

بسم الله الرحمن الرحيم

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955

UNIVERSITE 20 AOUT 1955 SKIKDA

Faculté des sciences

كلية العلوم

Filière de sciences

شعبة علوم الفلاحة

Département d'agronomie

قسم الفلاحة



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences d'agronomie

Spécialité : Sciences Du Sol

Thème

Conception des pots écologique biodégradables pour la culture hors-sol

Présenté par

- BOULFOUL Lamia - ALI LAOUAR Rania -

Président	Mme. BALA Sahima	MCB
Examineur	Mme. BOUNAB Ouarda	MAM
Encadreur	Mr. HANNACHI Abdelhakim	MCA

Année Universitaire : 2024/2025

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير أوانٍ زراعية قابلة للتحلل من مكونات نباتية طبيعية كبديل صديق للبيئة عن البلاستيك. تم تصنيع ستة أنواع من الأواني باستخدام خلطات من بقايا فواكه وخضروات، مع النشاء والماء.

زرعت نباتات النعناع في هذه الأواني، وقورنت بمثيلاتها المزروعة في إناء بلاستيكي خلال أربعة أسابيع.

تم قياس مؤشرات النمو (الطول، الوزن، عدد الأوراق والفروع) وتحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لكل خلطة.

أظهرت بعض الخلطات، خاصة الإناء 1 و 6 أداءً نباتيًا متفوقًا.

ثبتت النتائج أن تركيبة الخليط تؤثر بوضوح على النمو النباتي من خلال تأثيرها على التهوية والرطوبة والحموضة.

خلصت الدراسة إلى أن المخلفات العضوية تمثل مادة أولية فعالة لتصنيع أوانٍ مستدامة تغني عن البلاستيك وتثري الوسط الزراعي.

الكلمات المفتاحية: الأواني الزراعية، الزراعة بدون تربة، قابلية التحلل، الزراعة الحديثة، المخلفات النباتية.

Résumé

Cette étude vise à développer des pots agricoles biodégradables à base de résidus végétaux comme alternative écologique au plastique.

Six types de pots ont été fabriqués à partir de mélanges de fruits et légumes, avec de l'amidon et de l'eau.

Des plants de menthe ont été cultivés dans ces pots et comparés à un témoin en plastique sur une période de quatre semaines.

Les indicateurs de croissance (hauteur, poids, nombre de feuilles et de branches) ainsi que les propriétés physiques et chimiques des mélanges ont été analysés.

Les mélanges 1 et 6 ont montré les meilleurs résultats en termes de développement végétatif.

Les résultats ont démontré que la composition du mélange influence directement la croissance à travers l'aération, l'humidité et le pH.

L'étude conclut que les déchets organiques peuvent servir de matière première efficace pour fabriquer des pots durables, enrichissant le sol tout en réduisant la pollution plastique.

Mots clés : Les pots agricoles, Biodégradabilité, La culture hors-sol, Culture moderne, Résidus végétaux.

Abstract

This study aims to develop biodegradable agricultural pots made from plant-based residues as an eco-friendly alternative to plastic.

Six types of pots were produced using mixtures of fruits and vegetables, combined with starch and water.

Mint plants were grown in these pots and compared with a plastic control over a four-week period.

Growth indicators (height, weight, number of leaves and branches) and the physical and chemical properties of each mix were analyzed.

Mixes 1 and 6 showed superior plant development results.

Findings demonstrated that the mix composition directly affects growth through aeration, moisture retention, and pH balance.

The study concludes that organic waste can be an effective raw material for producing sustainable pots, enriching the soil and reducing plastic pollution.

Keywords : Agricultural pots, biodegradability, soilless cultivation, plant residues, modern agriculture.

Remerciements

Elhmdllh, par Sa grâce s'accomplissent les bonnes œuvres, et par Sa générosité les efforts aboutissent et les objectifs se réalisent.

Nous remercions tout particulièrement Messieurs les membres jury :

Mme BALA.S accepté d'honorer cette soutenance comme présidente de jury.

Monsieur BOUNAB.M qui a bien voulu examiner ce travail et d'être membre de jury

Nos sincères remerciements s'adressent à notre encadreur monsieur HANNACHI Abdelhakim qui nous a dirigés tout au long de notre travail.

Nous adressons nos plus sincères remerciements, empreints de respect et de reconnaissance, à l'ensemble de nos honorables enseignants, pour leur générosité intellectuelle, leurs orientations éclairées et leur accompagnement bienveillant tout au long de ce parcours.

Nos remerciements vont également à l'administration de la faculté ainsi qu'à tout le personnel pédagogique et administratif, pour leurs efforts constants à offrir un cadre d'étude structuré et motivant.

Enfin, nous implorons inshllh que ce travail soit agréé et bénéfique, qu'il marque le début d'un chemin plein de succès et de progrès, et nous le dédions à tous ceux qui nous ont soutenues et encouragées : nos familles, nos proches et nos amies.

Elhmdllh en tout temps et en toute circonstance.

Lamia - Rania



Dédicaces

Pour ceux qui ont toujours rempli mon chemin de force et de lumière...

Mon très cher père

A la plus belle perle du monde... ma mère bien-aimée

A ma sœur et nos chers frères

Et à mon cher mari qui m'a soutenu de mes Premiers pas pour ses souffrances et ses sacrifices pour moi, pour arriver à réaliser ce Travail.

Je leur souhaite tout le meilleur... Tout le bonheur

A toute ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours donné

N'oubliez jamais, en leur souhaitant tout le meilleur ... tout le bonheur pour tout le monde

Aide-moi à traverser l'horizon de ma vie.

Rania



Dédicaces

Pour ceux qui ont toujours rempli mon chemin de force et de lumière...

Mon très cher père

A la plus belle perle du monde... ma mère bien-aimée

A ma sœur et nos chers frères

Et à ma chère âme qui m'a soutenu de mes Premier pas pour ses souffrances et ses sacrifices pour moi, pour arriver à réaliser ce Travail.

Je leur souhaite tout le meilleur.... Tout le bonheur

A toute ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours donné

N'oubliez jamais, en leur souhaitant tout le meilleur ... tout le bonheur pour tout le monde

Aide-moi à traverser l'horizon de ma vie.

Lamia



Liste de tableaux

Tableau 01: Déférence entre les pots biodégradables et les pots traditionnels	18
Tableau 02: Différencie entre l'agriculture traditionnelle et l'agriculture hors-sol.....	26
Tableau 4: Résultat d'analyse d'humidité	45
Tableau 5: Résultat d'analyse de densité apparente	46
Tableau 6: Résultat d'analyse de CE	47
Tableau 7: Résultat d'analyse de pH.....	47
Tableau 8: Résultat d'analyse de matière organique.....	48
Tableau 9: Résultat d'analyse de fibre brutes	49
Tableau 10: Résultat d'analyse d'absorption d'eau.....	51
Tableau 11 : Evolution de la croissance dans les pots de mélange 1	52
Tableau 12: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 2.....	52
Tableau 13: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 3.....	53
Tableau 14 : Evolution de la croissance dans les pots de mélange 4.....	53
Tableau 15: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 5.....	54
Tableau 16: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 6.....	54
Tableau 17: Evolution de la croissance des pots de plastique.....	55
Tableau 18: Différences de longueur.....	56
Tableau 19: Différences de poids	57
Tableau 20: Différences de nombre de feuilles	58
Tableau 21: Différences de nombre de branches.....	59

Liste des Figure

Figure 1: Pots écologiques biodégradables	17
Figure 2: Agriculture hors-sol	25
Figure 3: Schéma de l'agriculture hydroponie	27
Figure 4: Schéma de l'agriculture aéroponie	28
Figure 5: Schéma de la culture sur substrat inerte	28
Figure 6: Schéma d'agriculture d'aquaponie.....	29
Figure 7: Département de SNV où se trouve laboratoire de botanique.....	34
Figure 8: Laboratoire de botanique.....	34
Figure 9: Les serres vitrées	35
Figure 10: Mélange 1	39
Figure 11: Mélange 2	40
Figure 12: Mélange 3	40
Figure 13: Mélange 4	41
Figure 14: Mélange 5	41
Figure 15: Le moule.....	42
Figure 16: Proportion des ingrédients	42
Figure 17: Assemblage des ingrédients.....	43
Figure 18: Les pots après séchage	43
Figure 19: L'agriculture dans les pots biodégradables	44
Figure 20: Analyse d'humidité	46
Figure 21: Analyse de pH	48
Figure 22: Analyse de matière organique	49
Figure 23: Traitement par une solution de NaOH	50
Figure 24: Procédé de combustion.....	50
Figure 25: Analyse d'absorption d'eau	51
Figure 26: Croissance de la menthe dans les pots biodégradables	55
Figure 27: Longueur moyen de la tige pour chaque type de pots	57
Figure 28: Poids moyen de la plante de chaque type de pots	58
Figure 29: Nombre moyen de feuilles pour chaque type de pots	59
Figure 30: Nombre moyen de branches pour chaque type de pots	60

Liste des abréviations

CE : conductivité électrique

TDS : Exprime la masse de sel dissoudre dans un litre d'eau

NaOH : Hydroxyde de sodium

H₂SO₄: Acide sulfurique

pH: Potentiel hydrogène

Sommer

<i>Liste de tableaux</i>	8
<i>Liste des Figure</i>	9
<i>Liste des abréviations</i>	10
<i>Introduction</i>	14
<i>Chapitre 1 : Les pots écologiques biodégradables</i>	16
1. Introduction	16
2. Concept des pots écologiques biodégradables	17
2.1. Définition et caractéristiques	17
2.1.1. Définition des pots écologiques biodégradables	17
2.1.2. Caractéristiques	17
2.2. Différence entre les pots biodégradables et les pots traditionnels.....	18
2.3. Contexte environnemental et économique du développement des pots écologiques biodégradables	19
3. Les matériaux utilisables dans la fabrication des pots biodégradables	19
4. Caractéristiques physiques et biologiques des ustensiles biodégradables	20
4.1. Caractéristiques physiques.....	20
4.2. Caractéristiques biologiques	20
5. Avantages environnementaux et agricoles des pots agricoles biodégradables	21
5.1. Avantages environnementaux.....	21
5.2. Avantages agricoles.....	21
6. Études et expériences précédentes sur les pots agricoles biodégradables	22
6.1. Résultats scientifiques comparatifs	22
6.2. Applications pratiques	22
<i>Chapitre 2 : La culture hors sol</i>	24
1. Introduction	24
2. Définition de la culture hors-sol et ses avantages	25
2.1. Définition.....	25
2.2. Avantages	25
2.3. Différencie	26

2.4. Les types d'agriculture hors-sol.....	27
• L'hydroponie (Hydroponie).....	27
• L'aéroponie (Aéroponie).....	27
• La culture sur substrat inerte (Substrat inerte).....	28
• L'aquaponie (Aquaponics).....	28
2.5. Les pays pionniers et les expériences réussies en agriculture hors-sol.....	29
3. Le contrôle de l'environnement et l'intelligence.....	30
3.1. Contrôle des facteurs environnementaux (Contrôle de l'environnement).....	30
3.2. Intelligence artificielle (Intelligence Artificielle).....	30
3.3. Systèmes agricoles intelligents (Systèmes de Smart Farming).....	30
4. Relation entre l'agriculture hors-sol et les pots agricoles biodégradables.....	30
4.1. Compatibilité entre l'agriculture hors-sol et les pots biodégradables.....	30
4.2. Intégration technique entre les deux systèmes.....	31
4.3. Avantages environnementaux de la combinaison.....	31
4.4. Avantages techniques.....	31
5. Les difficultés liées à l'agriculture hors-sol.....	31
6. Perspectives futures et tendances modernes.....	32
<i>Chapitre 3 : Matériels et méthodes</i>	33
1. Objectif.....	33
2. Lieu de l'expérimentation.....	33
3. Facteurs étudiés.....	35
4. Les opérations cultures.....	36
5. Matériel et dispositif expérimental.....	36
5.1. Matériel.....	36
5.2. Dispositif expérimentale.....	38
6. Description des méthodes expérimentales.....	39
<i>Chapitre 4 : Résultat et Discussions</i>	45
1. Résultats.....	45
1.1. Résultats de laboratoire.....	45
1.1.1. Analyses physiques.....	45
1.1.2. Analyses chimiques.....	47
1.1.3. Analyses mécaniques.....	51
1.2. Résultats de l'agriculture.....	52
2. Comparaison des résultats entre les pots.....	55

3. Discussion des Résultats	56
3.1. Influence de la composition organique sur la croissance	60
3.2. Comparaison avec le témoin plastique	61
3.3. Facteurs déterminants dans la performance des pots.....	61
4. Difficultés rencontrées lors de ce travail	62
5. Recommandations futures pour travailler avec cette idée	63
Conclusion	64
Références bibliographie	65
Annexes	71

Introduction

Ces dernières années, les défis environnementaux liés à l'utilisation de matériaux plastiques non biodégradables dans le secteur agricole se sont accentués, notamment dans les systèmes de culture hors sol, où les pots en plastique sont largement utilisés pour leur praticité. Cependant, l'impact écologique négatif de ces matériaux a poussé les chercheurs à explorer des alternatives durables et respectueuses de l'environnement, telles que les pots écologiques biodégradables, fabriqués à partir de matières organiques comme la fibre de coco, l'amidon ou encore le papier recyclé, qui se décomposent naturellement sans laisser de déchets nocifs (Ismail, 2021) .

La présente étude se concentre sur l'analyse de l'efficacité et de la faisabilité de l'utilisation de ces pots dans la culture hors sol, en mettant en lumière leur capacité à remplacer les pots plastiques classiques en termes de solidité, de biodégradabilité et d'effet sur la croissance des plantes.

La problématique que cette étude cherche à résoudre peut-être formulée ainsi : Dans quelle mesure les pots biodégradables peuvent-ils constituer une alternative efficace et durable aux pots plastiques dans les systèmes de culture hors sol ? Ce questionnement prend tout son sens à l'heure où les démarches agricoles durables et la réduction de l'empreinte écologique deviennent des priorités mondiales (Bouafia, 2019) .

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer les caractéristiques physiques, chimiques et fonctionnelles des pots biodégradables, et d'analyser leur impact sur les indicateurs de croissance des plantes, en les comparant aux pots plastiques traditionnels dans un système de culture hydroponique contrôlé.

Pour ce faire, une approche expérimentale a été adoptée, consistant à mettre en place des stations d'essai où une espèce végétale donnée (comme la laitue ou la menthe) est cultivée dans deux types de pots (biodégradables et plastiques), tout en enregistrant divers paramètres tels que la croissance, le taux d'humidité, le degré de décomposition des pots, etc., sur un cycle de culture complet (Zerrouki, 2020) .

Cette étude se distingue par son caractère novateur au niveau local, puisqu'elle figure parmi les premières recherches universitaires à intégrer à la fois les dimensions environnementale et fonctionnelle des pots biodégradables dans un système hors sol, un domaine encore peu exploré dans la recherche algérienne (Ben Djamâa, 2022) .

À travers ce travail, nous espérons contribuer au développement de solutions agricoles respectueuses de l'environnement et appuyer la transition vers des systèmes de production alimentaire plus durables, grâce à des résultats empiriques susceptibles d'ouvrir la voie à de futures recherches élargies.

Chapitre 1 : Les pots écologiques biodégradables

1. Introduction

Les pots écologiques biodégradables sont une innovation récente née de l'inquiétude croissante face à la pollution plastique et à l'accumulation de déchets non biodégradables (BenNacer, 2022) .

Ces pots remplissent les mêmes fonctions que les pots traditionnels, mais sont fabriqués à partir de matériaux naturels et écologiques qui se décomposent biologiquement sans laisser de résidus toxiques ou polluants (BenNacer, 2022) .

Historiquement, les sociétés utilisaient des pots en argile, bois, pierre ou métal, des matériaux réutilisables ou naturellement dégradables (Bouchama, 2019) .

Avec la révolution industrielle et l'essor de l'industrie pétrochimique, les pots en plastique se sont généralisés grâce à leur légèreté, leur faible coût et leur résistance à la chaleur. Toutefois, ces avantages se sont traduits par une forte pollution des sols et des eaux à cause de leur lente dégradation (Rabah, 2021) .

En réponse, les pots écologiques sont apparus comme une alternative durable, fabriqués à partir de matériaux naturels tels que l'amidon de maïs, la fibre de coco, les feuilles de palmier ou les résidus de canne à sucre. Leur type varie selon la matière première et l'usage prévu (agriculture, emballage, etc.) (BenNacer, 2022) .

2. Concept des pots écologiques biodégradables

2.1. Définition et caractéristiques

2.1.1. Définition des pots écologiques biodégradables

Les pots écologiques biodégradables sont des contenants fabriqués à partir de matières naturelles organiques, servant d'alternative au plastique, et se décomposent biologiquement sans laisser de résidus nocifs (BenNacer, 2022) .

On trouve dans la **figure 1** un exemple de les pots écologique biodégradables.



Figure 1: Pots écologiques biodégradables

2.1.2. Caractéristiques

- Ces pots se dégradent naturellement en quelques semaines ou mois, sans intervention industrielle (BenNacer, 2022) .
- Telles que l'amidon, les fibres de palmier, les résidus de canne à sucre et les feuilles végétales (BenNacer, 2022).
- Ils ne produisent pas de substances polluantes ou toxiques après leur décomposition, ce qui les rend adaptés à l'agriculture et respectueux de l'environnement (BenNacer, 2022) .
- Ils offrent une bonne résistance tout en restant faciles à transporter et à utiliser (BenNacer, 2022) .
- Ils peuvent être transformés en compost organique après usage (BenNacer, 2022) .

2.2. Différence entre les pots biodégradables et les pots traditionnels

Nous résumons ces différences entre le pot biodégradables et le pot plastique dans le **tableau 1**

Tableau 01: Différence entre les pots biodégradables et les pots traditionnels

Les pots	Biodégradables	Traditionnels
Matière première	Matières naturelles (amidon, fibres, feuilles...)	Matières synthétiques (plastique, métal, céramique)
Biodégradabilité	Se dégradent naturellement en quelques semaines ou mois	Peu ou pas biodégradables, peuvent prendre des siècles
Impact environnemental	Écologiques, ne laissent pas de résidus toxiques	Polluants pour le sol, l'eau et l'air
Compostage ou recyclage	Compostables ou biodégradables complètement	Difficiles ou impossibles à recycler
Solidité et résistance	Moyenne à bonne	Haute résistance et durabilité
Coût	Coût plus élevé	Moins coûteux à produire
Durée d'utilisation	Courte à moyenne durée	Longue durée de vie

La source : (Rabah, 2021)

2.3. Contexte environnemental et économique du développement des pots écologiques biodégradables

Le développement des pots biodégradables s'explique par les défis environnementaux croissants liés à l'usage du plastique traditionnel, considéré comme l'un des principaux polluants contemporains. Face à l'augmentation de la pollution et à la dégradation de l'environnement, la nécessité de solutions durables s'est imposée, ouvrant la voie à des techniques de production de contenants biodégradables, plus respectueux de la nature. Sur le plan économique, la hausse du coût de traitement des déchets industriels et les réglementations restrictives sur les plastiques ont favorisé les investissements dans des produits alternatifs. Par ailleurs, l'orientation des consommateurs vers des produits biologiques et durables a permis une croissance rapide du marché des pots écologiques à l'échelle mondiale (Abdelrahman, 2020) .

3. Les matériaux utilisables dans la fabrication des pots biodégradables

Plusieurs matières premières naturelles et renouvelables sont utilisées dans la fabrication des pots écologiques biodégradables, notamment :

- Amidon naturel (maïs ou pomme de terre) : C'est l'un des matériaux les plus couramment utilisés en raison de sa forte biodégradabilité, souvent appliqué dans la fabrication de contenants légers (Smith, 2020) .
- Fibres de palmier (feuilles et tiges) : Matière disponible localement en Algérie, utilisée pour produire des pots solides et légers (BenNacer, 2022) .
- Résidus de blé et d'orge (son, enveloppes) : Riches en fibres naturelles, ils servent à fabriquer des pots résistants et écologiques (Jalal, 2019) .
- Bagasse – fibres de canne à sucre : Sous-produit de l'industrie sucrière, largement utilisé à l'échelle mondiale pour la fabrication de contenants biodégradables (FAO, 2021) .

4. Caractéristiques physiques et biologiques des ustensiles biodégradables

4.1. Caractéristiques physiques

- **Légèreté et flexibilité** : Les ustensiles biodégradables sont souvent fabriqués à partir de polymères naturels comme l'amidon ou l'acide polylactique (PLA), ce qui les rend légers et faciles à façonner (Abouzaid, 2019) .
- **Résistance limitée à la chaleur et à l'humidité** : Ces ustensiles se dégradent rapidement en présence d'humidité ou à haute température, ce qui limite leur utilisation avec des aliments chauds ou pour un stockage prolongé (Abbassi.K & BenAbou.I, 2022) .
- **Transparence ou couleur naturelle** : La plupart présentent une couleur blanche jaunâtre ou sont translucides selon le matériau utilisé (Tokiwa, 2009) .

4.2. Caractéristiques biologiques

- **Biodégradabilité** : Ces ustensiles se décomposent sous l'action de micro-organismes (bactéries, champignons) dans le sol ou dans l'eau, en quelques semaines à quelques mois (Kumar, 2020) .
- **Absence de substances toxiques lors de la dégradation** : Ils se décomposent en composés naturels comme l'eau, le dioxyde de carbone et la biomasse sans laisser de résidus toxiques (Santé, 2021) .
- **Compostabilité** : Certains types peuvent être utilisés dans le compostage industriel et se transforment en engrais organique en peu de temps (Samir, 2020) .

5. Avantages environnementaux et agricoles des pots agricoles biodégradables

5.1. Avantages environnementaux

- Réduction de la pollution plastique : Les pots biodégradables se décomposent naturellement dans le sol, ce qui réduit l'accumulation de déchets plastiques traditionnels dans l'environnement (Singh, 2020) .
- Réduction des émissions de carbone : Ces pots sont généralement fabriqués à partir de ressources végétales renouvelables, ce qui diminue leur empreinte carbone par rapport aux plastiques pétrochimiques (Atika, 2018) .
- Amélioration de la qualité du sol : Leur décomposition produit de l'eau, du dioxyde de carbone et des résidus naturels sans substances toxiques, maintenant la santé du sol (Khaldi, 2021) .

5.2. Avantages agricoles

- Soutien à la croissance des plantes : Ces pots se décomposent dans le sol sans être retirés, protégeant ainsi les racines des plantes lors du repiquage (Scarascia-Mugnozza, 2011) .
- Réduction de l'effort et des coûts : Les pots peuvent être plantés directement avec les semis, réduisant ainsi le travail manuel et les coûts de main-d'œuvre (EFMA, 2022) .
- Enrichissement organique du sol : Une fois décomposés, les composants végétaux des pots nourrissent le sol et améliorent sa fertilité (BenAliya, 2020) .

6. Études et expériences précédentes sur les pots agricoles biodégradables

6.1. Résultats scientifiques comparatifs

Une expérience menée à l'Université d'Agriculture de Varsovie a montré que l'utilisation de pots agricoles biodégradables fabriqués à partir de fibres naturelles comme la noix de coco et le lin a permis d'améliorer le taux de germination des graines de 12 % par rapport aux pots en plastique traditionnels (Nowak, 2021) .

Une étude réalisée à l'Université de Constantine en Algérie a également démontré que ces pots se décomposent complètement en 3 à 6 mois, ce qui réduit la pollution environnementale et améliore la fertilité du sol sans avoir besoin de les récupérer ou de les traiter (Ben Merzoug, 2022) .

Sur le plan économique, une étude menée par des chercheurs de l'Université du Caire a révélé que le coût initial des pots biodégradables est supérieur de 15 % à celui des pots en plastique, mais qu'ils permettent de réduire les coûts liés à l'élimination des déchets et à l'impact environnemental à long terme (Abdel Razek, 2023) .

Enfin, la revue *Agricultural Sciences* a indiqué que ces pots contribuent à réduire les maladies des racines jusqu'à 20 %, grâce à leur capacité à réguler l'humidité et à empêcher l'accumulation de bactéries nocives autour des racines (Zhang, 2020) .

6.2. Applications pratiques

En Chine, des pots biodégradables ont été utilisés dans un projet de culture de riz biologique dans la province du Sichuan. Ils ont permis d'améliorer la qualité de la récolte et d'augmenter la production de 8 %, grâce à leur décomposition naturelle qui élimine le besoin de retirer les pots après plantation (Wang, 2021) .

En Algérie, un projet pilote a été mis en œuvre dans la wilaya de Mostaganem, utilisant des pots fabriqués à partir de fibres de palmier pour la culture de jeunes plants de tomates sous serre. Les résultats ont montré une amélioration de l'aération du sol et une plantation plus facile sans endommager les racines (BenFriha, 2022) .

Au Canada, des entreprises de production florale comme "FloraPack" ont adopté des pots 100 % biodégradables fabriqués à partir de pâte de bois, réduisant ainsi les déchets plastiques d'environ 20 tonnes par an. Cette initiative a été intégrée dans une politique de production agricole durable (Review, 2023) .

En Tunisie, ces pots ont été utilisés dans un projet éducatif environnemental dans des écoles, afin d'enseigner aux élèves l'agriculture urbaine sans plastique. L'expérience a contribué à renforcer la conscience écologique chez les enfants de manière pratique (Sassi, 2023)

Chapitre 2 : La culture hors sol

1. Introduction

La culture hors-sol (culture sans sol) est l'une des pratiques agricoles alternatives les plus anciennes, bien qu'elle ait connu un développement technologique significatif à l'époque moderne. Les premières formes de cette technique remontent aux civilisations anciennes, notamment chez les Aztèques, qui utilisaient les chinampas, des « champs flottants » pour cultiver sur l'eau (Jiménez, 2010) .

L'origine scientifique réelle de cette méthode débute au XVIIIe siècle avec le scientifique anglais John Woodward, qui mena des expériences sur la croissance des plantes dans des solutions nutritives, posant ainsi les bases de l'hydroponie moderne (Jones, 2005) .

Dans les années 1930, la culture hors-sol connut une évolution notable à l'Université de Californie, où furent menées les premières expériences commerciales réussies avec des solutions nutritives. Cette technique fut ensuite utilisée durant la Seconde Guerre mondiale pour nourrir les troupes américaines dans des zones isolées (Resh, 2012) .

Avec les progrès technologiques, la méthode s'est largement diffusée dans le monde, avec l'apparition de systèmes plus avancés tels que l'aéroponie et la culture sur substrats. Ces innovations ont permis une adoption massive dans les serres intelligentes et l'agriculture verticale urbaine (Savvas, 2014) .

Aujourd'hui, la culture hors-sol est devenue une solution stratégique adoptée par de nombreux pays pour faire face à la rareté des ressources en eau et à la diminution des terres arables. Elle est utilisée dans les projets agricoles urbains, les stations spatiales, et même dans les régions désertiques.

2. Définition de la culture hors-sol et ses avantages

2.1. Définition

La culture hors-sol est une méthode de production végétale qui ne nécessite pas l'utilisation de sol agricole. Elle repose sur l'utilisation de substrats inertes (comme la laine de roche ou les fibres de coco) ou sur des solutions nutritives contenant les éléments essentiels à la croissance des plantes (Savvas D., 2013) .

On trouve la **figure 2** un exemple de la culture hors sol.



Figure 2:Agriculture hors-sol

2.2. Avantages

- Économie d'eau pouvant atteindre 90 % par rapport à l'agriculture traditionnelle (FAO, 2020) .
- Rendement plus élevé grâce au contrôle total des nutriments et des conditions environnementales Article scientifique (Gruda, 2011) .
- Possibilité de culture dans des zones non cultivables, comme les déserts ou les milieux urbains (Mohamedi, 2022) .
- Réduction de l'utilisation des pesticides, grâce à la diminution des maladies liées au sol (Jensen, 2010) .

2.3. Différencie

Nous résumons ces différences entre l'agriculture traditionnelle et l'agriculture hors sol dans le **tableau 2**

Tableau 02: Différencie entre l'agriculture traditionnelle et l'agriculture hors-sol

L'agriculture	Agriculture traditionnelle	Agriculture hors-sol
Milieu de culture	Elle repose sur le sol naturel comme source principale de nutriments et pour la fixation des plantes (AbdelBasset, 2004) .	Elle utilise des milieux alternatifs comme l'eau, le sable, la tourbe ou des matériaux synthétiques (Bouaziz, 2020) .
Consommation en eau	: Elle consomme de grandes quantités d'eau en raison de l'évaporation et de l'infiltration (RADR, 2018) .	: Elle est plus efficace, l'eau peut être recyclée et contrôlée avec précision (Sami, 2019) .
Contrôle des nutriments	: La disponibilité des nutriments dépend de la fertilité du sol, ce qui provoque des différences de croissance (AbouZeid, 2010) .	: Elle permet un contrôle total des nutriments grâce aux solutions nutritives préparées (Université, 2021) .
Productivité et espace	Productivité limitée nécessitant de vastes surfaces agricoles (REA, 2017) .	Elle offre une productivité plus élevée dans des espaces réduits (serres, toits...) (Carlo, 2020) .
Influence du climat	Elle est fortement influencée par les conditions climatiques (chaleur, pluie, vent) (EAM, 2011) .	: Moins influencée par le climat, notamment avec l'usage de serres ou de systèmes fermés (Forum des ingénieurs agronomes arabes, 2022) .

2.4. Les types d'agriculture hors-sol

- **L'hydroponie (Hydroponie)**

Ce système repose sur la culture des plantes directement dans l'eau sans utiliser de sol, avec des nutriments ajoutés à l'eau de manière contrôlée (Sami, 2019) .

Le **figure 3** un exemple de la culture hydroponie.

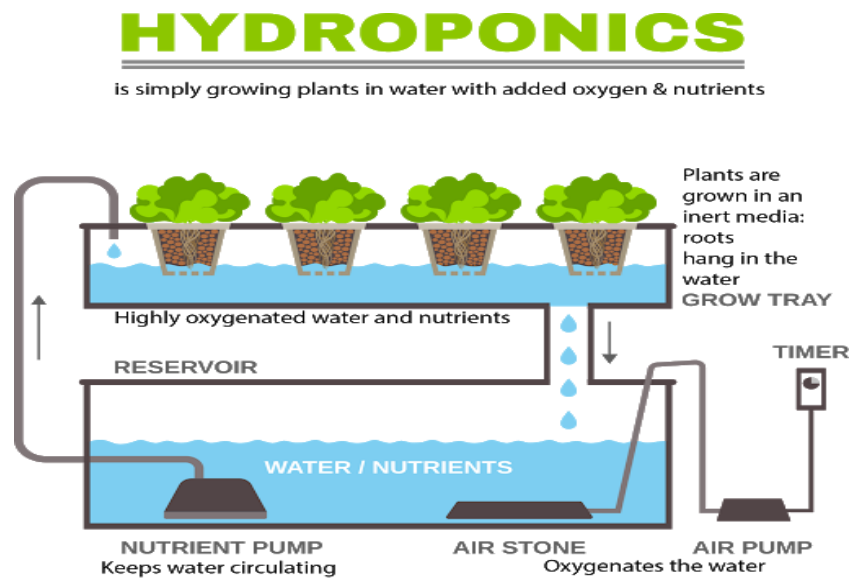


Figure 3: Schéma de l'agriculture hydroponie

- **L'aéroponie (Aéroponie)**

Les racines sont suspendues dans l'air à l'intérieur d'un environnement fermé et sont pulvérisées régulièrement avec une solution nutritive. C'est l'un des systèmes les plus avancés (Carlo, 2020) .

La **figure 4** un exemple de culture aéroponie

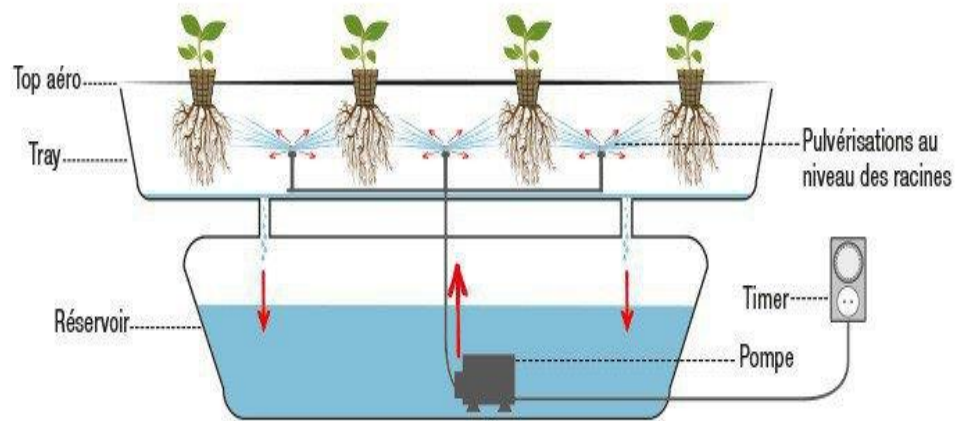


Figure 4: Schéma de l'agriculture aéroponie

- **La culture sur substrat inerte (Substrat inerte)**

Utilise des matériaux neutres comme le sable, la laine de roche, la vermiculite ou la tourbe, irrigués avec des solutions nutritives (Bouaziz, 2020) .

La **figure 5** exemple de culture sur substrat inerte.

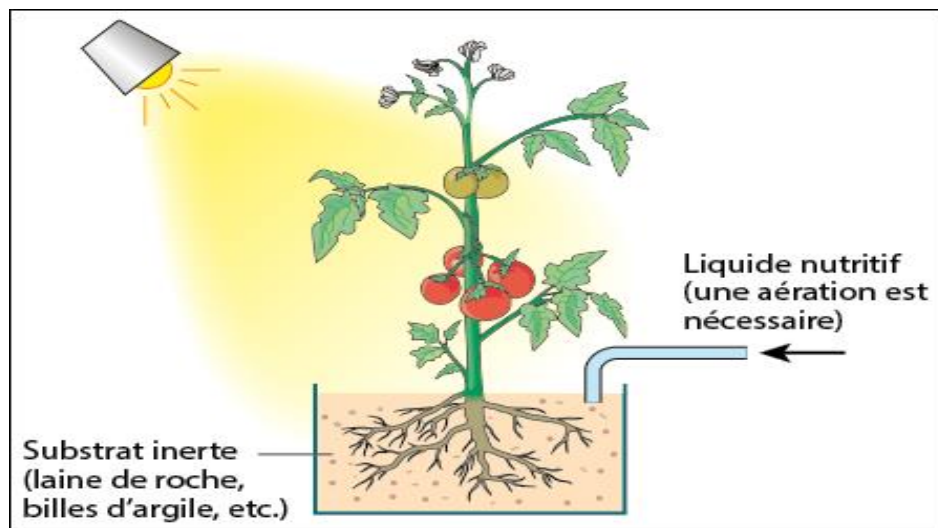


Figure 5: Schéma de la culture sur substrat inerte

- **L'aquaponie (Aquaponics)**

C'est un système intégré qui combine l'hydroponie et l'élevage de poissons. Les déchets des poissons servent de source naturelle de nutriments pour les plantes, tandis que

celles-ci purifient l'eau pour les poissons. Ce système représente un bon exemple de recyclage biologique (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006) .

Le **figure 6** un exemple de la culture aquaponie.

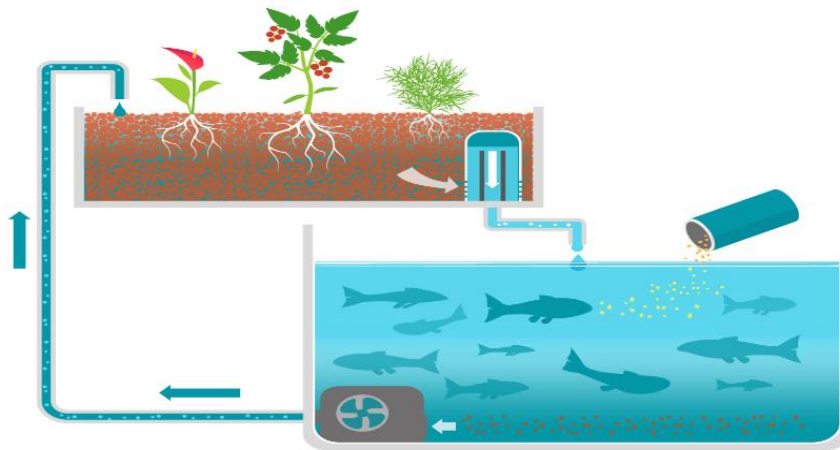


Figure 6: Schéma d'agriculture d'aquaponie

2.5. Les pays pionniers et les expériences réussies en agriculture hors-sol

- Les Pays-Bas sont l'un des leaders mondiaux dans le domaine de l'agriculture hors-sol. Ils utilisent largement l'hydroponie et les serres intelligentes, malgré la petite taille du pays, et sont parmi les plus grands exportateurs de produits agricoles (Smit, 2020) .
- Le Japon a développé l'agriculture verticale et l'aéroponie à l'intérieur des bâtiments en raison de la rareté des terres. Il utilise des technologies avancées comme les robots et l'intelligence artificielle dans des fermes fermées (Hiroshi, 2021) .
- L'agriculture hors-sol est largement utilisée, notamment en Californie et dans l'Ouest américain. De grandes entreprises comme AeroFarms et Plenty pratiquent l'agriculture verticale et l'aéroponie (Miller, 2019) .
- Malgré le climat désertique, les Émirats ont investi dans l'hydroponie et l'agriculture verticale en milieu urbain. Des fermes comme "Bustaney Farms" et "Kalera UAE" sont des exemples réussis (Elbelouchi, 2022) .
- Singapour est un exemple de réussite dans l'agriculture verticale urbaine. Le pays vise une autosuffisance alimentaire de 30 % d'ici 2030 grâce à l'agriculture hors-sol (Willy, 2021) .

- L'Algérie a lancé des expériences en hydroponie, notamment dans les régions du sud (El Oued, Ouargla), avec des projets de recherche dans des universités comme Constantine et Blida (Benmoussa, 2021) .

3. Le contrôle de l'environnement et l'intelligence

3.1. Contrôle des facteurs environnementaux (Contrôle de l'environnement)

Utilisé pour réguler La température (systèmes de chauffage/refroidissement), L'humidité (humidificateurs/déshumidificateurs), L'éclairage (lampes LED réglables), La ventilation (systèmes d'échange d'air), La solution nutritive (pH, EC, etc.)

Ce contrôle se fait généralement à l'aide de capteurs connectés à des logiciels de gestion automatisée (Mansour, 2021) .

3.2. Intelligence artificielle (Intelligence Artificielle)

L'IA est utilisée pour analyser les données environnementales et la croissance des plantes, ainsi que pour prévoir les maladies ou les carences nutritives.

Parmi ses applications : Prévion de l'irrigation et de la fertilisation, Optimisation de la qualité et de la quantité des récoltes, Gestion de l'énergie et de l'éclairage, Détection des anomalies dans la santé des plantes (via caméras et analyse d'images) (Benrahal, 2022) .

3.3. Systèmes agricoles intelligents (Systèmes de Smart Farming)

Ils incluent des applications mobiles ou des interfaces numériques qui permettent un contrôle à distance de tous les paramètres environnementaux (Georgia, 2020) .

4. Relation entre l'agriculture hors-sol et les pots agricoles biodégradables

4.1. Compatibilité entre l'agriculture hors-sol et les pots biodégradables

L'agriculture hors-sol offre une grande flexibilité quant aux substrats utilisés. Les pots biodégradables (fabriqués à partir de fibres de coco, d'amidon, etc.) peuvent contenir des milieux inertes (comme la perlite ou la laine de roche) ou des solutions nutritives, ce qui les rend compatibles avec les systèmes hydroponiques et semi-hydroponiques (Benissa, 2021) .

4.2. Intégration technique entre les deux systèmes

Les pots biodégradables peuvent être intégrés directement dans les systèmes hydroponiques, réduisant le stress de transplantation.

Ils permettent une bonne aération et un drainage optimal des racines.

Certains pots se décomposent naturellement dans le système, évitant ainsi le nettoyage ou le remplacement (Sami D. , 2020) .

4.3. Avantages environnementaux de la combinaison

Réduction des déchets plastiques : l'usage de pots biodégradables diminue la dépendance au plastique dans les systèmes agricoles.

Renforcement du recyclage naturel : certains pots enrichissent le sol ou le substrat après décomposition, s'ils sont compostés.

Baisse de l'empreinte carbone : l'association entre agriculture économe en eau et matériaux biodégradables favorise une production à faible impact écologique (Julian, 2022) .

4.4. Avantages techniques

Facilité de transport et de repiquage : les plantes peuvent être déplacées sans retirer le pot, ce qui évite le choc racinaire.

Meilleure santé racinaire : les pots biodégradables favorisent une meilleure oxygénation des racines.

Intégration aux systèmes automatisés : ces pots peuvent être fabriqués selon des normes compatibles avec les systèmes d'irrigation intelligents (Mohamed, 2019)

5. Les difficultés liées à l'agriculture hors-sol

Les systèmes hors-sols nécessitent des équipements spécifiques tels que pompes, éclairage artificiel, dispositifs de contrôle et parfois des capteurs intelligents, ce qui entraîne un investissement initial élevé par rapport à l'agriculture traditionnelle (Elhashimi, 2021) .

La gestion efficace des systèmes sans sol requiert une bonne maîtrise de la chimie des solutions nutritives, du contrôle du pH, de l'oxygénation des racines, etc., ce qui représente un défi pour les agriculteurs non formés (Boutafra, 2020) .

Les systèmes reposent fortement sur l'électricité pour fonctionner. Toute coupure de courant, notamment dans l'aéroponie, peut entraîner une perte rapide des cultures (Marces, 2019) .

Certains substrats comme la laine de roche ou la tourbe, ainsi que certaines solutions nutritives importées, sont coûteux ou difficilement accessibles localement (Elbestani, 2022) .

Toutes les cultures ne sont pas adaptées à l'agriculture hors-sol. Certaines, comme les arbres fruitiers, nécessitent des conditions difficiles à reproduire sans sol (Abdelraza, 2018) .

Dans de nombreux pays, les politiques agricoles restent centrées sur les méthodes traditionnelles, avec peu d'aides ou d'incitations pour les systèmes hors-sol (Benyaish, 2021) .

6. Perspectives futures et tendances modernes

L'agriculture verticale représente une des tendances majeures, utilisant des structures à étages dans des espaces fermés pour augmenter la densité de production tout en réduisant l'empreinte au sol (Robert, 2022)

On prévoit une adoption croissante de l'IA et de l'IoT pour surveiller et gérer automatiquement les paramètres environnementaux et nutritifs (Boukhari, 2021) .

Des systèmes sans sol sont développés pour des environnements extrêmes comme l'espace et les déserts, en s'appuyant sur le recyclage de l'eau et de l'air (Kathy, 2020) .

La recherche explore des alternatives locales naturelles comme les fibres végétales ou la sciure de bois pour remplacer les substrats importés et coûteux (Dahmani, 2021) .

L'avenir verra une expansion de la culture hors-sol dans les villes (toits, balcons) pour réduire l'insécurité alimentaire urbaine (Lawrence, 2023) .

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

1. Objectif

Cette étude vise à concevoir et de produire des pots à partir de matériaux naturels et durables, puis d'évaluer leur performance biologique et environnementale à travers des expérimentations comparant la croissance des plantes cultivées dans ces pots écologiques et celles cultivées dans des pots en plastique.

L'étude analysera également la vitesse de dégradation de ces pots dans des conditions naturelles afin de déterminer leur compatibilité avec une utilisation à long terme en agriculture durable.

Ainsi à proposer des alternatives écologiques concrètes pour limiter la pollution plastique et promouvoir des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement.

2. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au niveau de l'université 20Aâut1955, A été divisée en deux étapes :

La première étape en laboratoire, Ou le département des sciences agronomiques compte un laboratoire de botanique, Il est un espace scientifique utilisé pour l'étude des composantes du sol et leur relation avec la croissance des plantes, On y réalise des analyses des propriétés physiques et chimiques du sol ; Afin de comprendre leur impact sur l'environnement végétal. Dans la **figure 7** et la **figure 8** des photos du laboratoire ou cela a été réalisé.



Figure 7: Département de SNV où se trouve laboratoire de botanique

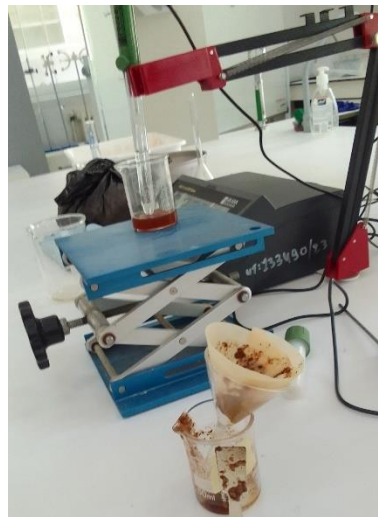


Figure 8: Laboratoire de botanique

La deuxième étape en serres vitrées, Ou le département des sciences agronomiques compte deux serres vitrées répondront programmes pédagogiques, et d'initier nous autres cadres à la recherche appliquée Ces deux serres vitrées permettent de comprendre un végétale, de suivre son évolution dans un milieu maitrise en ternes de température, d'hygrométrie, de limite, eu fertilisation etc. Ces serres sont menées des équipements spécifiques qui forment un microclimat à l'intérieure de cette serre pédagogique. Nous voyons dans la **figure 9** des photos du jardin et des serres en plastique.



Figure 9:Les serres vitrées

3. Facteurs étudiés

1. Analyses physique

A. Détermination de la Teneur en Humidité

B. Densité Apparente

C. Conductivité Electrique

2. Analyses chimique

A. pH

B. Matière Organique

C. Fibre Brutes

3. Analyses mécaniques

A. Absorption d'Eau

4. Les opérations cultures

- Date des analyses : 09-03-2025
- Date de fabrication des pots : 20-04-2025
- Date de sélection des semences : 27-04-2025
- Date de plantation : 30-04-2025
- Dates d'irrigation : Chaque 4 jours

5. Matériel et dispositif expérimental

5.1. Matériel

5.1.1. Matériel de laboratoire

- Pipette de robinson
- Tamis
- Thermomètre à minima et maxima
- Chronométré
- Flacon de 1000ml
- Pissette
- Eau distillée
- Compost
- PH-mètre
- Conductimètre
- Balance
- Na Cl
- Bicherie

5.1.2. Matériel de végétale

L'essai comporte un type de plante à croissance rapide, à savoir **la menthe**, dont les caractéristiques, sont les suivantes :

- **Caractéristiques culturelles**
 - Type de plante : Herbe vivace appartenant à la famille des Lamiacées
 - Climat idéal : croissance rapide, supporte l'ombre partielle
 - Vitesse de croissance : croissance rapide, production possible, quelques semaines après la plantation
 - Méthode de culture : peut-être cultivée en pots ou en plein champ, utilisée aussi comme plante aromatique de jardin
 - Utilisation : à des fins médicinales, alimentaires, cosmétiques et aromatiques
- **Caractéristiques agronomiques**
 - Type de sol : sol limoneux ou sablonneux, fertile et bien drainé
 - Température optimale : entre 15 et 30 C
 - Irrigation : besoin d'un arrosage régulier, sans excès d'eau
 - Multiplication : par boutures de tiges ou par rhizomes rampants
 - Récolte : environ 2 à 3 mois après la plantation, préférable avant la floraison pour une teneur maximale en huile essentielle

5.1.3. Caractéristique de sol utilisée

L'opération de plantation a été réalisée en utilisant du sol provenant des environs des serres plastiques, dont les propriétés étaient connues.

- **Description morphologique**

Date de description : Avril 2025

Localisation : 36°50'55.25"N, 6°53'45.68"E

Physiographie : Terrasse alluviale

Topographie : Pente à 2%

Matériau parental : Dépôt alluvionnaire sous Micaschiste

Occupation des sols : Champ sex péri mental, l'année de description (Sol délaissé pendant plus de 10 ans, ex champ d'arboriculture)

Drainage : Mauvais

ClassificationUSDA2022 : Cumulic Haploxeroll

ClassificationCPCS1967 : Sol peu évolué d'apporta

5.2. Dispositif expérimentale

Les déchets de fruits et légumes ont été collectés et classés en six mélanges, ont été choisis de manière à représenter une diversité de textures et de propriétés chimique. Cette variabilité visait à tester l'effet des composants sur la cohésion du pot ainsi que sur la croissance végétale, les choix ont également été guidés par la disponibilité locale des déchets, dans une optique de recyclage agroécologique. Puis séchés au soleil pendant un mois et broyés pour obtenir une poudre homogène. Les mélanges ont subi des analyses en laboratoire, afin d'évaluer leurs propriétés, avant d'être combinés avec un adhésif naturel et moulés dans des formes spécifiques, puis séchés.

Dix-huit pots biodégradables ont été fabriqués, trois pour chaque mélange, et différentes espèces végétales y ont été cultivées, en plus de trois pots en plastique utilisés comme témoin. Tous les pots ont été placés dans les mêmes conditions environnementales,

avec un suivi régulier de la croissance des plantes et de la dégradation des pots biodégradables tout au long de l'expérience.

6. Description des méthodes expérimentales

Dans cette étude, les déchets végétaux ont été utilisés comme base pour la fabrication de pots biodégradables. Ils ont été répartis en six mélanges différents en fonction de leur composition et de leurs propriétés physiques et chimiques.

- Mélange 1 : Pomme, Pomme de terre, Orange, Banane.
- Mélange 2 : Ananas, Carotte, Pomme.
- Mélange 3 : Banane, Pomme de terre, Betterave.
- Mélange 4 : Orange, Carotte, Oignon.
- Mélange 5 : Salade, Artichaut.
- Mélange 6 : Artichaut, Pomme, Pois, Pomme de terre.

Dans les figures 10, 11, 12, 13 et 14 on trouve des photos des mélanges préparés.



Figure 10: Mélange 1



Figure 11: Mélange 2



Figure 12: Mélange 3



Figure 13:Mélange 4



Figure 14:Mélange 5

Après la collecte, les déchets ont été séchés au soleil pendant environ un mois afin de réduire leur taux d'humidité, puis broyés afin d'obtenir une poudre homogène. Pour évaluer les propriétés de ces mélanges, des analyses en laboratoire

Après avoir terminé les analyses en laboratoire, nous sommes passés à la fabrication des pots laquelle a eu lieu à l'intérieur des serres plastiques. Nous avons fabriqué 3 pots à partir de chaque mélange (afin d'assurer une étude précise), en nous aidant d'un moule spécifique de forme cubique et taille moyenne pour leur mise en forme. Nous voyons ce moule dans la **figure 15**.



Figure 15: Le moule

Et ces récipients ont été fabriqués en mélangeant le mélange avec un adhésif naturel, et qui était la poudre de fécule. Selon des proportions spécifiques de la poudre afin d'assurer la cohésion du matériau lors du moulage, nous avons utilisé pour chaque 150g du mélange, 100g de fécule avec 0,5L d'eau. Nous représentons ces quantités sous forme de proportions dans un diagramme circulaire dans la **figure 16**. Comme nous voyons les ingrédients ensemble avant le mélange dans la **figure 17**.

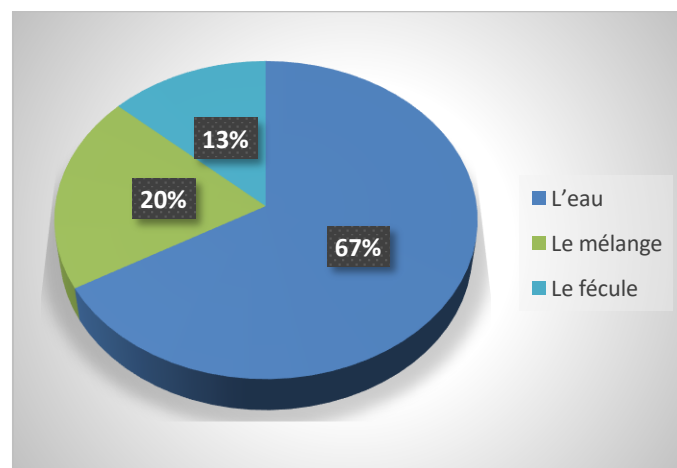


Figure 16: Proportion des ingrédients



Figure 17: Assemblage des ingrédients

Ensuite subi un séchage supplémentaire, à l'intérieur des serres pendant 7 jours à la température ambiante. Afin de renforcer leur solidité avant le début de l'expérimentation agricole. Nous voyons les pots après façonnage et séchage dans la **figure 18**.



Figure 18: Les pots après séchage

Une fois les pots fabriqués, ils ont été répartis en deux groupes : le premier comprend 18 pots biodégradables, à raison de trois pots pour chaque type de mélange, pour déterminer la croissance de chaque pot, dans lesquels ont été cultivé un type de plante à croissance rapide, utilisée aussi comme plante aromatique de jardin, à savoir **la menthe**, la choix de la menthe s'est imposé en raison de sa croissance rapide de sa sensibilité aux variations du substrat, ainsi que de sa large utilisation dans le domaine médical et culinaire, en tant

qu'indicateur biologique le menthe constitue un bon modèle pour évaluer la qualité d'un milieu de culture innovant comme les pots biodégradables.

Le second groupe comprend trois pots en plastique de dimensions similaires, utilisés comme témoins, où les mêmes espèces végétales ont été plantée afin de comparer l'influence des pots biodégradables par rapport aux pots conventionnels sur la croissance des plantes.

Avec un contrôle précis de l'irrigation et de l'éclairage selon un programme agricole défini. Des outils spécifiques ont été employés pour la mise en culture et le suivi régulier des plantes. Tout au long de l'expérience, plusieurs paramètres ont été mesurés, notamment le taux de germination, la hauteur des plantes, le nombre de feuilles et l'état des racines. De plus, la dégradation des pots biodégradables et leur interaction avec le sol ont été suivies afin d'évaluer leur biodégradabilité et leur impact sur l'environnement agricole. Les résultats finals dans la **figure 19**.



Figure 19: L'agriculture dans les pots biodégradables

Chapitre 4 : Résultat et Discussions

1. Résultats

1.1. Résultats de laboratoire

Les analyses en laboratoire ont révélé une série de résultats mettant en évidence les différences entre les mélanges utilisés pour la fabrication des pots biodégradables. Les mesures effectuées ont montré que chaque mélange possède des propriétés distinctes en termes de

1.1.1. Analyses physiques

a. Détermination de la teneur en humidité :

Les résultats obtenus dans le **tableau 4**. Comme nous voyons le processus d'analyse dans la **figure 20**.

$$H\% = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100\%$$

Tableau 3: Résultat d'analyse d'humidité

Ech	Poids de la plaque(g)	Poids de la plaque et l'échantillon(g)	Poids après 24h(g)	Poids de l'échantillon(g)	Humidité (%)
1	38.903	43.903	43.613	4.71	5.8
2	43.782	48.782	48.339	4.557	8.86
3	38.235	43.235	42.687	4.452	10.96
4	42.620	48.620	48.132	5.512	-10.24
5	46.757	51.757	49.474	2.717	45.66
6	43.782	48.782	48,195	4.413	11.74



Figure 20: Analyse d'humidité

b. Densité apparente :

Les résultats obtenus dans le **tableau 5**.

$$D = \frac{M}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Tableau 4: Résultat d'analyse de densité apparente

Ech	Poids de la bécher(g)	Poids de la bécher et l'échantillon(g)	Volume(cm ³)	Densité (g/cm ³)
1	48.087	50.087	5	0.4
2	48.087	50.087	8	0.25
3	48.087	50.087	5.5	0.36
4	48.087	50.087	7	0.29
5	48.087	50.087	7.5	0.27
6	48.087	50.087	6	0.33

c. Conductivité Electrique :

Les résultats obtenus dans le **tableau 6**.

Tableau 5: Résultat d'analyse de CE

Ech	CE μs	TDS mg/L
1	677	480
2	656	466
3	327	230
4	548	389
5	787	559
6	442	310

1.1.2. Analyses chimiques

a. Ph

Les résultats obtenus dans le **tableau 7**. Comme nous voyons le processus d'analyse dans la **figure 21**.

Tableau 6: Résultat d'analyse de pH

Ech	Ph
1	5.59
2	5.30
3	5.20
4	4.82
5	5.61
6	5.3

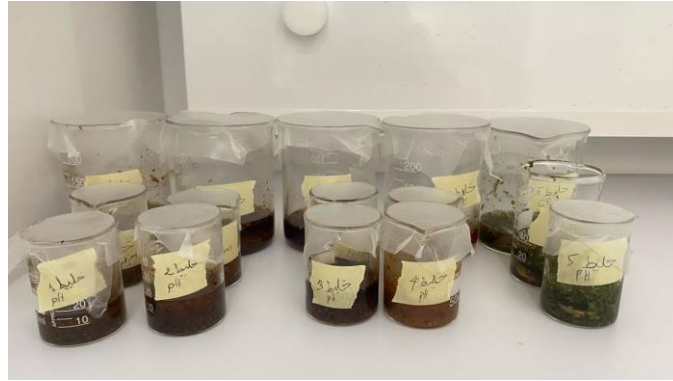


Figure 21: Analyse de pH

b. Matière Organique :

Les résultats obtenus dans le **tableau 8**. Comme nous voyons le processus d'analyse dans la **figure 22**.

$$MO = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100\%$$

Tableau 7: Résultat d'analyse de matière organique

Ech	Poids de l'assiette(g)	Poids de l'assiette et l'échantillon(g)	Poids après la calcination(g)	Poids manquant(g)	Matière organique (%)
1	36,11	41,11	36,71	0.6	88
2	37,94	42,94	38,40	0.46	90.8
3	42,33	47,33	42,95	0.62	87.6
4	50,47	55,47	50,81	0.34	93.2
5	42,55	47,55	42,90	0.35	93
6	39,27	44,27	39,71	0.44	91.2



Figure 22: Analyse de matière organique

c. Fibre Brutes :

Les résultats obtenus dans le **tableau 9**. Comme nous voyons le processus d'analyse dans la **figure 23 et 24**.

$$FB = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100\%$$

Tableau 8: Résultat d'analyse de fibre brutes

Ech	Poids de l'assiette(g)	Poids de l'assiette et l'échantillon(g)	Poids après la calcination(g)	Poids d'échantillon(g)	Fibre Brute (%)
1	42,97	44,97	43,60	0.63	68.5
2	38,92	40,92	39,49	0.57	71.5
3	38,55	40,55	39,29	0.74	63
4	40,00	42,00	40,75	0.75	62.5
5	41,87	43,87	42,62	0.75	62.5
6	38,46	40,46	39,24	0.78	61

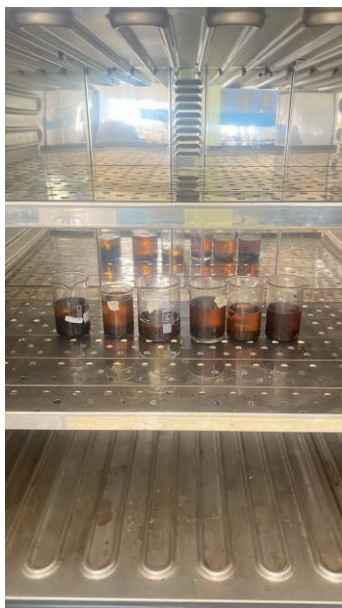


Figure 23:Traitement par une solution de NaOH



Figure 24:Procédé de combustion

1.1.3. Analyses mécaniques

a. Absorption d'eau :

Les résultats obtenus dans le **tableau 10**. Comme nous voyons le processus d'analyse dans la **figure 25**.

$$\text{Absorption d'eau} = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100\%$$

Tableau 9: Résultat d'analyse d'absorption d'eau

Ech	Poids de la bécher(g)	Poids de la bécher et l'échantillon(g)	Poids après 24 h(g)	Poids d'échantillon(g)	Absorption d'eau (%)
1	45.813	47.813	53.709	7.896	294.8
2	45.813	47.813	51.949	6.136	206.8
3	45.813	47.813	51.192	5.379	168.95
4	29.502	31.502	35.945	6.443	222.15
5	45.813	47.813	54.297	8.484	324.2
6	45.813	47.813	51.901	6.088	204.4



Figure 25: Analyse d'absorption d'eau

1.2. Résultats de l'agriculture

- Mélange 1

Dans le **tableau 11** nous rassemblons les résultats moyens de la culture dans les pots fabriqués à partir du mélange 1.

Tableau 10 : Evolution de la croissance dans les pots de mélange 1

Semaines	Hauteur(cm)	Poids(g)	Feuilles	Branches
0	15	1.5	4	1
1	17	2.4	8	2
2	19	3.7	14	3
3	21	5.3	22	4
4	23	7	30	5

- Mélange 2

Dans le **tableau 12** nous rassemblons les résultats moyens de la culture dans les pots fabriqués à partir du mélange 2.

Tableau 11: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 2

Semaines	Hauteur(cm)	Poids(g)	Feuilles	Branches
0	15	1.5	4	1
1	16.5	2	6	2
2	18.2	3	11	3
3	20	4.3	18	3
4	22	5.9	26	4

- **Mélange 3**

Dans le **tableau 13** nous rassemblons les résultats moyens de la culture dans les pots fabriqués à partir du mélange 3.

Tableau 12: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 3

Semaines	Hauteur(cm)	Poids(g)	Feuilles	Branches
0	15	1.5	4	1
1	16.2	1.9	6	1
2	17.8	2.7	10	2
3	19.5	3.9	17	3
4	21	5.3	24	4

- **Mélange 4**

Dans le **tableau 14** nous rassemblons les résultats moyens de la culture dans les pots fabriqués à partir du mélange 4.

Tableau 13 : Evolution de la croissance dans les pots de mélange 4

Semaines	Hauteur(cm)	Poids(g)	Feuilles	Branches
0	15	1.5	4	1
1	15.8	1.7	5	1
2	17	2.3	8	2
3	18.2	3.1	13	2
4	19.5	4.2	17	3

- **Mélange 5**

Dans le **tableau 15** nous rassemblons les résultats moyens de la culture dans les pots fabriqués à partir du mélange 5.

Tableau 14: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 5

Semaines	Hauteur(cm)	Poids(g)	Feuilles	Branches
0	15	1.5	4	1
1	16	1.8	5	1
2	17.5	2.5	9	2
3	18.8	3.6	15	3
4	20	4.8	20	3

- **Mélange 6**

Dans le **tableau 16** nous rassemblons les résultats moyens de la culture dans les pots fabriqués à partir du mélange 6.

Tableau 15: Evolution de la croissance dans les pots de mélange 6

Semaines	Hauteur(cm)	Poids(g)	Feuilles	Branches
0	15	1.5	4	1
1	16.8	2.2	7	2
2	18.5	3.3	13	3
3	20.5	4.9	22	4
4	22.5	6.5	28	4

- **Plastique**

Dans le **tableau 17** nous rassemblons les résultats moyens de la culture dans les pots fabriqués à partir du pot plastique.

Tableau 16: Evolution de la croissance des pots de plastique

Semaines	Hauteur(cm)	Poids(g)	Feuilles	Branches
0	15	1.5	4	1
1	16.5	2.1	6	1
2	18.2	3.1	11	2
3	19.8	4.2	17	3
4	21	5.6	24	4

**Figure 26:** Croissance de la menthe dans les pots biodégradables

2. Comparaison des résultats entre les pots

Les résultats ont montré une nette supériorité du mélange 1, suivi du mélange 6. Enregistrant les moyennes les plus élevées en termes de hauteur, de poids et de nombre de feuilles. Le mélange 2 vient ensuite avec des performances satisfaisantes, proches de celles du témoin en plastique, qui a maintenu une croissance moyenne à faible. Les mélanges 3 et 5 ont présenté des résultats inférieurs à ceux du mélange 2 mais restent supérieurs à ceux du mélange 4

Ce dernier a obtenu les résultats les plus faibles dans tous les indicateurs, ce que en fait le moins efficace parmi tous les pots.

3. Discussion des Résultats

Pour une bonne lecture des résultats on a regroupé les tableaux de tous les essais en faisant la moyenne globale des résultats des quatre semaines de mesures.

- **Hauteur**

Nous classons dans le **tableau 18** les moyennes de hauteur dans chaque pot. Et nous traduisons en diagrammes à colonnes dans la **figure 27**.

Tableau 17: Différences de longueur

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
1	3	23,0000	,20000	,11547	22,5032	23,4968
2	3	22,0000	,30000	,17321	21,2548	22,7452
3	3	21,0000	,20000	,11547	20,5032	21,4968
4	3	19,5000	,30000	,17321	18,7548	20,2452
5	3	20,0000	,20000	,11547	19,5032	20,4968
6	3	22,5000	,30000	,17321	21,7548	23,2452
7	3	21,0000	,20000	,11547	20,5032	21,4968
Total	21	21,2857	1,23786	,27012	20,7222	21,8492

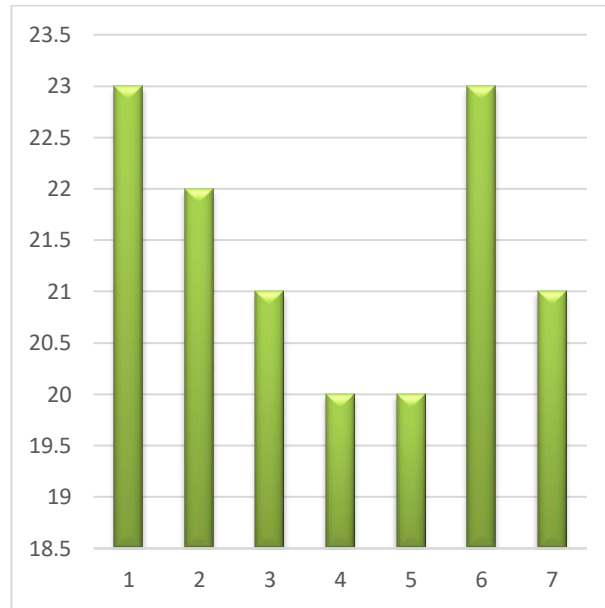


Figure 27: Longueur moyen de la tige pour chaque type de pots.

- Poids

Nous classons dans le **tableau 19** les moyennes de pois dans chaque pot. Et nous traduisons en diagrammes à colonnes dans la **figure 28**.

Tableau 18: Différences de poids

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
1	3	7,0000	,10000	,05774	6,7516	7,2484
2	3	5,9000	,20000	,11547	5,4032	6,3968
3	3	5,3000	,20000	,11547	4,8032	5,7968
4	3	4,2000	,20000	,11547	3,7032	4,6968
5	3	4,8000	,20000	,11547	4,3032	5,2968
6	3	6,5000	,20000	,11547	6,0032	6,9968
7	3	5,6000	,10000	,05774	5,3516	5,8484
Total	21	5,6143	,92428	,20169	5,1936	6,0350

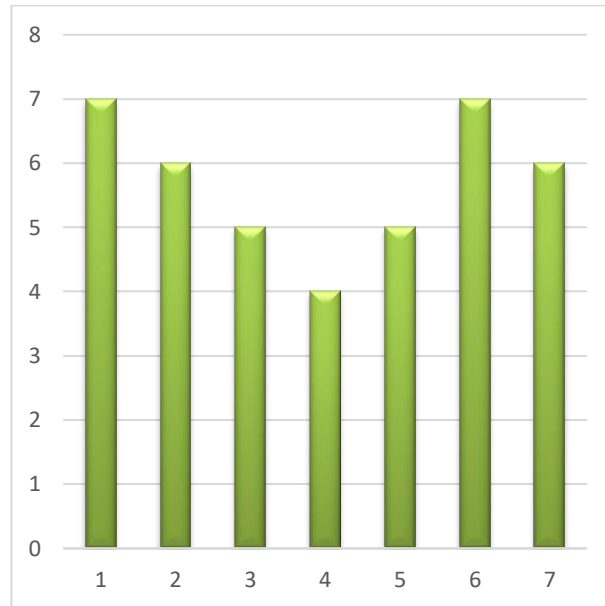


Figure 28: Poids moyen de la plante de chaque type de pots

- **Feuilles**

Nous classons dans le **tableau 20** les moyennes de nombres de feuilles dans chaque pot. Et nous traduisons en diagrammes à colonnes dans la **figure 29**.

Tableau 19: Différences de nombre de feuilles

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
1	3	29,6667	,57735	,33333	28,2324	31,1009
2	3	26,0000	1,00000	,57735	23,5159	28,4841
3	3	24,0000	1,00000	,57735	21,5159	26,4841
4	3	17,0000	1,00000	,57735	14,5159	19,4841
5	3	20,0000	1,00000	,57735	17,5159	22,4841
6	3	28,0000	1,00000	,57735	25,5159	30,4841
7	3	24,0000	1,00000	,57735	21,5159	26,4841
Total	21	24,0952	4,26503	,93071	22,1538	26,0367

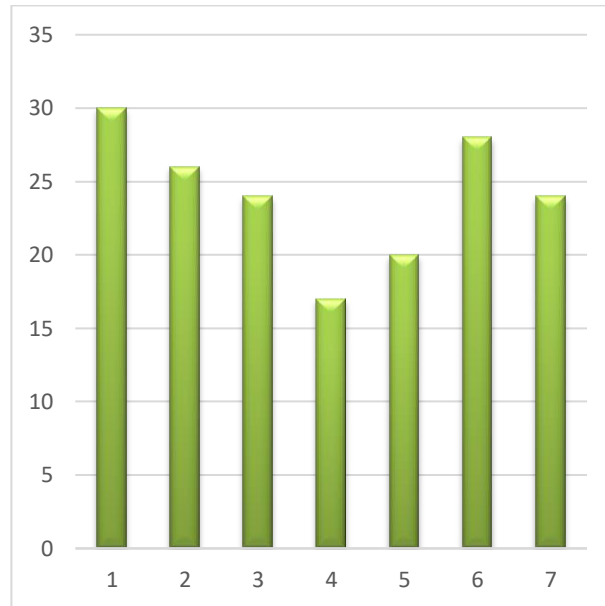


Figure 29: Nombre moyen de feuilles pour chaque type de pots

- **Branches**

Nous classons dans le **tableau 21** les moyennes de nombres de branches dans chaque pot. Et nous traduisons en diagrammes à colonnes dans la **figure 30**.

Tableau 20: Différences de nombre de branches

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
1	3	5,0000	,00000	,00000	5,0000	5,0000
2	3	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000
3	3	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000
4	3	3,0000	,00000	,00000	3,0000	3,0000
5	3	3,0000	,00000	,00000	3,0000	3,0000
6	3	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000
7	3	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000
Total	21	3,8571	,65465	,14286	3,5591	4,1551

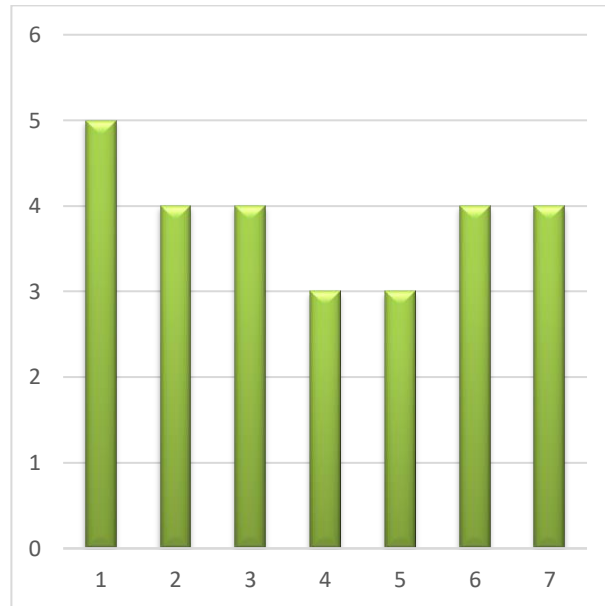


Figure 30: Nombre moyen de branches pour chaque type de pots

3.1. Influence de la composition organique sur la croissance

Les performances de chaque pot biodégradable se sont révélées fortement liées à la qualité nutritionnelle et à l'équilibre chimique du mélange utilisé. Certains mélanges ont montré une grande richesse en sucres simples, en fibres végétales solubles et en éléments azotés, favorisant le développement de la biomasse. À l'inverse, d'autres mélanges ont présenté des effets inhibiteurs, probablement en raison d'un excès d'acidité, d'une teneur en humidité trop élevée ou de la présence de composés volatils défavorables (comme ceux issus de l'oignon ou de l'ananas).

Le mélange 1, constitué de pomme, pomme de terre, banane et orange, a donné les meilleurs résultats sur presque tous les paramètres. Cette performance peut être attribuée à la présence équilibrée de glucides facilement assimilables, à une structure fibreuse modérée assurant une bonne aération des racines, ainsi qu'à une acidité faible favorable à l'absorption des nutriments. Le substrat créé par ce mélange a ainsi offert un microenvironnement optimal, similaire à celui d'un compost végétal équilibré.

Le mélange 6 (pois, artichaut, pomme, pomme de terre) a également montré une croissance vigoureuse. Les pois, riches en azote, ont probablement agi comme un apport naturel de fertilisation, stimulant la division cellulaire et la croissance foliaire. La

combinaison de ces éléments avec les tubercules (pomme de terre) et les fruits a permis d'assurer une bonne disponibilité en énergie et en minéraux.

Le mélange 2, bien que contenant des éléments sains (ananas, carotte, pomme), a affiché une croissance légèrement inférieure, possiblement en raison d'un pH trop acide, conséquence de l'ananas. Cette acidité peut nuire à certaines enzymes racinaires et limiter l'absorption d'éléments tels que le calcium ou le magnésium.

À l'opposé, le mélange 4 (oignon, carotte, orange) a montré les résultats les plus faibles. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'huiles essentielles dans l'oignon, connues pour leur effet antimicrobien, qui peuvent déséquilibrer la flore microbienne du substrat et inhiber la croissance racinaire. De plus, la combinaison d'oignon et d'agrumes a pu entraîner un excès d'acidité et un effet phytotoxique.

3.2. Comparaison avec le témoin plastique

Le pot en plastique, utilisé comme référence, a offert une croissance stable mais sans valeur ajoutée biologique. Il a simplement permis de maintenir le substrat sans influencer son contenu. En comparaison, plusieurs pots biodégradables ont apporté un avantage agronomique clair, en enrichissant le sol par la décomposition progressive de leurs composants, ce qui constitue un double gain: support physique et apport nutritif.

Ce constat met en lumière le potentiel des pots biodégradables non seulement comme alternative écologique, mais aussi comme outil actif de fertilisation lente dans des systèmes de culture durable.

3.3. Facteurs déterminants dans la performance des pots

Plusieurs facteurs semblent jouer un rôle déterminant dans l'efficacité des pots:

- Teneur en fibres: elle influence la porosité du pot et donc l'aération racinaire.
- Humidité résiduelle: une humidité trop élevée favorise la pourriture, tandis qu'un déficit limite la croissance.
- Acidité (pH): un pH neutre ou légèrement acide semble optimal pour la menthe.
- Richesse en nutriments: notamment en azote, potassium, et sucres simples, qui favorisent le développement foliaire et racinaire.

○ **Classement des pots selon leur performances**

1- Mélange 1

2- Mélange 6

3- Mélange 2

4- Pot plastique

5- Mélange 3

6- Mélange 5

7- Mélange 4

4. Difficultés rencontrées lors de ce travail

- Certains mélanges étaient non homogènes en termes de densité et d'humidité, ce qui a affecté la stabilité du pot ainsi que l'équilibre entre aération et dessèchement du sol.
- Dans certains pots, les composants ont commencé à se décomposer avant la fin de la période d'expérimentation (25 jours), ce qui a modifié les propriétés du sol et potentiellement généré des odeurs ou changé la texture du substrat.
- Certains composants comme l'orange, l'ananas et l'oignon ont causé une augmentation de l'acidité, ce qui a affecté l'absorption de l'eau et des nutriments par la plante.
- Certains mélanges, notamment ceux contenant de la betterave ou de la laitue, ont retenu trop d'humidité, pouvant entraîner la pourriture des racines ou un ralentissement de la croissance.
- En raison de la nature aléatoire des déchets végétaux, il est difficile de reproduire exactement les mêmes mélanges avec la même concentration et les mêmes propriétés.

5. Recommandations futures pour travailler avec cette idée

- Développer des méthodes pour renforcer la structure du pot biodégradable sans compromettre sa capacité à se décomposer, par exemple en utilisant des liants naturels (comme l'amidon modifié ou les fibres végétales fines).
- Réaliser la même expérience avec d'autres plantes que la menthe afin d'observer les réactions générales de différents végétaux aux mélanges organiques.
- Il est conseillé d'utiliser des capteurs pour mesurer les gaz émis par la dégradation des composants (comme le dioxyde de carbone ou l'ammoniac) et leur impact sur l'environnement de culture.
- Effectuer une analyse du coût de production par rapport au bénéfice écologique et agricole afin d'estimer la faisabilité industrielle ou commerciale du projet.
- Étendre la période de culture à 45 ou 60 jours pour évaluer la résistance à long terme du pot et observer les effets prolongés sur la plante.
- Construire une base de données classant les caractéristiques de chaque mélange (par exemple : riche en azote, humidité modérée, faible acidité...) afin de faciliter leur choix selon le type de culture.
- Introduire une nouvelle variable en ajoutant un engrais naturel modéré à certains pots pour tester leur réponse nutritionnelle supplémentaire

Conclusion

Dans la recherche de solutions pour réduire la pollution plastique, une question pertinente se pose : peut-on s'appuyer sur des matériaux naturels biodégradables dans le domaine agricole ? Cette expérience, basée sur la fabrication de pots à partir de différents déchets végétaux (comme l'orange, la pomme de terre, la pomme, la banane, etc.) et la culture de la menthe, a permis d'observer l'évolution de la plante sur une période de 25 jours. Les résultats ont révélé que certaines compositions, notamment celles contenant de la pomme, de la pomme de terre ou du cardon, ont permis une croissance satisfaisante en termes de hauteur, de nombre de feuilles et de ramifications, parfois même supérieure à celle des pots plastiques témoins. D'autres mélanges ont montré un rendement plus modeste en raison d'un excès d'humidité, d'acidité ou d'une dégradation trop rapide.

Ainsi, les pots biodégradables ne constituent pas seulement une alternative écologique viable, mais peuvent également offrir de meilleures performances agricoles que les pots plastiques dans certaines conditions. Le succès de cette expérience ouvre des perspectives prometteuses pour le développement de ces contenants, notamment dans le cadre d'une agriculture durable et innovante, plus respectueuse de l'environnement.

Références bibliographie

A

- Abbassi.K, & BenAbou.I. (2022). Fabrication d'ustensiles alimentaires biodégradables. Algérie: Université Sétif 1.*
- Abdel Razek, F. (2023). La rentabilité des matériaux agricoles durables. Revue des Sciences Agricoles, Université du Caire, p. 91.*
- AbdelBasset, A. (2004). Agriculture Générale. Dar Al Fikr Al Arabi.*
- AbdelMoati, A. (2004). Agriculture Générale . Dar Al Fikr Al Arabi.*
- Abdelrahman, M. (2020). L'économie verte et les défis du développement durable. Dar Al-Fajr pour l'édition et la distribution – Le Caire.*
- Abdelraza, T. (2018). Production des plantes sans sol. Éditions Al-Rachad.*
- Abouzaid, F. (2019). Polymères et plastiques biodégradables. Beyrouth: Dar Al-Kutub Al-Ilmiya.*
- AbouZeid, H. (2010). Principes de pédologie. Dar Al Jami'a Al Jadida.*
- Atika, N. (2018). L'environnement et le développement durable. Algérie: Dar El Houda.*

B

- Ben Djamâa, I. (2022). Applications de l'hydroponie en Algérie : défis et perspectives. Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella. Faculté des Sciences Naturelles.*
- Ben Merzoug, S. (2022). Évaluation de l'efficacité des pots biodégradables en agriculture urbaine. Université de Constantine 1.*
- BenAliya, A. (2020). Applications des polymères naturels dans l'agriculture durable. Tunisie: Université de Carthage.*
- BenFriha, K. (2022). Utilisation des pots biodégradables dans la production de plants de tomate. Mostaganem: Université Abdelhamid Ben Badis.*
- Benissa, L. (2021). Utilisation de milieux alternatifs et de pots biodégradables en culture hydroponique. Université de Blida.*

- Benmoussa, F. (2021). L'agriculture hors-sol comme alternative moderne. Université de Constantine.*
- BenNacer, Z. (2022). Fabrication de pots écologiques biodégradables à partir de fibres de palmier. Ouargla: Université Kasdi Merbah.*
- Benrahal, H. (2022). L'intelligence artificielle dans l'agriculture hors-sol. Université d'Oran.*
- Benyaish, K. (2021). Politiques agricoles et innovation. Université d'Alger 3.*
- Bouafia, S. (2019). Le rôle de l'agriculture durable dans la protection de l'environnement. Université d'Alger 1. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.*
- Bouaziz, H. (2020). L'agriculture hors-sol et son effet sur la production de la tomate. Université de Blida.*
- Bouchama.Mourad. (2019). Histoire environnementale et civilisations anciennes. Dar El Houda.*
- Boukhari, S. (2021). Transition numérique dans les systèmes agricoles intelligents. Université de Sétif.*
- Boutafra, N. (2020). Compétence technique dans la gestion des projets agricoles hors-sol. Université de Constantine.*

C

- Carlo, P. (2020). Agriculture durable et systèmes alternatifs.*

D

- Dahmani, A. (2021). Évaluation des substrats locaux en culture hors-sol. Université de Guelma.*

E

- EAM. (2011). Encyclopédie de l'agriculture moderne. Encyclopédie.*
- Elbelouchi, M. (2022). L'agriculture intelligente aux Émirats. Journal Al-Khaleej.*
- Elbestani, R. (2022). Le marché des intrants agricoles non conventionnels. Revue de l'économie verte(7).*
- Elhashimi, S. (2021). Défis de l'hydroponie dans les pays en développement. Revue scientifique de l'agriculture moderne(4).*
- FAO. (2020). Water Efficiency in Soilless Agriculture. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.*

F

FAO, É. (2021). *Agricultural Waste Utilization in Packaging*. Récupéré sur *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)*.

Forum des ingénieurs agronomes arabes. (s.d.). *Forum des ingénieurs agronomes arabes*.

Forum des ingénieurs agronomes arabes. (2022). - *L'agriculture hors-sol et l'avenir de la sécurité alimentaire*.

G

Georgia, V. (2020). *La numérisation dans l'agriculture moderne*. FAO.

Gruda, N. (2011). *Increasing Crop Yields with Soilless Cultivation*. *Scientia Horticulturae*.

Haddad, Abdelmoeim. (2015). *Agriculture biologique et méthodes alternatives*. Dar Al-Kutub Al-Ilmiyah.

H

Hiroshi, N. (2021). *L'expérience japonaise dans l'agriculture intelligente*. *Revue Internationale des Technologies Agricoles*(6).

Houda, B. (2020). *L'agriculture hors-sol et son effet sur la production de la tomate*. Université de Blida.

I

Ismail, F. H. (2021). *Biodegradable pots as a sustainable alternative in horticulture*. *Journal of Cleaner Production*, 113245.

J

Jalal, M. (2019). *Les industries écologiques et la technologie du recyclage*. Amman: Dar Safa.

Jensen, M. (2010). *Plant Health in Hydroponic Systems*. *Agricultural Technology Journal*.

Jiménez, C. (2010). *Historical Origins of Soilless Culture*. *Revista Mexicana de Agricultura*, p. 23.

Jones, J. (2005). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press, p. 12.

Julian, R. (2022). *Agriculture propre et réduction des déchets*. ONU Environnement (UNEP).

K

Kathy, P. (2020). *Systèmes agricoles durables pour l'espace*. NASA.

Khaldi, S. (2021). *Utilisation des plastiques biodégradables en agriculture*. Algérie: Université de Blida 1.

Kumar, R. (2020). *Journal of Polymers and the Environment*. Biodegradable plastics: A review, 1897.

L

l'Agriculture, É. d. (2022). *Le plastique biodégradable en agriculture – des solutions intelligentes*. *Forum Maghrébin de l'Agriculture*.

Lawrence, M. (2023). *Agriculture urbaine et systèmes durables*. FAO.

M

Mansour, A. (2021). *Techniques de contrôle de l'environnement dans les serres intelligentes*. *Revue Arabe d'Agriculture Intelligente*(5).

Mansouri.Tarek. (2021). *Revue des technologies agricoles modernes. L'agriculture verticale comme solution d'avenir*(4).

Marcés, H. (2019). *Évaluation des risques dans les systèmes fermés*. *Organisation Mondiale de l'Agriculture Intelligente*.

Miller, J. (2019). *Agriculture du futur et technologies propres*. *Université de Californie*.

Mohamed, H. (2019). *Techniques de l'agriculture moderne*. *Dar Al Nahda Agricole*.

Mohamedi, S. (2022). *Possibilités d'application de la culture hors-sol en Algérie*. *Université de Blida 1*.

N

Nowak, B. (2021). *Effect of Biodegradable Pots on Plant Growth*. *Agricultural University of Warsaw*, p. 44.

R

Rabah, B. (2021). *Le plastique et les défis de l'environnement moderne*. *Revue de l'environnement et du développement*, p. 22.

RADR. (2018). *Revue de l'Agriculture et du Développement Rural*. *Les problèmes d'irrigation en agriculture traditionnelle*(12).

Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. *Southern Regional Aquaculture Center*(454).

REA. (2017). *Revue de l'économie agricole*. *Étude de faisabilité économique de l'agriculture traditionnelle*(9).

Resh, H. (2012). *Hydroponic Food Production*. CRC Press.

Review, C. A. (2023). *Green Shifts in Horticulture Packaging*. *FloraPace, Ontario*, p. 13.

Robert, E. (2022). *Agriculture verticale et contrôle environnemental complet. Revue Internationale de l'Agriculture du Futur*(3).

S

Sami, D. (2020). *Technologies organiques en agriculture hors-sol. Revue Technique de l'Agriculture Durable*(6).

Sami, Y. (2019). *Les systèmes d'agriculture hydroponique. Revue Arabe d'Agriculture.*

Samir, K. (2020). *Étude des propriétés des polymères biodégradables. Égypte: Université du Caire.*

Santé, É. d. (2021). *Ustensiles biodégradables – Une alternative écologique sûre. Forum Arabe de l'Environnement.*

Sassi, M. (2023). *Les écoles tunisiennes adoptent les pots écologiques dans l'agriculture scolaire. Journal Echourouk, Tunisie, 9.*

Savvas, D. (2013). *Soilless Culture: Advances and Applications. Journal of Horticultural Science.*

Savvas, D. (2014). *Advances in Soilless Cultivation Systems. Scientia Horticulturae.*

Scarascia, Mugnozza, G. (2011). *Biodegradable Mulching Films for Agricultural Applications. Agronomy for Sustainable Development, p. 477.*

Singh, B. (2020). *Biodegradable Plastics in Agriculture. Environmental Science and Pollution Research, p. 11345.*

Smit, H. (2020). *L'innovation agricole aux Pays-Bas. FAO.*

Smith, R. (2020). *Biodegradable Packaging Materials. Journal of Sustainable Materials, 77.*

T

Tokiwa, Z. (2009). *Biodegradability of Plastics. International Journal of Molecular Sciences, p. 3733.*

U

Université, C. (2021). *L'agriculture hors-sol comme alternative moderne. Université de Constantine.*

W

Wang, Y. (2021). *Application of Biodegradable Pots in Organic Rice Farming. Journal of Sustainable Agriculture, China Agricultural University, 29.*

Willy, L. (2021). *Plan de sécurité alimentaire 2030. Ministère de l'Alimentation de Singapour.*

Z

Zerrouki, N. (2020). Méthodes et techniques de recherche expérimentale en sciences agronomiques. Dar El-Houda, Algérie.

Zhang, L. (2020). Biodegradable Containers in Horticultural Practices. Agricultural Sciences, p. 112.

Annexes

ANNEXES 1

Analyse d'humidité :

Matière première.....5g.
Temps.....24h.
Température.....105°C.

Densité apparente :

Matière première.....2g.

Conductivité Electrique :

Matière première.....2g.
Eau distillée.....100ml.

Ph :

Matière première.....2g.
Eau distillée.....50ml

Matière Organique :

Matière première.....5g.
Temps.....2h.
Température.....550°C.

Fibre Brutes :

Matière première.....5g.

H₂SO₄.....100ml.
NaOH.....100ml.
Temps.....2h.
Température.....550°C.

Absorption d'eau :

Matière première.....2g.
Eau distillée.....100ml
Temps.....24h.

ANNEXES 2

○ **Caractéristiques de sol utilisé :**

Horizon	H1	H2	H3	H4
Profondeur (cm)	0-25	25-40	40-60	60-80
Argile%	32,0	37,2	44,0	46,5
Limon%	47,8	52,2	47,0	40,8
Sable%	21,0	10,6	9,0	12,8
Texture	Limoneux- Argileuse	Limoneux -argileuse	Argilo- Limoneuse	Argilo- Limoneuse
Éléments grossiers%	1	0	0	0
Da	1,30	1,32	1,42	1,42
Dr	2,18	2,08	2,21	1,85
Porosité%	40,37	36,55	35,99	23,31
Humidité à F3%	24,23	23,84	31,13	19,80
Humidité à F4,2%	13,94	13,90	21,85	11,51
RU (mm)	33,44	19,69	26,35	23,56
MO%	1,52	2,96	2,22	1,49
Carbone %	0,88	1,72	1,29	0,86
Azote%	0,1	0,108	0,0821	0,069
C/N	8,8	15,92	15,71	12,46
pHeau	6,6	6,2	5,85	6,02
pHKCl	5,82	5,41	5,19	5,81
Calcaire total%	0	0	0	0
CEC (cmol/kg)	12,8	14,9	16,5	17,5
Ca⁺⁺(cmol/kg)	6,6	6,7	7,5	7,1
Mg⁺⁺(cmol/kg)	4,1	4,5	4,7	5,4
Na⁺(cmol/kg)	0,5	0,4	0,5	0,5
K⁺(cmol/kg)	0,7	1,3	1,5	1,5
V%	95	86,57	86,06	82,85

○ Tableaux supplémentaires des résultats :

✓ Hauteur :

• Tests postérieurs

Tukey HSD	(I) TRAIT	(J) TRAIT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
	1		2	1,00000*	,20237
3			2,00000*	,20237	,000
4			3,50000*	,20237	,000
5			3,00000*	,20237	,000
6			,50000	,20237	,241
7			2,00000*	,20237	,000
2				1	-1,00000*
	3	1,00000*		,20237	,003
	4	2,50000*		,20237	,000
	5	2,00000* -		,20237	,000
	6	,50000		,20237	,241
	7	1,00000*		,20237	,003
	3			1	-2,00000*
2			-1,00000*	,20237	,003
4			1,50000*	,20237	,000
5			1,00000*	,20237	,003
6			-1,50000*	,20237	,000
7			,00000	,20237	1,000
4				1	-3,50000*
	2	-2,50000*		,20237	,000
	3	-1,50000*		,20237	,000
	5	-,50000		,20237	,241
	6	-3,00000*		,20237	,000
	7	-1,50000*		,20237	,000
	5			1	-3,00000*
2			-2,00000*	,20237	,000
3			-1,00000*	,20237	,003
4			,50000	,20237	,241
6			-2,50000*	,20237	,000
7			-1,00000*	,20237	,003
6				1	-,50000
	2	,50000		,20237	,241
	3	1,50000*		,20237	,000
	4	3,00000*		,20237	,000
	5	2,50000*		,20237	,000
	7	1,50000*		,20237	,000
	7	1		-2,00000*	,20237

		2	-1,00000*	,20237	,003
		3	,00000	,20237	1,000
		4	1,50000*	,20237	,000
		5	1,00000* -	,20237	,003
		6	1,50000*	,20237	,000
LDS	1	2	1,00000*	,20237	,000
		3	2,00000*	,20237	,000
		4	3,50000*	,20237	,000
		5	3,00000*	,20237	,000
		6	,50000*	,20237	,027
		7	2,00000*	,20237	,000

- ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	29,786	6	4,964 ,061	80,814	,000
Within Groups	,860	14			
Total	30,646	20			

- ✓ Poids

- Tests postérieurs

Tukey HSD	(I) TRAIT	(J) TRAIT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
	1	2		1,10000*	,14475
	3		1,70000*	,14475	,000
	4		2,80000*	,14475	,000
	5		2,20000*	,14475	,000
	6		,50000*	,14475	,047
	7		1,40000*		,000
2	1		-1,10000*	,14475	,000
	3		,60000*	,14475	,013
	4		1,70000*	,14475	,000
	5		1,10000*	,14475	,000
	6		-,60000*	,14475	,000
	7		,30000	,14475	,013
					,417
3	1		-1,70000*	,14475	,000
	2		-,60000*	,14475	,013
	4		1,10000*	,14475	,000
	5		,50000*	,14475	,000

		6	-1,20000*	,14475	,047
		7	-,30000	,14475	,000
					,417
	4	1	-2,80000*	,14475	,000
		2	-1,70000*	,14475	,000
		3	-1,10000*	,14475	,000
		5	-,60000*	,14475	,000
		6	-2,30000*	,14475	,013
		7	-1,40000*	,14475	,000
					,000
	5	1	-2,20000*	,14475	,000
		2	-1,10000*	,14475	,000
		3	-,50000*	,14475	,000
		4	,60000*	,14475	,047
		6	-1,70000*	,14475	,013
		7	-,80000*	,14475	,000
					,001
	6	1	-,50000*	,14475	,047
		2	,60000*	,14475	,013
		3	1,20000*	,14475	,000
		4	2,30000*	,14475	,000
		5	1,70000* ,90000*	,14475	,000
		7		,14475	,000
					,000
	7	1	-1,40000*	,14475	,000
		2	-,30000	,14475	,417
		3	,30000	,14475	,417
		4	1,40000*	,14475	,417
		5	,80000* -,90000*	,14475	,000
		6		,14475	,001
					,000
LDS	1	2	1,10000*	,14475	,000
		3	1,70000*	,14475	,000
		4	2,80000*	,14475	,000
		5	2,20000*	,14475	,000
		6	,50000* 1,40000*	,14475	,000
		7		,14475	,004
					,000

- ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16,646	6	2,774 ,031	88,273	,000
Within Groups	,440	14			
Total	17,086	20			

✓ Feuilles

• Tests de postérieurs

Tukey HSD	(I) TRAIT	(J) TRAIT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
	1		2	3,66667*	,77664
3			5,66667*	,77664	,000
4			12,66667*	,77664	,000
5			9,66667*	,77664	,000
6			1,66667	,77664	,380
7			5,66667*	,77664	,000
2				1	-3,66667*
	3	2,00000		,77664	,206
	4	9,00000*		,77664	,000
	5	6,00000*		,77664	,000
	6	-2,00000		,77664	,206
	7	2,00000		,77664	,206
	3			1	-5,66667*
2			-2,00000	,77664	,206
4			7,00000*	,77664	,000
5			4,00000*	,77664	,002
6			-4,00000*	,77664	,002
7			,00000	,77664	1,000
4				1	-12,66667*
	2	-9,00000*		,77664	,000
	3	-7,00000*		,77664	,000
	5	-3,00000*		,77664	,022
	6	-11,00000* -		,77664	,000
	7	7,00000*		,77664	,000
	5			1	-9,66667*
2			-6,00000*	,77664	,000
3			-4,00000*	,77664	,002
4			3,00000*	,77664	,022
6			-8,00000*	,77664	,000
7			-4,00000*	,77664	,002
6				1	-1,66667
	2	2,00000		,77664	,206
	3	4,00000*		,77664	,002
	4	11,00000*		,77664	,000
	5	8,00000*		,77664	,000
	7	4,00000*		,77664	,002
	7			1	-5,66667*
2			-2,00000	,77664	,206
3			,00000	,77664	1,000
4			7,00000*	,77664	,000
5			4,00000* -	,77664	,002
6			4,00000*	,77664	,002

LDS	1	2	3,66667*	,77664	,000
		3	5,66667*	,77664	,000
		4	12,66667*	,77664	,000
		5	9,66667*	,77664	,000
		6	1,66667*	,77664	,050
		7	5,66667*	,77664	,000

- ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	351,143	6	58,524 ,905	64,684	,000
Within Groups	12,667	14			
Total	363,810	20			

- ✓ Branches

- ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8,571	6	1,429 ,000		
Within Groups	,000	14			
Total	8,571	20			
