matière sèche de la partie aérienne (%)

L'analyse de la variance indique l'existence d'une différence significative du facteur substrat sur le taux de la matière sèche de la partie aérienne (figure n°5.15).

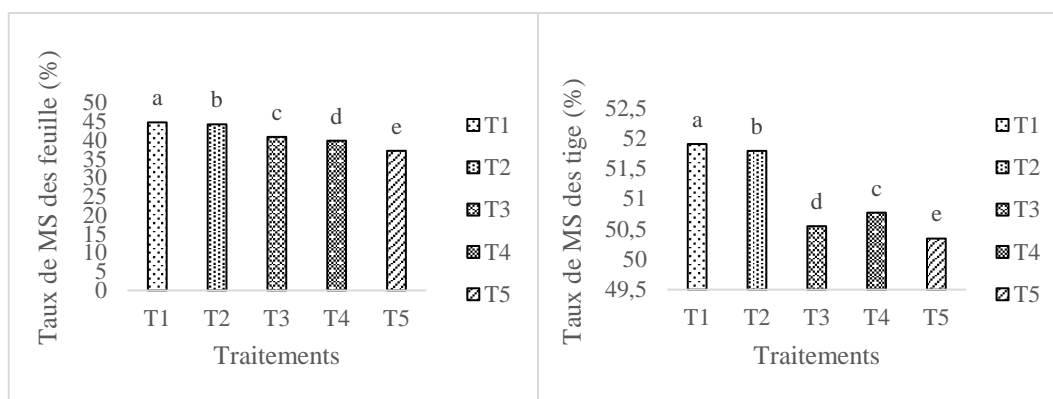


Figure 5.15 : Taux de matière sèche de la partie aérienne.

Le taux de la matière sèche des feuilles et des tiges des plantules de pistachier le plus élevé est produit par le traitement T1 (100% sol) et T2 (80% sol + 20% mélange). Les plantules issues des substrats T3, T4 et T5, manifestent une légère différence dans le taux de matière sèche produite au niveau des feuilles avec des taux de 40,88%, 39,86% et 37,17% respectivement. En revanche, ces mêmes traitements semblent présenter des résultats presque similaires au niveau de l'extrait sec des tiges (%).

5.2.13. Taux de matière sèche des racines (%)

Le taux de matière sèche des racines, est influencé de manière significative par le facteur traitement (figure n°5.16).

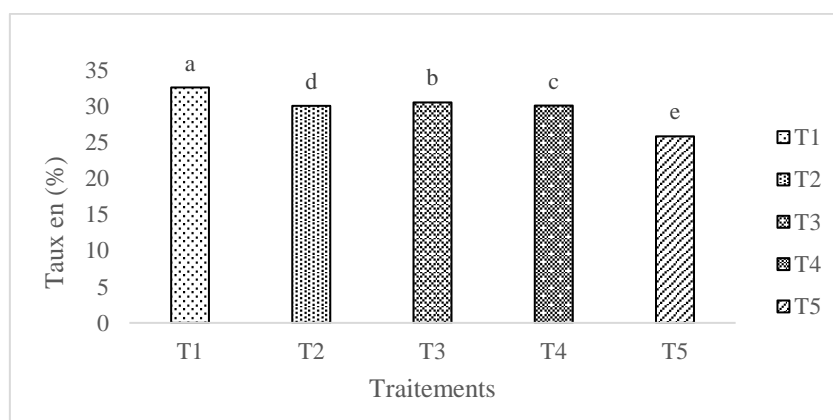


Figure 5.16 : Taux de matière sèche des racines.

Nous observons que le taux le plus élevé de la matière sèche est produit au niveau des racines des plantules de pistachier cultivés dans le substrat T1 (100% sol) avec un pourcentage de 32,58%. Les traitements T2, T3 et T4 présentent des valeurs qui avoisinent les 30%. En revanche, les plantules cultivées dans le substrat T5 (20%

sol + 80% mélange) présentent le pourcentage de la matière sèche des racines le plus faible avec une moyenne de 25% par plant.

5.2.14. Discussion

L'évaluation de la qualité des plantules en pépinière est toujours fondée sur des critères morphologiques tels que la hauteur et le nombre de feuilles par plantule. Notre étude nous a permis de mettre en évidence l'effet des différents mélanges constitués de sol/ tourbe/ sable à différentes proportions. En effet, l'évolution de la hauteur des plants de *Pistacia vera* L. montre que le comportement de ces derniers vis-à-vis des substrats étudiés est différent. Les substrats composés de (20% sol + 80% mélange) et de (80% sol + 20% mélange) paraissent les mieux adaptés à la croissance en hauteur des jeunes plantules de l'espèce étudiée. Ces résultats peuvent être expliqués par les éléments de base contenus dans les mélanges qui composent les substrats [144]. Les plantules sont sensibles dès les premiers stades de croissance à la nature et à la composition du substrat. Cette sensibilité est généralement en rapport avec les propriétés physico-chimiques de chaque substrat, notamment sa qualité physique [1], où la porosité est maximale au niveau du traitement (T5) riche en tourbe comparé au témoin.

Concernant le diamètre au collet des tiges du pistachier, on peut noter que ce paramètre semble ne pas avoir été influencé par la nature du substrat testé durant les douze semaines de culture, car la plantule est en stade pépinière. L'effet du traitement se manifesterait certainement lors du développement de la plantule en arbuste.

Le facteur substrat affecte aussi de façon sensible le nombre de feuilles et la surface foliaire des plantules de *Pistacia vera* L. L'effet réduit des deux paramètres précités au niveau du traitement témoin (sol) repose essentiellement sur sa texture compacte, compte tenu du manque de matière organique contenu dans le mélange apporté, évitant ainsi la bonne porosité, l'aération et la richesse en ions minéraux. Selon les travaux de Benseighir-Boukhari et Argillier [145] sur le Chêne-liège, un substrat de qualité doit être composé d'un élément rétenteur d'eau et des éléments aérateurs, ce qui représente dans notre travail le mélange de tourbe et sable grossier additionné au sol. Pour ce qui est du nombre de feuilles par plantule ainsi que la surface foliaire produite en fonction des différents substrats testés, il a été constaté l'effet significatif de l'adjonction au sol du mélange (sable + tourbe) sur les paramètres

mesurés et ce par rapport au témoin (sol uniquement). En effet, selon Lamhamedi et *al.* [146], la capacité photosynthétique et la surface de transpiration sont étroitement corrélées avec le nombre de feuilles. Des résultats similaires ont été trouvés par Shahina et *al.* [11], qui ont signalé l'effet significatif des mélanges naturels dans la préparation des substrats en pépinière sur le nombre et la surface foliaire. Les mêmes auteurs ajoutent que l'utilisation des constituants naturels à différentes proportions exerce une croissance maximale avec un nombre de feuilles à surface foliaire importante.

Les résultats obtenus montrent que la croissance pondérale de la partie aérienne varie en fonction des traitements testés. Chez les plantules de pistachier, les moyennes élevées de la biomasse fraîche et sèche aérienne sont obtenues par les substrats T2 (80% sol + 20% mélange) et T5 (20% sol + 80% mélange). Vu la résistance de pistachier aux conditions pédoclimatiques sévères dans les zones arides et semi-aride, une légère amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol (T1) permettra d'augmenter sa performance en produisant une biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne appréciable comme c'est le cas au niveau du traitement T2 (80% sol + 20% mélange).

Pour ce qui est du poids frais des racines de jeunes plantules de pistachier vrai, la production de la matière fraîche du système racinaire augmente progressivement avec la fraction du mélange (tourbe + sable grossier) introduite dans les traitements testés, modifiant ainsi la texture du milieu et améliorant considérablement la porosité des substrats, ce qui représentent des facteurs importants sur le développement racinaire.

Le taux de la matière sèche mesuré dans les différents organes (feuilles, tiges et racine), diminue avec la quantité de tourbe/sable apportée, plus le mélange est riche en tourbe (T5) plus la MS diminue. Nous pouvons conclure que les taux sont inversement proportionnels aux pourcentages de mélanges ajoutés au sol, notons que les taux les plus élevées sont ceux des plantules issues du traitement T1 (100% sol) tandis que les taux les plus faibles sont enregistrées au niveau du substrat T5 (20% sol + 80% mélange).

En outre, ce taux élevé de matière sèche au niveau des traitements où la fraction du sol est plus élevée, s'explique par une forte accumulation d'éléments minéraux et de matières solides (sucres principalement) dans les tissus de la plante

[147], induisant beaucoup de réaction d'antagonisme entre les éléments, d'où une croissance végétative compromise.

La couleur verte des feuilles de pistachier est remarquée au niveau de toutes les plantules issues des différents traitements étudiés, en raison de la teneur en chlorophylle importante justifiée par la disponibilité des éléments minéraux apportés par la solution nutritive standard, tous les trois jours dans le cycle des irrigations.

La qualité du substrat est un paramètre très important pour le succès du processus d'enracinement des boutures et les exigences des espèces dont dépend leur caractère hydromorphe [148]. Les résultats d'Ammari et *al.* [149] et Şirin et *al.* [150] affirment que l'importance en pépinière est la production d'un système racinaire dense plutôt qu'un développement important de la partie aérienne. Nos résultats confirment les travaux de Benmahioul et *al.* [15] sur le Pistachier vrai où il a été montré que la texture et les fractions des mélanges testés ont provoqué une variation remarquable de la croissance du système racinaire. En effet, le taux d'oxygène dans les substrats peut jouer un rôle déterminant dans cette croissance. Ils indiquent généralement qu'une production de plantules de qualité en pépinière doit permettre le transfert sur le terrain des sujets qui ont conservé l'intégralité de leur système racinaire. C'est une des conditions essentielles pour assurer une bonne reprise et une bonne croissance lors de la plantation en place définitive [15].

5.3. Culture de tomate et d'aubergine

Nous avons suivi le comportement des plantules de deux espèces de la famille des solanacées (Tomate et aubergine). Des paramètres morphologiques et physiologiques ont été étudiés.

5.3.1. Hauteur finale de la tige (cm)

L'évolution de la croissance en longueur des tiges de la tomate et de l'aubergine lors de la coupe finale est représentée par la figure n°5.17.

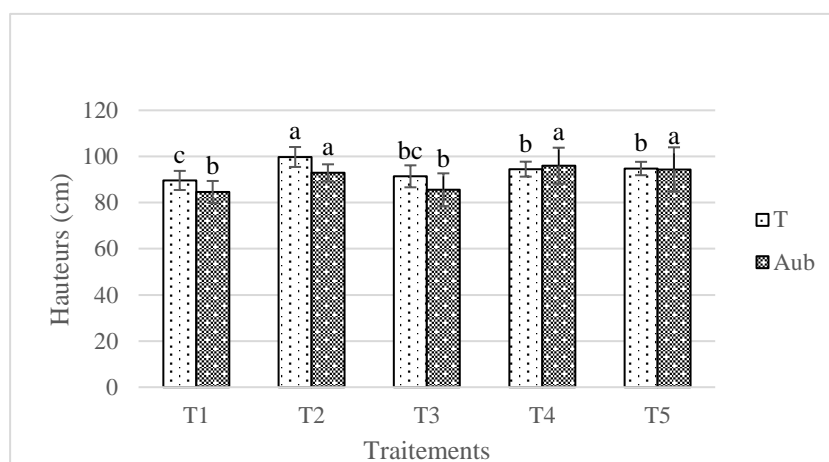


Figure 5.17 : Hauteur finale des plants.

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les traitements. Le test des étendus multiples (LSD) au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes pour la tomate : (a), (b), (bc), (c) et deux groupes homogènes pour l'aubergine : (b) et (c).

La hauteur finale la plus élevée des plants de tomate est observée au niveau du traitement T2 (80% sol + 20% mélange) avec une moyenne de 99,77 cm, suivie par les traitements T5 et T4 avec des moyennes de 94,7 et 94,5 cm respectivement. Le traitement témoin (T1) quant à lui, présente la moyenne la moins importante (89,6cm). Pour ce qui est de l'aubergine, l'analyse de la variance ne révèle pas de différence significative entre les traitements T4, T5 et T2 qui donnent les meilleurs résultats avec des moyennes de 96, 94,4 et 92,9 cm respectivement. Il y'a une différence hautement significative entre les traitements T4, T5 et T2 et les traitements T1 et T3 qui enregistrent les moyennes les plus faibles (85,6 et 84,6 cm respectivement).

3.2. Diamètre au collet des tiges (cm) :

Les tiges ont été mesurées au moment de la coupe finale à l'aide d'un pied à coulisse au niveau du collet de chaque plant, les valeurs obtenues sont présentées dans la figure n°5.18.

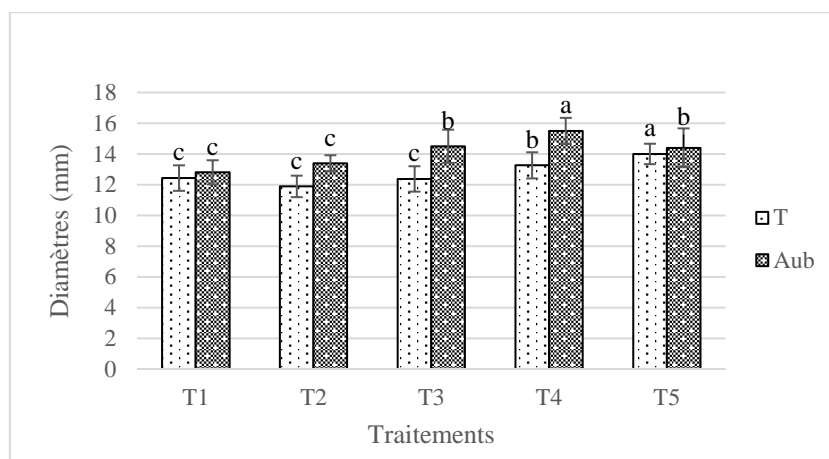


Figure 5.18 : Diamètre des tiges.

L'analyse de la variance nous annonce qu'il y'a une différence très hautement significative entre les traitements ($P < 0,001$). Le test de Fisher au seuil ($\alpha = 5\%$), montre pour la tomate et pour l'aubergine la présence de trois groupes homogènes (a, b et c). En comparant les différents résultats illustrés dans la figure n°5.18, nous pouvons constater que c'est le traitement T5 qui montre un diamètre important des plants de tomate (14 mm en moyenne), suivie du traitement T4 avec une moyenne assez proche de 13,25 mm. En revanche, les plus petits diamètres enregistrés sont ceux observés au niveau des traitements T1, T3 et T2 du groupe homogène (c) et dont les moyennes respectives sont 12,42, 12,37 et 11,88 mm.

Contrairement à la tomate, les plants d'aubergine, issus du traitement T4 (40% sol + 60% mélange) présentent le meilleur diamètre (15.5 mm en moyenne) avec un effet plus marquant que celui du T5 au niveau des plants de tomate.

L'analyse de la variance n'a pas montré une différence significative entre le traitement T3 et T5 du groupe (b) de l'aubergine contrairement à la tomate où une différence hautement significative a été remarquée entre les mêmes traitements (T3 et T5).

5.3.3. Nombre de feuilles par plant

Le dénombrement des feuilles s'est réalisé au moment de la coupe finale pour chaque plant. Le résultat est mentionné dans la figure n°5.19.

L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative ($P < 0,001$) entre les moyennes du paramètre mesuré. Le test des étendus multiples montre l'existence de deux groupes homogènes (a et b) pour la tomate et de cinq groupes (a, ab, b, c et d) pour l'aubergine.

Le facteur traitement a une bonne répercussion sur la production de feuilles et en particulier chez l'aubergine où l'on a remarqué une différence accentuée entre les traitements. Le nombre de feuilles le plus élevé est localisé chez les plantes issues des traitements T3 et T2 qui se rapprochent entre eux par des moyennes presque similaires (75,4 et 72,3 respectivement). Tandis que le nombre de feuilles le moins important est enregistré chez les plantes cultivées sur les milieux T1 et T5 avec une différence allant de 10 jusqu'à 20 feuilles en moins en comparaison avec le substrat T3 (60% sol + 40% mélange).

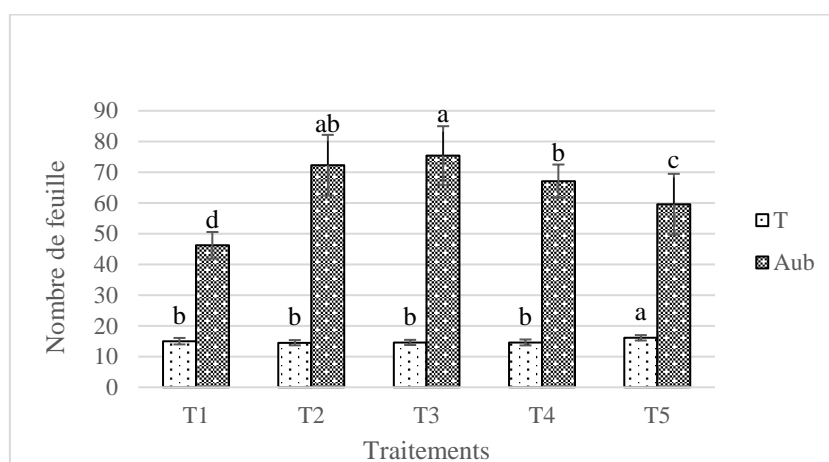


Figure 5.19 : Nombre de feuilles par plant.

En ce qui concerne la tomate, on observe que le traitement T5 composé de 20% de sol et 80% de mélange a donné le nombre de feuilles le plus important. Les traitements du groupe homogène (b) ont donné des valeurs moyennes approximativement plus faibles qui sont de 15 ; 14,6 feuilles par plant respectivement pour T1 et T3/T4. Un nombre moyen légèrement plus faible est enregistré au niveau du traitement T2 avec 14,5 feuilles/plant.

5.3.4. Surface foliaire des feuilles (cm²)

L'analyse de la variance exprime une différence hautement significative ($P < 0,001$) entre les traitements pour la surface foliaire des feuilles, chez les deux espèces de la famille des solanacées. Le test de Fisher à 95% classe les traitements en deux groupes homogènes (a et b).

Nous remarquons que les plantes issues du traitement T1 (100% sol) présentent la surface foliaire la plus réduite chez la tomate et l'aubergine (figure n°5.20). Cela se confirme au niveau de la figure n°5.21 où l'on remarque que ce même traitement (T1) donne un poids frais des feuilles plus faible. En effet, plus la surface foliaire est grande et plus le poids frais des feuilles diminue.

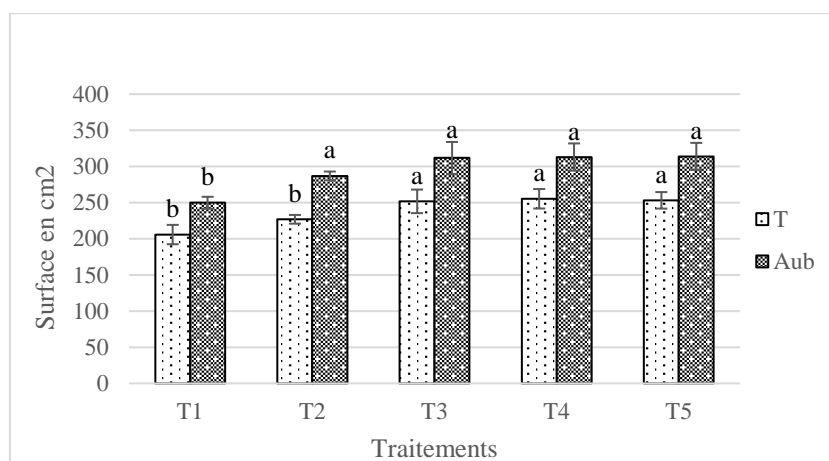


Figure 5.20 : Surface foliaire des plants.

Notons que les feuilles d'aubergine ont une plus grande surface foliaire que celles de la tomate et cela est dû aux caractéristiques botaniques de l'espèce (figure n°5.20). L'aubergine présente de grandes feuilles comparée à la tomate qui présente des feuilles composées. Les traitements T3, T4 et T5 ont donné des moyennes de surfaces foliaires importantes avec des valeurs proches. Ils sont classés tous les trois dans le groupe (a), pour les deux cultures.

Ces résultats sont en rapport avec les teneurs de chlorophylles « a » et « b » au stade final. Le traitement T1 a donné les valeurs de surface foliaire les plus faibles et a donné également les teneurs en chlorophylles « a » et « b » les plus faibles. En effet, nous pouvons déduire que la surface foliaire est en corrélation positive avec la teneur en chlorophylle. En effet, plus la surface foliaire est grande et mieux se réalise la photosynthèse avec une teneur en chlorophylle plus élevée.

5.3.5. Poids frais des feuilles (g/plante)

La biomasse fraîche des feuilles a été mesurée lors de la coupe finale pour chaque espèce et pour chaque plant. Les résultats sont mentionnés dans la figure n°5.21.

L'analyse de la variance concernant la production de la biomasse fraîche des feuilles indique que la différence entre les traitements est très hautement significative. Effectivement, le test de Fisher au risque d'erreur $\alpha = 5\%$, indique la présence de quatre groupements homogènes pour la tomate et de cinq pour l'aubergine.

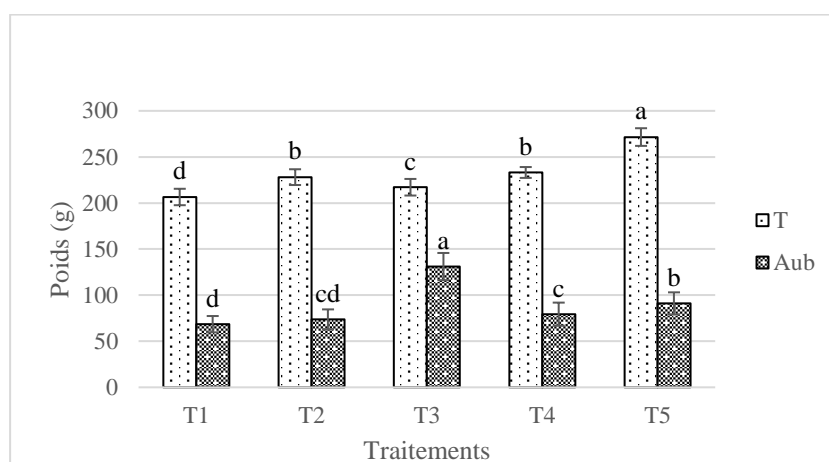


Figure 5.21 : Poids frais des feuilles.

La biomasse fraîche des feuilles de tomate la plus grande est signalée au niveau des plants cultivés dans le substrat contenant 20% de sol et 80% de mélange (traitement T5). Tandis que pour la biomasse fraîche des feuilles d'aubergine c'est au niveau du traitement T3 que nous enregistrons la moyenne la plus élevée de poids frais des feuilles avec 131 g par plant. Les deux espèces n'ont pas été influencées par les traitements de la même manière. Cependant, le traitement T1 a donné le même résultat pour les deux espèces (aubergine et tomate) avec des moyennes plus faibles.

5.3.6. Poids frais des tiges (g)

L'analyse de la variance révèle l'existence d'une différence hautement significative entre les moyennes calculées du poids frais des tiges d'aubergine et de tomate. Cela met en évidence l'influence des différents substrats testés sur la croissance des plantes.

Le test des étendus multiples (LSD) au seuil $\alpha = 5\%$ classe les cinq traitements testés sur la tomate dans deux groupes homogènes distincts (a et b). Les milieux T3 et T5

représentent le premier groupe avec les valeurs les plus élevées, suivis par le T4, T2 et T1 dont les moyennes sont moins importantes avec respectivement 122,98 ; 122,67 et 120,94 g.

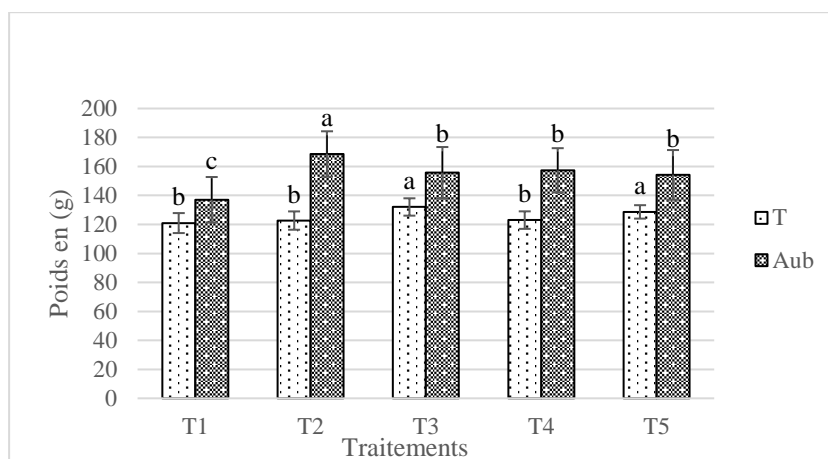


Figure 5.22 : Biomasse fraîche des tiges.

Notons que les plantes d'aubergine cultivées dans le substrat T2 (80% sol + 20% mélange) ont une meilleure quantité de biomasse fraîche des tiges que celles cultivées dans le substrat T1 (100% sol). Cela est confirmé par le test LSD, qui les a classés dans deux groupes distincts (a et b) (figure n°5.22).

5.3.7. Poids frais des racines (g)

La figure n°5.23 illustre la biomasse fraîche des racines, nous pouvons déduire d'après elle que pour l'aubergine le facteur substrat a eu le même effet que celui obtenu sur la biomasse fraîche des tiges.

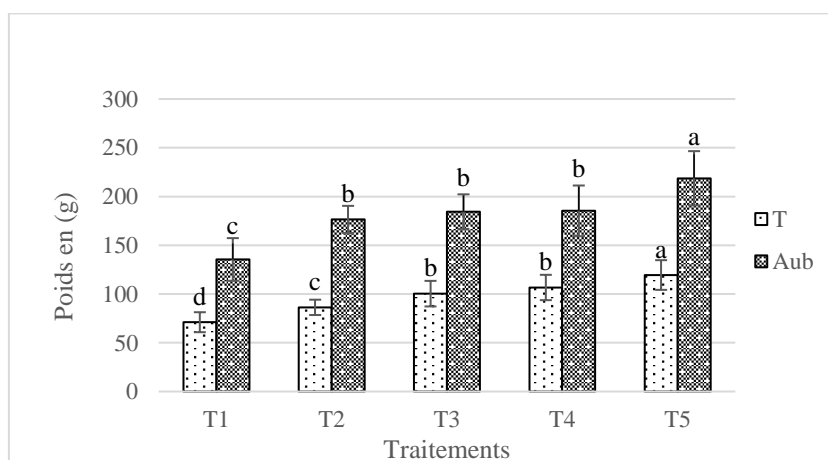


Figure 5.23 : Poids frais des racines.

L'analyse de la variance effectuée a révélé une différence significative ($P < 0.001$) entre les plants de tomate et ceci pour les cinq substrats comparés de notre étude et pour les deux espèces testées.

Les résultats recueillis montrent que l'addition progressive de la tourbe et du sable au sol dans les substrats testés a eu un effet marqué sur le poids frais des racines.

Il apparait que c'est le traitement T5 qui reflète les résultats les plus dominants avec une moyenne de 119,48 g, suivi comme pour l'aubergine des traitements T4, T3, T2 et T1 respectivement.

Les résultats obtenus sont en augmentation progressive avec les proportions de mélange dans les différents substrats étudiés.

5.3.8. Poids sec des feuilles (g)

Pour ce paramètre nous avons pesé pour chaque espèce et pour chaque plant la totalité des feuilles après séchage. Les résultats obtenus sont mentionnés dans la figure n°5.24.

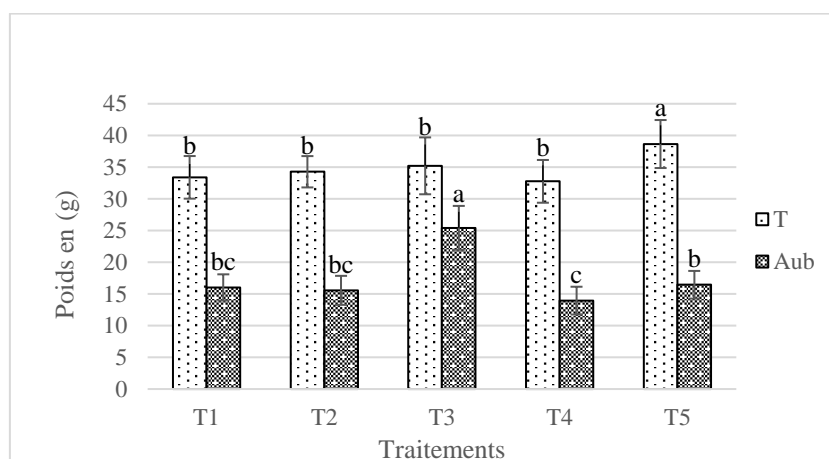


Figure 5.24 : Poids sec des feuilles.

L'analyse statistique révèle qu'il y'a une différence significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le test de Fisher au seuil d'erreur $\alpha = 5\%$ classe les traitements dans différents groupes homogènes selon l'intensité de leur effet sur les cultures.

On note à partir de la figure n°5.24, que les plantes de tomate cultivées sur le substrat T5 (80% sol+ 20% mélange) présentent le poids sec des feuilles le plus élevé. Au contraire les plantes d'aubergines présentent un meilleur poids sec quand elles sont élevées sur le substrat du traitement T3.

Les moyennes du poids sec des feuilles les plus basses sont celles obtenues par le traitement T4 (40% sol+ 60% mélange), et ceci pour les deux cultures, avec 32,76 g pour la tomate et 13,94 g pour l'aubergine. Le traitement T4 est classé en dernière position. Toutefois, il n'ya pas eu pour la tomate une différence significative entre les quatre premiers traitements.

5.3.9. Poids sec des tiges (g)

Les résultats liés au poids sec des tiges montrent que les plants d'aubergine cultivés sur le milieu T2 offrent un meilleur poids sec des tiges que celle cultivées sur le milieu T1 (figure n°5.25). En effet, l'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre ces deux traitements. Le test des étendus multiples au seuil d'erreur $\alpha = 5$ fait ressortir deux groupes différents (a et c) pour le T2 et T1 respectivement. Les trois traitements restant (T3, T4 et T5) appartiennent au groupe (b) et n'ont pas un impact significatif sur les plants.

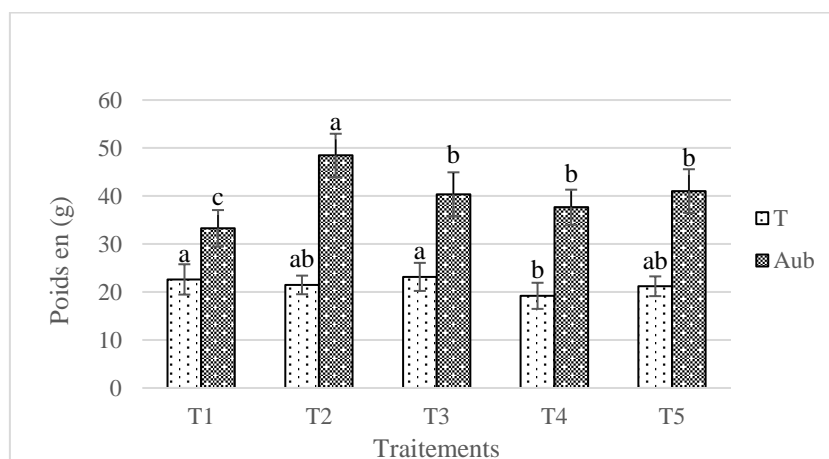


Figure 5.25 : Poids sec des tiges.

La tomate quant à elle, donne un poids sec plus important sur le substrat T3 (60% sol + 40% mélange) suivi du témoin T1 (100% sol). Le milieu composé de 40% de sol et de 60% de mélange (T4) a provoqué une baisse significative du poids sec des tiges. Les résultats sont confirmés par l'étude statistique qui démontre cette différence entre les traitements.

5.3.10. Poids sec des racines (g)

Les calculs statistiques nous révèlent une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du poids sec des racines. En effet, le test

de Fisher au seuil $\alpha = 5$ fait ressortir cinq groupes homogènes pour la tomate et quatre groupes homogènes pour l'aubergine. La biomasse sèche des racines est représentée dans la figure n°5.26.

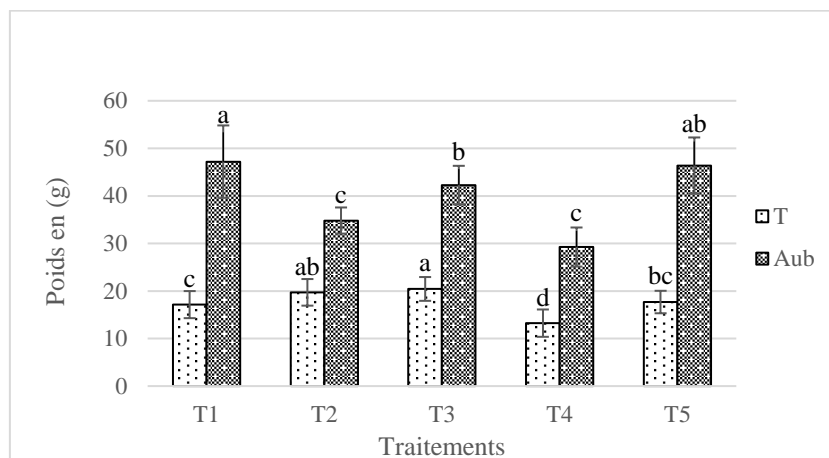


Figure 5.26 : Poids sec des racines.

Le groupe le plus dominant (a) renferme les plantules de l'aubergine qui ont évolué sur le substrat T1 (100% sol) où nous avons enregistré un poids sec des racines de 47,20g. La biomasse sèche des racines la plus élevée est obtenue sur les plantes qui se sont développées sur du sol seulement en comparaison au traitement T4 (40% sol + 60% mélange) avec un poids de 29,25g.

Le traitement T5 (20% sol +80% mélange) fait partie du 2^{ème} groupe (ab) et enregistre 46,32g. La proportion élevée du mélange (80%) a eu un effet positif sur la production du poids sec des racines d'aubergine.

Concernant la tomate, l'analyse de la variance du poids sec des racines a confirmé la différence entre les traitements testés sur le matériel végétal utilisé dans nos essais. Le traitement T3 a manifesté le poids sec le plus élevé suivi par les milieux T2 et T5 avec des moyennes approximatives de 19,72g (T2) et 17,68g (T5).

Les substrats enregistrés de la figure n°5.26 montrent que les plantes d'aubergine ont donné une production de biomasse sèche faible au niveau des traitements T4 et T2 par rapport aux autres traitements testés et au témoin.

5.3.11. Taux de matière sèche de la partie aérienne (%)

L'observation des données illustrées par la figure n°5.27 nous indique que le pourcentage de matière sèche de la partie aérienne est influencé par les cinq traitements testés des deux espèces étudiées.

L'analyse statistique des données nous indique qu'il y'a une différence très hautement significative entre les traitements ($P < 0,001$).

Pour le taux de matière sèche des feuilles, le test des étendues multiples à 95%, classe les substrats de culture en trois groupements homogènes pour la tomate (a, ab, b) et en cinq groupements pour l'aubergine (a, b, c, d, e).

Pour le taux de matière sèche des tiges, le même test classe les traitements étudiés en quatre groupes homogènes pour la tomate (a, ab, bc, c) et en cinq groupes (a, b, c, d, e) pour l'aubergine. Cette dernière a marqué le taux de matière sèche des feuilles le plus élevé chez les plantes issues du traitement T1 (100% sol) avec 23,38%. Tandis qu'au niveau des tiges c'est le T2 qui a eu un taux plus élevé avec 28,74%. Les deux organes analysés (feuille, tige) n'ont donc pas développé la même réponse face aux traitements testés.

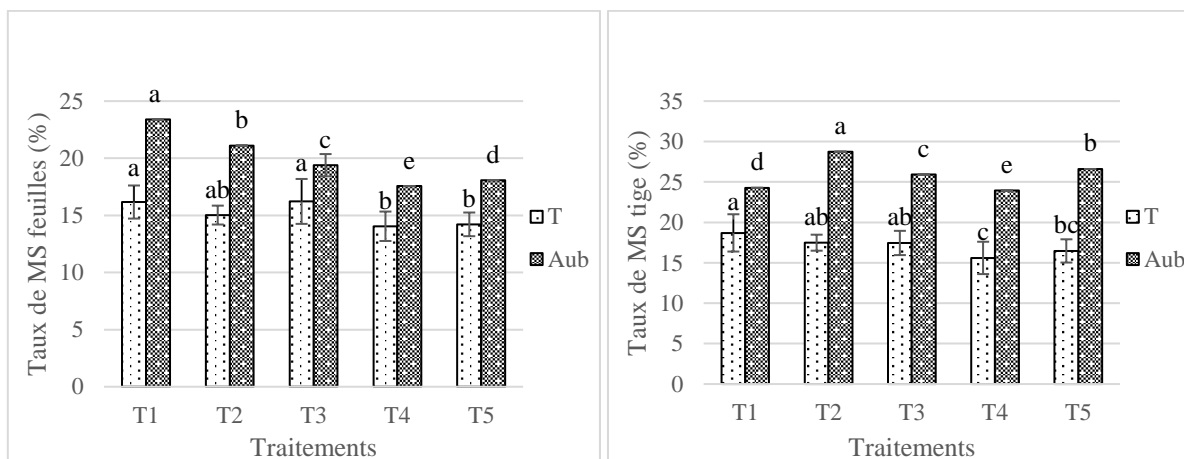


Figure 5.27 : Taux de matière sèche de la partie aérienne.

Les mêmes résultats ont été constatés pour les plants de tomate. Les tiges et les feuilles ont été influencés différemment par les traitements. En effet, pour les feuilles c'est le milieu de culture T3 (60% sol + 40% mélange) qui a donné le taux de matière minérale le plus élevé comparé aux tiges où le traitement T1 (100% sol) a donné les meilleurs résultats. Toutefois, le traitement T4 (40% sol + 60% mélange) a donné les valeurs les plus faibles (figure n°5.27).

5.3.12. Taux de matière sèche des racines (%)

L'analyse de la variance révèle une différence très significative ($p < 0.001$) entre les valeurs obtenues lors du calcul du taux de la matière sèche des racines, ce qui met en évidence l'influence des traitements testés sur le paramètre mesuré des deux espèces étudiées (tomate et aubergine). Effectivement, le test LSD a classé les différents traitements en plusieurs groupes homogènes, (a), (b), (c), (d) et (e) pour l'aubergine et (a), (b) et (c) pour la tomate.

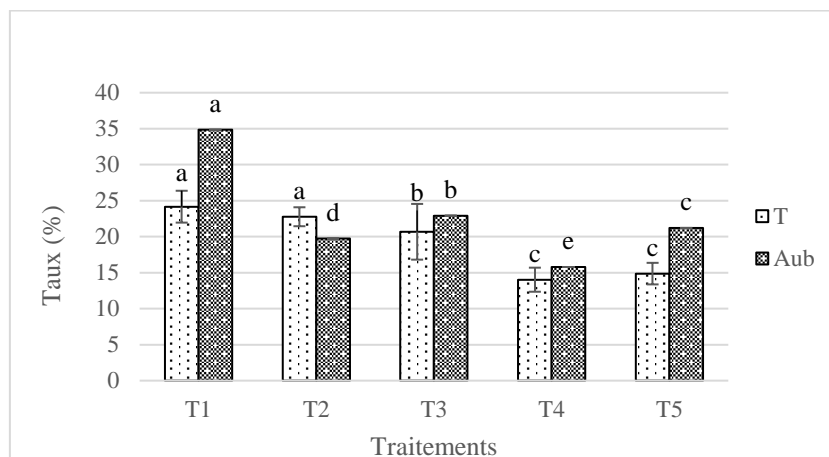


Figure 5.28 : Taux de matière sèche des racines.

On note d'après la figure n°5.28, que les plantes issues du traitement dépourvu de tourbe et de sable (T1) ont le taux de matière sèche des racines le plus élevé. Tandis que les plantes issues du traitement T4, avec des proportions de 40% de sol et 60% de mélange, ont le taux de matière sèche des racines le moins élevé avec 14,02% pour la tomate et 15,78% pour l'aubergine. On peut déduire que l'addition de la tourbe/sable au sol a eu une répercussion négative sur la matière sèche de la partie souterraine des plantes.

5.3.13. Taux de cendres des feuilles

Le traitement statistique des données met en évidence un effet hautement significatif entre les traitements ($P < 0,001$). Le test de Fisher classe les traitements testés sur la tomate en quatre groupes homogènes (a, ab, bc et c) et ceux de l'aubergine en trois groupes (a, b et c).

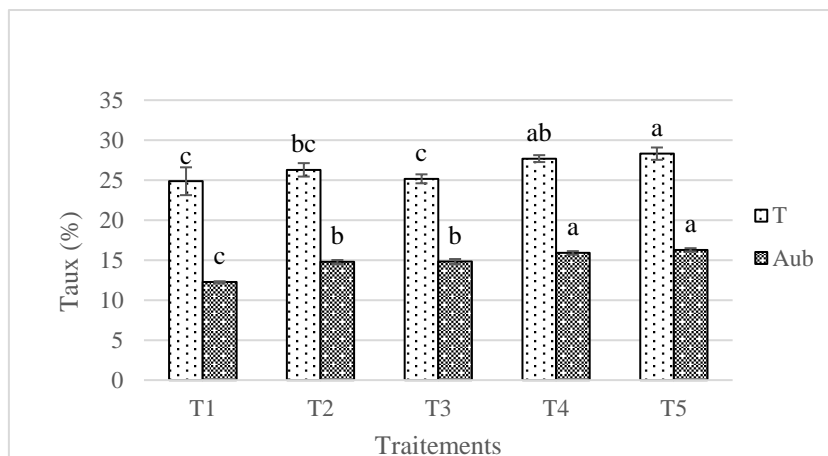


Figure 5.29 : Taux de cendres des feuilles.

D'après la figure n°5.29, on peut noter que le traitement T5 a eu un effet bénéfique sur les cultures de tomate et d'aubergine. Bien que le taux de cendres des feuilles de tomate est beaucoup plus important que celui des feuilles d'aubergine, nous constatons pour ce paramètre que les deux espèces réagissent de la même manière au traitement T5 plus riche en éléments minéraux.

Le mélange tourbe/sable a un impact positif sur le paramètre mesuré, plus le mélange est riche en tourbe et plus le taux de cendres augmente comparé au témoin T1 (100% sol).

5.3.14. Taux de cendres des racines (%)

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les traitements. Le test des étendus multiples à 95%, a classé les traitements en trois groupes homogènes pour la tomate (a, b et c).

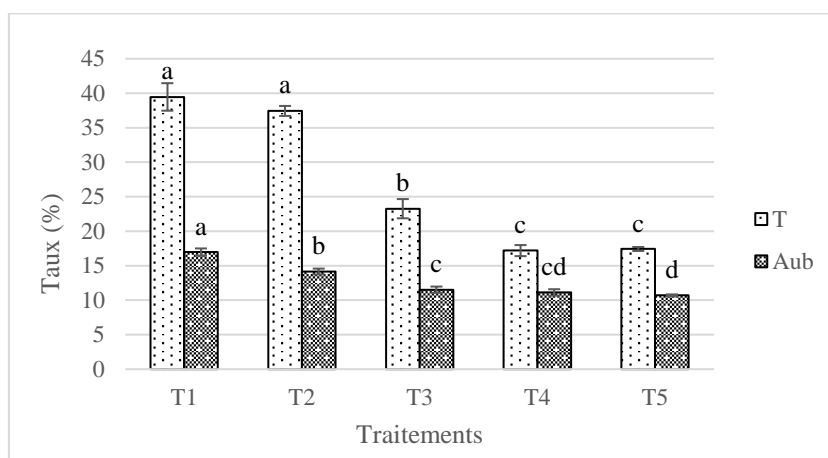


Figure 5.30 : Taux de cendres des racines.

L'évaluation du taux de matière minérale de la partie souterraine des plantes a mis en évidence l'influence des différentes combinaisons de substrats testés dans notre expérimentation. Nous remarquons d'après la figure n°5.30 que les deux solanacées testées durant notre expérimentation, se sont comportées de la même manière pour la totalité des traitements comparés.

En outre, nous avons constaté que le taux de cendres des racines est en corrélation positive avec le pourcentage de sol. Plus la proportion de sol est élevée et plus le taux de cendres est élevé. En effet, nous avons remarqué que le sol (T1) a donné le taux de matière minérale racinaire le plus élevé. Tandis que, les supports de culture composé de mélanges T4 et T5 dont les proportions de sol sont moins importantes, ont donné un plus faible taux.

Aussi, il est à noter qu'entre les deux espèces étudiées, c'est la tomate qui a produit le taux de cendres des racines le plus élevé et cela pour tous les traitements testés.

5.3.15. Nombre de fleurs

L'analyse de la variance concernant la culture de tomate montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes mesurées du nombre de fleurs. Le test de Fisher au seuil $\alpha = 5\%$ classe les traitements en trois groupes homogènes (a, b et c) (figure n°5.31).

Le traitement T2 donne un nombre de fleurs le plus élevé et une moyenne de 45,2 fleurs par plant. Le traitement T5 (20% sol+ 80% mélange) donne un nombre de fleurs le plus faible avec une moyenne de 35,6 fleurs par plant.

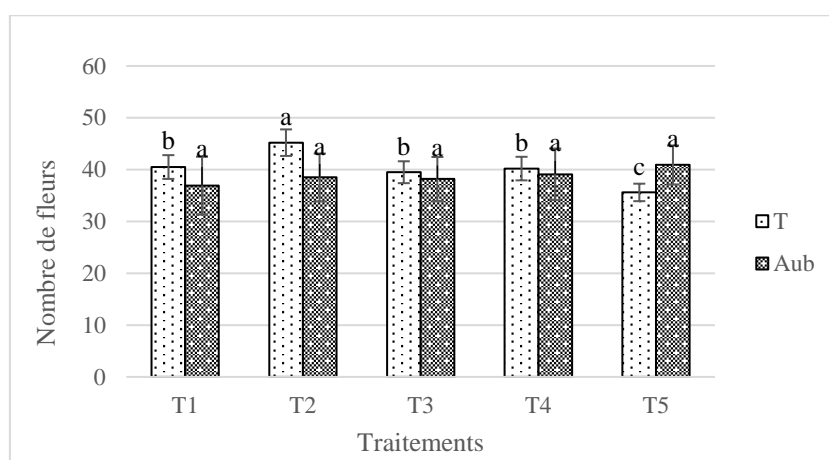


Figure 5.31 : Nombre de fleurs par plant.

En revanche, l'analyse de la variance relative à la culture d'aubergine n'a pas montré de différence significative entre les moyennes calculées du nombre de fleurs ($P > 0.05$). Les traitements sont classés dans le même et unique groupe (a), nous pouvons conclure que le facteur traitement n'a pas eu d'effet marqué sur la production moyenne de fleurs.

5.3.16. Nombre de fruits

L'analyse de la variance montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P < 0.001$) entre le nombre de fruits moyens des cultures étudiées, cela met en évidence l'influence des combinaisons sol/mélange au niveau des traitements testés.

La figure n°5.32 indique que le nombre de fruits évolue de la même manière entre les deux espèces et cela malgré que la tomate ait donné beaucoup plus de fruits que l'aubergine. Le test des étendus multiples classe les traitements dans différents groupes homogènes.

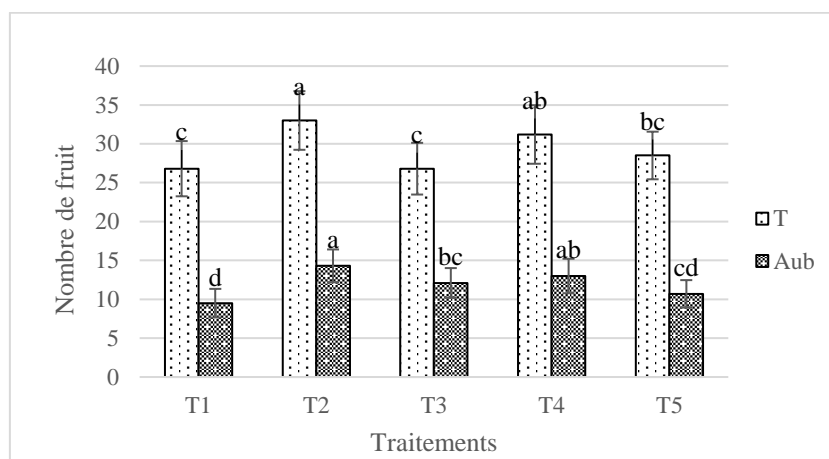


Figure 5.32 : Nombre de fruits par plant.

Le substrat composé de 80% sol et de 20% mélange donne le nombre de fruits le plus grand avec en moyenne 33 fruits pour la tomate et 14,3 fruits pour l'aubergine, suivi du traitement T4 avec des valeurs assez proches. Le sol dépourvu de mélange (T1) donne le plus petit nombre de fruits et se classe statistiquement dans le dernier groupe, cela est peut être dû à un taux d'avortement des fleurs élevé.

5.3.17. Taux d'avortement (%)

Les résultats liés au taux d'avortement sont présentés dans la figure n°5.33. D'après l'analyse statistique le taux d'avortement des fleurs présente une différence très significative entre les milieux de culture pour l'espèce aubergine. Les résultats obtenus pour le taux d'avortement coordonnent avec ceux du nombre de fruits (figure n°5.32).

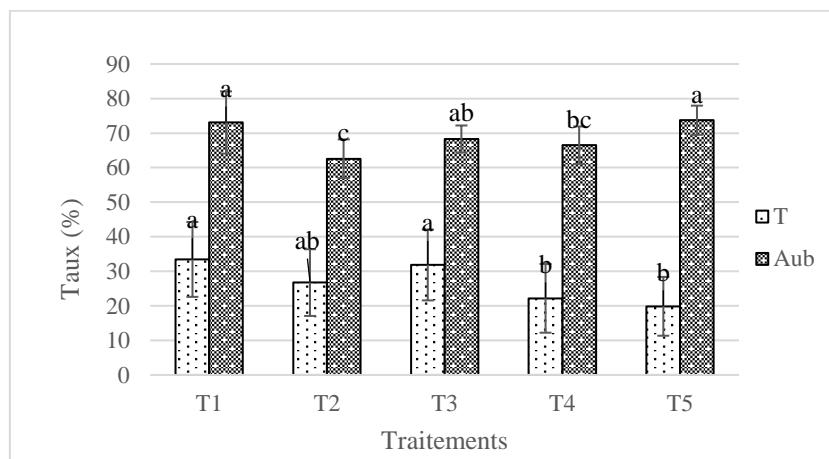


Figure 5.33 : Taux d'avortement.

Le traitement T5 donne le taux d'avortement le plus grand, la combinaison (20% sol + 40% tourbe + 40% sable) de ce mélange n'a pas eu un effet positif sur la culture. Par contre le traitement T2 (80% sol + 20% mélange) provoque moins d'avortement de fleurs, en effet c'est ce traitement qui a donné le nombre de fruits le plus important chez l'aubergine, contrairement à la tomate où le traitement T5 (20% sol + 80% mélange), le cinquième substrat composé que de 20% de sol a favorisé le moins d'avortement. Tandis que le taux de perte des fleurs le plus important a été observé chez les plants de tomate issus du traitement composé que de sol (T1).

5.3.18. Production par plant (g)

L'étude statistique montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes estimées du paramètre étudié. Les résultats mentionnés dans la figure n°40 révèlent que l'effet du facteur traitement varie de manière remarquable. Le test de Fisher au seuil $\alpha = 5\%$ indique la présence de quatre groupes homogènes (a, ab, b et c) pour la tomate et de cinq groupes (a, b, bc, c et d) pour l'aubergine.

Pour la culture d'aubergine, les plantes cultivées sur le traitement T3 expriment le poids moyen de fruits le plus élevé avec en moyenne 1893,9 g par plant, suivi par les plantes issues du traitement T5 avec 1300,9 g/plant. Le traitement T1 enregistre le rendement le plus faible. Ceci est probablement dû à un retard de fructification et un taux d'avortement des fleurs élevé (figure n°5.33).

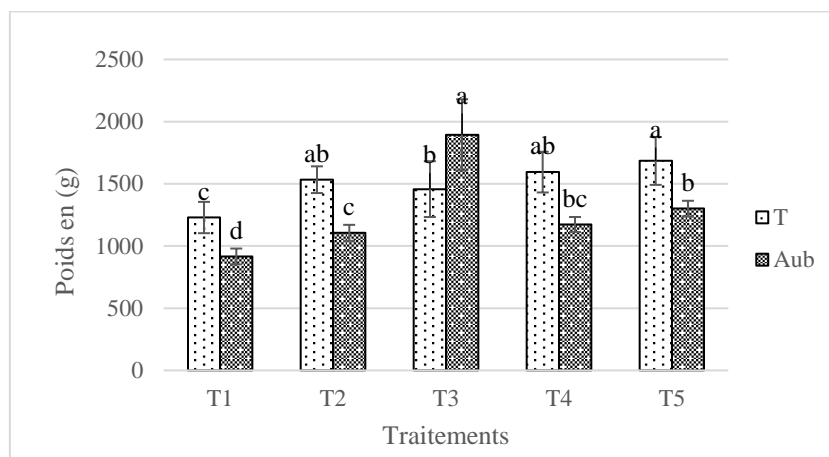


Figure 5.34 : Production par plant.

Pour la culture de tomate, c'est le traitement T5 qui donne le rendement le plus important (1684,13 g/plant), ce résultat concorde parfaitement avec celui du taux d'avortement où nous enregistrons un taux plus faible. Le traitement T4 vient en second avec une production moyenne proche de 1594,28 g/plant. Le traitement témoin (T1) manifeste une faible production dû à l'absence d'éléments minéraux et au substrat (100% sol) compact.

5.3.19. Taux de matière sèche des fruits (%)

L'analyse de la variance concernant le taux de matière sèche des fruits d'aubergine exprime une différence statistiquement significative entre les divers traitements testés. La figure n°5.35 montre que le traitement T2 donne le taux le plus élevé et se classe selon le test de Fisher dans le groupe (a). Les substrats T1, T3, T4 et T5 sont classés dans le groupe homogène (b) et donnent des valeurs plus faibles. Ces résultats sont en corrélation négative avec les résultats obtenus pour le taux d'humidité des fruits (figure n°5.36).

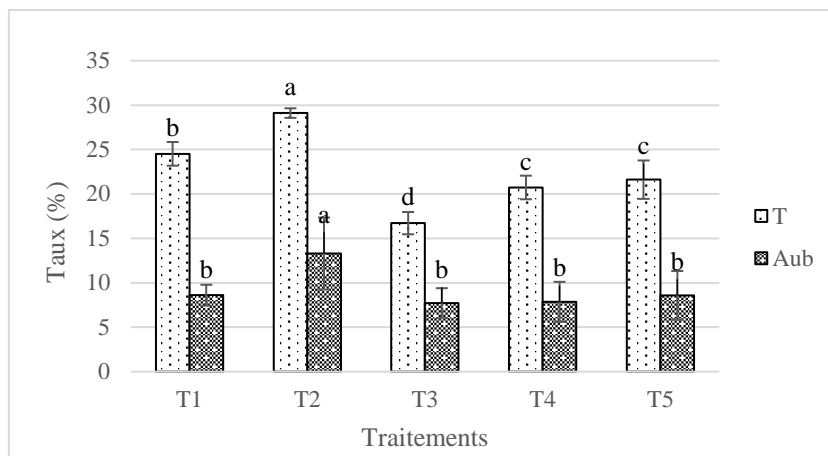


Figure 5.35 : Taux de matière sèche des fruits.

Pour le taux de matière sèche des fruits de tomate, l'analyse de la variance révèle une différence hautement significative entre les traitements ($P < 0,001$). Le test des étendus multiples classe les traitements en quatre groupes homogènes (a, b, c et d).

Le traitement T2 (80% sol + 20% mélange) a donné le taux de matière organique dans les fruits de tomate le plus élevé avec 29,10% comparé au traitement T3 (60% sol + 40% mélange) qui enregistre un taux très faible de 16,71%.

3.20. Taux d'humidité des fruits (%)

Pour les deux espèces étudiées l'analyse de la variance révèle une différence hautement significative entre les traitements. Le test des étendus multiples (LSD) à 95% fait ressortir quatre groupes homogènes (a, b, c et d) pour la tomate et deux groupes homogènes (a et b) pour l'aubergine.

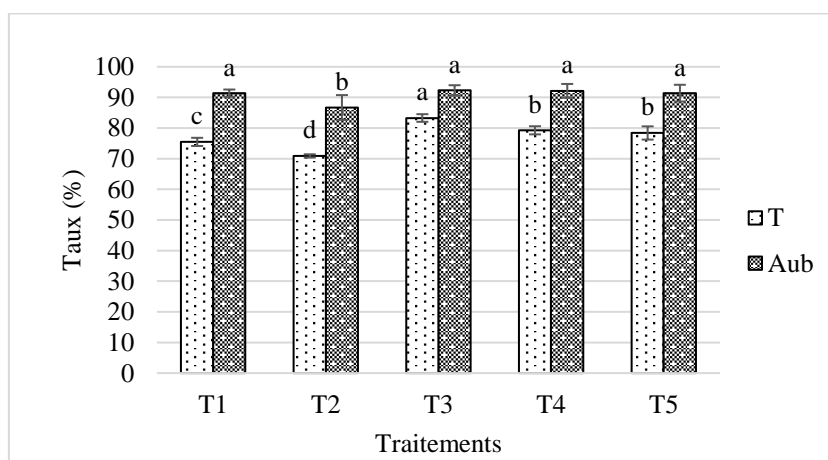


Figure 5.36 : Taux d'humidité des fruits.

Nous remarquons que le traitement qui a donné le taux d'humidité des fruits le plus élevé est le traitement T3 avec en moyenne 92,29% pour l'aubergine et 83,28% pour la tomate (figure n°5.36). Cela coïncide parfaitement avec les résultats obtenus pour le taux de matière sèche des fruits où le traitement T3 a donné les valeurs les plus faibles.

Cependant, pour l'aubergine l'analyse de la variance n'a pas montré une différence statistique entre les traitements T3, T4, T5 et T1. Le test de Fisher les classe en effet dans le même groupe (a). Nous pouvons déduire que les plantes se sont comportées de la même manière quel que soit le traitement testé.

Le traitement qui a donné le pourcentage d'humidité des fruits le plus bas est le traitement T2 (80% sol + 20% mélange) pour les deux solanacées. Les plants cultivés sur ce traitement ont produits le taux de matière sèche des fruits le plus élevé.

L'établissement d'un rapport entre le taux de matière sèche des fruits et le taux d'humidité des fruits semble être nécessaire. Les résultats auxquels nous avons abouti nous permettent de déduire qu'en effet, plus la teneur en eau augmente et plus la production de matière sèche baisse.

5.3.21. Taux de cendres des fruits (%)

L'analyse statistique a révélé une différence significative de l'effet traitement sur le paramètre calculé ($P < 0,001$).

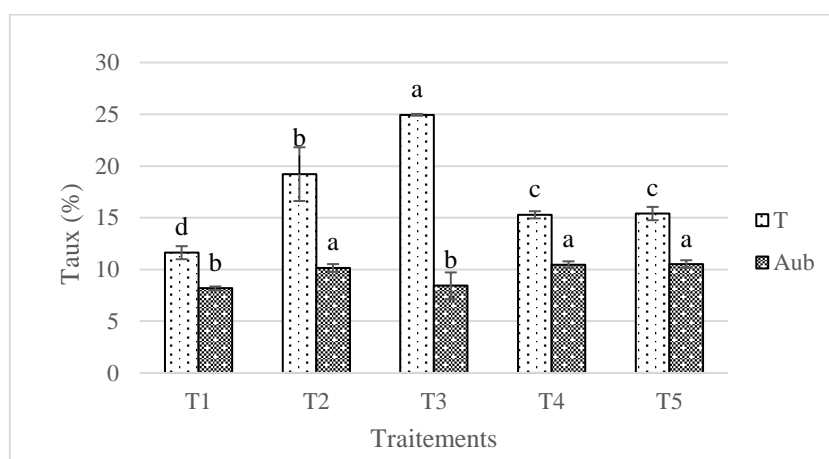


Figure 5.37 : Taux de cendres des fruits.

Les résultats obtenus après l'incinération des fruits de tomate indiquent qu'il y'a une augmentation importante du taux de cendres des fruits au niveau du traitement T3

ainsi qu'au niveau du traitement T2 et ce en comparaison avec le traitement T1 qui a donné le taux de cendres le plus faible avec 11,62%. Les plants des milieux de culture T4 et T5 ont montré un taux légèrement plus important que le T1 avec des taux de matière minérale presque similaire (15,28 et 15,40% respectivement).

Les milieux de culture T1 et T3 présentent un taux de cendres plus faible. Au contraire, les traitements T4 et T5 ont manifesté le meilleur taux de cendres des fruits avec des valeurs similaires de 10,45% pour le T4 et 10,52% pour le T5.

5.3.22. Teneur en sucres totaux (degré Brix) (%) :

L'étude statistique révèle la présence d'une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées du paramètre étudié. Le classement de ces moyennes effectué par le test de Fisher au seuil ($\alpha = 5\%$), montre pour les deux espèces (tomate et aubergine) la présence de trois groupes homogènes (a, b et c).

Le traitement T1 (100% sol) est le milieu de culture dans lequel les plants de tomate et d'aubergine ont donné la plus grande teneur en sucres solubles avec 4,4 et 5,25% dans les fruits d'aubergine et de tomate respectivement (figure n°5.38).

Les traitements T5, T2 et T3 ont donné les mêmes résultats avec 3,9% pour l'aubergine, il y'a donc aucune différence statistiquement significative entre eux. Même constatation est signalée pour la tomate où les traitements T5, T4 et T3 ne révèlent aucune différence significative. Le test (LSD) les a classé dans un même et dernier groupe homogène (c).

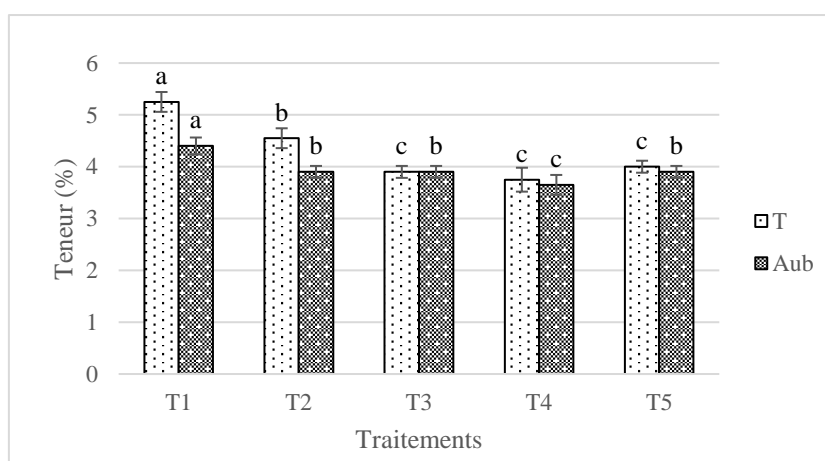


Figure 5.38 : Teneur en sucres totaux (degré Brix).

5.3.23. Teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade floraison ($\mu\text{g/gMF}$)

Les résultats obtenus pendant le dosage de la chlorophylle « a » et « b » chez la tomate et l'aubergine au stade floraison sont illustrés dans la figure n°5.39.

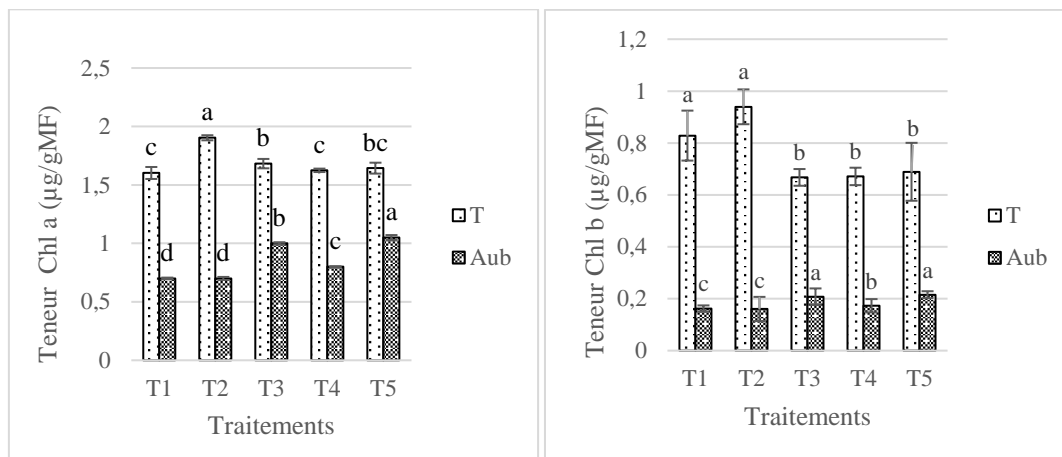


Figure 5.39 : Teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade floraison.

En ce qui concerne la teneur en chlorophylle « a » pour ce stade, l'analyse de la variance montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes mesurées. Le test des étendues multiples (LSD) à 95% fait ressortir quatre groupes homogènes pour la tomate et pour l'aubergine. La quantité de chlorophylle « a » la plus faible est enregistrée au niveau du traitement T1 avec $1,60 \mu\text{g/gMF}$ pour la tomate et $0,7 \mu\text{g/gMF}$ pour l'aubergine. Tandis que la quantité de chlorophylle « a » la plus élevée a été enregistrée au niveau du traitement T5 pour l'aubergine avec en moyenne $1,05 \mu\text{g/gMF}$ et au niveau du traitement T2 pour la tomate avec $1,90 \mu\text{g/gMF}$. En outre, nous remarquons que la tomate a produit plus de chlorophylles que l'aubergine et ceci pour l'ensemble des traitements.

En ce qui concerne la teneur en chlorophylle « b » pour ce stade, le test des étendues multiples classe les traitements en deux groupes homogènes (a et b) pour la tomate et en trois groupes (a, b et c) pour l'aubergine. L'effet traitement sur les deux cultures est très différent. Les proportions mélanges sol n'ont pas donné une même réaction entre la tomate et l'aubergine. Cette différence est très marquée chez le traitement T3 qui a donné les meilleurs résultats pour l'aubergine et les plus faibles pour la tomate. Ceci est de même pour le traitement T1 (100% sol) qui s'est classé dans le dernier groupe pour l'aubergine, tandis que pour la tomate le test de Fisher l'a classé dans le premier groupe (a).

5.3.24. Teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade nouaison ($\mu\text{g/gMF}$)

La figure n°5.40 montre pour chaque traitement l'évolution de la teneur en chlorophylles « a » et « b » chez la tomate et l'aubergine au stade nouaison.

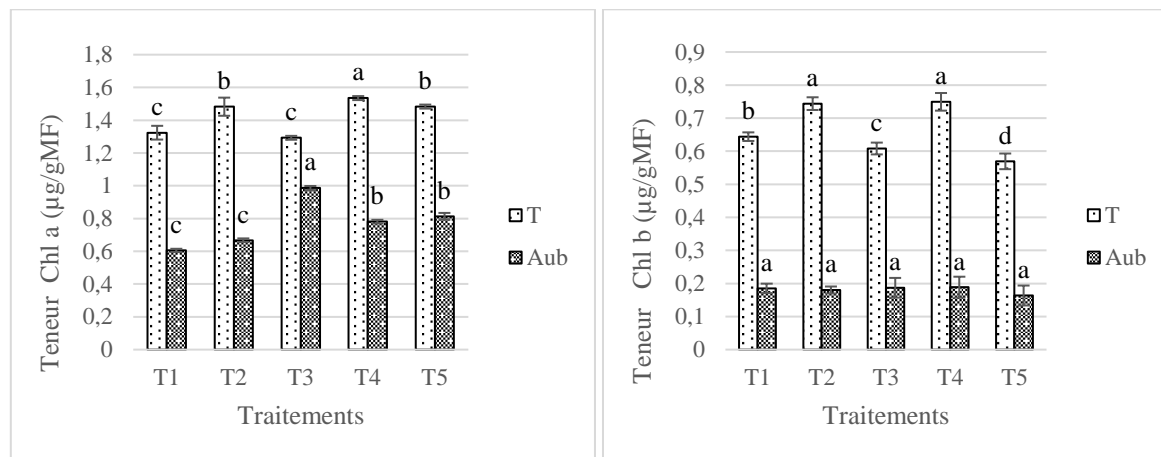


Figure 5.40 : Teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade nouaison.

L'analyse statistique des données recueillies pour la tomate nous informe qu'il y'a une différence très hautement significative entre les traitements ($P < 0,001$)

Pour la teneur en chlorophylle « a », le test des étendues multiples à 95%, classe les substrats de culture en trois groupements homogènes (a, b et c) pour la tomate et l'aubergine. Cependant, le classement des traitements est différent d'une espèce à l'autre.

Pour la tomate, les plants qui ont synthétisé le plus de chlorophylle « a » sont ceux cultivés sur le substrat T4 avec en moyenne $1,53 \mu\text{g/gMF}$. Tandis que les plants cultivés sur les substrats T1 et T3 classés dans le dernier groupe (c) ont montré la teneur de chlorophylle « a » la moins importante. Pour l'aubergine, c'est le substrat T3 qui est classé dans le premier groupe (a) qui a donné la quantité de chlorophylle « a » la plus élevée, suivi par les substrats T5 et T4 qui ont des valeurs presque similaires. En ce qui concerne la teneur en chlorophylle « b » chez l'aubergine au stade nouaison, le test des étendues multiples (LSD) a classé tous les traitements dans le même groupe. En effet, l'étude de la variance n'a montré aucune différence entre les cinq substrats ($P > 0,05$) Le facteur traitement n'a eu aucun effet sur la culture.

Néanmoins, pour la tomate l'étude statistique a révélé une différence hautement significative ($P < 0,001$). Le test de Fisher a classé les cinq traitements en quatre groupes homogènes (a, b, c et d). Le groupe (a) renferme les traitements T2 et T4 qui

ont donné la plus grande quantité de chlorophylle « b », contrairement au T5 qui a donné la plus petite quantité de chlorophylle « b ».

5.3.25. Teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade final ($\mu\text{g/gMF}$)

Il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes mesurées de la teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade final ($P < 0,001$). Le test des étendues multiples au seuil d'erreur $\alpha = 5\%$ a classé les traitements testés en trois groupes homogènes, pour les deux espèces testées (tomate et aubergine).

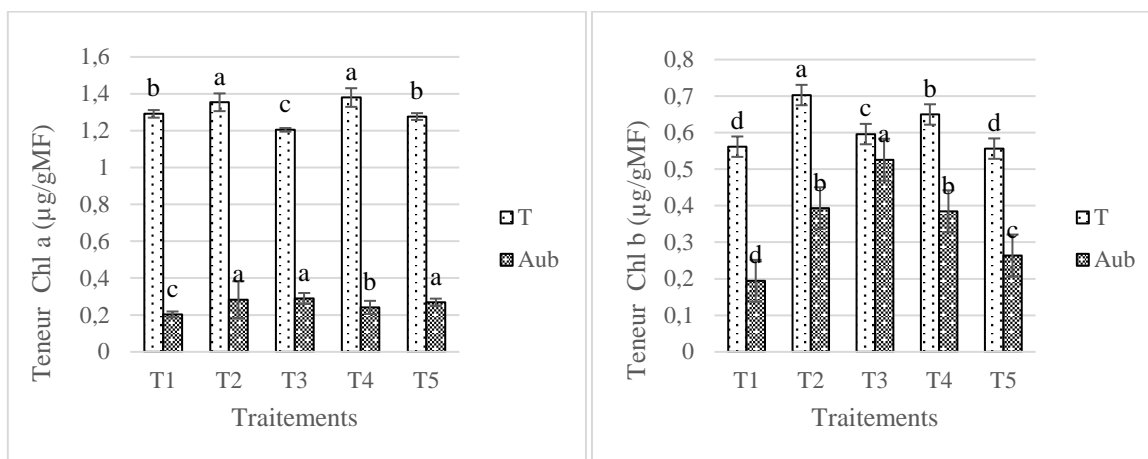


Figure 5.41 : Teneur de la teneur en chlorophylles « a » et « b » au stade finale.

Pour la culture de tomate, le groupe homogène (a) renferme les traitements T2 et T4 avec en moyenne 1,35 et 1,37 $\mu\text{g/gMF}$ de chlorophylles « a » respectivement. Suivie par les traitements T1 et T5 qui appartiennent tous deux au groupe (b) avec des teneurs moyennes de chlorophylle « a » de 1,29 et 1,27 $\mu\text{g/gMF}$ respectivement. Le traitement T3 donne la plus faible quantité de chlorophylle « a » et se classe en dernier groupe.

Au contraire, chez l'aubergine l'inverse s'est produit, le traitement T3 a donné la quantité de chlorophylle « a » la plus grande accompagnée par le T2 et le T5 qui se trouvent dans le même groupe homogène. Le sol testé seul (T1) n'a pas eu un bon effet, il a donné la teneur en chlorophylle « a » la moins importante, cela est peut être dû à la surface foliaire réduite qu'a provoqué ce traitement sur les feuilles d'aubergine.

Pour la teneur en chlorophylle « b », le test de Fisher à 95% classe les traitements en quatre groupes homogènes pour les deux espèces. Chez l'aubergine les mêmes remarques sont constatées que pour la teneur en chlorophylle « a ». Chez la tomate, les plantes cultivées sur le substrat T2 sont celles qui ont produit la quantité

de chlorophylle « b » la plus grande (0,70 $\mu\text{g/gMF}$). Au contraire celles issues des substrats T1 et T5 ont donné le moins de chlorophylle « b ».

5.3.26. Teneur en proline ($\mu\text{g/gMF}$)

La proline a été dosée au niveau des feuilles chez les deux espèces et pour chaque traitement afin d'identifier la présence ou l'absence d'un éventuel stress abiotique. Les résultats relatifs à la quantité de proline sont présentés dans la figure n°5.42.

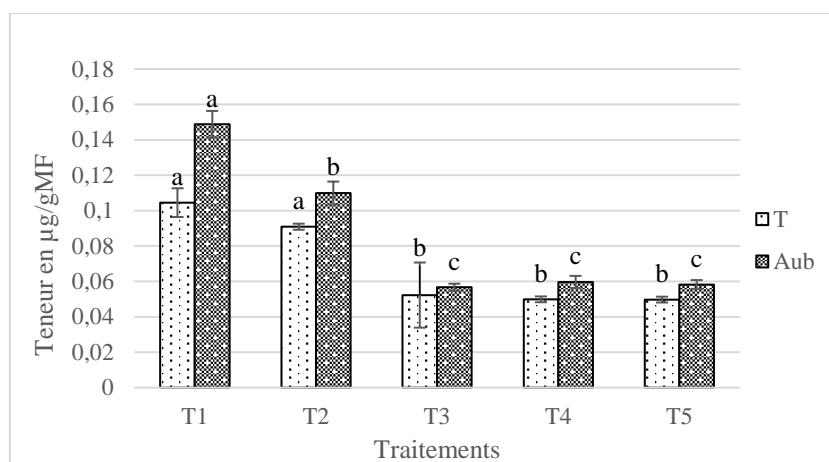


Figure 5.42 : Teneur en proline.

L'analyse statistique révèle une différence hautement significative entre les traitements pour le paramètre dosé. Le test de Fisher à 95% fait ressortir pour la tomate, deux groupes homogènes (a et b) et pour l'aubergine, trois groupes (a, b et c).

Nous distinguons que les plants d'aubergine ont accumulé dans tous les traitements plus de proline que les plantes de tomate. Toutefois, l'aubergine et la tomate ont toutes les deux été influencées par les combinaisons testées dans notre étude (figure n°5.42).

Le traitement T1 (100% sol) provoque la plus forte accumulation de proline avec en moyenne 0.14 $\mu\text{g/gMF}$ dans les feuilles d'aubergine et 0.10 $\mu\text{g/gMF}$ dans les feuilles de tomate. Les plants ont subi un stress abiotique et ont eu une réponse de défense qui se traduit par la synthèse de la proline. Les traitements T3, T4 et T5 quant à eux, ils ont provoqué moins de stress aux plantes. Le test (LSD) les classe dans un même groupe homogène (b) pour la tomate et (c) pour l'aubergine avec un comportement similaire.

Nous pouvons déduire que plus la proportion de sol est élevée et plus l'intensité du stress est élevé entraînant une augmentation de la concentration en proline. L'introduction progressive de mélange au sol a eu alors un effet positif sur la culture. La proportion de mélange est en corrélation négative avec la teneur de proline. Plus la quantité de mélange est élevée et moins les plantes sont stressées et cela les mène à produire moins de proline.

Discussion

Les résultats issus des travaux effectués montrent bien l'effet remarquable du facteur substrat sur le développement de la tomate et de l'aubergine qui ont manifesté des variations morphologiques et physiologiques assez marquées. La variabilité des propriétés physiques et chimiques des différents milieux de culture constitue un facteur de modulation très important pour la croissance, la morphologie et la production pour les plantes des deux espèces testées.

Il est important de noter qu'il existe un nombre sans cesse croissant d'études sur l'intérêt majeur du mélange des produits organiques avec des composants inorganiques pour améliorer la performance des végétaux cultivés dans différents substrats sous serre [151] et [152].

Paramètres de croissance

Suite aux résultats de notre expérimentation, nous avons établi les relations entre les différents mélanges apportés au sol et les propriétés physiques et chimiques des substrats, avec la croissance des parties aériennes et souterraines des plants de tomate et d'aubergine.

Les résultats relatifs à la hauteur finale des plants de tomate montrent une augmentation de ce paramètre en fonction des différents mélanges, constituant les différents substrats. Les plants marquant une hauteur la plus importante sont ceux obtenus par le substrat T2 (80% sol + 20% mélange) suivi par le substrat T5 (20% sol + 80% mélange) avec des accroissements respectifs de 11,34% et 5,76% et ceci par rapport au T1 (100% sol). La plus grande valeur enregistrée chez l'aubergine est obtenue par le traitement T4 (40% sol + 60% mélange) suivi par le traitement T5 avec une croissance moyenne de 13,47 et 11,58 % en plus par rapport au témoin T1. Les faibles hauteurs finales sont celles du traitement T3 (60% sol + 40% mélange) avec un accroissement de 1,99% et 1,18% pour la tomate et l'aubergine respectivement.

La composition des substrats joue un rôle vital dans la croissance et le comportement des plantes en pépinière et leur reprise après repiquage en place définitive [153].

La hauteur est parmi les facteurs morphologiques qui peuvent prédire au mieux la performance des plants en pépinière. Elle est considérée comme étant un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui sont

étroitement corrélés avec le nombre de feuilles [154]. Lorsque le pH du substrat n'est pas stable et élevé (neutre à alcalin), celui-ci affecte de façon négative la croissance des plants [155].

Nos résultats concordent avec les résultats de Tehranifar et *al.* [156], qui indiquent que le type de milieu de culture, la disponibilité des éléments minéraux et de l'eau agissent efficacement sur la croissance, et donc sur la taille finale des plantes.

L'effet des substrats sur l'accroissement en diamètre, le nombre de feuilles et la surface foliaire des plants est significatif pour les deux espèces testées. Les diamètres les plus élevés sont enregistrés au niveau des tiges des plants du traitement T5 suivi par le traitement T4 pour la tomate avec 12,64% et 6,66% d'accroissement par rapport au T1. Pour l'aubergine, les plus gros diamètres sont ceux des plants du traitement T4 avec un accroissement de 21,09% par rapport au T1.

Concernant le nombre de feuilles et la surface foliaire par plant, les résultats ont montré que seul le traitement T5 présente une augmentation du nombre total des feuilles par rapport au T1 pour la tomate avec un accroissement de 7,33%. Cependant, pour l'aubergine, les valeurs les plus élevées sont observées chez les plants issus des traitements T3, T2 et T4 avec un taux de 63,2%, 56,49% et 45,24% respectivement par rapport au T1. Aussi, l'effet du facteur substrat est très marqué. En effet les surfaces foliaires les plus importantes sont enregistrées au niveau des traitements T4 et T5 pour les deux espèces testées, avec un accroissement de l'aubergine légèrement supérieur à celui de la tomate et avec des valeurs de 25,28 et 25,61% pour l'aubergine et 24,05 et 22,99% pour la tomate, respectivement par rapport au milieu témoin (100% sol).

Selon Lamhamedi et *al.* [157], les plants ayant un gros diamètre au collet possèdent généralement des racines latérales bien développées. L'épaississement des tiges est sous l'influence de l'azote et du potassium, qui agissent sur les cellules méristématiques notamment sur les méristèmes secondaires. Les carences en ces éléments essentiels entraînent inévitablement un ralentissement et un retard de croissance avec apparition du phénomène de plasmolyse aboutissant ainsi à la formation des tiges frêles et donc peu développées [158].

Les résultats obtenus par Diaz-Pérez et Camacho-Ferre [159], confirment que les propriétés physiques et chimiques des substrats affectent considérablement les

paramètres biométriques tels que la hauteur et le diamètre des tiges. Les mêmes auteurs ajoutent que le nombre de feuilles par plante et la surface foliaire sont en relation avec la constitution et les caractéristiques propres aux différents mélanges du substrat.

Le nombre moyen des feuilles par plant est considéré comme étant un bon indicateur de la capacité assimilatrice de la plante et de sa production en biomasse [154].

Nos résultats sont similaires aux résultats de Lajili [160], où il a montré que les éléments minéraux doivent être fournis à la plante à des doses bien déterminées pour assurer une croissance optimale de la plante et éviter les maladies par carence ou par excès.

Aussi, selon les travaux de Nagase et Dunnett [161], sur les toitures végétalisées, il a été montré que l'augmentation de la fraction organique dans le substrat augmente la croissance, le nombre de feuilles et le nombre de fleurs par plante.

Les différents substrats utilisés en expérimentation, ont eu un effet sur la biomasse fraîche aérienne et souterraine produite par les plants. Le poids frais des feuilles, le plus important est celui des plants de tomate cultivés sur le traitement T5 avec un accroissement de 31,48% par rapport au T1. Le traitement T3 et le T5 manifestent chez l'aubergine les poids les plus performants avec des accroissements de 91,12% et 32,78% par rapport au traitement sol. Les traitements T3 et T2 produisent plus de biomasse fraîche chez la tomate et l'aubergine respectivement avec 9,19% et 23,04% d'accroissement. Enfin, pour la biomasse fraîche des racines, les valeurs les plus élevées sont observées au niveau des traitements T5 et T4 pour chacune des deux espèces, néanmoins avec des accroissements supérieurs pour la tomate (68,11% et 50,14%).

Les travaux de Taylor et *al.* [7], relatifs à l'effet de l'incorporation du mélange naturel sur les propriétés du substrat et sur la culture de tomate, ont montré l'action remarquable du facteur mélange au sol sur la hauteur finale, la biomasse fraîche et sèche des tiges. Ces résultats peuvent être expliqués par les éléments de base qui composent les substrats [144]. Aussi, la meilleure aération des milieux de culture favorise une bonne croissance des racines, ce qui permet une meilleure croissance du feuillage [13].

D'une manière générale, il est à noter qu'un substrat possédant une fraction importante d'élément aérateur (sable) est caractérisé par un développement important du système racinaire et une croissance élevée des plants, alors qu'un substrat à faible porosité ne peut aboutir qu'à une diminution du développement racinaire et une croissance réduite [162] et [163].

Nos résultats sont en accord avec ceux de Khalighi et Padasht-Dehkae [164] et Fernandes et Eduardo Corá [165], qui ont conclu qu'une composition adéquate des substrats (aération, disponibilité de l'eau et des éléments nutritifs) permet une meilleure croissance des plants se traduisant de fait par une augmentation de la biomasse fraîche par plante.

Aussi, les travaux d'Ameri et *al.* [166], ont montré qu'une forte capacité de rétention en eau et une bonne porosité totale d'un substrat améliorent les paramètres morphologiques tels que la longueur des tiges, le nombre de feuilles, la surface foliaire et la biomasse fraîche totale des plantes de fraise cultivées sous serre.

Toujours, selon les travaux de Nutt et Evans [167], sur la production des jeunes plants de tomate, il a été montré que la confection des substrats par des composants organiques et inorganiques a donné des résultats intéressants pour le poids frais des tiges et ce certainement en raison de la bonne porosité induisant une aération parfaite du milieu de culture.

Aussi, il est à noter que la biodisponibilité des nutriments dans la solution du sol peut déterminer la croissance et la prolifération des racines, et aussi des réponses fonctionnelles spécifiques qui dépendent de l'état nutritionnel de la plante [168].

Les résultats de nos travaux concordent avec les travaux de Diaz-Pérez et Camacho-Ferre [159], qui affirment que les substrats stables et bien aérés ayant une conductivité électrique et un pH optimal améliorent la nutrition par les racines, et de ce fait accroissent le développement des systèmes racinaires, aboutissant à une croissance optimale et l'amélioration de la vigueur des plantes.

En outre, une CEC élevée dans un substrat favorise la disponibilité en cations actifs. Aussi l'augmentation ou la diminution de la teneur en matière organique influe sur la variation de la CEC pour les sols cultivés. C'est un facteur chimique important pour la production de la biomasse fraîche végétale [169].

Il a été remarqué que la croissance des plantes ainsi que le développement de leurs surfaces foliaires ont bien répondu à la bonne porosité, à la richesse en matière organique et en éléments nutritifs ainsi qu'à la bonne capacité de rétention en eau du substrat [170].

Notre expérimentation met en évidence l'impact du facteur substrat sur la biomasse sèche produite par les différents organes des plants de tomate et d'aubergine. Le poids sec des feuilles le plus important est remarqué chez les plants cultivés dans le traitement T5 pour la tomate et dans le milieu T3 pour l'aubergine, avec des accroissements de 15,74% et 58,63% respectivement. La matière sèche des tiges enregistre une légère augmentation de 2,32% au niveau du substrat T3 par rapport au T1 pour la tomate. Les accroissements notables ont été enregistrés pour l'aubergine au niveau de tous les traitements avec un maximum au niveau du traitement T2 (45,71%). La biomasse sèche des racines de tomate, la plus importante est observée au niveau du substrat T3 avec accroissement de 19,22% par rapport au T1. En revanche, le substrat (100% sol) présente le taux de biomasse sèche des racines le plus important au niveau des plants d'aubergine.

Il est rappelé que la matière sèche des organes de la plante dépend de la nature du substrat, sa capacité de rétention en eau et surtout de la conductivité électrique de la solution du substrat [133]. Diaz-Pérez et Camacho-Ferre [159], confirment que l'augmentation de la conductivité électrique dans les différents substrats a un impact direct sur la production de la biomasse sèche des feuilles, des tiges et des racines. Toujours, selon les travaux de Chatterjee et Mal [153], sur le chou ont montré que la production de matière sèche des plants est influencée par la composition du substrat et par la disponibilité des éléments nutritifs.

Il est important d'ajouter qu'au niveau des plantes cultivées sur un substrat où il est ajouté une solution nutritive au cycle d'irrigation avec l'eau à des fréquences d'irrigation proches, améliore la croissance avec une production de matière sèche importante [5].

Les travaux de Merhaut et Newman [171], n'ont pas trouvé une différence significative concernant le poids sec des tiges du Lys oriental (*Lilium orientalis*) planté dans différents substrats. En revanche, les mêmes auteurs indiquent que les propriétés physiques et chimiques des substrats ont un impact sur la croissance. Les travaux de

Taylor et *al.* [7], sur les plants de tomate en pépinière, confirment que les propriétés du substrat ont un effet sur le poids sec des plantules.

Les mélanges constitués au niveau des différents substrats ont un effet sur le taux de la matière sèche des feuilles, des tiges et des racines pour les deux espèces testées. Les plants issus de terre végétale (T1) donnent le pourcentage de matière sèche le plus élevé pour les différents organes analysés et ce pour la tomate et l'aubergine. Ceci étant lié certainement aux propriétés physiques défavorables à savoir, sa faible capacité de rétention en eau et sa faible porosité, pouvant inhiber une croissance et un développement normal des plantes, se traduisant ainsi par un rabougrissement des plants et un dessèchement prématuré d'où un taux de matière sèche élevé.

Nos résultats confirment bien les travaux de De Rijck et Schrevens [172], qui ont souligné que le pourcentage de la matière sèche dans les différents organes de la plante est significativement élevé dans les substrats à capacité de rétention en eau et humidité faible.

Aussi, les mêmes résultats sont obtenus par Fandi et *al.* [173], qui ont constaté également que les plantes issues de la culture sur substrat ont donné un pourcentage plus faible de la matière sèche par rapport aux plantes cultivées sur sol.

Toujours, dans le même contexte, plusieurs auteurs ont publié des travaux sur l'effet exercé par le substrat seul ou en mélange sur la production des plants en horticulture. Russo [174], a comparé la hauteur des pousses et le pourcentage du poids sec des transplantations de poivrons, d'oignons et de pastèques cultivés dans des substrats organiques comparés à des substrats classiques. Les travaux d'Arancon et *al.* [175] et [176] et Atiyeh et *al.* [177], ont été menés sur l'effet du vermicompost en tant que composant du substrat d'enracinement lors de l'émergence et la croissance d'une large gamme de semis, y compris la tomate.

Paramètres de production et de qualité :

Notre travail a porté sur l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol par des proportions variables de sable et de tourbe sur les paramètres de production et de qualité des plants maraichers (tomate et aubergine).

Le nombre de fleurs le plus élevé est produit par les plants issus du traitement T2 pour la tomate et T5 pour l'aubergine, avec des accroissements de 11,61% et 10,84%

respectivement par rapport au T1. Il est à noter que le T1 (Témoin, sol) a donné un nombre de fleurs supérieur aux plants issus dans les substrats T3 et T4 pour la tomate, suivis d'un taux d'avortement des fleurs important par conséquent le nombre de fruit formé est faible.

La constitution des substrats a aussi un effet sur le nombre de fruits par plant. Le substrat T2 produit le nombre de fruits le plus important pour la tomate comme pour l'aubergine soit un accroissement respectif de 23,13% et 50,53% par rapport au T1. L'adjonction de 20% de mélange au sol manifeste une action stimulatrice sur le développement des fruits.

Un taux d'avortement des fleurs très faible est enregistré chez les plants de tomate sur les traitements T5 et T4 avec une baisse de 40% et 33% par rapport au T1. Ceci peut être expliqué par une bonne disponibilité d'eau et d'éléments nutritifs dans les substrats en plus d'une aération parfaite. En revanche, le taux d'avortement des fleurs le plus faible chez l'aubergine est observé au niveau des plants du substrat T2 avec une régression de plus de 14% par rapport au témoin (T1), avec un nombre de fruits plus ou moins élevé.

Le facteur substrat présente un effet significatif sur la production des fruits par plant chez les deux espèces étudiées. Les traitements T5 et T4 ont donné la plus grande production de tomate avec 37,03% et 29,73% d'accroissement par rapport au T1. Par contre, c'est le substrat T3 qui a donné la meilleure production d'aubergine avec un accroissement de 84,95%, suivi du T5 avec 42,04% de majoration par rapport au T1.

La composition de la solution nutritive et la capacité de rétention en eau des substrats influent sur la production de tomate. Une solution nutritive riche en K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} , ainsi qu'une bonne humidité du substrat de culture augmentent le poids total et le nombre de fruits de tomate du même calibre produits par plant [172]. En plus, Raemaekers [178], montre que les rendements de la culture d'aubergine varient en fonction du matériel de propagation, des conditions climatiques et pédologiques ainsi que de l'adaptation de la culture au milieu.

En ce qui concerne la qualité des fruits récoltés, le degré de Brix mesuré a révélé une légère augmentation du taux de sucres chez les fruits issus du traitement T1 par rapport aux autres traitements pour les deux espèces (tomate et aubergine). Ce résultat peut être justifié par la nature du sol utilisé dans notre expérimentation et sa

capacité de retenir les éléments minéraux autour des racines pouvant augmenter le taux de sucres totaux des fruits.

Ce travail élaboré montre que le substrat a un impact sur les taux de matière sèche et d'humidité des fruits de tomate et d'aubergine. La biomasse sèche des fruits la plus importante est observée au niveau du substrat T2 pour les deux espèces avec 18,72% et 54,56% d'accroissement par rapport au T1. En ce qui concerne le taux d'humidité des fruits, la capacité de rétention et la disponibilité d'eau au niveau des substrats ont une incidence sur la teneur en eau des fruits. Le substrat T3 a produit les fruits les plus charnus pour la tomate. Cependant, la différence d'humidité dans les fruits d'aubergine reste sans effet marqué, néanmoins les fruits obtenus par le traitement T2 semblent présenter le paramètre mesuré le plus faible.

La phase de floraison est conditionnée par la vigueur et l'état sanitaire des plants cultivés dans des conditions optimales de culture.

Selon les résultats trouvés par Reséndez et *al.* [179], il a été montré un effet significatif exercé par la solution nutritive apportée dans un substrat composé de différentes proportions de sable et de vermi-compost sur la floraison et le taux d'avortement. Ces résultats sont probablement associés à la date de semis et aux températures adéquates enregistrées dans la serre, puisque l'expérience a été réalisée pendant l'automne, au cours de laquelle des températures plus fraîches sont enregistrées dans la zone d'étude. Il est rappelé que durant notre expérimentation, le stade floraison coïncidait avec une période où les moyennes de température étaient élevées.

Concernant le nombre de fruits par plant, un substrat composé de matériaux organiques et inorganiques irrigué par l'eau et intercalée tous les trois jours par une solution nutritive équilibrée, présente un nombre de fruits plus important par rapport aux plantes repiquées sur sol uniquement. Ces résultats concordent avec les travaux de Reséndez et *al.* [180] et Reséndez et *al.* [179], qui ont travaillé sur l'évaluation des substrats irrigués par la solution nutritive sur la production de tomate sous serre.

L'addition des constituants inorganiques à des substrats de nature organiques entraîne une meilleure croissance des plantes suivis d'un meilleur rendement probablement en raison de l'augmentation de la capacité d'aération et de rétention d'eau. Une concentration élevée en sels minéraux dans l'environnement racinaire

entraîne une réduction du flux d'eau vers le fruit et une augmentation de la teneur en matière sèche et en glucides solubles du fruit [181], [3] et [182].

Les travaux de Tzortzakis et Economakis [9] et [183], sur la culture de tomate dans des substrats inorganiques mélangés avec la paille de maïs à différentes proportions révèlent un effet significatif du facteur substrat sur la teneur en sucres solubles (°Brix). Une amélioration de la qualité des fruits se traduit par un indice de Brix élevé.

Selon Prémont [133], la fertilisation n'a pas eu d'influence sur les paramètres de qualité des fruits de tomate, comme le Brix, la fermeté et la taille des fruits. Cependant, la taille du fruit a été légèrement affectée par le substrat. Les plantes cultivées sur un substrat à base de tourbe produisent des fruits plus savoureux [2].

Il a été remarqué selon Fandi et *al.* [173], que lorsque les plants de tomate ont été cultivés dans différents substrats et irrigués par la solution nutritive, la qualité des fruits était comparable à ceux cultivés dans le sol. Lors de leur expérimentation sur la tomate dans le sol, la pierre ponce et le sable, les mêmes auteurs ont trouvé que le poids frais et le nombre de fruits sont meilleurs dans la culture sur sol. En revanche, la teneur en matières solides solubles (°Brix) a été influencée par le type du substrat. Les meilleurs résultats sur la tomate ont été obtenus par la culture sur sable. Des résultats contradictoires sont relevés par Ancay et *al.* [184], où ils notent que les différents substrats n'influencent pas de manière significative sur la teneur en sucre totaux (°Brix).

Aussi, il a été constaté selon certains chercheurs que l'augmentation de la conductivité électrique du substrat et de la solution nutritive permet de réduire le fendillement des fruits [185] et [186].

L'augmentation du taux d'humidité du substrat de 40 à 80% donne une production plus élevée, en raison d'une plus grande production de fruits de tomate du même poids. Il en résulte un pourcentage inférieur de poids sec des fruits de tomate, un paramètre de qualité intrinsèque important [187].

Nos résultats convergent dans le même sens que ceux de Bégin [36], qui affirme que l'amélioration des propriétés physiques des substrats par l'ajout des éléments de nature granulaire affecte le rendement et la qualité des fruits de tomate irriguée par la solution nutritive.

Les travaux d'Olle et *al.* [5], ont confirmé les travaux entrepris par Alan et *al.* qui ont cultivé des plants de tomate dans le sol, la perlite, la tourbe, le sable, la pierre ponce seule et avec différentes combinaisons. Leurs résultats ont montré que les valeurs de rendement les plus élevées sont celles obtenues par le mélange de pierre ponce + perlite + tourbe moyenne, avec une augmentation de 30% de production par rapport au sol. La précocité et le rendement total étaient plus élevés chez les plantes cultivées dans des milieux de culture en mélange que chez les plantes cultivées sur sol. En revanche, Fandi et *al.* [173], ont obtenu un rendement total et par plant plus grand pour la tomate cultivée sur sol et cela par rapport au sable.

Sous une haute CE, le calibre des fruits diminue alors que le contenu en matière sèche des fruits augmente linéairement avec la CE. Le taux de réduction du rendement varie selon les interactions entre la CE et les cultivars, les facteurs environnementaux, la composition de la solution nutritive, et la gestion de la culture. Selon différentes études et conditions de croissance des plants, une CE variant de 2.3 à 5.1 mSxcm⁻¹ entraîne une baisse de rendement. Pour obtenir des rendements élevés et de qualité tout au long de la saison de production, un équilibre entre les éléments nutritifs de la rhizosphère doit être préservé pour chacun des stades de croissance [188] et [9].

Les conditions du sol font partie des plus importants facteurs déterminants le rendement. Un sol mal drainé et compact affecte négativement les rendements des différentes cultures [189].

Paramètres physiologiques :

Les résultats relatifs au taux de photosynthèse observé entre les plants des différents traitements pour les deux espèces testées à différents stades de mesure, montrent que la teneur en chlorophylles « a » et « b » est affectée par les différents mélanges utilisés dans les différents substrats.

La mesure de la chlorophylle au stade floraison montre que les traitements T2 et T3 présentent les teneurs en chlorophylles les plus élevées pour la tomate et l'aubergine respectivement. Au stade nouaison, le substrat T4 présente la meilleure teneur en chlorophylle pour les plants de tomate, alors que pour la culture d'aubergine, le substrat T3 présente le taux du paramètre mesuré le plus élevé. En fin de cycle pépinière, les teneurs en chlorophylles sont presque similaires pour la tomate avec une légère hausse au niveau du T4.

Après la phase de maturité, la feuille débute la sénescence et une partie des éléments de la feuille est mobilisée vers les organes de stockage, ce qui justifie la diminution de la teneur en pigments chlorophylliens au stade final où la période de sénescence a commencée [190].

Les teneurs en chlorophylles au niveau des deux espèces pour le substrat témoin T1 restent relativement élevées.

La nature du substrat agit remarquablement sur les caractéristiques photosynthétiques et sur la transpiration des plants. Cela peut être dû à la variabilité du statut nutritionnel des plants issus des différents mélanges où la fertilisation est optimale [162]. Il est clairement exposé dans la littérature que la photosynthèse et les échanges gazeux des feuilles sont affectés par plusieurs stress dont la compaction du sol [191].

Young et *al.*, [192], montrent que la nature du substrat et la disponibilité de l'azote en quantité suffisante affectent la quantité de chlorophylles produite par les plantes utilisées dans l'aménagement des toitures végétalisées. Les mêmes auteurs ajoutent que, la modification de la composition physique et chimique des substrats peut avoir une large influence sur les propriétés et les performances physiologiques des végétaux.

Puisque les masses sèches des plants ont manifesté des différences significatives à la fin de la production, une relation empirique entre la photosynthèse foliaire et l'accumulation de biomasse est notée. Un réexamen des données publiées a récemment confirmé que les mesures d'échanges gazeux occupent bien le rôle fondamental de la photosynthèse dans la croissance végétale [193].

L'amélioration de l'aération au niveau des substrats par l'augmentation du pourcentage de sable dans le mélange pourrait contribuer à une augmentation supplémentaire de l'activité photosynthétique des plants avec un accroissement du rendement. Ce qui confirme les résultats de Lemay [194] et Borowski et Nurzyński [195], pour la culture de tomate sur un mélange composé de différents pourcentages de matériau naturel.

Les travaux de Silva et *al.* [196], sur la canne à sucre, montrent que l'alimentation hydrique et minérale notamment en azote joue un rôle nécessaire dans l'activité photosynthétique sur la teneur en chlorophylles (a) et (b), ainsi que sur la surface foliaire. La diminution dans le taux de biosynthèse de chlorophylle s'accompagne par

une diminution de l'assimilation chlorophyllienne, donc une diminution de l'élaboration de la matière organique ce qui entraîne une réduction de la croissance des plantes, aboutissant à des pertes de rendement.

Nous avons constaté, au cours de l'expérimentation un impact significatif du facteur substrat sur l'accumulation de la proline soluble dans les feuilles. Une différence remarquable a été enregistrée entre la teneur de proline des plants témoins et celles des autres substrats. Les faibles résultats d'accumulation de proline sont enregistrés chez les plants des traitements T5, T4 et T3 pour les deux espèces étudiées (tomate et aubergine). Ces faibles teneurs indiquent la bonne alimentation hydrique et minérale par les plantes dans les différents substrats précités.

Les résultats de la teneur en proline dans les feuilles montrent que le substrat T1 (100% sol) révèle les valeurs les plus élevées, ceci se justifie par la nature argileuse du sol et ses propriétés colloïdales dans l'adsorption des éléments minéraux et leur libération lente, ce qui provoque une augmentation de la concentration minérale au niveau des racines et par conséquent une synthèse accrue de cet osmorégulateur. Ce résultat est analogue à ceux de Tsugane et *al.* [197] et Thiery et *al.* [198] où ils ont noté que l'accumulation de proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique.

L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement [199].

La teneur en proline libre augmente avec la concentration du milieu. Son accumulation contribue à l'acquisition de cette résistance grâce au maintien de la turgescence cellulaire chez de nombreuses espèces, créé par l'ajustement osmotique dont la proline est responsable. Le mécanisme de l'accumulation de la proline indique la présence de sites de résistance de la plante à la contrainte abiotique [200].

Enfin, concernant le taux de cendres des feuilles, des racines et des fruits, il a été montré l'effet des substrats de culture sur ces paramètres mesurés. Les cendres des feuilles révèlent une augmentation remarquable au niveau du substrat T5 pour la tomate et l'aubergine, avec des accroissements de 13,86% et 32,88%. Suite à l'augmentation des concentrations minérales au niveau des racines des plants issus du substrat témoin T1 chez les deux espèces étudiées, il a été remarqué une augmentation du taux de cendre au niveau des racines.

Le taux de cendres des fruits, le plus élevé est obtenu au niveau du traitement T2 pour la tomate et le traitement T5 pour l'aubergine, avec des accroissements de 65,36% et 28,51% respectivement par rapport aux fruits du témoin T1.

Les résultats obtenus par Borowski et Nurzyński [195], sur la culture de tomate dans différents substrats et irriguée par une solution fertilisante, montrent que la teneur en éléments minéraux des fruits de tomate est influencée par la nature et la proportion des fractions utilisées dans la composition des substrats de culture.

En vieillissant, la feuille se charge en éléments nutritifs (calcium, potassium et magnésium) ce qui induit une augmentation de la matière sèche et du taux de cendres. Les racines contiennent des proportions faibles d'éléments minéraux, qui diminuent lentement dans le temps avec le taux de cendres [172].

Les cendres sont riches en éléments nutritifs et minéraux, notamment les éléments nutritifs majeurs, comme le phosphore, le potassium et le calcium [201].

Il y'a lieu de noter qu'à la fin de notre expérimentation la température diurne de la serre était élevée, entraînant ainsi une augmentation de la température de la solution nutritive et du substrat autour du système racinaire. Cet état de fait influe probablement sur l'alimentation hydrique et minérale des plantes étudiées qui risque d'être perturbée par la mauvaise respiration des racines, aboutissant à des troubles respiratoires entraînant inévitablement une asphyxie racinaire. Le maintien d'une température optimale du substrat au niveau des racines et le contrôle de la solution nutritive peuvent être un moyen d'amélioration de la disponibilité de l'oxygène pour les racines [173].

Conclusion et perspectives

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les semis réalisés dans divers substrats constitués de matériau standard reste une contrainte majeure de la filière de production des plants en horticulture, dans les pays ne produisant pas de la tourbe, qui reste le milieu de culture le plus performant. Le coût d'importation élevé de cette ressource naturelle nous oblige à réduire son utilisation en pépinière, et de faire face à cette contrainte par l'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols pauvres, en leur administrant des éléments rétenteurs et aérateurs naturels.

La culture en conteneurs en horticulture exige une haute technicité et une activité permanente vers plus de productivité en quantité et en qualité.

L'étude menée sur des essais en pépinière et sous serre en polycarbonate nous a permis de montrer que l'effet du mélange de différentes fractions de tourbe et de sable exerce sur les trois espèces horticoles testées (tomate, aubergine et pistachier) un effet bénéfique et de manière graduelle sur la majorité des paramètres morphologiques, physiologiques et de production.

Les relations ont été étudiées entre les propriétés physiques et chimiques des différents substrats avec le suivi de la croissance des parties aériennes et souterraines des plants, il a été constaté qu'une amélioration des paramètres morphologiques est en corrélation avec les différents mélanges opérés dans chaque substrat.

Le faible taux de croissance enregistré au niveau du substrat témoins (100% sol) malgré l'apport de la solution nutritive tous les trois jours, peut s'expliquer par le faible taux de matière organique et minérale qu'il contient et notamment la faible porosité du substrat pouvant entraîner le phénomène d'asphyxie racinaire.

Du point de vue croissance végétative, les meilleurs accroissements de la tige, de la surface foliaire et de la biomasse fraîche et sèche ont été obtenus dans le substrat T5 (20% sol + 40% tourbe + 40% sable) et le substrat T2 (80% sol + 20% mélange) pour la tomate et le pistachier, et au niveau du T3 (60% sol + 40% mélange) pour l'aubergine.

Pour ce qui est de la production de la tomate, le traitement (T5) enregistre une meilleure production de fruits, en qualité et en quantité. Le traitement T3 composé de (60% sol + 40% mélange) produit plus de fruits par plant pour l'aubergine.

Pour la teneur en chlorophylles, il a été constaté une grande variation des résultats selon le stade phénologique de la tomate et de l'aubergine. Le dosage de la proline nous renseigne sur l'état hydrique de la plante, et la teneur la plus élevée a été observée au niveau des plantes issues du substrat témoin (T1). Cependant, les faibles teneurs sont celles des substrats T5 et T4 pour la tomate et l'aubergine où les propriétés physiques et chimiques sont favorables.

A l'issu de ce travail, il a été mis en évidence l'intérêt de l'amélioration du substrat de culture sur la croissance racinaire des plantes tant sur l'aspect physique que chimique. Le système racinaire obtenu au niveau du substrat T5 est très dense, engendrant ainsi une absorption hydrominérale intense, résultant d'une bonne oxygénation du milieu, constituant ainsi un milieu de culture favorable pour la production de plants en horticulture et par conséquent très recherché par les pépiniéristes.

L'apport d'une solution nutritive dans le cycle de l'irrigation tous les trois jours a permis une amélioration significative de tous les paramètres mesurés et ce pour les trois espèces étudiées.

Dans notre travail, nous avons donc pu apporter une correction au sol issu de la station expérimentale de l'université de Blida en agissant sur les propriétés physiques et chimiques. Cette correction raisonnée a agit favorablement sur la structure physique du sol en réduisant sa compacité, tout en améliorant sa capacité de rétention. Aussi, l'apport de la matière organique décomposée présente une CEC élevée et peut stocker des éléments nutritifs indispensables aux jeunes plantes. En revanche, le sable matériau inorganique utilisé dans les mélange (T2, T3, T4 et T5) a permis une bonne porosité et une aération du substrat.

Le substrat T5 servant de milieu de culture pour la tomate et le pistachier et le substrat T3 pour l'aubergine, offrent en effet des caractéristiques physiques et chimiques remarquables tels que la légèreté, la bonne teneur en eau et en air et une stabilité structurale tout au long du cycle de développement. Aussi, ces

caractéristiques présentent l'avantage d'offrir un bon enracinement du végétal en pépinière pour les espèces pérennes qui accusent beaucoup de difficulté dans la rhizogénèse, en raison du mélange optimale entre le sable (rôle aérateur) et la tourbe (rôle de rétenteur en eau). Ses performances ont été également mises en évidence dans les cultures maraîchères en conteneurs.

Aussi, il y'a lieu de noter qu'une légère correction des propriétés physiques et chimiques du sol au niveau du traitement T2 à faible mélange (20%) est observée. De ce constat, nous pouvons conclure que l'introduction d'un mélange (sable / tourbe) dans un sol à structure compact, peut l'améliorer et lui procurer de nouvelles caractéristiques physiques et chimiques afin que la croissance et le développement des plants qui y vivent évoluent de manière convenable avec un rendement en plants appréciable très demandé par les pépiniéristes.

La préservation des ressources naturelles a conduit à la mise en valeur industrielle des ressources renouvelables et quasiment inépuisables comme complément et substitut à la tourbe. L'utilisation de la terre végétale et le sable dans la confection des substrats de culture rentre ainsi dans le cadre d'une politique mondiale visant à la protection de l'environnement.

Le substrat constitue un critère important dans la production de plants horticoles en pépinière. Lors de nos essais, l'aération des substrats due à l'apport du sable a permis une forte porosité et a produit le meilleur développement des cultures. Un substrat équilibré régule les rythmes d'irrigation permettant ainsi une gestion efficace de l'eau, qui reste un facteur limitant en agriculture.

Il est à noter que l'apport de la matière organique au sol reste conditionné par une irrigation intercalaire tous les trois jours par la solution nutritive pour la production des plants de qualité en horticulture. La dégradation lente de la matière organique en éléments minéraux disponibles à la plante, nécessite l'apport des éléments fertilisants de nature chimique mais à des fréquences éloignées en fonction des besoins des différentes phases physiologiques des plantes.

A l'issue de ce travail, il est nécessaire de poursuivre les investigations afin d'identifier les substituants et les mélanges naturels les plus adéquats à ajouter au sol selon des proportions raisonnées pour une croissance optimale conforme d'une part du point de vue adaptation granulométrique (substrat à la fois aérateur et rétenteur),

et d'autre part sur le plan physique (bonne porosité) et hydrique (bonne capacité de rétention en eau).

Perspectives

Cette étude mérite d'être approfondie en évaluant et en calculant la quantité d'eau nécessaire pour l'irrigation selon les besoins de chaque espèce et selon la nature du substrat.

Elle permettra d'économiser l'eau, source indispensable à la survie des plantes et les éléments minéraux qui eux sont des facteurs limitants de la croissance et le développement des végétaux.

Il est à préciser, que la durée de l'expérimentation sur le pistachier (espèce pérenne) en pépinière étant relativement courte, est insuffisante pour permettre de mieux suivre et comprendre l'impact des substrats utilisés sur la croissance de cette espèce. Il serait alors souhaitable de suivre les plantules dans des travaux de recherches futurs.

Les résultats obtenus méritent d'être confirmés et vulgarisés afin de :

- Minimiser l'utilisation accrue de la tourbe qui est une ressource importée en Algérie et non renouvelable.
- Rendre le substrat plus performant et adapté à la production choisie.
- Réduire les coûts de la production des plants en pépinière par la diminution des coûts des substrats.
- Valoriser le ou les substrats le plus performant.
- Il est préférable de refaire l'expérimentation pour confirmer les résultats obtenus

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **M'Sadak Y., Elouaer M. A., Dhahri M. 2013.** Caractérisation physique des substrats de croissance pour une meilleure adaptation à la filière horticole en Tunisie. Revue « Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques, 09. Pp 27-34.
2. **Grunert O., Perneel M., Vandaele S. 2008.** Peat-based organic growbags as a solution to the mineral wool waste problem. *Mires and Peat*. Vol (3). Pp 1-5.
3. **Vaughn S. F., Deppe N. A., Palmquist D. E., Berhow M. A. 2011.** Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates. *Industrial Crops and Products*. Vol (33). Pp 514-517.
4. **Nair A., Ngouajio M., Biernbaum J. 2011.** Alfalfa-based organic amendment in peat-compost growing medium for organic tomato transplant production. *HortScience*. Vol (46). Pp 253-259.
5. **Olle M., Ngouajio M., Siomos A. 2012.** Vegetable quality and productivity as influenced by growing medium: a review. *Žemdirbystė=Agriculture*, 99 (4). Pp 399-408.
6. **M'Sadak Y., El Amri A., Majdoub R., El Ghorbali L. 2016.** Comportements physique et hydrique des substrats de culture destinés aux pépinières forestières modernes (Sahel Tunisien). *Algerian journal of arid environment*. 6 (1). Pp 96-107.
7. **Taylor K. O., Reddy M. R., Niedziela Jr. C. E., Peet M. M., Gayle G. 2012.** Effect of root substrates and seed cover materials on the germination and growth of organic tomato transplants. *Journal of Applied Horticulture*, 14 (2). Pp 83-87.
8. **M'Sadak Y., Elouaer M. A., El Kamel R. 2012.** Comportement physique des composts, des tamisats et des mélanges pour une meilleure exploitation en pépinière : Caractérisation physique des composts bruts, criblés et en mélange. *E-Revue de Génie Industriel*, n° (8). Pp 44-54.
9. **Tzortzakis N. G., Economakis C. D. 2008a.** Deployment of shredded maize stems as an alternative substrate medium in tomato soilless culture. Effect on yield and fruit quality per truss. *Agriculture, Greece. AgroThesis*. 6(1). Pp 20-28.

10. **Carignan A. 2009.** Nouveau substrats pour la culture serricole. Fiche de conseillère en serriculture et chargée de projets IQDHO. Québec, Canada. 4p.
11. **Shahina Y., Adnan Y., Adnan R., Atif R., Saira S. 2012.** Effect of Different Substrates on Growth and Flowering of *Dianthus caryophyllus* cv. 'Chauband Mixed'. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 12 (2). Pp 249-258.
12. **Wightman K. E. 2006.** Bonne pratiques de culture en pépinière forestière, Directives pratiques pour les pépinières communautaires. Manuel technique N°2. World Agroforestry Centre (ICRAF). Nairobi, Kenya. Pp 30-42.
13. **M'Sadak Y., Ben M'Barek A. 2014.** Caractérisation physico-hydrigue des substrats de culture à base de méthacompost avicole pour une meilleure valorisation. Larhyss Journal, (20). Pp 67-187.
14. **Benmahioul B., Khelil B., Kaïd-harche M., Daguin F. 2010.** Étude de la germination et de l'effet du substrat sur la croissance de jeunes semis de *Pistacia vera* L. Acta Botanica Malacitana 35. Pp 107-114.
15. **Moghtader M. 2010.** Comparative survey on the essential oil composition from the leaves and fruits of *Pistacia mutica* Fischer Kerman Province. Meadle east journal of scientific research, 5 (4). Pp 291-297.
16. **Chebouti Y. 2002.** Note technique sur la culture du pistachier fruitier. Rev. La forêt Algérienne. N° 4. Pp 32-36.
17. **MADR. 2013.** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.
18. **Comtois M., Légaré M. 2004.** La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant. Programme Horti-2002, Direction de l'Innovation Scientifique et Technologique. Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale (IQDHO). Québec. 57p.
19. **Larouche R., Turcotte G. 2012.** Revue Echo- Serre, Février – Mars 2012. Volume 3, N°2. Ministère de l'agriculture, de pêcheries et de l'alimentation, Syndicat des producteurs en serre du Québec. Pp 3-4.
20. **Blanc D. 1987.** Les cultures hors sol. Ed. INRA. Paris. 409p.

- 21. Argillier C., Flaconnet G., Mousain D., Guehl J.M. 1994.** Technique de production hors-sol du Cèdre de l'Atlas. Annales de la recherche forestière au Maroc. N°27. Volume 2. INRA. France. Pp 488 - 497.
- 22. Lemaire F., Dartigues A., Riviere. L. M., Charpentier S. 1989.** Cultures en pots et conteneurs (principes agronomiques et applications). Ed. INRA. Paris. 184p.
- 23. Vitre A. 2003.** Fondement et principes de l'hors-sol. Doc V 3.1 HRS 12 Ind A. 10p.
- 24. Vallée C., Bilodeau G. 1999.** Les techniques de culture en multicellules. Institut Québécois du Développement de l'Horticulture Ornementale (IQDHO). Les presses de l'université Laval. Canada. Pp 60-70.
- 25. Baize D., Jabiol B. 1995.** Guide pour la description des sols. Ed. INRA. Paris. 375p.
- 26. Goulet J. F., Hamel A., Vallée C., Goudreault S., Gagnon J. A., Couillard A., Lavoie M. C., Chauvette J. 1996.** Clinique sur la fertilisation en serre. Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale. 201 p.
- 27. Cottineau J. S., Cabeu Payet I., Bourglan Y. 2001.** Qu'exiger d'un substrat. Bulletin d'information des producteurs. Hors-série – spécial substrats. ARMEFLHOR n°(5). 6 p.
- 28. Prevost P. 1990.** Les bases de l'agriculture moderne. Technique et documentation. Ed. Lavoisier. 262 p.
- 29. Wolf B. 1999.** The fertile triangle; the interrelationship of air, water, and nutrients in maximizing soil productivity. Food Products Press. New York. 463p.
- 30. Morard P. 1995.** Les cultures végétales hors sol. S.A.R.L., Publications Agricoles AGEN, Paris, France. Pp 9-11.
- 31. Portree J. 1996.** Greenhouse vegetable production guide for commercial growers. British Columbia Ministry of Agriculture, Fisher and Food. Victoria, B.C. Canada.117p.
- 32. Serag M. 1985.** Etude méthodologique de la matière organique, cas des sols semi-aride de Hodna. Ann. INA. El-Harrach O.P.U. Alger.

- 33. Prasad M. 1997.** Physical, chemical and biological properties of coir dust. Acta Hort. 450 p.
- 34. Brauman A., Fall S. 1998.** Impact des termites humivore et de leur microflore digestive sur la transformation de la matière organique du sol. Scientific registration n°1710. Symposium n°9.
- 35. Lamhamedi M. S. 2009.** Formation sur la nutrition minérale dédiée aux pépinières forestières du Québec. Québec. Canada. 47p.
- 36. Bégin G. 2008.** Potentiel d'utilisation du bran de scie comme substrat de culture pour la tomate de serre : phytotoxicité, croissance et productivité. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en biologie végétale pour l'obtention du grade de maître Es sciences (M. Se.). Québec. 60 p.
- 37. Musy A., Soutter M. 1996.** Physique du sol. Presse polytechnique et universitaire Romande. Lausanne. 335p.
- 38. Poncet L., Morel P., Rivière L. M. 2000.** Les supports de culture horticoles. Les matériaux complémentaires et alternatifs à la tourbe. Edition : INRA. Paris. 87p.
- 39. Zuang H., Musard M., Dumoulin J., Thicoïpé J. P., Letard M., Vaysse P., Adam D. 1984.** Cultures légumières sur substrats (Installation et conduite). Ed. Ctifl. Paris. 241p.
- 40. Kolay A. K. 2007.** Manures and fertilisers. Edition: Atlantic. New Delhi. 173p.
- 41. Crozon J. B., Neyroud J.A. 1990.** Etude des caractéristiques physiques de quelques substrats en horticulture. Revue Suisse, Arboric-Hortic.Vol 22.
- 42. Mustin M. 1987.** Le compost. Gestion de la matière organique. Edit. François DUBUSE, Paris. 954 p.
- 43. Moinreau J., Herrmann P., Favrot J.C., Riviere L. M. 1987.** Les substrats inventaire, caractéristiques ressources.
- 44. Urban L., Urban I. 2010.** La production sous serre tome 2 : l'irrigation fertilisante en culture hors sol. 2^{ème} édition. Editions : Tec et Doc. Paris. 230p.

- 45. Bridel F. 2008.** Quelques substrats utilisés en botanique. Le forum des Bonsaï. 4p.
- 46. Cochard Y. 2001.** Le substrat et ses éléments. Articles du Cactus Francophone. 7p.
- 47. Heymans P. 1980.** The development of the Argex/leca clay pellets, ISOSC Proceeding. Pp 307-311.
- 48. Rodriques M., Mateo T., Jacolot P. 2010.** Désinfection des substrats de culture au moyen d'un collecteur solaire. Revue Technique Trimestrielle. L'écho des abattis N°2 – 1^{er} Trimestre 2010. Pp 19-20.
- 49. Lemaire F., Morel P. 2003.** Cultures en pots et conteneurs : principes agronomiques et applications. 2^{ème} Edition. Ed. INRA. France. 232p.
- 50. Bergeron L., Drouin J. L., Carrier A. 2004.** Amélioration de la productivité des tomates des serres à l'aide du greffage et de nouveaux substrats. MAPAQ. 20p.
- 51. FAO. 2005.** Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Manuel de formation. Promotion de l'utilisation des intrants agricoles par les organisations de producteurs. Ed. Fao. Niger. 24p.
- 52. Hopkins W. G. 2003.** Physiologie végétale. Ed. De Boeck. Paris. 495p.
- 53. Lambers. H., Chapin. F.S., et Thijs. L.P. 2008.** Plant physiological ecology. 2^{ème} edition. Ed. Springer. New York. 217p.
- 54. El Alaoui A. C. 2007.** Fertilisation Minérale des cultures, les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium, Phosphore). Transfert de technologie En Agriculture. Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison Du PNTTA. N°155. Rabat, Maroc. 4p.
- 55. Zaoui B. 2010.** Fertilisation, tomate. Raisonement de la fertilisation. Agriculture du Maghreb. n°(47). Pp 138-143.
- 56. Michelot P. 2010.** La production en pépinière « Des références techniques à la certification environnementale ». Ed. Tec & Doc, Lavoisier. Paris. 424p.
- 57. Whitehead D. C. 2000.** Nutrient elements in grassland: Soil-Plant-Animal relationships. CABI Publishing. Wallingford, UK. 369p.

- 58. Taiz L., Zeiger E. 2002.** Plant Physiology. 3rd ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland. 690p.
- 59. Barker A. V., Pilbeam D.J. 2007.** Handbook of plant Nutrition, Books in soils, plants and the environment. V.117. Ed Taylor and Francis Group, LLC. 662p.
- 60. Bourgeois. A., Boukhaima. K. 2015.** Le Manuel du Permaculteuriste : La Permaculture ou l'appel pour changer le paradigme. 59 p.
- 61. Lacroix M. 2011.** Nutrition en calcium, problème et prévention .Laboratoire de diagnostique en phyto-protection, Québec, Ed Ctifl, 65p.
- 62. Marschner H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants. 2^e ed. Academic Press Inc. London. 889p.
- 63. Skiredj A. 2006.** Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs, Fertigation : guide pour améliorer la production des cultures. Rabat. Pp 1-9.
- 64. Mathieu C., Lozet J. 2011.** Dictionnaire encyclopédique de science du sol : avec index anglais-français. Ed. Tec & Doc, Lavoisier. Paris. 733p.
- 65. Mengel K., Kirkby. E. A. 2001.** Principles of plant nutrition. Springer Science+Business Media BV. 5^{ème} édition. Allemagne. 807p.
- 66. Pousset J. 2002.** Engrais verts et fertilité des sols. Ed. Agridécisions. 2^{ème} édition. Paris. 303p.
- 67. Erard P., Jeannequin. B., Letard. M. 1995.** Maîtrise de l'irrigation fertilisante, tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ed Tec & Doc. 220p.
- 68. Coïc Y., Coppenet M. 1989.** Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Ed. INRA. Paris. Pp 73-74.
- 69. Lesaint C., Coïc Y. 1983.** Cultures hydroponiques. Ed. La maison rustique. Paris. 118p.
- 70. Hade A. 2003.** Nos Lacs, les connaître pour mieux les protéger. Ed. Fides. Québec. 230p.

- 71. Dinon E., Gerstmans A., 2008.** L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liège. 4p.
- 72. Anonyme 2007.** Cultures hydroponiques et horticoles 3^{ème} Edition. Catalogue Hanna instruments. France. 9 p.
- 73. Loué A. 1986.** Les oligo-éléments en agriculture. Ed. Agri-Nathan International. Paris. 339p.
- 74. Le Quillec S. 2002.** Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat. Ed. C. T. I. L, Paris. Pp 42-77.
- 75. Chaux C., Foury C. 1994.** Productions légumières, tome 3 (Légumineuses potagères Légumes fruits). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Pp 145 - 230.
- 76. Coïc Y., 1984.** Les cultures sans sol. Revue science et vie N°146. Pp 68 - 75.
- 77. Couplan F., Mioulane P., Delvaux C., Shall S. 2010.** Le Truffaut du Potager (Cultiver vos légumes, fruits et herbes aromatiques). Ed. Larousse. Espagne. Pp 462-466.
- 78. Messiaen C. M., Messiaen-Pagotto F. 2009.** Le potager familial méditerranéen. Ed. Quae. France. Pp 63-79.
- 79. Polese J. M. 2007.** La culture des tomates. Ed. Artémis. Chine. 92p.
- 80. Laumonier R. 1979.** Cultures Légumières et Maraichères, Tome 3. Ed. J.-B. Baillièrre. Paris. Pp 92-119.
- 81. Pitrat M., Foury. C. 2003.** Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXI^e siècle. Paris. Pp 267-276.
- 82. Kolev N. 1976.** Les cultures maraichères en Algérie, Tome I, légumes et fruits. Ed. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. Pp 145-161.
- 84. Gallais A., Bannerot H. 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA. France. Pp 369 - 391.
- 85. Naika S., Lidt De Jeude. J. V., De Gaffau M., Hilmi M., Van Dam B. 2005.** La culture de la tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Fondation Agromisa et CTA. Pays-Bas. 104p.

- 86. Tahi H. 2008.** Efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation chez la tomate par la technique de PRD (partial rootzone drying) et étude des mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués. Thèse de Doctorat. Université Cadi Ayyad de Marrakech. 152p.
- 87. Publishers B. 2004.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale, Tome 2 : Légumes. Ed. Dunod. 736p.
- 88. Prat R. 2007.** Expérimentation en biologie et physiologie végétales. Ed. Quae. Paris. 256p.
- 89. Razdan M. K., Mattoo. A. K. 2006.** Genetic improvement of Solanaceous Crops. Volume 2 : Tomato. Ed. Science Publishers. India. 637p.
- 90. Anonyme 2017.** www.fao.org/faostat/fr/#rankings/countries_by_commodity .
- 91. Doré C., Varoquaux F. 2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Paris. Ed. INRA. Pp 691 - 710.
- 92. Agarwal S., Rao A. V. 2000.** Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. Can Med Am J, 163(6). Pp 739-744.
- 93. Nyabyenda P. 2006.** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. Ed. Les presses agronomiques de Gembloux. Wageningen. Pays-Bas. 229p.
- 94. Caburet A., Daly P., De bo. H., Langlais C., Lyannaz J.P., Ryckewant P. 2003.** Mémento de l'agronome, les légumes. Paris. Ed. Cirad. Pp 1023 - 1049.
- 95. Chaux C. 1972.** Production légumières. Ed. J.-B. Baillière. Paris. 414p.
- 96. Courchinoux J. P. 2008.** La culture de la tomate. Fiche technique Tomate. France. 8p.
- 97. Schiffers B. 2003.** Itinéraire technique, tomate cerise. Document initiative pesticides. PIP. Belgique. 32p.
- 98. Péron J. Y. 2006.** Productions légumières. Ed. Synthèse Agricole. Paris. 613p.

- 99. Le Clech B. 1993.** Productions végétales « grandes cultures ». Ed. Synthèse agricole. Paris. 350p.
- 100. Bentvelsen C. L. M. 1988.** Réponse des rendements à l'eau. FAO. Italie. 222p.
- 101. Vilain M. 1989.** La production végétale, la maîtrise technique de la production. Ed. Tec et Doc. Paris. 384p.
- 102. Snoussi S.A. 2010.** Etude de base sur la Tomate en Algérie. Rapport de mission. FAO. Rome. 53p.
- 103. Devignes A. 1986.** L'aventure de la nature, 30 légumes faciles à cultiver. Ed. Hatier. Paris. Pp 78 - 79.
- 104. Mappa D. 2010.** Les productions légumières. Ed. Educagri. Dijon. Pp 75-79.
- 105. Chibane A. 1999.** Transfert de technologie en agriculture, fiche technique « tomate sous serre ». MADRPM. Bulletin mensuel N°57. 4p.
- 106. Baire S., Amirouche F., Kestali T. 2010.** Principaux désordres physiologiques, maladies et ravageurs présents en Algérie. Ed. ITCMI. 64p.
- 107. Blancard D., Laterrot H., Marchoux G., Candresse T. 2009.** Les maladies de la tomate (identifier, connaître, maîtriser). Ed. Quae. Paris. 679p.
- 108. Erard P. 2003.** « L'aubergine » Ed. C.T.I.F.L. INRA. Alger, el Harrach. 153 p.
- 109. Elattir H., Skiredj A., Elfadl A. 2003.** Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N°100 Horticulture. Transfert de technologie en agriculture. Fiches techniques V. La tomate, l'aubergine, le poivron, le gombo. Maroc. 4p.
- 110. Grubben G. J. H., Denton O. A. 2004.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2. Légumes. Fondation PROTA. Backhuys Publishers. Pays-Bas. 737p.
- 111. Kole C. 2007.** Genome mapping and molecular breeding in plants. Vegetables. Ed. Springer. Berlin. Pp 116-136.
- 112. Verolet J. F., Raffin R., Jagu L., Berry D. 2001.** Aubergine - Fiche technique en agriculture biologique. A.D.A.B. France. 8p.

- 113. Ladrangé B., Boutitie A., Thevier J. M., Riquet J. 2012.** L'aubergine de plein champ. Eléments techniques et économiques pour les zones de montagne sèche du Languedoc-Roussillon. Chambre d'Agriculture. SUAMME. France. 2p.
- 114. Munro D. B., Small E. 1998.** Les légumes du Canada. Presses scientifiques du CNRC. Ottawa (Ontario) Canada. 437p.
- 115. Motte R. 2012.** Réussir son potager sans se prendre le chou : 100% bio. Ed. Rustica. France. 128p.
- 116. Lemaistre J. 2000.** Etude bibliographique du pistachier. Pp 12-15.
- 117. Aletà N., Ninot A., Rouskas D., Zakinthinos G., Avanzato D., Mendes Gaspar A. 1997.** La multiplication du pistachier. Amélioration d'espèces à fruits à coque : noyer, amandier, pistachier. Option Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherche N°16. Ed. CIHEAM. Zaragoza. Espagne. Pp 121 - 132.
- 118. Ferguson L., Polito V., Kallsen C. 2005.** The pistachio tree: botany and physiology and factors that affect yield. Pistachio production manual, 4^{eme} Ed. Davis. Californie. USA. Université de Californie. Centre d'information sur la recherche des fruits et noix. Pp 31-39.
- 119. Drouet F. 2014.** Le pistachier (*Pistacia vera* L.). Quelques informations utiles. Conservatoire du pistachier de la Ciotat. France. 4p.
- 120. Boutboul H. 1986.** La relance de la culture du Pistachier fruitier dans le midi Méditerranéen. Revue Horticole N° 264. Pp 25 - 29.
- 121. Benabdeli K. 2012.** Rétrospectives sur quelques espèces forestières et pré-forestières intéressantes des zones arides mais ignorées en Algérie. Séminaire International sur la préservation et le développement des espèces ligneuses des zones arides. Université de Mascara 29 et 30 mai 2012. Mascara, Algérie.
- 122. Mukuddem-Petersen J., Oosthuizen W., Jerling J. C. 2005.** A systematic review of the effects of nuts on blood lipid profiles in humans. *J Nutr*, 135(9). Pp 2082-2089.

- 123. Oukabli A. 2005.** Le pistachier, un arbre fruitier et forestier. Transfert de technologie en agriculture. Amélioration des plantes et conservation des ressources phyto-génétique. CRRA. Meknès. 4p.
- 124. Harfouche A., Chebouti-Meziou N., Chebouti Y. 2005.** Comportement comparé de quelques provenances algériennes de pistachier de l'atlas introduites en réserve naturelle de Mergueb (Algérie). Forêt méditerranéenne n°2. Algérie. Pp 135-142.
- 125. Demirkiran A. R., Cengiz M. C. 2010.** Effects of different organic materials and chemical fertilizers on nutrition of pistachio (*Pistacia vera* L.) in organic arboriculture. Journal africain de biotechnologie. Vol. 9(38). Turkey. Pp 6320-6328.
- 126. Malhotra S. P. 2008.** World edible nuts economy. Ed. First Published. Rome. 533p.
- 127. Snoussi S. A. 2001.** Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées. Thèse Doctorat. INA El-Harrach. 152p.
- 128. Warrence N., Auder J.W. 2002.** Fondements de la salinité et des effets de la sodacité physique du sol. Université Bozeman d'état de Montana.13p.
- 129. Martin P.P., Gagnard J., Gautier P., Drouineau G. 1984.** L'analyse végétale de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Edition Lavoisier. Paris.
- 130. Pinta M. 1973.** Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Oléagineux. N°2. France. 1p.
- 131. Pinta M. 1968.** Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Comité inter-instituts d'étude et techniques analytiques du diagnostic foliaire. Sevilla. Pp 12-13.
- 132. Monneveux P., Nemmar M. 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L et chez le blé (*Triticum durum* Desf). Etude d'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie 6. Pp 583-590.
- 133. Prémont V. 2015.** Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée. Mémoire Maitre ès science (M.Sc.), Maitrise en sol et environnement. Québec, Canada. 81 p.

- 134. Guérineau C., Bigey J., Longuesserre J., Navatel J. C., Pommier J. J., Raynal-Lacroix C. 2003.** La culture de fraisier sur substrat, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (Ctifl). France. 164 p.
- 135. Lemaire F. 1999.** Determination of substrate characteristics for soilless culture. CIHEAM options Méditerranéennes, 31. Pp 347-356.
- 136. Pasquier L. (sd).** Guide du sol « Largile et Lamotte ». ENESAD – Unité Informatique Pédagogique. 111 p.
- 137. Kemmitt J., Wright S., Goulding D., Jones K. 2006.** pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil biology and Biochemistry*, (38). Pp 898-911.
- 138. Rosell R. A., Chassin P. 1998.** Dynamique des composés organiques, incluant des polluants dans le système sol. Scientific registration n°3007. Symposium n°7.
- 139. Da Silva F. F., Wallach R., Chen Y. 1993.** Hydraulic properties of sphagnum peat moss and tuff (scoria) and their potential effects on water availability. *Plant and Soil*. 154(1). Pp 119-126.
- 140. Paiement I. 2011.** Effets des propriétés physico-chimiques du substrat sur la croissance et la physiologie des plants d'Épinette blanche. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en biologie végétale pour l'obtention du grade de Maître es-sciences (M.Sc.). Québec. Canada. 115 p.
- 141. Lemaire F., Dartigues A., Rivière L. M., Charpentier S. 1990.** Culture en conteneurs et en pots : Principes agronomiques et applications, Ed. INRA, 184p.
- 142. Mongondry C. 1996.** Méthodes d'analyses des supports de cultures horticoles, étude critique des projets de norme, mémoire de fin d'étude MST Université d'Angers.
- 143. Kalra Y. P., Maynard D. G. 1992.** Méthodes d'analyse des sols forestiers et des tissus végétaux. Forêts de Canada, Rég. Nord-Ouest, Centre Forestier de Nord, Edmonton (Alberta). Rapp. Inf. NOR-X-319F. Pp 19-82.
- 144. Nguema N., Ondo-azi A. S., Mouele Balimbi J., Ntsame Ndoutoume R. L., Souza A. 2014.** Effet de la composition de différents substrats culturaux sur quelques

paramètres de croissance de *Gambeya lacourtiana* De Wild en pépinière au nord-est du Gabon. Journal of Applied Biosciences 73. Pp 5902-5910.

145. Benseighir-Boukhari L. A., Argillier C. 2006. Amélioration des techniques de production hors-sol du chêne-liège : conteneurs et substrat. Ann. Rech. For. Algérie 12. Pp 9-21.

146. Lamhamedi M. S., Fortin J. A., Ammari Y., Ben Jalloun S., Poirier M., Fecteau B., Bougacha A., Godin L. 1997. Evaluation des composts, des substrats et de qualité des plants (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Cupressu supervirend* et *Quercus suber*) élevés en conteneurs. Projet Bird3601. Rapport technique : Exécution des travaux d'aménagement de trois pépinières pilotes en Tunisie. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev Internationale. Canada. 121p.

147. Houassine D. 2004. Effet de toxicité du magnésium lié aux sulfates et aux chlorures chez certaines variétés de tomates conduites sous serre en culture hydroponique. Th. Mag. I. N. E. S. Blida. 92p

148. Mapongmetsem P. M., Djoumessi M. C., Yemele M. T., Fawa G., Doumara D. G., Tchiagam Noubissie J. B., Tientcheu A., Louise M., Bellefontaine R. 2012. Domestication de *Vitex doniana* Sweet. (Verbenaceae) : Influence du type de substrat, de la stimulation hormonale, de la surface foliaire et de la position du nœud sur l'enracinement des boutures uninodales. Journal of Agriculture and Environment for International Development - JAEID, 106 (1). Pp 23-45.

149. Ammari Y., Lamhamedi M. S., Zine El Abidine A., Akrimi N. 2007. Production et croissance des plants résineux dans différents substrats à base de compost dans une pépinière forestière moderne en Tunisie. Biologie et écologie. Rev. For. Fr. LIX – 4. Pp 339-358.

150. Şirin U., Ertan E., Ertan B. 2010. Growth substrates and fig nursery tree production. Sci. Agric. (Piracicaba, Brazil.), 67 (6). Pp 633-638.

151. Tzortzakis N. G., Economakis C. D. 2005. Shredded maize stems as an alternative substrate medium: effect on growth, flowering and yield of tomato in soilless culture. Journal of Vegetable Science. Vol (11). Pp 57-70.

- 152. Gao H. B., Zhang T. J., Lv G. Y., Zhang G. H., Wu X. L., Li J. R., Gong B. B. 2010.** Effects of different compound substrates on growth, yield and fruit quality of cucumber. *Acta Horticulturae*. Vol (856). Pp 173–180.
- 153. Chatterjee R., Mal D. 2016.** Influence of Nursery technique and growing media on seedling growth and field performance of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.). *Journal of Environmental & Agricultural Sciences* (9). Pp 15-20.
- 154. El Boukhari E. M., Gmira N., Brhadda N. 2013.** Effet des traitements physiques sur la croissance et le développement des semis de glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) en pépinière forestière au Maroc. *Geo-Eco-Trop*. 37 (2). Pp 177-190.
- 155. Lamhamedi M. S., Renaud M., Veilleux L. 2011.** Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Production des plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation, 4-6 octobre 2011, Québec. Pp 33-45.
- 156. Tehranifar A., Poostchi M., Arooei H., Nematti H. 2007.** Effects of seven substrates on qualitative and quantitative characteristics of three strawberry cultivars under soilless culture. *Acta. Hortic.* (761). Pp 485-488.
- 157. Lamhamedi M. S., Fectau B., Godin L., Gingras C., Al Aini R., Gader G., Zarrouk M. A. 2007.** Guide pratique de production hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACDIE4936-K061229. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev. Internationale LTEE, Canada. 114p.
- 158. Leakey R. R. B., Tchoundjeu Z. 2001.** Diversification of tree crops: Domestication of companion crops for poverty reduction and environmental services. *Experimental Agriculture* 37. Pp 279-296.
- 159. Diaz-Perez M., Camacho-Ferre F. 2010.** Effect of Composts in Substrates on the Growth of Tomato Transplants. *HortTechnology* 20 (2). Pp 361-367.
- 160. Lajili M. 2009.** Nutrition minérale des plantes. P. P. F. Pp 7-20.

- 161. Nagase A., Dunnett N. 2011.** The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. Land sc. Urban Plan. (103). Pp 230-236.
- 162. Guehl J. M., Flaconnet G., Gruez J. 1988.** Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *Cedrus atlantica* élevés en conteneurs sur différent types de substrats de culture. Annals des Sciences Forestières (46). Pp 1-14.
- 163. De Oliveira F. C., Jardim M. A. G. 2013.** The effects of substrates on seedling production of native tree species for urban landscape. Soc. Bras. de Arborização Urbana REVSBAU, Piracicaba – SP, v.8 (3). Pp 28-35
- 164. Khalighi A., Padasht- Dehkaee M. T. 2000.** Effect of media produced by tree bark, tea waste, rice hull and Azolla as a substrate for peat, on growth and flowering of marigold (*Tagetes patula* “Golden Boy”). Iranian J. Agric. Sci. 31(3). Pp 557-565.
- 165. Fernandes C., Eduardo Corá J. 2004.** Bulk density and relationship air/water of horticultural substrate. Sci. Agric. 61(4). Pp 446-450.
- 166. Ameri A., Tehranifar A., Shoor M., Davarynejad G. H. 2012.** Effect of substrate and cultivar on growth characteristic of strawberry in soilless culture system. African Journal of Biotechnology, 11(56). Pp 11960-11966.
- 167. Nutt M. K., Evans M. R. 2005.** Growth and development of tomato seedlings in sphagnum peat, vermiculite, and processed rice hull substrates. The student journal of the Dale Bumpers College of Agricultural, Food and Life Sciences. DISCOVERY Vol (6). Pp 23-28.
- 168. Lopez-Bucio J., Cruz-Ramirez A., Herrera-Estrella L. 2003.** The role of nutrient availability in regulating root architecture. Physiology and Metabolism. Current Opinion in Plant Biology (6). Pp 280–287.
- 169. Mbonigaba J. J. M., Nzeyimana I., Bucagu C., Culot M. 2009.** Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles : contraintes à leur productivité. UNR –Journal Etudes Rwandaises– Series C: Life Science & Natural Sciences. Pp 32-61.

- 170. Mokhtari M., Berchil A. 2011.** Effet de quatre substrats combinés à deux systèmes d'irrigation sur la qualité des plants d'Arganier produits en conteneurs. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir 15 - 17 Décembre 2011. Maroc. Pp 337-341.
- 171. Merhaut D., Newman J. 2005.** Effect of substrate type on plant growth and nitrate leaching in cut flower production of oriental Lily. Hort. Science. 40(7). Pp 2135-2137.
- 172. De Rijck G., Schrevens E. 1998.** Mixture optimization of the mineral nutrition of tomatoes in relation to mineral content of the fruit: effects of preharvest factors on fruit quality. Acta Horticulturae 464. Pp 479-485.
- 173. Fandi M., Al-Muhtaseb J. J., Hussein M. A. 2008.** Yield and Fruit Quality of Tomato as Affected by the Substrate in an Open Soilless Culture. Jordan Journal of Agricultural Sciences, Vol 4 (1). Pp 65-72.
- 174. Russo V. M. 2005.** Organic vegetable transplant production. HortScience (40). Pp 623-628.
- 175. Arancon N. Q., Edwards C. A., Bierman P., Metzger J. D., Lee S., Welch C. 2003.** Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries. Pedobiologia, (47). Pp 731-735.
- 176. Arancon, N. Q., Edwards C. A., Atiyeh R., Metzger J. D. 2004.** Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. Bioresource. Technol., 93: 139-144.
- 177. Atiyeh R. M., Arancon N. Q., Edwards C. A., Metzger J. D. 2000.** Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresour. Technol.75. Pp 175-180.
- 178. Raemaekers R. 2001.** Agriculture en Afrique tropicale. DGCI, Direction Générale de la Coopération internationale. Bruxelles, 1634p.
- 179. Reséndez A. M., López-Aguilar F. J., Viramontes U. F., Rodríguez-Dimas N., Arroyo J. V., José Luis Reyes Carrillo J. L. R., Ríos P. C., Valdés M. H. R. 2012.** Tomato production in sand: vermicompost mixtures compared with sand and nutritive

solution. Basic Research Journal of Agricultural Science and Review ISSN 2315-6880 Vol. 1(1). Pp 19-26.

180. Reséndez A. M., Valdés-Perezgasga M. T., Zarate-López T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. Agri. Téc. Chiles (65). Pp 26-34.

181. Ecobichon M. 2006. « SUBSTRATS » Lettre d'information de Falienor-Terreaux de France N° 17. Loire Impression. ISSN : 1637-3529. 6 p.

182. Borowski E., Nurzyński J. 2012b. Effect of different growing substrates on the plant water relations and marketable fruit yield greenhouse-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Acta Agrobotanica. 65 (3). Pp 49-56.

183. Tzortzakis N. G., Economakis C. D. 2008b. Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. Hort. Sci. (Prague), 35(2). Pp 83-89.

184. Ancay A., Fremin F., Sigg P. 2010. Fraisiers sur substrat : quelles alternatives à la tourbe ? Petits fruits, Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture. 42 (2). Pp 106-113.

185. Chrétien S., Gosselin A., Dorais M. 2000. High electrical conductivity and radiation based water management improve fruit quality of greenhouse tomatoes grown in rockwool. HortScience, 35(4). Pp 627-631.

186. Dorais M., Demers D. A., Papadopoulos A.P., Ieperen W.V. 2004. Greenhouse tomato fruit cuticle cracking. Horticultural Reviews, 30. Pp 163-184.

187. Adams P., Ho L.C. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. Journal of Horticultural Science, 64 (6). Pp 725-732.

188. Dorais M., Papadopoulos A. P., Gosselin A. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. Agronomie 21. Pp 367-383

- 189. Grossnickle S. C. 2000.** Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings. NRC Research Press. Ottawa. Ontario. Canada. 409p.
- 190 Féret J. B. 2009.** Apport de la modélisation pour l'estimation de la teneur en pigments foliaires par télédétection. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie. Paris. 214 p.
- 191. Chugh L. K., Sawhney S. K. 1999.** Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium. Plant. Physiol. Biochem., 37 (4). Pp 297-303.
- 192. Young T., Cameron D., Sorrill J., Edwards T. K., Phoenix G. 2014.** Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. Journal of Urban Forestry & Urban Greening (13). Pp 507-516.
- 193. Kruger E. L., Volin J. C. 2006.** Reexamining the empirical relation between plant growth and leaf photosynthesis. Funct. Plant Biol. 33. Pp 421-429.
- 194. Lemay I. 2006.** Régies d'irrigation et rendement de la tomate de serre (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en mélange sciure-tourbe. Mémoire dans le cadre du programme de maîtrise en sols et environnement pour l'obtention du grade de maître es sciences (M.Sc.). Université Laval. 75p.
- 195. Borowski E., Nurzyński J. 2012a.** Effect of different growing substrates on the photosynthesis parameters and fruit yield of greenhouse-grown tomato. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus 11(6). Pp 95-105.
- 196. Silva A. S., Rhein A. F. L., Barbosa A. M. 2017.** Physiology and productivity of sugarcane as affected by nitrogen applied via subsurface drip irrigation. Journal of Environmental and Agricultural Sciences. (11). Pp 15-28.
- 197. Tsugane K., Kobayashi K., Niwa Y., Ohba Y., Wada K., Kobayashi H. 1999.** A recessive Arabidopsis mutant that grows photoautotrophically under salt stress shows enhanced active oxygen detoxification. Plant Cell, (11). Pp 1195-1206.

- 198. Thiery L., Leprince A.S., Lefebvre D., Ghars M. A., Debarbieux E., Savouré A. 2004.** Phospholipase D Is a Negative Regulator of Proline Biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *J. Biol. Chem.*, 279, (15). Pp 14812-14818.
- 199. Belkhodja M., Benkabilia M. 2000.** Proline response of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egypt. J.of Agric.Res.*78 (1). Pp 185-195.
- 200. Belkhodja M., Bedai Y. 2007.** Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimus* L. à la salinité. Laboratoire de Physiologie Végétale, Faculté des Sciences, Université d'Oran Algérie. *Tela Botanica*. 8p.
- 201. Majeu J. A., Hébert M., Desforges J. 2013.** Les cendres de poêles à bois. Que peut-on faire?. *Article Technique*. Vecteur Environnement. Québec, Canada. Pp 43-49.