



Mémoire de fin d'études

En vue

de l'obtention du diplôme de Master II en Sciences Agronomiques

Spécialité : Productions Végétales

Formulation de substrats d'enracinement et évaluation de leurs qualités et de leurs performances dans la production de plants en pépinière

Présenté par :

- Boussoualem karim
- Melahnouche Nesrine

Jury :

Présidente : Mme BOURBIA S., ProfesseurE à l'UMMTO

Promotrice : Mme BOUTEBTOUB W., MCB à l'UMMTO

Examineurs : Mr TEBIB M., MAA à l'UMMTO

Année Universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous remercions, en premier lieu, notre Dieu qui a bien voulu nous donner la force pour effectuer le présent travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre promotrice Mds Boutebtoub Wouahiba pour ses conseils, sa compétence et ses orientations durant l'élaboration de ce projet.

Nous remercions tous les enseignants de département agronomie pour leurs rôles importants dans notre formation. Ainsi nous exprimons notre reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de cet ouvrage. Enfin, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de fin d'étude

Liste des tableaux

Tableau N° 1 : caractéristiques physico-chimiques d'un support de culture considéré comme satisfaisant.

Tableau N° 2 : exemples de CEC et de pH pour plusieurs ingrédients employés pour la confection de substrats artificiels.

Tableau N° 3 : porosité totale de matériaux utilisés dans les substrats.

Tableau N° 4 : classification botanique de l'olivier.

Tableau N° 5 : critères thermiques pour l'olivier.

Tableau N° 6 : caractéristiques d'un sol jugé adéquat pour l'oléiculture.

Tableau N° 7 : classification botanique de figuier.

Tableau N° 8 : classification botanique de la vigne.

Tableau N° 9 : classification botanique de grenadier.

Tableau N° 10 : classification botanique de rosier.

Tableau N° 11 : classification botanique de bigaradier.

Tableau N° 12 : composition des différents substrats confectionnés et le volume des mélanges.

Tableau N° 13 : résultats du test de germination des graines de laitue.

Tableau N° 14 : taux de germination des graines de laitue dans les 4 types de biochar.

Tableau N° 15 : densité apparente humide des matériaux de base et des substrats formulés.

Tableau N° 16 : densité apparente sèche des matériaux de base et des substrats formulés.

Tableau N° 17 : pH des matériaux de base et des substrats formulés.

Tableau N° 18 : conductivité électrique CE des matériaux de base et des substrats formulés.

Tableau N° 19 : pourcentage de boutures enracinées de la vigne.

Tableau N° 20 : densité des racines des boutures enracinées de la vigne.

Tableau N° 21 : pourcentage des plants enracinés du rosier.

Tableau N° 22 : densité des racines des boutures du rosier.

Tableau N° 23 : pourcentage des plants enracinés du grenadier.

Tableau N° 24 : densité des racines des boutures du grenadier.

Tableau N° 25 : pourcentage des plants enracinés du figuier.

Tableau N° 26 : densité des racines des boutures du figuier.

Liste des figures

- Figure N° 1** : photographie d'un olivier (*Olea europaea*).
- Figure N° 2** : photographie d'un figuier (*Ficus carica* L.).
- Figure N° 3** : photographie d'une vigne (*Vitis vinifera* L.).
- Figure N° 4** : photographie d'un grenadier (*Punica granatum*).
- Figure N° 5** : photographie d'un rosier (*Rosa* sp.)
- Figure N° 6** : photographie d'un bigaradier (*Citrus aurantium*).
- Figure N° 7** : test de germination des graines de laitue dans des boîtes de Pétri.
- Figure N° 8** : test de phytotoxicité des quatre types de biochar dans des plaques alvéolées et à l'air libre.
- Figure N° 9** : test de phytotoxicité du biochar en milieu confiné, dans un bocal en verre fermé.
- Figure N° 10** : composants de base et mélange des substrats.
- Figure N° 11** : agitation des échantillons avec l'agitateur électrique.
- Figure N° 12** : mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre.
- Figure N° 13** : flacons fermés contenant les échantillons préparés pour la mesure de la conductivité électrique.
- Figure N° 14** : mesure de la conductivité électrique à l'aide d'un conductimètre.
- Figure N° 15** : substrats utilisés dans l'essai sur le terrain.
- Figure N° 16** : boutures utilisées dans notre essai.
- Figure N° 17** : bouture de figuier trompée dans une poudre d'auxine puis mise en substrat.
- Figure N° 18** : boutures plantées dans des sacs en plastique d'un litre et placées sous serre.
- Figure N° 19** : test de germination des graines de laitue au bout de 6 jours.
- Figure N° 20** : germination des graines de laitue à l'air libre, au bout de 10 jours.
- Figure N° 21** : germination des graines de laitue en milieu confiné, au bout de 10 jours.
- Figure N° 22** : longueur moyenne de la plus grande racine de la vigne.
- Figure N° 23** : nombre moyen des bourgeons débouffés de la vigne.
- Figure N° 24** : longueur moyenne des ramifications de la vigne.
- Figure N° 25** : longueur moyenne de la plus grande racine du rosier.
- Figure N° 26** : nombre moyen des bourgeons débouffés du rosier.
- Figure N° 27** : longueur moyenne des ramifications du rosier.
- Figure N° 28** : longueur moyenne de la plus grande racine du grenadier.
- Figure N° 29** : nombre moyen des bourgeons débouffés du grenadier.
- Figure N° 30** : longueur moyenne des ramifications du grenadier.

Figure N° 31 : longueur moyenne de la plus grande racine du figuier.

Figure N° 32 : nombre moyen des bourgeons débouffés du figuier.

Figure N° 33 : longueur moyenne des ramifications du figuier.

TABLES DES MATIERES

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre I : Les substrats de culture

1. Définition d'un substrat de culture.....	3
2. Lois de mélange.....	3
3. Constituants de substrat de culture.....	3
3.1 Tourbe.....	4
3.2 Terreau.....	5
3.3 Compost	5
3.4 Biochar	7
3.5 Zéolite	7
4. Caractéristiques d'un substrat	8
4.1 Propriétés chimiques	8
4.2 Propriétés physiques	9
5. Intérêts agronomiques et économiques des substrats	11

Chapitre II Généralités sur des espèces végétales

1. Olivier.....	13
1.1. Classification botanique.....	13
1.2 Caractéristique morphologique	14
1.3 Exigences pédoclimatiques.....	15
1.3.1 Exigences climatiques.....	15
1.3.2 Exigences pédologiques	16
2. Figuier	17
2.1 Classification botanique	17
2.2 Exigences pédoclimatiques	18
2.2.1 Exigences climatiques	18
2.2.2 Exigences pédologiques	18
3. Vigne	19
3.1 Classification botanique	19
3.2 Exigences pédoclimatiques	20
3.2.1 Exigences climatiques	20

3.2.2 Exigences pédologiques	21
4. Grenadier	21
4.1 Classification botanique	21
4.2 Exigences pédoclimatiques	22
4.2.2 Exigences pédologiques	23
5. Rosier.....	23
5.1 Classification botanique	23
6. Bigaradier.....	24
6.1 Classification botanique	25
6.2 Sol	25

Matériel et méthodes

I. Formulation des substrats d'enracinement et leur caractérisation	27
1. Composants de base des substrats formulés	27
2. Test de phytotoxicité de biochar	28
2.1. Test de germination de graines de laitue	28
2.2. Test de phytotoxicité du biochar	29
3. Formulation des substrats	30
4. Caractéristiques des substrats formulés.....	31
4.1 Densité apparente humide et sèche	32
4.2 pH	32
4.3 La conductivité électrique	33
II. Essai sur terrain	34
1. Dispositif cultural	34
1.1. Substrats utilisés	34
1.2. Plants utilisés.....	35
2. Dispositif expérimental	36
3. Paramètres étudiés	37

Résultats et discussion

I. Formulation des substrats d'enracinement	39
1. Test de phytotoxicité du biochar	39
1.1 Test de germination des graines de laitue	39
1.2 Test de phytotoxicité du biochar	40
A. A l'air libre	40

B. En milieu confiné	40
2. Caractéristiques des substrats formulés	41
2.1 Densités apparentes, humide et sèche	41
2.2 pH	42
2.3 Conductivité électrique	43
II. Essai sur terrain	43
1. Vigne.....	43
1.1 Pourcentage de boutures enracinées et densité des racines par substrat	43
1.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées.....	44
1.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées	45
1.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées	46
2. Rosier.....	46
2.1 Pourcentage des plants enracinés de rosier par substrat	46
2.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées.....	47
2.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées	48
2.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées	48
3. Grenadier	49
3.1 Pourcentage des plants enracinés de grenadier par substrat	49
3.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées.....	50
3.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées	50
3.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées	51
4. Figuier	51
4.1 Pourcentage des plants enracinés de figuier par substrat	51
4.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées.....	52
4.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées	52
4.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées	53
Discussion	54
Conclusion	57

Références bibliographiques



Introduction

Introduction

INTRODUCTION

La croissance et le développement d'une plante représentent les transformations quantitatives et qualitatives qui se déroulent au cours des différentes étapes de sa vie. L'ensemble de ces transformations constituent le cycle de développement de plante qui commence avec la germination de la graine puis le développement de l'appareil végétatif et sa croissance, suivi de la floraison, de la pollinisation et de la fructification, et se termine par la senescence de la plante. Ces différentes étapes nécessitent un support physique pour l'ancrage et une source de nutriments pour la plante afin d'atteindre son potentiel de croissance et de production. Ces rôles sont assurés par le substrat de culture. Une interaction équilibrée entre le support physique et l'apport des nutriments garantit que la plante peut absorber efficacement les éléments minéraux essentiels pour sa croissance, tout en étant solidement ancrée dans son environnement de culture. Par conséquent, le choix et la gestion appropriés du substrat de culture sont cruciaux pour favoriser un développement optimal, sain et robuste de la plante, surtout aux premiers stades de son cycle.

La tourbe est largement utilisée en pépinière comme substrat de base pour la production de plants dans le cadre d'un système de production commerciale. C'est le substrat de référence (Morel *et al.*, 2000) et une ressource naturelle qui stocke, depuis des millénaires, d'énormes quantités d'eau et de carbone. Cependant, la tourbe est une ressource rare et très chère à l'importation pour plusieurs raisons : c'est une ressource non renouvelable ; son extraction génère des émissions de gaz à effet de serre ; son utilisation, comme principal ingrédient des substrats, entraîne la perturbation et la destruction de nombreuses tourbières qui constituent des écosystèmes uniques sur terre qui contiennent une biodiversité importante de faune et de flore. C'est pourquoi, il est nécessaire d'utiliser des matériaux alternatifs locaux, écologiques et disponibles comme substrats de culture.

Les matériaux alternatifs doivent présenter les mêmes propriétés physico-chimiques que la tourbe et doivent être suffisamment stables lors de leur utilisation, seuls ou dans un mélange de substrats. Quelle est cette alternative qui peut remplacer, efficacement et à long terme, la tourbe en pépinière ? La première piste porte sur l'utilisation et la valorisation des composts à base des résidus organiques comme alternative intéressante en productions de plants. De plus, plusieurs travaux de recherche ont montré l'efficacité du biochar et de la zéolite dans l'amélioration de la croissance des plants (Ghorbani *et al.*, 2022 ; Meng *et al.*, 2021 ; Rocher, 1995)

Introduction

Notre étude préliminaire est basée sur la formulation, la confection de quelques substrats d'enracinement à base de compost, de biochar et de zéolite, et le suivi de leurs performances dans le démarrage d'une culture de quelques plants en pépinière. Il s'agit de plants d'olivier, de figuier, de vigne, de grenadier, de rosier et de graines de bigaradier. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une agriculture écologique, durable et productive.

Chapitre I :

Les substrats de

culture

7. Définition d'un substrat de culture :

Le terme substrat en agriculture s'applique à tout matériau naturelle ou artificiel qui, placé en conteneur pur ou en mélange, permet l'encrage du système racinaire de la plante (Blanc, 1987). Selon Prémont (2015), il existe une multitude de matériaux permettant d'élaborer un substrat de culture en hors-sol. Ces matériaux peuvent être de nature inorganique ou organique. Le substrat de culture est généralement un mélange de plusieurs composés, en proportions précises, afin d'obtenir des propriétés optimales de culture. Le choix d'un bon substrat est donc primordial. Les propriétés physico-chimiques doivent être connues avec précision afin d'exploiter au mieux ses qualités et de minimiser ses éventuels défauts (tableau 1).

Tableau 1 : caractéristiques physico-chimiques d'un support de culture considéré comme satisfaisant d'après Lemaire *et al.*, 1990 ; Abad *et al.*, 1989.

Caractéristiques physico-chimiques	Valeur
pH (de l'eau)	5,5 à 6,5
Conductivité électrique (CE) (mS /cm)	0,5 à 2
Capacité d'échange cationique (CEC) (meq/L)	10 à 100
Densité : sèche	0,3
Humide	0,6
Porosité totale (% du volume)	> 88
Porosité à l'air à pF1 (% du volume)	20 à 30
Capacité de rétention en eau à pF1 (% du volume)	55 à 70
Eau facilement disponible (pF1-pF2) (% du volume)	20 à 30

8. Lois de mélange :

Les caractéristiques physiques d'un mélange de plusieurs matériaux de base d'un substrat dépendent des caractéristiques propres à chaque matériau mais également de la proportionnalité dont se combinent entre eux ces matériaux : ce sont les lois de mélange (Foucard, 1994).

9. Constituants de substrat de culture :

En associant différents matériaux de base, on recherche la constitution d'un mélange présentant le meilleur compromis sur le plan technique et sur le plan économique. Le cas le plus

fréquent consiste à associer deux matériaux de base apportant l'un, le pouvoir de rétention pour l'eau et l'autre, le pouvoir d'aération (Lemaire *et al.*, 1989).

9.1 Tourbe :

La tourbe contient naturellement, *in situ*, entre 80 % et 95 % d'eau, le reste étant constitué de matières organiques et de substances minérales. Suivant la nature de la végétation truffigène, elle peut être d'origine muscinée (sphaigne ou hypnacées) ou herbacée (carex, roseaux).

➤ **Types de tourbe :**

- Tourbes blondes : matériaux d'origine organique peu évolués provenant de la dégradation, dans un milieu saturé d'eau, d'une végétation à dominante de sphaignes, hypnes et polytrics (Foucard 1994). Les tourbes blondes de sphaignes peu décomposées sont acides ;
- Tourbes brunes et noires : matériaux d'origine organique plus évolués que les tourbes blondes, provenant de la dégradation dans un milieu saturé d'eau d'une végétation de carex, joncs, molinies, linaigrettes ou phragmites (Foucard 1994). Les tourbes noires de carex sont souvent alcalines.

➤ **Caractéristiques :**

La tourbe améliore les propriétés physiques des milieux de culture, telles que la densité apparente du milieu, la capacité de rétention d'eau et la porosité à l'air. En outre, la tourbe soutient le système de rétention et d'échange des nutriments, sert de point d'ancrage pour les racines d'une plante et aide la respiration des systèmes racinaires (Fryda *et al.*, 2019). Du fait de sa biodégradabilité résiduelle pratiquement nulle, de sa capacité de rétention élevée (jusqu'à 20 fois son poids), de sa forte porosité et de sa capacité d'échange cationique élevée, la tourbe blonde de sphaigne est du point de vue agronomique, un bon substrat, difficile à remplacer pour la culture hors sol (Barthélémy, 1999).

En parallèle, l'extraction de la tourbe entraîne la perturbation des tourbières. Le drainage et l'aération des tourbières exposent le carbone séquestré à un environnement aérobique. Ceci entraîne des émissions de gaz à effet de serre, comme le CO₂, le CH₄ et le N₂O (Karki, 2018 ; Kern *et al.*, 2017). De plus, la tourbe constitue une ressource non renouvelable. Pour cela, les commissions environnementales internationales encouragent le remplacement de la tourbe par des matériaux plus durables par le biais de divers programmes de financement.

3.2 Terreau :

Le terreau est un support de culture à base de terre végétale naturelle, enrichie en éléments végétaux compostés. Ce type de substrat est donc produit à partir de la décomposition de divers végétaux. À l'origine, le terme était employé comme synonyme du terme humus (Jardin Futé, 2019).

➤ Types de terreaux :

Il existe différents types de terreau, en fonction de l'âge et du type de plantes compostées (Jardin Futé, 2019) :

- Terreau universel : c'est le terreau le plus facile à trouver et il convient pour les arbres, arbustes et autres plantes ornementales.
- Terre de bruyère : c'est un terreau au pH acide, parfait pour rhododendrons, myrtilles, etc ;
- Terreau horticole : c'est un terreau riche similaire au terreau universel. Il a tendance à être de meilleure qualité
- Terreau pour semis et repotage : ce terreau est pauvre en nutriments. Il possède une texture aérée pour promouvoir le développement racinaire ;
- Terreau potager : ce terreau est enrichi de divers amendements compostés. Il est adapté aux cultures potagères, fruitières et aromatiques.

➤ Caractéristiques :

Le terreau a quatre rôles fondamentaux :

- Ancrage et oxygénation des racines ;
- Alimentation hydrique par sa capacité de rétention de l'eau et de diffusion jusqu'aux racines ;
- Alimentation minérale : généralement les terreaux biologiques sont la seule source d'alimentation des plants (Delamarre *et al.*, 2013).

3.3 Compost :

Le compost est défini comme un produit stable, riche en humus et contenant des organismes vivants et des éléments nutritifs pour les plantes (Mustin, 1987). Le processus du compostage est un bon moyen d'améliorer la fertilité des sols par l'utilisation des matières organiques

biodégradables en provenance des déchets produits par les ménages, l'agriculture et les industries. Selon l'ADEME (2019), un compost mûr se caractérise par sa couleur foncée et sa structure grumeleuse. De plus, le compost contribue à réduire la pollution dans l'environnement.

➤ **Types de compost :**

Selon Cédric (2023), il existe plusieurs types de compost, chacun ayant ses propres avantages et inconvénients. Les plus courants sont :

- Compost des déchets verts : c'est le compost le plus courant. Il est fabriqué à partir des déchets des plantes, tels que les feuilles mortes, les tontes de pelouse et les débris de plantes. Il est très riche en nutriments, cependant, il peut prendre un certain temps pour se décomposer complètement. Il faut donc mélanger régulièrement pour accélérer le processus de compostage ;
- Compost de fumier : ce compost est fabriqué à partir des excréments d'animaux, tels que les fumiers de chevaux et de vaches ou la fiente des volailles. Il est très riche en nutriments, cependant, il peut également contenir des parasites et des bactéries dangereuses pour la santé. Il est donc important de le composter correctement avant de l'utiliser ;
- Autre type de compost : compost de papier, le compost de bois et le compost de tourbe...

➤ **Caractéristiques :**

Le compost a la capacité d'améliorer la porosité du sol et il est caractérisé par une bonne capacité de rétention en eau. Selon Tittarelli *et al.* (2007), un apport de compost favorise l'amélioration de la capacité d'échange cationique (CEC) et la perméabilité du sol. Par conséquent, il favorise le développement racinaire des plantes et leur croissance.

D'après Tittarelli *et al.* (2007), le compost a la capacité de libérer immédiatement 10 % à 15 % de son contenu en azote total sous la forme minérale et 30 % à 35 % sont relâchés au cours de la première année. Tandis que pour Al-Bataïna *et al.* (2016), c'est uniquement 1 % à 3 % de l'azote total qui est relâché par an selon l'âge du compost. Sullivan *et al.* (2018) relatent que le pourcentage de l'azote totale disponible pour la plante, au cours de la première année, fluctue en fonction du rapport C/N du compost. Pour les autres éléments majeurs comme le phosphore

et le potassium, Tittarelli *et al.* (2007) révèlent que le compost contient entre 0,6 % à 2 % de phosphore par matière sèche et une faible concentration en potassium.

3.4 Biochar :

Le biochar est un composé de carbone stable produit par le processus de pyrolyse. En raison de son potentiel en tant que stabilisateur de sol agricole, il a fait l'objet de nombreuses études sur la nutrition des plantes (Ghorbani *et al.*, 2022). Ses nombreuses qualités, telles que sa surface spécifique élevée, sa grande porosité et son accessibilité aux nutriments permettent l'amélioration des caractéristiques physicochimiques du sol et l'amélioration de la croissance des plantes, et cela à moindre coût. De plus, la production du biochar permet la gestion des résidus agricoles, réduisant ainsi la pollution de l'air, du sol et des eaux souterraines (Meng *et al.*, 2021).

➤ Caractéristiques :

L'utilisation du biochar peut améliorer les propriétés physiques du sol, comme l'agencement des particules du sol, la porosité et la densité apparente (Wang *et al.*, 2019 ; Ding *et al.*, 2016). Le biochar augmente considérablement la conductivité de l'eau et la capacité de rétention d'eau des sols cultivés (Chang *et al.*, 2021), et il peut augmenter le pH du sol, en particulier dans les sols acides (Shetty et Prakash, 2020). Des études ont également affirmé que le biochar produit par pyrolyse lente augmente la quantité d'eau facilement disponible dans des sols de texture fine ou grossière (Saha *et al.*, 2020).

Le biochar améliore la capacité d'échange cationique du sol et l'absorption des nutriments par les plantes (Abbruzzini *et al.*, 2019), favoriser ainsi la croissance et le rendement des cultures. Les cations basiques présents dans le biochar peuvent former des ponts cationiques avec les particules argileuses et organiques, améliorant ainsi les conditions structurelles du sol (Joseph *et al.*, 2020). Margenot *et al.* (2018) ont démontré que le biochar de bois tendre peut substituer la tourbe, dans les substrats sans sol, à des taux élevés, de l'ordre de 70 % du volume total du substrat, pour la production de plants de soucis.

3.5 Zéolite :

Les zéolites sont des minéraux aluminosilicates et hydratés de type tectosilicates, contenant des éléments alcalins et alcalino-terreux (Rocher, 1995).

➤ **Types de zéolite :**

Selon Rocher (1995,) une cinquantaine d'espèces de zéolite ont été identifiées dans la nature et plus de cent zéolites ont été synthétisées :

- Zéolites naturelles : ces zéolites sont souvent formées, au cours des années, sous forme de cristaux dans de petites cavités de roches basaltiques ou comme des tufs ou des verres volcaniques altérés par l'interaction avec de l'eau salée ;
- Zéolites synthétiques : ces zéolites sont synthétisées par des procédés chimiques, ce qui se traduit par un état plus uniforme et plus pur par rapport aux types naturels (en termes de structures en treillis, de tailles de pores et de cages dans leurs cadres). Les principales matières premières utilisées pour la synthèse des zéolites synthétiques sont des produits chimiques purs riches en silice et en alumine, des minéraux disponibles dans le sol ou des sous-produits des industries (Querol *et al.*, 2006 ; Scott *et al.*, 2001).

➤ **Caractéristiques :**

Selon Rocher (1995), les caractéristiques de la zéolite se traduite par :

- Une grande capacité d'échange cationique, c'est-à-dire une aptitude importante à fixer les substances nutritives des plantes (azote, potassium, ammonium, phosphore, calcium, sodium) et les cations indésirables, notamment les métaux lourds, ce qui réduit leur absorption par les plantes ;
- Un apport nutritif pour les plantes en libérant progressivement, par échanges cationique, les éléments minéraux qu'elle retient dans le sol (efficacité prolongée) ;
- Une meilleure assimilation par les végétaux de certains éléments comme le phosphore ;
- Une amélioration de la structure physique et de l'aération des sols ;
- Une rétention importante de l'eau.

4. Caractéristiques d'un substrat :

4.1 Propriétés chimiques :

➤ **Capacité d'échange cationique (CEC)** exprime la quantité maximale d'éléments nutritifs que peut stocker un sol ou un substrat. Elle s'exprime en milli-équivalent pour 100 g (meq / 100 g) pour les sols et en meq /g pour les substrats (tableau 2).

Selon Lemaire *et al.* (2003), la capacité d'échange cationique est la propriété de certains matériaux solides, utilisés dans la confection des substrats, à posséder des cations adsorbés ou fixés à leur surface. Cette propriété est due à la présence des substances colloïdales minérales ou organiques. Dans les milieux tourbeux, la fixation a pour origine la présence de fonctions acides organiques terminales. L'humification de la tourbe augmente sa CEC. Un substrat à forte CEC perdra peu d'éléments nutritifs par lessivage et les risques de salinité excessive seront également réduits.

Tableau 2 : Exemples de CEC et de pH pour plusieurs ingrédients employés pour la confection de substrats artificiels (Lemaire *et al.*, 2003).

Ingrédients	CEC (meq L ⁻¹)	pH
Tourbe brune	20 à 40	5,0
Ecorces de feuilles compostées	18,4	7,5
Tourbe blonde	11,5	4,5
Perlite grossière	0,6	6,9
Vermiculite grossière	2,7	7,5
Vermiculite fine	Inférieure à 0,2	8,7
Sable	0	6 à 8

➤ **Conductivité électrique** traduit la salinité totale de la solution de sol ou de substrat. Elle est exprimée millisiemens/mètre (mS/m) mais elle peut être indiquée en millisiemens/centimètre (mS/cm) ou en microsiemens/m (µS/m).

➤ **pH** est défini par le logarithme de l'inverse de l'activité des ions H⁺ dans le milieu. La connaissance du pH est utilisée pour la conduite de la fertilisation et la satisfaction des plantes (Lemaire *et al.*, 1989). Le pH idéal pour les substrats est de 5,5 à 6,5.

4.2 Propriétés physiques :

➤ Porosité :

Tous les substrats sont des corps poreux, comportant en leur sein des cavités, des vides dans lesquelles se trouvent des fluides (liquide, gaz). La porosité totale est le rapport de volume des vides existant dans un volume total donné de matériaux, la porosité totale s'exprime en fraction ou en pourcentage du volume total (Blanc, 1987) (tableau 3).

Tableau 3 : Porosité totale de quelques matériaux utilisés dans les substrats (Rivière, 1990).

Matériaux	Porosité en %
Perlite	96,4
Vermiculite	95,4
Laine de roche	95,0
Tourbe blonde	92,0
Tourbe noire	88,0
Sable grossier	88,0
Ecorce	85,0
Pouzzolane	70,0
Terre argileuse	45,0
Gravier	42,2

➤ **Teneur en air :**

La teneur en air d'un substrat est égale à la différence entre la porosité totale et la teneur en eau. Cela signifie que plus un substrat contient d'air, moins il contient d'eau, et inversement (Urban, 1997).

La teneur en eau (% volume) = la porosité totale (% volume) – la teneur en eau (% volume).

Les racines tendent à s'établir dans les zones où la circulation de l'air est plus facile : en générale à la périphérie des substrats (Biran et Eliassaf, 1980 ; Lemaire *et al.*, 1989). Morard (1995) estime que la présence exclusive de racines à la périphérie d'un substrat ou dans sa partie supérieure, est un indicateur de conditions asphyxiantes. Un substrat standard en pépinière doit avoir une teneur en air à pF1 supérieur ou égale à 20 % (Michelot, 2010).

➤ **Teneur en eau :**

L'analyse de rôle d'un corps poreux dans l'alimentation en eau d'un végétal implique de considérer simultanément la quantité d'eau retenue et l'énergie avec laquelle cette eau est retenue (Blanc, 1987). En culture hors sol, on considère habituellement que l'eau disponible est l'eau retenue entre pF = 1 et pF = 2 (Rivière, 1992) :

- pF = 1 : correspond à une pression de succion de 1 KPa (colonne d'eau de 10 cm de hauteur) ;
- pF = 2 : correspond à une pression de succion de 10 KPa, correspondant à une colonne d'eau de 100 cm.

Un substrat standard en pépinière doit avoir une disponibilité en eau supérieur ou égale à 25 % (Michelot, 2010).

➤ **Masse volumique :**

La masse volumique apparente est la masse de l'unité de volume totale de matériau. La masse volumique réelle ou masse volumique de solide est la masse de l'unité de volume réelle

La masse volumique réelle est strictement spécifique de chaque échantillon de substrat, et la masse volumique apparente peut varier comme le volume apparent sous forme de tassement de matériau et l'humidité (Blanc, 1987).

5. Intérêts agronomiques et économiques des substrats :

Le système de culture sur substrat est une alternative intéressante pour l'agriculture car le substrat joue un rôle clé dans :

- l'augmentation de l'efficacité des pépinières et de la rentabilité de la culture ;
- la réduction de l'utilisation d'engrais et des coûts de production ;
- la réduction de la dégradation des sols.

La production hors-sol de certaines cultures dans des substrats avec de la tourbe ou de la fibre de coco associés à un système d'arrosage goutte-à-goutte peuvent être très économes en eau. Exemple : Pour 1 kg de tomates produites en champs, on utilise environ 60 litres d'eau. Dans une serre, la consommation moyenne se limite à environ 15 litres d'eau pour des rendements jusqu'à 5 fois supérieurs (Agri-City, 2022).

La culture hors sol favorise la précocité d'une culture. En effet, celle-ci est due à un effet de température qui permet un réchauffement plus rapide du substrat par rapport au sol en place. Cette élévation de température permet un meilleur fonctionnement du système racinaire et un produit de meilleure qualité (Morard, 1995).

Chapitre II :
Généralités sur des
espèces végétales

2. Olivier :

L'olivier est un arbre se localise essentiellement dans toutes les régions qui bordent la méditerranée (Tissot, 1937). Il se caractérise par un fruit, l'olive, dont l'huile est un composant essentiel du régime méditerranéen (Ghedira, 2008). L'arbre a une grande importance nutritionnelle, sociale, culturelle et économique sur les populations de cette région où il est largement distribué (Claridge et Walton, 1992).

1.2. Classification botanique :

Selon Cronquist (1981), l'olivier (Figure 1) appartient à la famille des Oléacées et le genre *Olea* (tableau 4).

Tableau 4 : Classification botanique de l'olivier selon Cronquist (1981).

Règne	<i>Plantae</i>
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Scrophulariales
Famille	Oleaceae
Genre	<i>Olea</i>
Espèce	<i>Olea europaea</i>



Figure 1 : Feuilles et fruit de l'olivier (*Olea europaea*).

1.2 Caractéristique morphologique :

Selon Argenson *et al.* (1999), l'olivier présente une cime arrondie avec des rameaux étalés très nombreux, enchevêtrés les uns dans les autres, plus ou moins épineux ou inermes.

➤ Système racinaire :

Selon Loussert et Brousse (1978), le développement du système racinaire de l'arbre dépend surtout des caractéristiques physico-chimiques du sol. En effet, l'olivier adapte son système racinaire à la profondeur du sol, suivant sa texture et sa structure.

➤ Feuilles :

Elles sont épaisses, lancéolées, simples, opposées et de couleur verte. Leur taille varie de 3 à 5 cm de long sur 1 à 1,5 cm de large (Bartolozzi et Fontanazza, 1999).

➤ Fleurs :

Elles sont petites, ovales, blanches et odorantes. Elles sont disposées en grappes dressées (en moyenne de 10 à 40), à l'aisselle des feuilles (Fabbri et Benelli, 2000).

➤ Fruit :

L'olive est une drupe charnue, ovoïde, verte au début puis devient noire à maturité complète (Terral *et al.*, 1996). Le fruit est composé de trois éléments (Rotondi *et al.*, 2003 ; Lumaret *et al.*, 2004).

- L'épicarpe (peau) recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau (la pruine). Le changement de couleur est dû à une oxydation effectuée par des phénols ;
- Le mésocarpe (pulpe) charnue et riche en matière grasse stockée durant la lipogenèse. Le mésocarpe est constitué d'huile (22 %), de l'eau (50 %), de protéines (1,6 %), de glucides (19,1 %), de la cellulose (5,8 %) et des minéraux (1,5 %) ;
- Le noyau (endocarpe) dur, osseux, formé d'une enveloppe et contient une amande avec deux ovaires.

1.4 Exigences pédoclimatiques :

1.4.1 Exigences climatiques :

➤ **Température :**

L'olivier est un arbre des pays à climat méditerranéen où les températures varient entre 16 °C et 22 °C (moyenne annuelle des températures). Il aime la lumière et la chaleur, supporte très bien les fortes températures, même en atmosphère sèche, et ne craint pas les insolation. Par contre, il craint le froid. Les températures négatives peuvent être dangereuses particulièrement si elles se produisent au moment de la floraison (Hannachi *et al.*, 2007).

En repos végétatif hivernal, l'olivier résiste jusqu'à -8 °C à -10 °C ; toutefois, les dégâts peuvent être très importants pour les basses températures (-1 °C à 0 °C) pendant la floraison. La croissance végétative s'arrête à 40 °C, l'appareil foliacé peut être brûlé et les fruits peuvent chuter (tableau 5), surtout si l'irrigation est insuffisante.

Tableau 5 : Critères thermiques pour l'olivier (Sebei, 2007).

Stade de développement	Températures (°C)
Repos végétatif hivernal	10 à 12
Réveil printanier	-5 à -7
Zéro végétation	9 à 10
Développement des bourgeons	14 à 15
Inflorescences	18 à 19
Floraison	21 à 22
Fécondation	35 à 38
Arrêt de végétation	> 40
Risques de brûlure	10 à 12

➤ **Pluviométrie :**

Les précipitations doivent être supérieures à 400 mm, bien distribuée pour qu'il n'y ait pas de périodes de sécheresse supérieures à 30 - 45 jours, ni d'inondations prolongées (Kattar *et al.*, 2001). A moins de 350 mm de pluie, la culture sans irrigation ne peut être

économiquement rentable. En intensif, l'irrigation doit être obligatoire et permanente (ITAFV, 2004).

➤ **Lumière :**

Une bonne exposition de l'olivier au soleil donne de meilleurs rendements. Par ailleurs, les coteaux bien exposés au soleil (versant sud) présentent un meilleur développement (Daoudi, 1994).

➤ **Vent :**

Le vent joue un rôle primordial dans la pollinisation et la production de fruits (Loussert et Brousse, 1978). L'olivier craint les vents chauds qui peuvent causer des brûlures sur les arbres et le dessèchement des stigmates au moment de la floraison, ce qui engendrerait la destruction de la récolte (Walali *et al.*, 2003).

1.3.2 Exigences pédologiques :

Le sol doit être profond, perméable, bien équilibré en éléments fins (50 % d'argile + limons) et en éléments grossiers (50 % sables moyens et grossiers) (tableau 6). Le pH peut aller jusqu'à 8 à 8,5 avec, cependant, des risques d'induction de carence en fer et en magnésie (cas de sols trop calcaires) (Boulouha *et al.*, 2006).

Tableau 6 : Caractéristiques d'un sol jugé adéquat pour l'oléiculture (COI, 2007).

Texture	Sable 20-75%
	Limon 5-35%
	Argile 5-35%
Structure	Friable
Capacité de rétention d'eau	30-60%
Perméabilité	10-100 mm/h
pH	7-8
Matière Organique	>1 %
Azote	> 0,1%
Phosphore disponible (P ₂ O ₅)	5- 35 ppm
Potassium Echangeable	50 -150 ppm
Calcium Echangeable	1650 - 5000 ppm

2. Figuier :

Le figuier (Figure 2), tout comme l'olivier et la vigne, sont des arbres méditerranéens par excellence. Leur expansion et leur renommée vont de pair avec les civilisations qui ont marqué les rivages de la méditerranée (Grimal, 1980 ; Amouretti et comet, 1985). Ainsi, la civilisation grecque est symbolisée par l'olivier, la civilisation romaine par la vigne et la civilisation africaine par le figuier.

2.1 Classification botanique :

Selon Gaussen *et al.* (1982), le figuier appartient à la famille des Moracées (tableau 7).

Tableau 7 : Classification botanique de figuier selon Gaussen *et al.* (1982).

Règne	Végétal
Embranchement	Phanérogames
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Ordre	Urticales
Famille	Moracées
Genre	<i>Ficus</i>
Espèce	<i>Ficus carica</i> L.



Figure 2 : Feuilles et fruit du figuier (*Ficus carica* L.)

2.2 Exigences pédoclimatiques :**2.2.1 Exigences climatiques :****➤ Température :**

Le figuier est un arbre qui s'adapte aux climats chauds, il tolère les basses températures d'hiver et exige des températures élevées pour la maturation et le séchage naturel des fruits. La culture du figuier est à privilégier dans des régions à faible hygrométrie, avec un fort ensoleillement et des étés chauds et secs. Les températures de 32 °C à 37 °C sont très favorables au développement et la maturité des fruits et l'arbre adulte peut résister jusqu'à -12°C (Oukabli et Mamouni, 2008).

➤ Pluviométrie :

Le figuier résiste bien à la sécheresse ; ses besoins théoriques en eau sont de 600 à 700 mm annuels (Bretaud et Faure, 1990).

➤ Vent :

Selon Vidaud (1997), le figuier a moins de prise au vent que sur un bon nombre d'autres espèces fruitières. Il ne provoque pas de chute de fruits, mais par contre il peut, selon sa violence, provoquer des dégâts directs sur les feuilles ou indirectement sur les fruits (par frottement des fruits contre d'autres rameaux que ceux qui les portent).

2.2.2 Exigences pédologiques :

Selon Vidaud (1997), le figuier peut survivre et se développer dans tous les types de sol, dans des sols pauvres, voire même très pauvres, mais il se développe rapidement et produit abondamment dans des sols riches, souples, voire même à tendance asphyxiante. Il est reconnu qu'elle pousse le mieux dans les sols riches, calcaires et suffisamment frais.

Le figuier préfère les terrains légers dans lesquels l'eau s'infiltré facilement. La nature siliceuse ou calcaire du terrain semble peu importer. Sinon, on le trouve dans tous les sols : argileux, siliceux, crayeux, humides à l'excès, mais non marécageux ; il est parfois donné comme étant le plus robuste de tous les arbres fruitiers. Le figuier se développe sur les sols lourds argileux et aussi sur les plus légers comme les sols sableux, mais préfère les sols limono-argileux (Roger, 2002).

3. Vigne :

La Vigne (Figure 3) est un végétal très anciennement cultivé qui caractérise particulièrement bien certains paysages. De nombreux noms de lieux : Vignes, Viévine (vieille vigne), Vigneux, Vignieu, Vignier, Vignol, évoquent sa présence (Coutin, 2002). Elle est cultivée depuis 4 000 à 5 000 ans dans de nombreux pays à climat tempéré, méditerranéen ou même tropical (Fournier, 2014).

3.1 Classification botanique :

Selon Cronquist (1981), la vigne appartient à la famille des Vitacées (tableau 8).

Tableau 8 : Classification botanique de la vigne selon Cronquist (1981).

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<u>Tracheobionta</u>
Division	<u>Magnoliophyta</u>
Classe	<u>Magnoliopsida</u>
Sous-classe	<u>Rosidae</u>
Ordre	<u>Rhamnales</u>
Famille	<u>Vitaceae</u>
Sous-famille	<u>Vitoideae</u>
Genre	<i>Vitis</i>
Espèce	<i>Vitis vinifera</i> L.



Figure 3 : Feuilles et fruits de la vigne (*Vitis vinifera* L.)

3.2 Exigences pédoclimatiques :

3.2.1 Exigences climatiques :

➤ **Température :**

La température joue un rôle primordial. En effet, le développement optimal de la vigne est limité par des seuils thermiques aux différents stades du cycle végétatif, notamment d'avril à septembre quand la vigne est en activité. Les deux seuils thermiques sont : le seuil des températures inférieur à $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ au moment du débourrement, et le seuil des températures estivales supérieur à $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. De longues périodes de températures supérieures à $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ sont défavorables à la bonne maturité des baies qui s'assèchent sous l'effet de cumuls thermiques trop élevés (Briche, 2011).

➤ **Pluviométrie :**

La pluviométrie intervient pour beaucoup dans l'aptitude d'une région à produire du raisin. Les besoins en eau ne sont pas très élevés, de l'ordre de 600 à 700 mm par an, en climat méditerranéen. Le manque d'eau peut parfois être comblé par l'usage de l'irrigation, mais l'excès de pluviométrie, favorable au développement de maladies cryptogamiques et défavorable à la maturation, est plus délicat à gérer (Fournier, 2014).

3.2.2 Exigences pédologiques :

La vigne est une plante assez tolérante, s'accommodant de sols aussi bien alcalins (sols calcaires avec pH jusqu'à 8.5) qu'acide (jusqu'à pH 5.5). Cependant, des sols très acides (pH inférieur à 4) peuvent induire des carences en bore et manganèse. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'apporter des amendements calcaires (Fournier, 2014).

Le sol de plantation d'un vignoble doit être suffisamment poreux, bien structure et humide, avec une faible résistance mécanique à la pénétration, une bonne aération et une réserve en eau suffisant pour permettre aux racines de se développer rapidement et en profondeur.

Le système racinaire se développe autant mieux que le sol est humide et faiblement résistant et que l'eau est disponible. La croissance de la vigne, tant des parties aériennes que du système racinaire, est donc liée aussi bien à la quantité d'eau disponible qu'à la teneur en eau du sol. L'élongation racinaire implique une acidification (pH < 5 à 4,5) de la rhizosphère. En milieu calcaire et alcalin, la croissance de système racinaire et la nutrition en fer de la vigne sont alors limitées ou perturbées.

10. Grenadier :

Le grenadier (Figure 4) est parmi les espèces fruitières les plus anciennes au monde. On le cultivait déjà comme arbre fruitier dans la plus haute antiquité (Evreinoff, 1949). Il est connu pour la première fois dans l'ancienne Perce. Cet arbre est très adapté au climat méditerranéen et aux zones arides (Salaheddin et Kader, 1984).

4.1 Classification botanique :

Le grenadier, *Punica granatum*, appartient à la famille des Punicaceae (tableau 9). Il a été décrit par Linné et introduit dans sa classification en 1753.

Tableau 9 : Classification botanique du grenadier selon Linné (1753).

Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Myrtales
Famille	Punicaceae
Genre	<i>Punica</i>
Espèce	<i>Punica granatum</i>

**Figure 4** : Feuilles et fruits du grenadier (*Punica granatum*).

4.2 Exigences pédoclimatiques :

4.2.1 Exigences climatiques :

➤ Température :

Le climat austral subtropical, même tropical, convient aux grenadiers. Les meilleurs fruits sont obtenus dans les régions subtropicales où la période des températures élevées correspond avec l'époque de la maturité des grenades. Cependant, en dehors des régions subtropicales, le grenadier peut très bien réussir et pousse fort bien dans tous les pays et régions où la température ne baisse pas au-dessous de -15°C (Evreinoff, 1949).

➤ **Pluviométrie :**

Le grenadier supporte très bien la sécheresse, mais cela compromet la qualité de ses fruits. Un climat chaud et sec sera bon pour le grenadier à condition que ses racines ne manquent pas d'eau (Afaq *et al.*, 2005).

4.2.2 Exigences pédologiques

Le Grenadier n'est pas exigeant pour le sol. Néanmoins, il donne les meilleurs résultats dans un terrain profond et gras ; les terres d'alluvions lui conviennent mieux. Les terrains alcalins lui sont favorables (Evreinoff, 1949).

11. Rosier :

Le rosier est la première espèce d'ornement par ordre d'importance économique. Son aire d'extension culturelle concerne tous les continents, presque tous les pays du monde et couvre au total environ 5 500 ha de culture intensive uniquement pour la fleur coupée. Le fait que le rosier soit utilisé, cultivé et choyé depuis des temps immémoriaux à des fins décoratives démontre que les fleurs, et en particulier les roses, participent à la satisfaction de besoins esthétiques de l'homme (Figure 5), qui sont aussi vitaux que ses besoins alimentaires. Cet usage ancestral des roses confère à cette espèce une forte charge affective et symbolique (Meynet, 2001).

5.1 Classification botanique :

Selon Cronquist (1981), le rosier appartient à la famille des Rosacées et le genre *Rosa* (tableau 10).

Tableau 10 : Classification botanique des rosiers selon Cronquist (1981).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Rosales
Famille	Rosaceae
Genre	<i>Rosa</i>



Figure 5 : Culture de rosier (*Rosa sp.*) dans les espaces publics.

➤ **Emplacement**

Les rosiers poussent bien dans des sites recevant au minimum six heures d'ensoleillement par jour. Certains types de rosiers arbustes s'adaptent à une exposition semi-ombragée (quatre heures de soleil) comme les alba et les hybrides de *Rosa moschata* (type couvre-sol). L'emplacement choisi doit également être bien aéré pour prévenir les maladies fongiques et être protégé des vents froids et desséchants.

➤ **Sol :**

La plupart des rosiers préfèrent les sols profonds, riches en matière organique et légèrement argileux. Les hybrides de *Rosa rugosa* et de *R. spinosissima* poussent bien en sol plutôt sablonneux. Un pH autour de 6,5 à 7 favorise l'assimilation des minéraux. Le sol doit bien se drainer, mais aussi conserver une bonne humidité car la majorité des rosiers supportent mal la sécheresse.

12. Bigaradier :

Le bigaradier (Figure 6), *Citrus aurantium*, appartient à la famille des Rutacées ou Aurantiacées. Regroupant près de 2000 espèces et 150 genres, cette famille se subdivise en 7 sous-familles dont les plus importantes sont les Rutoidées et les Aurantioidées (Hadrich et al., 2008).

6.1 Classification botanique :

Selon (Hadrich et *al.*, 2008), le bigaradier appartient au genre *Citrus* (tableau 11).

Tableau 11 : Classification botanique de bigaradier (Hadrich et *al.*, 2008).

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Sapindales
Famille	Rutaceae
Genre	<i>Citrus</i>
Espèce	<i>Citrus aurantium</i>



Figure 6 : Feuilles et fruits du bigaradier (*Citrus aurantium*).

6.2 Sol :

Le bigaradier n'est pas exigeant. Il pousse sur les sols moyennement acides à calcaires, mais a besoin d'une terre drainante et plutôt riche en matière organique (Isabelle, 2021).

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

Notre étude consiste à formuler des substrats d'enracinement, de les caractériser puis de tester leurs performances en pépinière en mettant en place un essai sur le terrain. Les qualités physico-chimiques des substrats sont étudiées aux laboratoires et la qualité biologique est vérifiée par un essai en pépinière.

Notre travail est réalisé au laboratoire de « Physiologie végétale » du Département des Sciences Agronomiques et au laboratoire de recherche « Sol – Environnement » de l'université de Tizi Ouzou. L'essai est réalisé à la pépinière de Tadmaït, appartenant à l'Entreprise Régionale du Génie Rural de Djurdjura de Tizi-Ouzou (E.R.G.R.), située au bord de la RN 12. L'E.R.G.R. est une entreprise publique économique, société par action. Elle exploite une surface forestière de 170 ha et dispose de deux pépinières : Tadmaït et Cap Djinet qui fournissent des plants destinés aux travaux forestiers, aux aménagements ruraux et urbains (espaces verts, reboisements...) et à la vente (plants maraîchers, fruitiers et ornementales). Elle intervient sur trois wilayas (Tizi-Ouzou, Béjaïa, Boumerdès). L'E.R.G.R. constitue le corps exécutif des grands projets du ministère de l'agriculture.

La pépinière de Tademaït est distante de 18 Km du chef-lieu de la wilaya de Tizi Ouzou et 85 km à l'Est d'Alger. Elle est délimitée par la wilaya de Boumerdès au Nord-Ouest et par la commune de Sidi Namane au Nord-est, la commune de Draa Ben Kedda à l'Est et Aït Yahia Moussa au Sud. Elle s'étend sur une superficie de 93,60 ha, intégrée dans le bassin versant de Tizi Ouzou. La pépinière de Tademaït est située à une latitude de 36.73914000, longitude de 3.90167600 en décimale, en Degrés, Minutes et en Seconds latitude 36° 44' 20.90" nord longitude 3° 54' 6.03" Est (<http://www.longitude-latitude-maps.com/>).

III. Formulation des substrats d'enracinement et leur caractérisation :

1. Composants de base des substrats formulés :

Les matériaux de base utilisés pour la formulation des substrats sont :

- Le biochar obtenue par la pyrolyse des branches d'arbre de la pépinière ;
- La zéolite naturelle extraite d'un gisement de Tinibder, à Bejaïa ;
- Le compost obtenu par le compostage de fumier de ferme, de débris végétaux et de grignons d'olives ;
- Le substrat de la pépinière constitué de la terre mélangé à du fumier.

Pour le biochar, nous avons obtenus quatre types en réalisant un test de granulométrie. Ce test consiste à faire passer de biochar à travers des plusieurs tamis de différents diamètres (tamis 5 mm-3 mm-2 mm) pour séparer les particules de différentes tailles du biochar. Ce test permet de déterminer le pourcentage de chaque fraction du biochar. Les biochars utilisés sont :

Matériel et méthodes

- Biochar bois dur [5-3mm] ;
- Biochar olivier [3- 2 mm] ;
- Biochar olivier [5-3 mm] ;
- Biochar 60 % bois dur [5-3mm] + 40 % l'olivier [5-3mm].

2. Test de phytotoxicité de biochar :

Avant de confectionner les mélanges, un test de phytotoxicité des quatre types de biochar est mis en place au laboratoire, en utilisant des graines de laitue. Ces graines sont préalablement testées pour vérifier leur qualité germinative.

Les tests de phytotoxicité de la zéolite et du compost sont déjà réalisés par des travaux ultérieurs

2.1. Test de germination de graines de laitue :

Ce test permet de vérifier la qualité des graines en déterminant le taux de germination qui représente le taux de viabilité des graines.

Dans trois boîtes de Pétri, nous mettons de coton humidifié ; ensuite, nous semons 10 graines par boîte (figure 7), en prenant soin de les espacer pour éviter leur enchevêtrement ; nous couvrons les graines avec une couche fine de coton humide. Nous plaçons les boîtes de Pétri dans une étuve à 25 °C, pendant 6 jours.

Nous nous assurons régulièrement que le coton reste humide tout au long de cet essai.



Figure 7 : test de germination des graines de laitue dans des boîtes de Pétri.

Nous considérons que la graine a germé lorsque que la radicule apparait.

2.2. Test de phytotoxicité du biochar :

Le test de phytotoxicité est réalisé sur les quatre types de biochar. Deux tests sont réalisés en parallèle, un à l'air libre et l'autre dans un milieu confiné pour vérifier s'il y a dégagement de gazes toxiques lors de la décomposition de biochar.

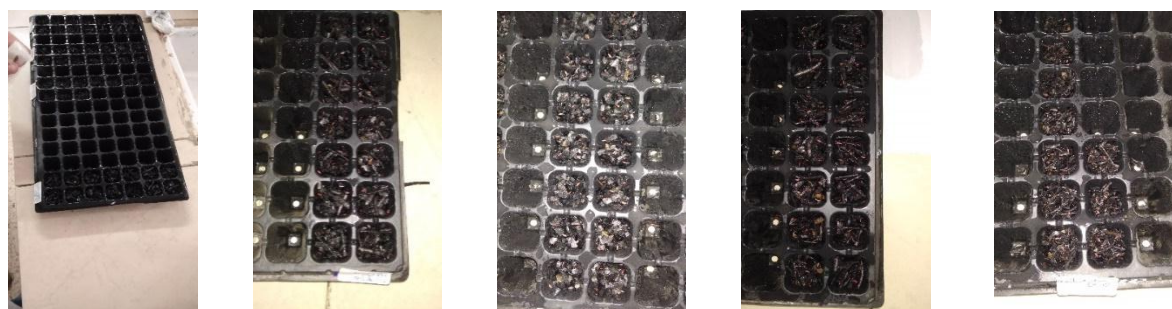
- A l'air libre :

Dans une plaque alvéolée, nous remplissons (figure 8) :

- 14 alvéoles avec le mélange 60 % biochar de bois dur [5-3 mm] et 40% de biochar d'olivier [5-3 mm] ;
- 14 alvéoles avec du biochar de bois dur de diamètre entre 5-3 mm ;
- 14 alvéoles avec du biochar d'olivier de diamètre entre 5-3 mm ;
- 14 alvéoles avec du biochar d'olivier de diamètre entre 3-2 mm.

Nous semons les graines de laitue dans chaque alvéole, à raison de 5 graines par alvéole, et nous arrosons, par aspersion, jusqu'au début de la sortie d'eau du fond des alvéoles. Nous plaçons la plaque alvéolée sur une paillasse du laboratoire, à l'air libre. Pendant 10 jours, nous arrosons régulièrement et nous suivons la germination des graines.

Nous considérons que la graine a germé lorsque que la radicule apparait.



Plaque alvéolée bois dur et olivier bois dur bois olivier [5-3] bois olivier [3-2mm]

Figure 8 : test de phytotoxicité des quatre types de biochar à l'air libre, dans des plaques alvéolées.

Matériel et méthodes

- En milieu confiné :

Dans un bocal en verre transparent (figure 9), nous mettons le mélange (60 % de biochar de bois dure [3-5 mm] et 40 % de biochar de bois d'olivier [5-3 mm]) jusqu'à couvrir le fond du bocal. Nous arrosons bien le biochar avant de semer 20 graines de laitue par-dessus, puis nous refermons le bocal et le laissons au laboratoire, à l'air libre. Nous suivons la germination des graines pendant 10 jours en prenant soin de bien arroser régulièrement.



Figure 9 : test de phytotoxicité du biochar en milieu confiné, dans un bocal en verre fermé.

3. Formulation des substrats :

Les substrats, au nombre de treize (13), ont été confectionnés à base des matériaux cités ci-dessus, mélangés à différents pourcentages (tableau 12) déterminés en fonction de travaux bibliographiques (Huang et Gu 2019, Mackenson 2022). Le biochar utilisé dans nos substrats est celui de bois dur [5-3mm] choisi d'après les résultats du test de phytotoxicité. Les substrats formulés sont :

- **Mélanges de biochar et de compost :**

Substrat 1 S1 : 0 % biochar + 100 % compost;

Substrat 2 S2 : 5 % biochar + 95 % compost;

Substrat 3 S3 : 15 % biochar + 85 % compost;

Substrat 4 S4 : 25 % biochar + 75 % compost;

- **Mélanges de zéolite et de compost :**

Substrat 5 S5 : 100 % zéolite + 0 % compost;

Substrat 6 S6 : 25 % zéolite + 75 % compost;

Substrat 7 S7 : 50 % zéolite + 50 % compost;

Substrat 8 S8 : 75 % zéolite + 25 % compost;

Matériel et méthodes

- **Mélange de zéolite et de mélange 1 (85 % [50 % compost + 50 % terre] + 15 % biochar) :**

Substrat 9 S9 : 50 % zéolite + 50 % mélange;

Substrat 10 S10 : 34 % zéolite + 66 % mélange;

Substrat 11 S11 : 25 % zéolite + 75 % mélange;

- **Mélange de zéolite et de mélange 2 (80 % [65 % compost + 35 % terre] + 20 % biochar) :**

Substrat 12 S12 : 50 % zéolite + 50 % mélange 2;

- **Mélange de zéolite et de mélange 3 (75 % [65 % compost + 35 % terre] + 25 % biochar) :**

Substrat 13 S13 : 50 % zéolite + 50 % mélange 3;

Tableau 12 : composition de différents substrats confectionnés et le volume des mélanges.

Mélanges B + C			Mélanges Z + C			Mélanges Z + M1			Mélanges Z + M2			Mélanges Z + M3		
S	VB	VC	S	VZ	VC	S	VM	VZ	S	VM	VZ	S	VM	VZ
S1	0	1	S5	1	0	S9	1	1	S12	1	1	S13	1	1
S2	1	19	S6	1	3	S10	2	1						
S3	3	17	S7	1	1	S11	3	1						
S4			S8	3	1									

S : substrat / B : biochar / C : compost / M : mélange / T : terre / V : volume / Z : zéolite. M1 : mélange 1 / M2 : mélange 2 / M3 : mélange 3.

4. Caractéristiques des substrats formulés :

Les paramètres des substrats étudiés sont les suivants : la densité apparente humide et sèche, pH, la conductivité électrique. En plus de ces substrats, nous avons étudié la terre de la pépinière et le substrat (mélange terre + fumier) qu'utilise la pépinière pour l'enracinement des boutures.

Matériel et méthodes

4.1 Densité apparente humide et sèche :

Nous prenons un volume de 100 ml de chaque composant de base des substrats (biochar bois dur, zéolite, compost, substrat de la pépinière) et de chaque substrat formulé que nous pesons à l'aide d'une balance KERN (densité apparente humide). Nous mettons ensuite les échantillons dans l'étuve MEMMERT (figure 10), à 105 °C, pendant 7 jours, en vérifiant les poids chaque 24 heures et jusqu'à la stabilité des poids des échantillons (densité apparente sèche).

La densité apparente humide et sèche est exprimée par la formule suivante :

$$DA = Mc / V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Avec DA = densité apparente, Mc = masse de l'échantillon en g, V = volume cm³.



Figure 10 : composants de base et mélange des substrats dans l'étuve à 105 °C.

4.2 pH :

La détermination de pH des composants de base et des substrats formulés s'effectue selon les étapes suivantes :

- préparer des solutions contenant 1 volume de substrat ou de composant de base pour 2,5 volumes d'eau déminéralisé et mettre dans des flacons fermés. Chaque échantillon est répété 3 fois ;
- agiter les échantillons pendant 2 heures avec l'agitateur DAIHAN SCIENTIFIC (figure 11), et laisser reposer une heure ;
- mesurer le pH à l'aide d'un pH-mètre OHAUS (figure 12). Le pH de chaque composant de base et des substrats est déterminé par la moyenne des 3 répétitions.



Figure 11 : agitation des échantillons avec l'agitateur électrique.



Figure 12 : mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre.

4.3 La conductivité électrique :

La détermination de la conductivité électrique est réalisée sur les composants de base et les substrats formulés, selon les étapes suivantes :

- préparer des solutions contenant 1 volume de substrat ou de composant de base pour 5 volumes d'eau déminéralisé et mettre dans des flacons fermés (figure 13). Chaque échantillon est répété 3 fois ;
- agiter les échantillons pendant 2 heures avec l'agitateur et laisser reposer une heure ;
- mesurer la conductivité électrique (CE) à l'aide d'un conductimètre BOECO Germany (figure 14). La CE de chaque composant de base et des substrats est déterminé par la moyenne des X répétitions.



Figure 13 : flacons fermés contenant les échantillons préparés pour la mesure de la conductivité électrique.



Figure 14 : mesure de la conductivité électrique à l'aide d'un conductimètre.

II. Essai sur terrain

L'objectif de l'essai en serre est de vérifier la performance des substrats formulés dans l'enracinement des boutures de quelques plants de pépinière et de déterminer les substrats adaptés à chaque espèce végétale.

1. Dispositif culturel :

1.1. Substrats utilisés :

Pour l'essai, les substrats utilisés (figure 15) sont choisis selon les résultats de la caractérisation aux laboratoires. Il s'agit des substrats :

Substrat	Mélange
S1	C75 % + Z25 %
S2	C95 % + B5 %
S3	C85 % + B15 %
S4	C75 % + B25 %
T	Terre + fumier

C : compost /Z : zéolite /B : biochar /T : terre +fumier)



Substrat 1



Substrat 2



Substrat 3



Substrat 4

Figure 15 : substrats utilisés dans l'essai sur le terrain.

1.2. Plants utilisés

Les plants utilisés pour l'essai sur l'enracinement sont choisis par la pépinière en fonction de leur intérêt commercial. Il s'agit de : rosier, bigaradier, olivier, figuier, vigne et grenadier.

Les boutures utilisées présentent des caractéristiques bien précises :

➤ **Pour olivier, grenadier et rosier :**

Bouture de [15-20] cm, prélevée sur des pousses semi-ligneuses ;

➤ **Pour vigne et figuier :**

Bouture de [20-25] cm, prélevée sur la tige de l'année précédente ;

➤ **Pour bigaradier :**

Graines récoltées

➤ **Caractéristiques communes des boutures (figure 16) :**

- Prélevées sur des tiges saines et vigoureuses ;
- Coupe en biais, à l'aide d'un sécateur, sous les nœuds ;
- Coupe en angle de 45° de côté opposé du dernier bourgeon.

Matériel et méthodes



Figure 16 : boutures utilisées dans notre essai.

Le bout des boutures prélevées est trempé dans l'eau pendant 1 heure puis dans une poudre d'auxine (figure 17) avant la mise en substrat dans des sachets de 1 litre. Les sachets sont ensuite disposés aléatoirement dans une serre en plastique (figure 18), en utilisant la fonction alea de l'EXCEL. Les boutures sont arrosées avec l'eau de la pépinière, par nébulisation, à raison de 2 arrosages/jour, et la serre est aérée au cours de la journée et fermée au cours de la nuit. L'essai a duré 75 jours.



Figure 17 : bouture de figuier trempée dans une poudre d'auxine puis mise en substrat.



Figure 18 : boutures plantées dans des sacs en plastique d'un litre et placées sous serre

2. Dispositif expérimental :

- Dispositif : complètement aléatoire ;
- 2 facteurs : substrat et espèce végétale ;
- 5 modalités du substrat : S1, S2, S3, S4 et Témoin (Terre de la pépinière) ;
- 6 modalités de l'espèce végétale : Vigne, figuier, rosier, grenadier, olivier, bigaradier ;

Matériel et méthodes

- Traitements : 30 traitements au total ;
- Répétition pour chaque traitement : 10 par traitement ;
- Nombre de plants au total : 300 plants.

3. Paramètres étudiés :

Les mesures sur les boutures sont réalisées une fois par semaine. Il s'agit de :

- Nombre de bourgeons débouffés ;
- Longueur des ramifications ;
- Longueur de la plus grande racine ;
- Pourcentage des plants enracinés par espèce et par substrat.

Résultats et discussion

Résultats et discussion

I. Formulation des substrats d'enracinement :

1. Test de phytotoxicité du biochar :

1.1 Test de germination des graines de laitue

Sur les 30 graines de laitue qu'on a semées dans les 3 boîtes de Pétri, 29 graines ont germé au bout de 6 jours (tableau 13, figure 19), donnant un taux de germination de 96,66 % : les graines sont donc saines et ont un bon pouvoir germinatif.

Tableau 13 : résultats du test de germination des graines de laitue

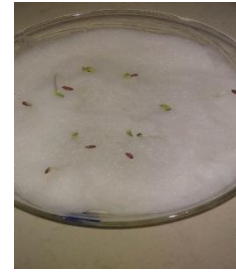
Jours	Boîtes de Pétri	Nombre de graines germées	Nombre de graines non germées
Jour 4	Boîte 1	8	2
	Boîte 2	8	2
	Boîte 3	9	1
Jour 5	Boîte 1	8	2
	Boîte 2	9	1
	Boîte 3	10	0
Jour 6	Boîte 1	9	1
	Boîte 2	10	0
	Boîte 3	10	0



Boîte 1



Boîte 2



Boîte 3

Figure 19 : Germination des graines de laitue au bout de 6 jours.

Résultats et discussion

1.2 Test de phytotoxicité du biochar :

A. A l'air libre :

Le taux de germination, la vitesse de croissance et la taille des pousses des graines semées dans le biochar du bois dur sont plus importants par rapport aux autres types de biochar (tableau 14, figure 20).

Tableau 14 : pourcentage de germination des graines de laitue dans les 4 types de biochar et à l'air libre :

Type de biochar Jour	Mélange biochar 60% bois dur + 40% biochar olivier) %	Biochar olivier [3-2mm] %	Biochar bois dur [5-3mm] %	Biochar olivier [5-3mm] %
Jour 6	88,51	86	94,28	75,71
Jour 7	88,51	86	94,28	75,71
Jour 8	92,85	86	94,28	77,14
Jour 9	98,57	96	95,7	84,28
Jour 10	98,57	96	95,7	84,28



Figure 20 : plantules de laitue cultivées dans les quatre types de biochar, après 10 jours du semis.

B. En milieu confiné :

Sur les 20 graines de laitue semées dans le bocal en verre contenant un mélange de biochar de bois dur et de biochar de bois d'olivier, 12 graines ont germé (figure 21).



Figure 21 : germination des graines de laitue en milieu confiné, au bout de 10 jours du semis.

Résultats et discussion

2. Caractéristiques des substrats formulés :

2.1 Densités apparentes, humide et sèche :

• Les résultats de la densité apparente humide des matériaux de base et des substrats formulés sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15 : densité apparente humide des matériaux de base et des substrats formulés.

Substrats	Densité humide g.cm ⁻³	Substrats	Densité humide g.cm ⁻³
Terre + fumier	0,86	C25%+Z75%	0,933
Terre	1,114	C75%+Z25%	0,785
Zéolite	0,931	M ₁ 50%+Z50%	0,899
Compost	0,687	M ₁ 75%+Z25%	0,904
C95%+ B5%	0,671	M ₁ 66%+Z34%	0,922
C75%+B25%	0,544	M ₂ 50%+Z50%	0,837
C85%+B15%	0,597	M ₃ 50%+Z50%	0,89
C50%+Z50%	0,857		

C : compost / B : biochar / Z : zéolite / M₁ : mélange 1 / M₂ : mélange 2 / M₃ : mélange 3

Les deux substrats (C75%+B25%) et (C85%+B15%) présentent les densités humides les plus faibles, de l'ordre de 0,544 g.cm⁻³ et 0,597 g.cm⁻³ respectivement. La densité humide la plus élevée correspond à celle de la terre de la pépinière, de l'ordre de 1,114 g.cm⁻³. Les autres composants de base et substrats ont des densités comprises entre 0,785 g.cm⁻³ et 0,933 g.cm⁻³.

• Les résultats de la densité apparente sèche des matériaux de base et des substrats formulés sont présentés dans le tableau 16.

Résultats et discussion

Tableau 16 : densité apparente sèche des matériaux de base et des substrats formulés.

Substrats	Densité sèche g.cm ⁻³	Substrats	Densité sèche g.cm ⁻³
Terre + fumier	0,777	C25%+Z75%	0,86
Terre	0,91	C75%+Z25%	0,682
Zéolite	0,77	M ₁ 50%+Z50%	0,837
Compost	0,49	M ₁ 75%+Z25%	0,836
C95%+ B5%	0,552	M ₁ 66%+Z34%	0,851
C75%+B25%	0,439	M ₂ 50%+Z50%	0,768
C85%+B15%	0,491	M ₃ 50%+Z50%	0,821
C50%+Z50%	0,771		

C : compost / B : biochar / Z : zéolite / M₁ : mélange 1 / M₂ : mélange 2 / M₃ : mélange 3

Le substrat (C75%+B25%) présente la densité sèche la plus faible, de l'ordre de 0,439 g.cm⁻³. La terre présente la densité sèche la plus élevée, de l'ordre de 0,91 g.cm⁻³. Les autres composants de base et les substrats ont des densités sèches comprises entre 0,49 g.cm⁻³ et 0,86 g.cm⁻³.

2.2 pH :

Les résultats de la mesure du pH des matériaux de base et des substrats formulés sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17 : pH des matériaux de base et des substrats formulés.

Substrats	pH	Substrats	pH
Terre +fumier	7,36	C50%+Z50%	8,25
Terre	7,70	C25%+Z75%	8,58
Zéolite	8,52	C75%+Z25%	8,31
Compost	8,05	M ₁ 50%+Z50%	8,23
Biochar	10,18	M ₁ 75%+Z25%	8,22
C95%+ B5%	8,33	M ₁ 66%+Z34%	8,36
C75%+B25%	8,44	M ₂ 50%+Z50%	8,41
C85%+B15%	8,40	M ₃ 50%+Z50%	8,07

C : compost / B : biochar / Z : zéolite / M₁ : mélange 1 / M₂ : mélange 2 / M₃ : mélange 3

Résultats et discussion

Le substrat de la pépinière présente un pH proche de la neutralité, de l'ordre de 7,36. Le biochar présente un pH très basique, de l'ordre de 10,18. Les autres composants de base et les substrats ont des pH basiques, compris entre 8,05 et 8,58.

2.3 Conductivité électrique :

Les résultats de conductivité électriques des échantillons sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18 : conductivité électrique CE des matériaux de base et des substrats formulés.

Substrats	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	CE mS.cm^{-1}	T °C	Substrats	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	CE mS.cm^{-1}	T °C
Terre +fumier	305	0,3	22,8	C50%+Z50%	175,9	0.17	22,9
Terre	265	0,27	22,4	C25%+Z75%	105,2	0.10	22,9
Zéolite	338	0,34	21,8	C75%+Z25%	276	0.28	23,2
Compost	295	0,3	22,8	M ₁ 50%+Z50%	115,1	0.11	23,1
Biochar	1645	1,65	24,9	M ₁ 75%+Z25%	529	0.53	21,9
C95%+ B5%	386	0,39	23,1	M ₁ 66%+Z34%	104	0.10	22,6
C75%+B25%	1380	1,38	22,5	M ₂ 50%+Z50%	153,4	0.15	23
C85%+B15%	248	0,25	22,8	M ₃ 50%+Z50%	598	0.60	22,4

C : compost / B : biochar / Z : zéolite / M₁ : mélange 1 / M₂ : mélange 2 / M₃ : mélange 3

Les substrats (C25%+Z75%), (M₁66%+Z34%) et (M₁50%+Z50%) présentent les CE les plus faibles, entre 0,10 mS.cm^{-1} et 0,11 mS.cm^{-1} . Le biochar présente la CE la plus élevée, de l'ordre de 1,65 mS.cm^{-1} . Les autres composants de base et les substrats ont la CE entre 0,15 mS.cm^{-1} et 1,38 mS.cm^{-1} .

II. Essai sur terrain :

Les résultats de cet essai sont donnés par espèce végétale.

4. Vigne

1.1 Pourcentage de boutures enracinées et densité des racines par substrat

Les pourcentages de plants de vigne enracinés par substrat sont donnés dans le tableau 19.

Résultats et discussion

Tableau 19 : pourcentage de boutures enracinés de vigne.

Substrat	S1	S2	S3	S4	T
Pourcentage de plants enracinés	19	10	40	0	60

Le substrat de la pépinière T présente le taux d'enracinement de boutures le plus élevé qui est de 60 %, suivi par le substrat S3 avec un taux de 40 %. Les substrats S1 et S2 présentent des taux très faibles, 19 % et 10 % respectivement. Aucune bouture ne s'est enracinée dans le substrat S4.

La densité des racines des boutures enracinées varie selon les substrats (tableau 20). Les boutures des substrats S1, S2 et S3 présentent une densité moyenne alors que celles du substrat T ont des racines denses.

Tableau 20 : densité des racines des boutures enracinées de vigne.

Densité des racines	S1	S2	S3	S4	T
Faible	0	0	1	0	0
Moyenne	1	1	3	0	2
Elevée	0	0	0	0	4

1.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées

A la fin de l'essai, les boutures enracinées du substrat S1 présentent des racines longues, de l'ordre de 22,5 cm (figure 22), suivi par celle du substrat S3 (21,13 cm) et par le substrat T (19,08 cm). Les racines des boutures du substrat S2 sont moins longue, de l'ordre de 17,5 cm.

Résultats et discussion

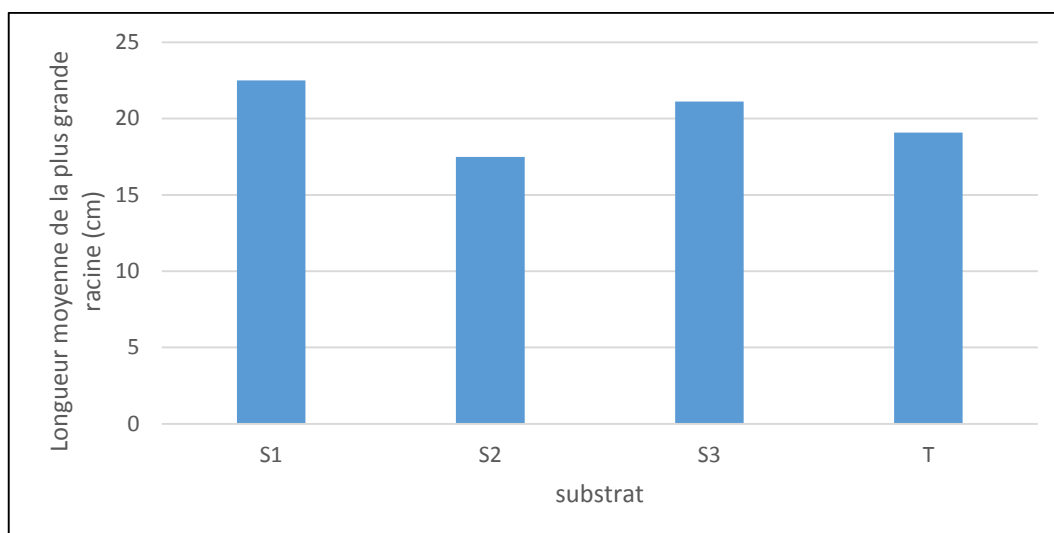


Figure 22 : longueur moyenne de la plus grande racine des boutures de vigne (cm).

1.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées

Le nombre moyen de bourgeons débouffés du substrat T est plus élevé par rapport aux autres substrats (figure 23), de l'ordre de 0,9. Ce substrat a donné rapidement des bourgeons débouffés. Pour le substrat S3, le nombre moyen de bourgeons débouffés est moindre, de l'ordre de 0,6, mais progressif. Ce nombre est faible pour les substrats S1 et S2, entre à 0,2 et 0,3, et très faible pour le substrat S4, et cela dès le début de l'essai. Le nombre de bourgeons débouffés s'est stabilisé au 61^{ème} jour pour toutes les boutures, tout substrats confondus, et cela à cause des vagues de chaleur en fin juin.

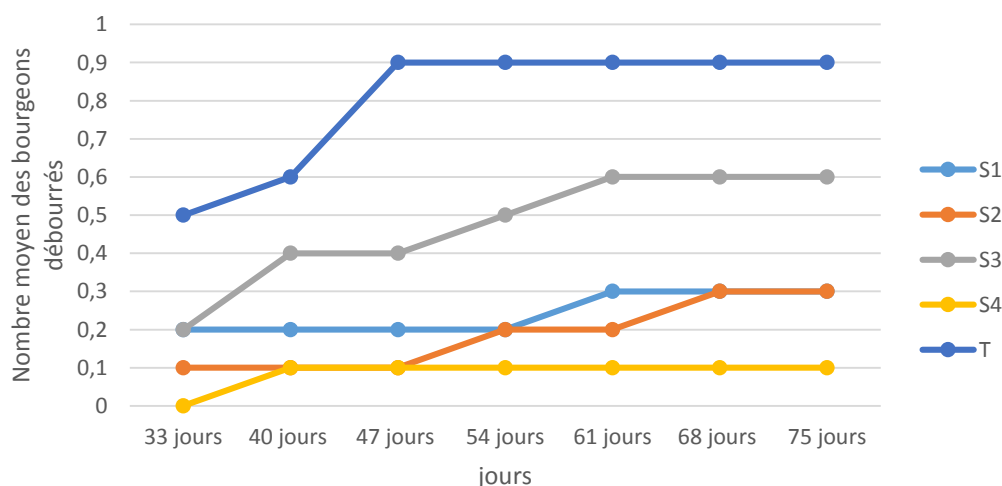


Figure 23 : nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures de vigne

Résultats et discussion

1.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées

La longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées dans le substrat T est la plus élevée dès le début de l'essai, de l'ordre de 0,8 cm, et elle augmente progressivement pour atteindre 5,53 cm à la fin de l'essai (Figure 24). Au début de l'essai, la longueur des ramifications est faible et identique pour les autres substrats mais, au 54^{ème} jours, les plants du substrat S3 présentent des ramifications qui s'allongent pour atteindre 3,5 cm en moyenne. Les autres substrats présentent des plants avec des ramifications courtes, entre 0,2 cm et 1,25 cm.

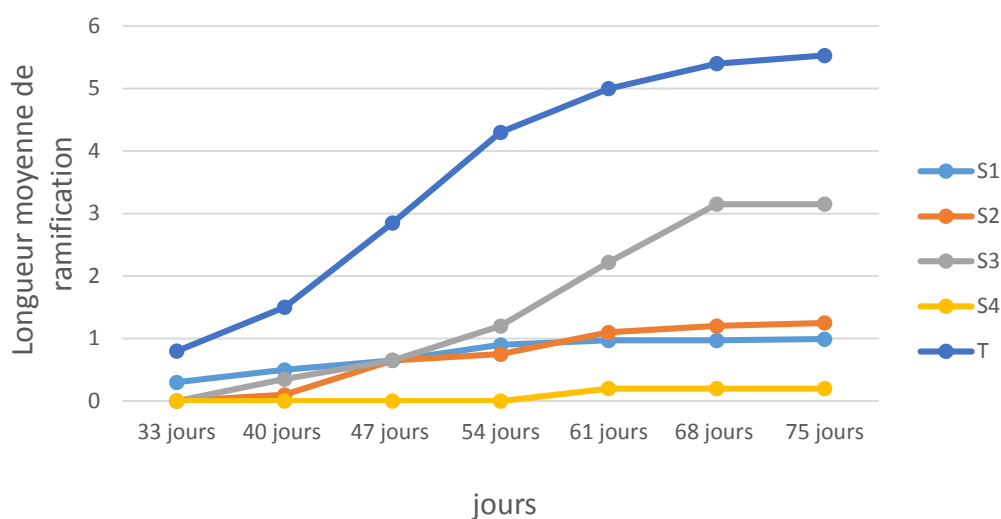


Figure 24 : longueur moyenne des ramifications des boutures de vigne (cm).

5. Rosier

2.1 Pourcentage des plants enracinés de rosier par substrat :

Les pourcentages de plants de rosier enracinés par substrat sont donnés dans le tableau 21.

Tableau 21 : pourcentage des plants enracinés de rosier.

Substrat	S1	S2	S3	S4	T
Pourcentage des plants enracinés	10 %	10 %	0	10 %	20 %

Résultats et discussion

Le substrat de la pépinière T présente le taux d'enracinement de boutures le plus élevé, de l'ordre de 20 %, suivi par les substrats S1, S2 et S4, avec un taux de 10 %. Aucune bouture ne s'est enracinée dans le substrat S4.

La densité des racines des boutures enracinées varie selon les substrats (tableau 22). Les boutures des substrats S1, S2 et S4 présentent toutes une densité faible alors que celles du substrat T, certaines ont des racines avec une densité élevée.

Tableau 22 : densité des racines des boutures de rosier

Densité des racines	S1	S2	S3	S4	T
Faible	1	1	0	1	1
Moyen	0	0	0	0	0
Elevé	0	0	0	0	1

2.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées

A la fin de l'essai, les boutures enracinées du substrat T présentent des racines longues, de l'ordre de 12 cm (figure 25), suivi par celle du substrat S4 (7,5 cm). Les racines des boutures du substrat S2 sont courtes, de l'ordre de 4 cm.

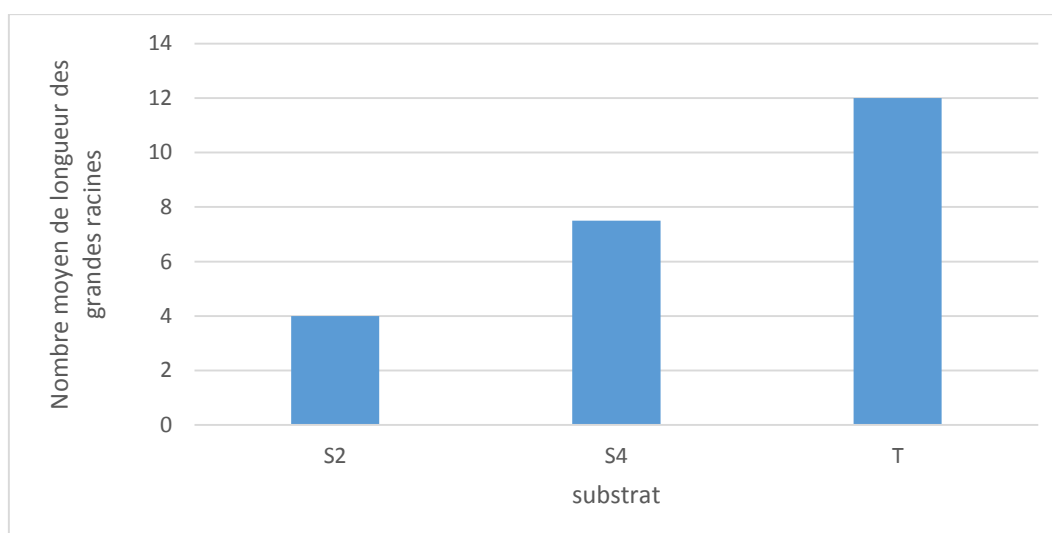


Figure 25 : longueur moyenne de la plus grande racine des boutures de rosier (cm).

Résultats et discussion

2.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées

Dès la première mesure, le nombre moyen de bourgeons débouffés du substrat T est plus élevé par rapport aux autres substrats (Figure 26). Ce nombre se stabilise au 54^{ème} jour à la valeur de 2,2. A la fin de l'essai, le nombre de bourgeons débouffés pour le substrat S4 est plus faible, de l'ordre de 1,4 suivi par les substrats S3 et S1 (1,1 et 1 respectivement). Pour tous ces substrats, ce nombre s'est stabilisé au 54^{ème} ou 61^{ème} jour pour tous les substrats. Pour le substrat S2, le nombre de bourgeons débouffés est nul au départ mais il a augmenté progressivement, même après 61^{ème} jour, pour rejoindre à la fin de l'essai celui du substrat S4. Cette progression semble être continue malgré les vagues de chaleur survenues.

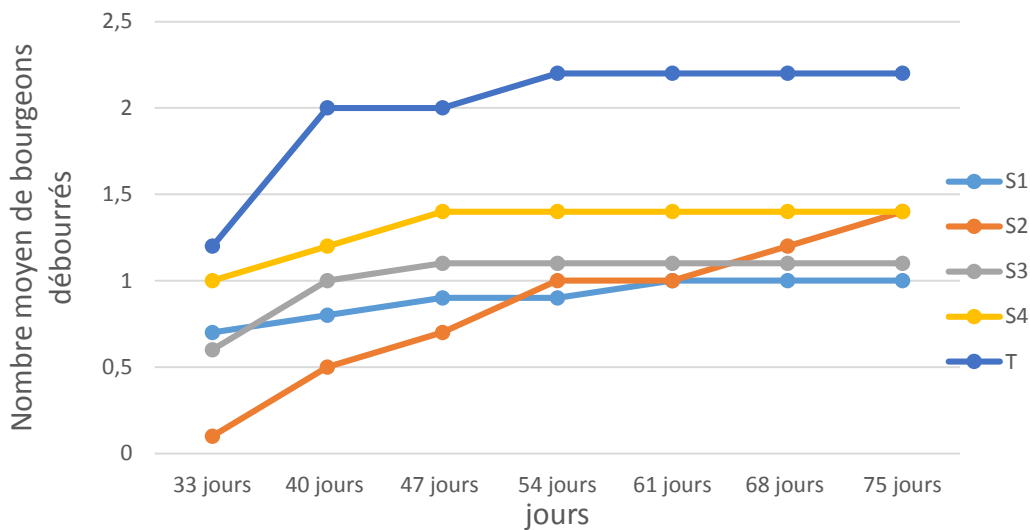


Figure 26 : nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures de rosier.

2.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées

Dès le début de l'essai, la longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées dans le substrat S4 est la plus élevée, de l'ordre de 1,69 cm, et elle augmente progressivement pour atteindre 4,59 cm à la fin de l'essai. Les ramifications des boutures du substrat T viennent en deuxième position et elles atteignent 3,95 cm, à la fin de l'essai (figure 27). Pour les autres substrats, cette longueur reste faible, du début jusqu'à la fin de l'essai, de l'ordre de 2,15 cm pour le substrat S1, 0,85 cm pour le substrat S2. Les bourgeons des boutures du substrat S3 ne se sont pas allongés.

Résultats et discussion

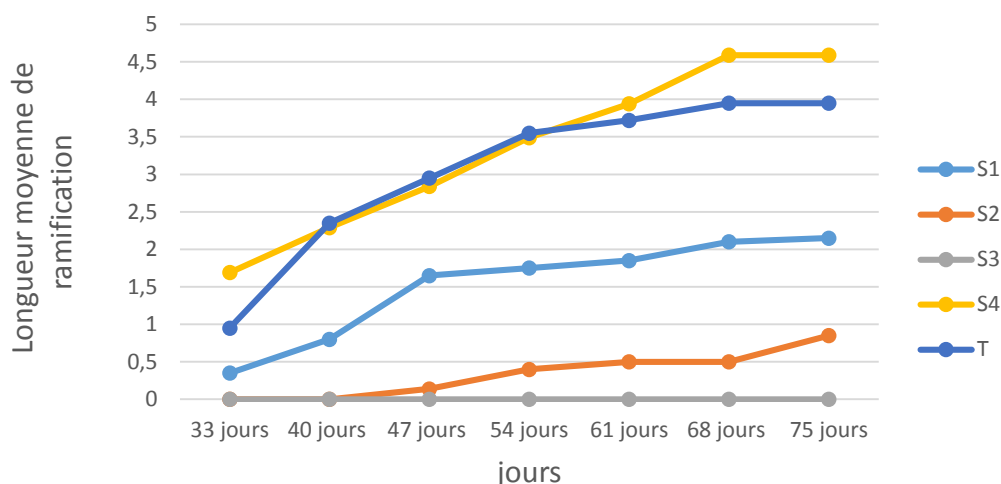


Figure 27 : longueur moyenne des ramifications des boutures de rosier (cm).

6. Grenadier :

3.1 Pourcentage des plants enracinés de grenadier par substrat :

Les pourcentages de plants de grenadier enracinés par substrat sont donnés dans le tableau 23.

Tableau 23 : pourcentage des plants enracinés de grenadier

Substrat	S1	S2	S3	S4	T
Pourcentage des plants	20 %	30 %	50 %	30 %	70 %

Le substrat de la pépinière présente le taux d'enracinement de boutures le plus élevé, qui est de 70 %, suivi par le substrat S3, avec un taux de 50 %. Les substrats S1, S2 et S4 présentent des taux très faibles, de l'ordre de 20 %, 30 % et 30 % respectivement.

Les racines des boutures des substrats S1, S2, S3 et S4 sont faiblement à moyennement dense (tableau 24) tandis que certaines racines du substrat T ont des densités élevées.

Tableau 24 : densité des racines des boutures de grenadier

Densité des racines	S1	S2	S3	S4	T
Faible	1	2	4	2	2
Moyen	1	1	1	1	1
Elevé	0	0	0	0	4

3.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées

A la fin de l'essai, les boutures enracinées du substrat S1 présentent des racines longues, de l'ordre de 15,5 cm (figure 28), suivi par celles du substrat S3 (8,25 cm), celles du substrat S4 (6,75 cm) et celles du substrat T (6,17 cm). Les racines des boutures du substrat S2 sont les plus courtes, de l'ordre de 3,33 cm.

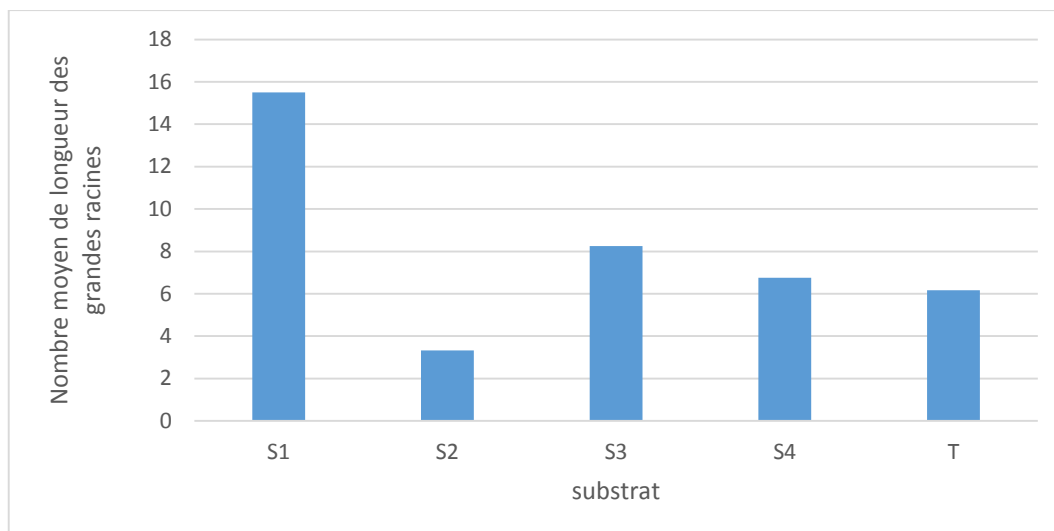


Figure 28 : longueur moyenne de la plus grande racine des boutures de grenadier (cm).

3.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées

Le nombre moyen de bourgeons débouffés du substrat T est le plus élevé dès le début des mesures, de l'ordre de 5,9 bourgeons (figure 29). Il est faible pour les boutures des substrats S2, S3 et S4, entre à 3 et 3,2 bourgeons. Ce nombre est très faible pour le substrat S1, de l'ordre de 0,6 et cela dès le début de l'essai. Le nombre de bourgeons débouffés s'est stabilisé au 68^{ème} jour pour toutes les boutures, tout substrats confondus.

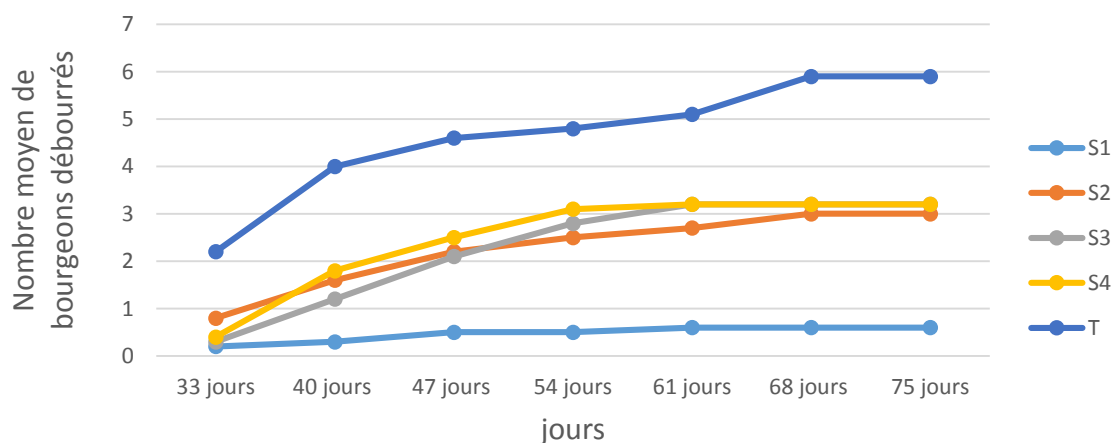


Figure 29 : nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures de grenadier.

Résultats et discussion

3.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées

La longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées dans le substrat T est la plus élevée dès le départ, de l'ordre de 2,81 cm, et elle augmente pour atteindre 17,58 cm à la fin de l'essai (figure 30). Au début de l'essai, la longueur des ramifications des boutures des autres substrats est faible et proche mais, au cours du temps, les ramifications des plants du substrat S3 et S4 s'allongent pour atteindre 17,25 cm et 16,44 cm respectivement. Les ramifications des boutures des substrats S1 et S2 restent courtes, entre 4,1 cm à 9,73 cm).

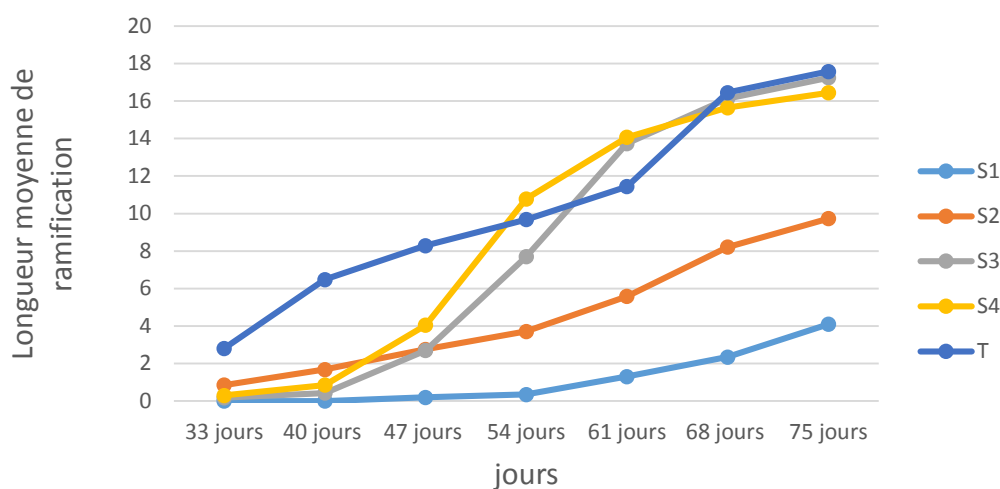


Figure 30 : longueur moyenne des ramifications des boutures de grenadier (cm).

4. Figuier

4.1 Pourcentage des plants enracinés de figuier par substrat :

Les pourcentages de plants de figuier enracinés par substrat sont donnés dans le tableau 25.

Tableau 25 : pourcentage des plants enracinés de figuier

Substrat	S1	S2	S3	S4	T
Pourcentage des plants enracinés	0	0	0	0	10 %

La plupart des plants sont morts dès le début de l'essai. Une bouture enracinée dans le substrat T a survécu et elle présente une faible densité racinaire à la fin de l'essai (tableau 26).

Résultats et discussion

Tableau 26 : densité des racines des boutures de figuier

Densité des racines	S1	S2	S3	S4	T
Faible	0	0	0	0	1
Moyen	0	0	0	0	0
Elevé	0	0	0	0	0

4.2 Longueur moyenne de la plus grande racine des boutures enracinées

A la fin de l'essai, la seule bouture enracinée du substrat T présente une racine d'une longueur de 0,85 cm (figure 31).

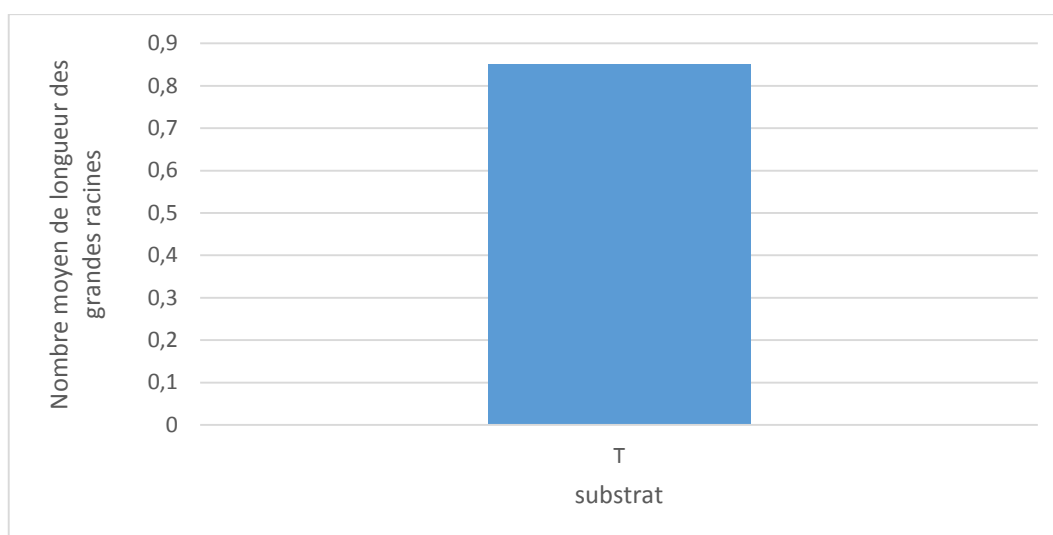


Figure 31 : longueur de la plus grande racine de la bouture de figuier (cm).

4.3 Nombre moyen des bourgeons débouffés des boutures enracinées

Un bourgeon de la bouture du substrat T a débouffé après 47 jours de mise en substrat (figure 32) et le nombre moyen de bourgeons débouffés est resté stable jusqu'à la fin de l'essai, de l'ordre de 0,1.

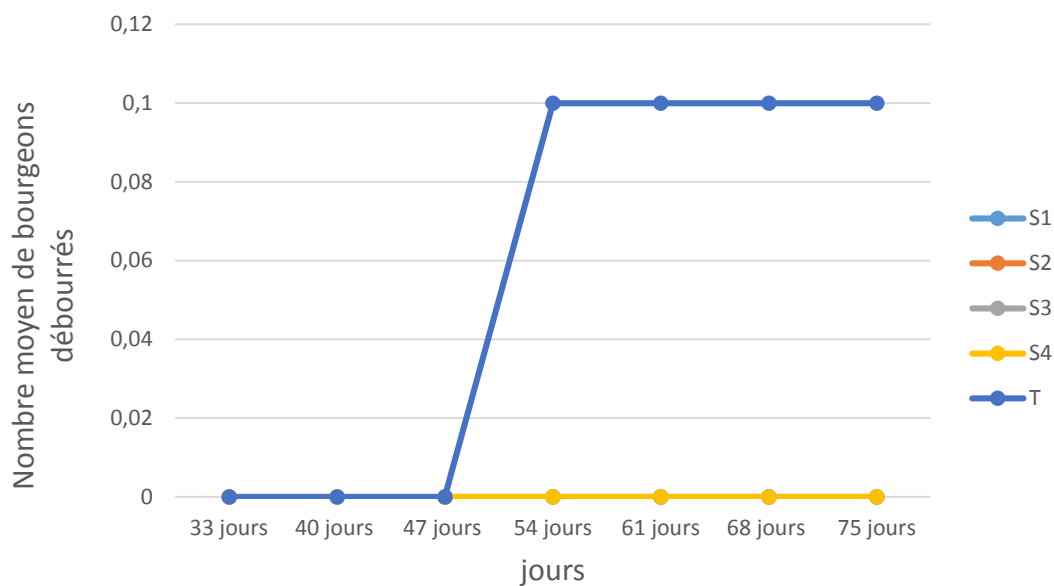


Figure 32 : nombre moyen des bourgeons débouffés de la bouture de figuier

4.4 Longueur moyenne des ramifications des boutures enracinées

La ramification de la bouture enracinée dans le substrat T a atteint une longueur de 0,9 cm, à la fin de l'essai (figure 33).

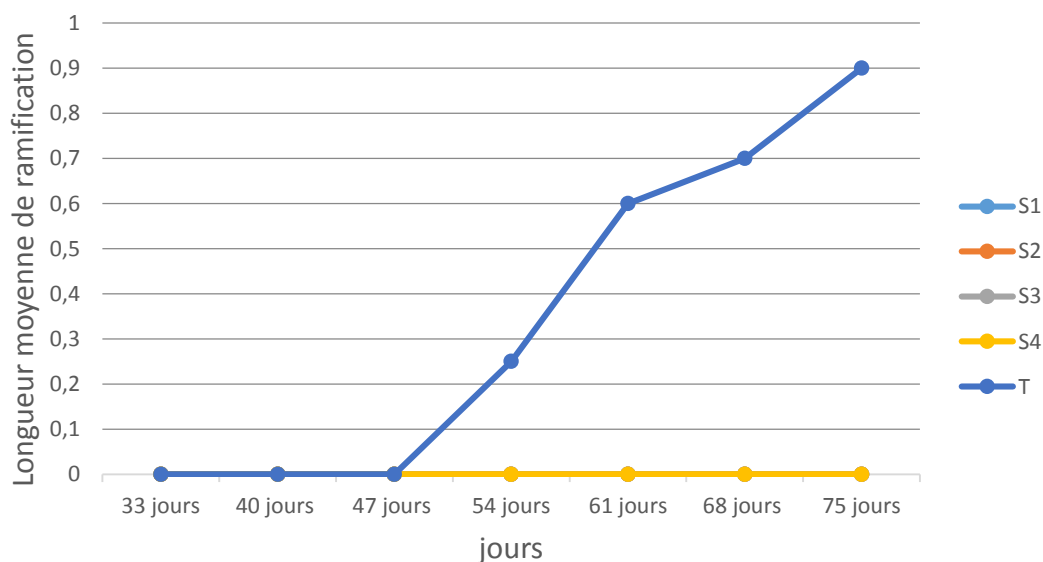


Figure 33 : longueur de la ramification de la bouture de figuier (cm).

Discussion

L'objectif de notre essai est de formuler des substrats de culture capable de remplacer la tourbe et cela en utilisant des matériaux de base locaux et accessibles comme le compost, le biochar et la zéolite. Onze substrats sont formulés et analysés au laboratoire. Quatre d'entre eux sont expérimentés sur le terrain sur différentes espèces végétales, en parallèle avec le substrat utilisé par la pépinière.

Le substrat de la pépinière et les substrats S3, S2 semblent être les plus favorables à l'enracinement des boutures. Le substrat de la pépinière a favorisé un développement aérien et racinaire important, mais ce développement s'est arrêté à causes des vagues de chaleur survenues à la troisième semaine du début de l'essai. A l'inverse, le substrat S3 a favorisé un développement moins important mais continue dans le temps. Ce substrat semble conférer à la plante une résistance à la sécheresse. Le faible taux d'enracinement et de développement des boutures cultivées dans les substrats formulés, par rapport au substrat de la pépinière, pourrait être expliqué par l'arrosage des plants qui s'est faite automatiquement et de la même façon pour toutes les boutures, sans tenir compte de la capacité de rétention en eau de chaque substrat. Ceci a abouti à l'immersion des boutures dans l'eau et à la mauvaise aération des racines des plants. Ce constat est confirmé par les fortes densités apparentes des substrats formulés et par le comportement des plants cultivés dans ces substrats en cas de sécheresse.

Les déchets organiques du substrat de la pépinière et le compost des deux substrats S3 et S2 semblent améliorer les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du substrat et semble améliorer la résistance des plantes à la sécheresse. Les travaux de Misra *et al* (2005), sur les méthodes de compostage, montrent que le potentiel offert par le compostage de déchets de la ferme est élevé et le compostage présente plusieurs intérêts tel que l'amélioration de la rétention en eau, de la fertilité et de la qualité de sol. L'ERGR de Djurdjura possède, en aval, une grande quantité de déchets verts provenant des différents travaux de l'entreprise (travaux de forêts, les espaces verts, production en pépinière...). L'exploitation de ces déchets par le compostage pourrait constituer une ressource importante pour la pépinière en l'utilisant dans les substrats de culture et comme amendements des cultures. De même, cette exploitation pourrait constituer une source d'argent à l'entreprise, en vendant le compost produit aux agriculteurs. Le compostage des déchets organiques

Le biochar peut augmenter l'efficacité du compostage en réduisant certains effets négatifs du compost. Constat confirmé par les résultats d'enracinement des boutures du rosier

Résultats et discussion

dans le substrat S4. Selon Prost *et al.* (2012), Li *at al.* (2015) et Sanchez-Garcia *et al.* (2015), le biochar favorise l'aération du compost et des communautés microbiennes, diminue les émissions des gaz nuisibles et produit un compost plus riche que le compost sans biochar. De plus, l'impact de biochar sur la croissance des plantes diffère selon les espèces. Selon Huang et Gu (2019), l'incorporation de biochar n'améliore pas toujours la croissance des plantes. Constat confirmé par les résultats de notre essai sur l'enracinement des boutures de vigne.

Pour les substrats amendés en zéolite, aucun effet n'a été observé sur le développement de la partie aérienne. Cependant, la zéolite semble être favorable pour la croissance racinaire. Constat confirmé par les résultats d'enracinement des boutures de grenadier. Nichols et Savidov (2009) ont suggéré que l'amendement en zéolite, qui possède des propriétés similaires au biochar, peut avoir un impact favorable ou négligeable sur les rendements d'une culture hors sol et en serre.

L'effet des substrats varie en fonction de la plante. Le grenadier semble être peu exigeant *vis-à-vis* du substrat. Nous avons observé un développement, aérien et racinaire, important dans tous les substrats, à part le substrat S1. La plupart des boutures de figuier utilisées dans notre étude ne se sont pas enracinées. Ceci pourrait être expliqué par la mauvaise qualité des boutures fournies, par le mauvais conditionnement des boutures ou la sensibilité de la variété aux fortes chaleurs.

Conclusion

Conclusion

Conclusion :

Notre étude a pour objectif la formulation de substrats de qualité qui pourraient remplacer la tourbe en pépinière et en horticulture. Ces substrats doivent assurer un bon enracinement des boutures et une bonne croissance et développement des plantes cultivées. Le compost et le biochar sont produits à partir de matières premières résiduelles agricoles et sont, donc, des matériaux locaux disponibles et leur valorisation constitue des alternatives rentables, durables et plus respectueuses de l'environnement (Blok et *al.*, 2017). L'utilisation de ces matériaux, en plus de la zéolite, permettra d'améliorer la production de plants hors sol, en quantité et en qualité supérieures, tout en réduisant les intrants et donc les coûts de production. D'après nos travaux, la production de substrats à partir de ces matériaux est possible car ils ont permis d'obtenir des plants enracinés et des plantes bien développées. Cependant, il est nécessaire d'adapter la conduite culturale, essentiellement la dose et la fréquence d'arrosage, à ces substrats et d'adapter chaque substrat à chaque plante.

En perspective, nous proposons de faire un essai sur le terrain avec tous les substrats formulés, dans des conditions de culture plus contrôlées (une bonne qualité des boutures utilisées, des températures moyennes ne dépassant pas 30 °C) et un arrosage raisonné selon la capacité de rétention en eau de chaque substrat. Nous proposons aussi d'appliquer un stress hydrique aux plantes et de voir l'effet de chaque substrat en fonction de l'espèce végétal.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

Abad M., Noguera V., Martinez-Herrero M. D., Fornes F., 1989. Physical and chemical properties of sedge peat-based media and their relation to plant growth. *Acta Hortic.*, 238, 45-56.

Abbruzzini T.F; Davies C.A ; Toledo F.H ; Cerri C.E.P. 2019. Dynamic Biochar Effects on Nitrogen Use Efficiency, Crop Yield and Soil Nitrous Oxide Emissions during a Tropical Wheat-Growing Season. *J. Environ. Manag.* 2019, 252, 109638. [CrossRef]

ADEME . 2019. Guide du compostage pdf. 13 p. <https://librairie.ademe.fr/cadic/2048/guide-pratique-compostage-et-paillage.pdf?modal=false>

Afaq F ; Saleem M ; Krueger CG ; Reed JD ; Mukhtar H . 2005. Anthocyanin-and hydrolyzable tanninrich pomegranate fruit extract modulates MAPK and NF-kappaB pathways and inhibits skin tumorigenesis in CD-1 mice. *Int. J. Cancer*, 113(3), 423-433

Al-Bataïna B ; Young T. M ; & Ranieri E . 2016. Effects of compost age on the release of nutrients. *International Soil and Water Conservation.* 4, 230–236.

Agri-city2022.<https://www.agri-city.info/fr/dossiers-et-articles/high-tech-innovation/la-culture-sous-serre-permet-des-economies-en-eau>

Amouretti M-C et Comet G . 1985 . Le livre de l'oliveraie, Aix-en-Provence

Argenson C ., Régis S ., Jourdain J.M ., & Vaysse P. 1999. L'olivier. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes.

Barthélémy F. 1999. https://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/documents/2021-03/tourbe_rr-40890-fr_1999.pdf page 17

Bartolozzi F., & Fontanazza G . 1999. Assessment of frost tolerance in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae*, 81(3), 309-319.

Biran I ., & Eliassaf A . 1980. The effect of container size and aeration conditions on growth of roots and canopy of woody plants. *Scientia Horticulturae*, 12(4), 385-394.

Blanc D . 1987. Les cultures hors sol P 11, 79, 81, 87

Blok C ., van der Salm C ., Hofland-Zijlstra J ., Streminska M ., Eveleens B ., Regelink I ., Visser R . 2017. Biochar for horticultural rooting media improvement: Evaluation of biochar from gasification and slow pyrolysis. *Agronomy*, 7(1), 6. doi:10.3390/agronomy7010006

Boulouha B ., Hadiddou A ., & Ouguas Y . 2006. Fiche technique olivier. Installation et conduite de la culture, 37.

Bretauudeau J ., Faure Y ., 1990. Atlas d'arboriculture fruitière. Volume 4. Ed. Tec et doc lavoisier, 3^{ème} édition, 289 p.

Références bibliographiques

- Briche É . 2011.** Changement climatique dans le vignoble de Champagne : Modélisation thermique à plusieurs échelles spatio-temporelles (1950-2100) (Doctoral dissertation, Université Paris-Diderot-Paris VII).
- Cédric 2023.** <https://www.guidezerodechet.com/differents-types-de-compost/#:~:text=Voici%20les%20diff%C3%A9rents%20types%20de%20compost%20les%20plus%20courants:%201.>
- Chang Y .; Rossi L .; Zotarelli L .; Gao B .; Shahid M.A .; Sarkhosh A . 2021.** Biochar Improves Soil Physical Characteristics and Strengthens Root Architecture in Muscadine Grape (*Vitis Rotundifolia L.*). *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2021, 8, 7. [CrossRef]
- Claridge M.F ., & Walton M . 1992.** The European olive and its pests-management strategies. MONOGRAPHS-BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL, 3-3.
- COI 2007.** Techniques de production en oléiculture. Conseil oléicole international, Madrid, Espagne, 346 p.
- Coutin R . 2002.** Acariens et insectes de la vigne. *Insectes*, 126, 19-22.
- Cronquist A . 1981.** An integrated system of classification of flowering plants. Columbia university press.
- Daoudi L ., 1994.** Thèse de magister, Inst. Nat. Agr. El-Harrach: 132 p.
- Delamarre C ., Jouglain P ., Deschamp N ., Mignot L ., Girou S . 2013.** Article-Chambre d'Agriculture d'Aquitaine : Choix du terreau
- Ding Y ; Liu Y .; Liu S .; Li Z .; Tan X .; Huang X .; Zeng G .; Zhou L .; Zheng B . 2016.** Biochar to Improve Soil Fertility. *AReview. Agron. Sustain. Dev.* 2016, 36, 36. [CrossRef]
- Evreinoff VA . 1949.** Le grenadier. *Fruits d'outre-Mer*, 4, N° 5, 161-164 p
- Fabbri A ., & Benelli C . 2000.** Review Article Flower bud induction and differentiation in olive. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(2), 131-141.
- Foucard JC ., 1994.** Filière pépinière de la production à la plantions. Edit Technique et documentation. LAVOISIER Paris P 110.
- Fournier P . 2014.** La culture de la vigne
- Fryda L ., Visser R ., & Schmidt J. 2019.** Biochar replaces peat in horticulture: environmental impact assessment of combined biochar and bioenergy production. *Detritus* 05: 132–149
- GAUSSEN H . 1982** Précis de botanique, tome II, les végétaux supérieurs, Ed Masson, pp : 558-560.
- Ghedira K. 2008.** L'olivier. *Phytoh rapie*, 6(2), 83-89.
- Grimal P 1980 .** "La vigne et l'olivier", B.A.G.B. P. 171-185.

Références bibliographiques

- Ghorbani M .; Konvalina P .; Neugschwandtner R.W .; Kopecký M .; Amirahmadi E .; Moudrý J ; Menšík L . 2022.** Preliminary Findings on Cadmium Bioaccumulation and Photosynthesis in Rice (*Oryza Sativa* L.) and Maize (*Zea Mays* L.) Using Biochar Made from C3- and C4-Originated Straw. *Plants* 2022, 11, 1424. [CrossRef] [PubMed]
- Hadrich B ., Dahak K ., N. Abdenouri et N. Kechaou 2008.** Etude de séchage des feuilles de bigaradier. *Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger* (2008) 145 – 149
- Hannachi H , M'sallem M , Benalhadj S , El-Gazzah M .2007:**Influencedu site géographiquesur les potentialités agronomiques et technologiques del'olivier (*Olea europaea*) en Tunisie. *C.R.Biologies* 330, p 135-142. 32.
- Huang et Gu . 2019.** Effects of Biochar on Container Substrate Properties and Growth of Plants—A Review **page 8** file:///C:/Users/AMINA/Downloads/horticulturae-05-00014-v2%20(1).pdf
- Isabelle C. 2021.** Cultiver le bigaradier, un agrume aux fleurs très parfumées. <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/bigaradier-citrus-aurantium-culture,2640.html>
- ITAFV 2004.** La culture de l'olivier. Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne. Ministre de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche, Algérie, 38 p.
- Jardin Futé. 2019.** Article : qu'est-ce que le terreau ?
- Joseph U.E .; Toluwase A.O .; Kehinde E.O .; Omasan E.E .; Tolulope A.Y .; George O.O .; Zhao C .; Hongyan W . 2020.** Effect of Biochar on Soil Structure and Storage of Soil Organic Carbon and Nitrogen in the Aggregate Fractions of an Albic Soil. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2020, 66, 1–12. [CrossRef]
- Karki R . 2018.** Vermi-biochar as alternative to peat as growing substrate for greenhouse vegetables. Retrieved from Brage – NMBU's Open Research Archive. <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2502637/Karki.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kattar S . Stéphan N et Youssef S . 2001:** La culture des oliviers. Institut libanais
- Kern J ., Tammeorg P ., Shanskiy M ., Sakrabani R ., Knicker H ., Kammann C ., Glaser B . 2017.** Synergistic use of peat and charred material in growing media—An option to reduce the pressure on peatlands? *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25, 160-174.
- Lemaire F ., Dartigues A ., Charpentier S . 1990.** Cultures en pots et conteneurs principes agronomiques et applications. *Coed. INRA -PHM Rev. Hortie.,*

Références bibliographiques

- Lemaire F., Dartigues A., Rivière L.M., & Charpentier S. 1989.** Cultivation in pots and containers : agronomic principles and applications. Cultivation in pots and containers : agronomic principles and applications.
- Lemaire F., Dartigues A., Rivière L.M., Charpentier S et Morel P 2003.** Culture en pots et conteneurs, principes agronomiques et applications. Deuxième édition revue et augmentée. INRA Éditions.
- Lemaire F., Dartigues A., Rivière L.M., & Morel P. 2003.** Cultures en pots et conteneurs: Principes agronomiques et applications. Editions Quae.
- Li R., Wang Q., Zhang Z., Zhang G., Li Z., Wang L., and Zheng J. 2015.** Nutrient transformation during aerobic composting of pig manure with biochar prepared at different temperatures. *Environmental Technology* 36 (7): 815-826.
- Loussert R., Brousse G. 1978.** L'olivier : Techniques agricoles et productions méditerranéennes. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris, 460-464 p.
- Lumaret R., Ouazzani N., Michaud H., Vivier G., Deguilloux M.F., & Di Giusto F. 2004.** Allozyme variation of oleaster populations (wild olive tree) (*Olea europaea* L.) in the Mediterranean Basin. *Heredity*, 92(4), 343-351.
- Margenot A.J., Griffin D.E., Alves B.S., Rippner D.A., Li C., & Parikh S.J. 2018.** Substitution of peat moss with softwood biochar for soil-free marigold growth. *Industrial Crops and Products*, 112, 160-169.
- Meng Q.; Zhao S.; Geng R.; Zhao Y.; Wang Y.; Yu F.; Zhang J.; Ma X. 2021.** Does Biochar Application Enhance Soil Salinization Risk in Black Soil of Northeast China (a Laboratory Incubation Experiment)? *Arch. Agron. Soil Sci.* 2021, 67, 1566–1577. [CrossRef]
- Meynet J. 2001.** Les rosiers cultivés, une très longue histoire d'exploitation de la biodiversité seulement pour le plaisir et l'art de vivre. *Les Dossiers de l'environnement de l'INRA*, (21), 113-118.
- Michelot P. 2010.** La production en pépinière P 185, 187
- Misra R.V., Roy R.N., Hiraoka H. 2005 :** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole ; DOCUMENTS DE TRAVAIL SUR LES TERRES ET LES EAUX ; FAO ; 35p.
- Morard P. 1995.** Les cultures végétales hors sol.
- Morel P., Poncet L., Riviere L.M., coord. 2000.** Les supports de culture horticoles INRA éditions P 9

Références bibliographiques

- Mustin M ., 1987.** Le compost : Gestion de la matière organique. Editeur : Paris: François Dubusc. ISBN: 2-864-72008-6. 954 p. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015023178>
- Nichols M.A . et Savidov N.A . 2009.** Evaluation of greenhouse substrates containing zeolite. Acta Horticulturae. (ISHS) 843: 297-302.
- Oukabli A , et Mamouni A . 2008,** Fiche Technique figuier (*Ficus Carica* L.), installation et conduite technique de la culture, Institut de la recherche agronomique, Maroc.
- Prémont V. 2015.** Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée. Université Laval, Québec, Canada, 87p.
- Prost K ., Borchard N ., Siemens J ., Kautz T ., and Séquaris J . 2012.** Biochar affected by composting with farmyard manure. Journal of Environmental Quality 42 (1): 164–172.
- Querol X . Alastuery A ., Moreno N ., Alvarez A.E ., Garci a-Sa' nchez A , Cam J ., Ayora C ., Simon M .2006.** Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash. Chemosphere 62, 171-180
- Rivière L.M . 1992.** Le fonctionnement hydrique du système substrat-plante en culture hors sol. Mémoire HDR, Université d'Angers, ENITHP : 126p.
- Rivière L.M . 1990.** Rivière, L. M. (1990). La notion de capacité en bac dans la conduite de l'irrigation des cultures en pots et en conteneurs. Bull. Tech. Inf, 444, 415-424.
- Rocher Ph . 1995.** Mémento roches et minéraux industriels. Zéolites naturelles. Rapport BRGM R38759, 72., p 4fig., 10tabl. Page 41
- Roger J.P . 2002.** La Conduite Du Figuier *Ficus Carica* L. Famille Des Moracees Genre Ficus. Actes de la Journée Figuier -Potentialités et perspectives de développement de la figue sèche au Maroc. Meknès, 27 Juin 2002, 87p.
- Rotondi A ., Magli M ., Ricciolini C ., & Baldoni L . 2003.** Morphological and molecular analyses for the characterization of a group of Italian olive cultivars. Euphytica, 132(2), 129-137.
- Salaheddin ME and Kader AA . 1984.** Post-harvest physiology and storage behaviour of pomegranate fruits, Scientia Horticulturae, 24, 287–298.
- Saha R .; Galagedara L .; Thomas R .; Nadeem M .; Hawboldt K . 2020.** Investigating the Influence of Biochar Amendment on the Physicochemical Properties of Podzolic Soil. Agriculture 2020, 10, 471. [CrossRef]
- Sánchez-García J.A ., Albuquerque M.A ., Sánchez-Monedero A ., and Roig M.L . 2015.** Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralization during

Références bibliographiques

composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. *Bioresource Technology* 192: 272–279

Scott J . 2001. Guang, D., Naeramitmarnusk, K., Thabouat, M., Amal, R. : Zéolite synthesis from coal fly ash for the removal of lead ions from aqueous solution. *J .Chem.Technol Biotechnologie.* 77, 63-69

SEBEI A ., 2007. Physiologie de l'olivier et ses besoins. ITAF.

Shetty R .; Prakash N.B . 2020. Effect of Different Biochars on Acid Soil and Growth Parameters of Rice Plants Under Aluminium Toxicité. *Sci. Rep.* 2020, 10, 12249. [CrossRef]

Sullivan D ., Bary A.I ., Miller R.O ., & Brewer L.J . 2018. Interpreting compost analyses. Oregon State University Extension Service. EM 9217. 10 p.

Terral J. F ., & Arnold-Simard G . 1996. Beginnings of olive cultivation in eastern Spain in relation to Holocene bioclimatic changes. *Quaternary Research*, 46(2), 176-185.

Tissot P. (1937). L'Olivier dans le bassin méditerranéen. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 17(192), 586-610.

Tittarelli F ., Petruzzelli G ., Pezzarossa B ., Civilini M ., Benedetti A ., Sequi P . 2007. Quality and agronomic use of compost. *Compost science and technology.* Vol 8 : 119 152.

Urban L ., 1997. Introduction à la production sous serre P 72

VIDAUD J ., 1997. Le figuier : monographie. Ed. Centre technique inter professionnel des fruits et légumes, Ctifl (Paris), 263 p.

Walali L.D ., Skiredj A ., Elattir H . 2003. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA n°105 (MADER/ DERD), Rabat, Maroc: 4 p.

Wang D ; Li C ; Parikh S.J ; Scow K.M . 2019. Impact of Biochar on Water Retention of Two Agricultural Soils—A Multi-Scale Analysis. *Geoderma* 2019, 340, 185–191. [CrossRef]

Résumé :

La présente étude porte sur la formulation de différents substrats de qualité assurant un bon enracinement des plants et une bonne croissance et développement, qui peuvent remplacer la tourbe en horticulture et en pépinière. Les composants de base des substrats formulés sont : de biochar, compost et zéolite. Pour cela, différents paramètres sont pris en considération tel que le pH, conductivité électrique, densité.

Les résultats montrent que le compost semble améliorer les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du substrat, le biochar favorise l'aération du compost, la zéolite semble être favorable pour la croissance racinaire. La substitution de la tourbe par ces composants de base est possible, notamment que ce sont des matériaux locaux disponible.

Abstract :

This study focuses on the formulation of different quality substrates ensuring good rooting of plants and good growth and development, which can replace peat in horticulture and nursery. The basic components of the formulated substrates are : biochar, compost and zeolite. For this, different parameters are taken into consideration such as pH, electrical conductivity, density.

The results show that compost seems to improve the physicochemical and biological characteristics of the substrate, biochar promotes aeration of the compost, zeolite seems to be favorable for root growth. The substitution of peat by these basic components is possible, especially since they are locally available materials.

ملخص :

ترتكز هذه الدراسة على صياغة ركائز ذات جودة مختلفة تضمن تجذيراً جيداً للنباتات ونموً وتطوراً جيداً، والتي يمكن أن تحل محل الخث في البستنة والحضانة. المكونات الأساسية للركائز المصنعة هي: الفحم الحيوي والسماد والزيوليت. ولتحقيق هذه الغاية، يتم أخذ معايير مختلفة في الاعتبار مثل الرقم الهيدروجيني، والتوصيل الكهربائي، والكثافة.

وتظهر النتائج أن السماد العضوي يبدو أنه يحسن الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للركيزة، كما يعمل الفحم الحيوي على تعزيز تهوية السماد العضوي، ويبدو أن الزيوليت مناسب لنمو الجذور. ومن الممكن استبدال الخث بهذه المكونات الأساسية، خاصة وأنها مواد متوفرة محلياً.