



Populaire et Démocratique Algérienne République

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

Université ABOUBEKRBELKAID-TLEMCEN

كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض و الكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers.

Département de Science Biologique

Laboratoire des produits naturels LAPRONA

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Science
biologique**

Spécialité : Bio-activité analyse et contrôle des huiles essentielles et végétales

Réalisé par :

SAIM MAMOUNE Marwa

Thème

**Évaluation des paramètres physico chimique d'un
compost fabriqué à partir des grignons d'olive et un
fumier bovin et effet du biochar**

Soutenue le 29/06/2026 devant le jury composés de :

Président : Mme BELARBI Meriem	Professeur.	Université de Tlemcen
Examinatrice : Mme GAOUAR Neila.	MCB	Université de Tlemcen
Encadreur : Mme BENMENNI Dounya.	MCB	Université de Tlemcen

Année universitaire 2025/2026

Table de matière :

La liste des figures.....	
La liste des tableaux.....	
<i>Remerciements</i>	
<i>Dédicace</i>	
Résumé.....	
المخلص.....	
Abstract	
Introduction :.....	- 1 -
Chapitre I.....	- 3 -
I. Le compostage.....	- 4 -
I.1 Historique du compostage :	- 4 -
I .2. Définition du compost et du compostage :	- 4 -
I .3. Pourquoi composter ?	- 5 -
I .4. Les différentes phases du compostage :	- 5 -
I .5 Facteurs influençant le compostage :	- 7 -
II . Le grignon d'olive	- 9 -
II.1. L'oléiculture en Algérie :.....	- 9 -
II.2. Définition du grignon d'olive :.....	- 9 -
II.3. Impact environnemental du grignon d'olive :.....	- 10 -
III . Le fumier bovin	- 11 -
III.1. Définition et origine du fumier bovin :.....	- 11 -
III.2. Composition physico-chimique du fumier bovin :	- 11 -
III.3. Valeur agronomique du fumier bovin :.....	- 11 -
III.4. Rôle du fumier bovin dans le compostage :	- 11 -
IV . Le biochar.....	- 13 -
IV.1. Définition du biochar.....	- 13 -

IV.2. Production du biochar par pyrolyse :	- 13 -
IV.3. Propriétés physico-chimiques du biochar	- 13 -
IV.4. Effets du biochar sur le compostage :	- 14 -
V . Paramètres physico-chimiques suivis au cours de l'étude.....	- 15 -
V.1. Potentiel hydrogène (pH) :	- 15 -
V.2. Conductivité électrique (CE) :	- 16 -
V.3. Taux de matière sèche (MS) :	- 17 -
V.4. Composés phénoliques :	- 17 -
V.5 Caractéristiques spectroscopiques du compost :	- 18 -
I.1 Origine des matières premières :	- 20 -
I.2 Le grignon d'olive :	- 20 -
I.3 Le fumier bovin :	- 20 -
I.4 Le biochar de grignon d'olive :	- 20 -
I.5 Préparation des mélanges et échantillonnage :	- 20 -
I.6 Préparation des échantillons :	- 21 -
I.7 Préparation du biochar de grignon d'olive :	- 21 -
II . Les caractéristiques physiques.....	- 23 -
II.1 Détermination du taux d'humidité:	- 23 -
II.2 Détermination du taux de matière sèche :	- 23 -
III . Les caractéristiques chimiques.....	- 25 -
III.1 Détermination du pH :	- 25 -
III.2 Dosage des polyphénols totaux :	- 25 -
III.3 Dosage des tanins :	- 27 -
III.4 Dosage des flavonoïdes totaux :	- 27 -
III.5 Conductivité électrique (CE) :	- 28 -
IV . Caractérisation des extraits par spectroscopie	- 30 -
IV.1 Analyse par spectroscopie UV-Visible :	- 30 -
IV.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :	- 31 -
Chapitre III.....	- 20 -
I . caractérisation physique	- 33 -
I.1 Détermination du taux d'humidité et de taux de la matière sèche :	- 33 -

II . Les caractéristiques chimiques	- 35 -
II.1 Mesure du pH :.....	- 35 -
II.2 Les résultats du dosage des tanins :.....	- 37 -
II.3 Les résultats du dosage des flavonoïdes :.....	- 38 -
II.4 Les résultats du dosage des polyphénols totaux :.....	- 40 -
II.5 Mesure de la conductivité électrique :	- 41 -
III . Caractérisation spectroscopique	- 43 -
III.1 Analyse à l'UV-Visible :.....	- 43 -
III.2 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :.....	- 43 -
CONCLUSION GÉNÉRALE	- 46 -
Références bibliographiques	- 49 -
Annexes.....	- 53 -

La liste des figures

Chapitre I :

Figure 1 : Les différentes phases du compostage aérobie (FAO, 2003).

Figure 2 : Courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987)

Chapitre II :

Figure 1 : Localisation de la commune de Zenata dans la wilaya de Tlemcen.

Figure 2 : Les étapes de pyrolyse utilisé pour la production du biochar à partir du grignon d'olive.

Figure 3 : Séchage des échantillons dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures

Figure 4 : Réactifs Folin-Ciocalteu et acide gallique utilisés pour le dosage des polyphénols totaux

Figure 5 : Appareil de mesure de la conductivité électrique (CE) des échantillons de compost.

Figure 6 : Analyse des extraits par spectroscopie UV-Visible

Chapitre III :

Figure 1 : Teneurs en humidité des matières premières utilisées (fumier bovin et grignon d'olive)

Figure 2 : Teneurs en matière sèche des matières premières utilisées (fumier bovin et grignon d'olive)

Figure 3 : Caractérisation du pH des matières premières avant compostage.

Figure 4 : Valeurs du pH des différents composts (T0, T1 et T2) après compostage.

Figure 5 : Teneur en tanins des différents composts (T0, T1 et T2).

Figure 6 : Teneur en flavonoïdes des différents composts (T0, T1 et T2).

Figure 7 : Teneur en polyphénols totaux (mg/mL) des différents composts (T0, T1 et T2).

Figure 8 : Conductivité électrique d'échantillon de composts (T0, T1 et T2).

Figure 9 : Conductivité électrique de matière premier.

Figure 10: Spectres infrarouges (FTIR) des échantillons de compost T0, T1 et T2.

La liste des tableaux

Tableau III.1 : Valeurs des absorbances à 465 et 650 nm et du rapport $E4/E6$ des différents composts (T0, T1 et T2).

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier Allah, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et le courage nécessaires pour mener ce travail à son terme.

J'exprime ma profonde gratitude à Madame Belarbi Meriem, Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury et pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail.

Mes sincères remerciements s'adressent également à Madame Gaouare Neila, examinatrice, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire ainsi que pour ses remarques, ses conseils et l'intérêt porté à cette étude.

Je tiens à adresser ma plus profonde reconnaissance à Madame Dounia Ben Menni, mon encadreuse, pour son accompagnement, sa disponibilité, sa patience, ses précieux conseils et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Son encadrement scientifique et ses encouragements ont été d'une grande valeur.

J'exprime également toute ma gratitude à Monsieur Belyagoubé Larbi pour son aide, ses orientations, sa disponibilité et son soutien qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Mes remerciements les plus chaleureux vont à mes chers parents, qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenue avec amour, patience et sacrifices tout au long de mon parcours. Leur confiance et leurs encouragements ont été ma plus grande source de motivation.

J'adresse également une pensée affectueuse à mes sœurs, pour leur soutien moral, leur affection et leurs encouragements permanents.

Je remercie également toute ma famille, ainsi que la famille de mon époux, pour leur présence, leurs prières et leur soutien tout au long de ce parcours.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes, enseignants, amis et proches, qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et m'ont encouragée tout au long de mon parcours universitaire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mon père, source de courage, de soutien et de sacrifices, qui a toujours cru en moi et m'a encouragée à poursuivre mes études.

À ma mère, même si son absence laisse un grand vide dans ma vie, je sais qu'elle ne cesse de prier pour moi. Son amour, ses valeurs et son souvenir m'accompagnent à chaque étape de mon parcours.

À ma sœur bien-aimée Saïda Meriem, pour son affection, sa présence et son soutien indéfectible. À l'épouse de mon père, pour sa bienveillance et ses encouragements.

À mon mari et à toute sa famille, pour leur soutien, leur compréhension et leur confiance. À ma belle-sœur Asmae, qui m'a beaucoup aidée et encouragée tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et toute ma reconnaissance à mon enseignante, Mme BELARBI Mariem, dont la passion pour l'enseignement, la pédagogie et le dévouement ont profondément marqué mon parcours.

Sa manière d'expliquer les cours, de les relier à la vie quotidienne ainsi qu'aux valeurs religieuses a suscité en moi un véritable intérêt pour cette spécialité et a renforcé mon amour de l'apprentissage.

À mon enseignante encadreuse, pour son accompagnement, ses précieux conseils et sa disponibilité.

Mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à Monsieur belyagoubi larbi une personne d'une grande générosité et d'une remarquable gentillesse, grâce à qui j'ai eu l'opportunité d'être orientée vers cette encadreuse.

À tous les membres de ma famille, proches et lointains, pour leur affection et leurs prières. À toutes mes amies, de l'enfance jusqu'à l'université, pour les moments partagés, leur soutien moral et leur présence dans les moments importants.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite, ainsi qu'à tous ceux qui ont adressé une prière sincère en ma faveur.

Que ce travail soit le témoignage de ma profonde gratitude et de mon immense reconnaissance envers chacun d'entre eux.

Résumé

Cette étude a pour objectif principal d'évaluer l'évolution des caractéristiques physico-chimiques, spectroscopiques et phytochimiques d'un mélange de grignon d'olive et de fumier bovin au cours du compostage, ainsi que d'étudier l'influence de l'incorporation du biochar sur la qualité du compost obtenu.

Le compostage constitue une solution durable de valorisation des déchets organiques agricoles. Il permet de transformer des résidus tels que le grignon d'olive et le fumier bovin en un amendement organique stable, contribuant ainsi à la réduction de la pollution et à l'amélioration de la fertilité des sols.

Dans cette étude, les matières premières ont été caractérisées par la détermination de l'humidité, de la matière sèche et du pH. Les composts obtenus ont ensuite été évalués à travers la mesure du pH, l'analyse par spectroscopie UV-Visible (rapport E4/E6), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), ainsi que le dosage des polyphénols totaux, des flavonoïdes et des tanins, afin de suivre les transformations de la matière organique et d'apprécier le degré de maturité du compost.

Les résultats obtenus mettent en évidence une évolution des propriétés physico-chimiques et une diminution des composés phénoliques, traduisant une amélioration de la qualité du compost. Les analyses spectroscopiques confirment également les transformations de la matière organique au cours du compostage, soulignant l'intérêt de cette technique pour la valorisation du grignon d'olive.

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تطور الخصائص الفيزيائية والكيميائية والطيفية والكيميائية النباتية لخليط من ثقل الزيتون وروث الأبقار أثناء عملية التسميد العضوي، بالإضافة إلى دراسة تأثير إضافة الفحم الحيوي في تحسين جودة السماد العضوي الناتج.

يمثل التسميد العضوي إحدى الطرق المستدامة لتنميين المخلفات العضوية الزراعية، حيث يتيح تحويل بقايا مثل ثقل الزيتون وروث الأبقار إلى سماد عضوي مستقر، مما يساهم في الحد من التلوث البيئي وتحسين خصوبة التربة.

في هذه الدراسة، تم توصيف المواد الأولية من خلال تحديد نسبة الرطوبة، ونسبة المادة الجافة، ودرجة الحموضة (pH). كما تم تقييم السماد العضوي الناتج بإجراء مجموعة من التحاليل شملت قياس درجة الحموضة، والتحليل الطيفي بالأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Visible) من خلال نسبة (E4/E6) ، والتحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء باستخدام تحويل فورييه (FTIR) ، بالإضافة إلى تقدير محتوى البوليفينولات الكلية والفلافونويدات والتانينات، وذلك بهدف متابعة التحولات التي تطرأ على المادة العضوية وتقييم درجة نضج السماد.

أظهرت النتائج حدوث تطور في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسماد العضوي، مصحوبًا بانخفاض في محتوى المركبات الفينولية، مما يدل على تحسين جودة السماد وارتفاع درجة نضجه. كما أكدت التحاليل الطيفية حدوث تغيرات في بنية المادة العضوية خلال عملية التسميد، وهو ما يبرز أهمية هذه التقنية في تنمية ثقل الزيتون وتحويله إلى سماد عضوي ذي جودة جيدة، مع الإشارة إلى أن إضافة الفحم الحيوي ساهمت في تحسين بعض خصائص السماد الناتج.

Abstract

This study aimed to evaluate the evolution of the physicochemical, spectroscopic, and phytochemical characteristics of a mixture of olive pomace and cattle manure during the composting process, as well as to investigate the effect of biochar addition on the quality of the resulting compost.

Composting is considered a sustainable approach for the valorization of agricultural organic wastes. It enables the transformation of residues such as olive pomace and cattle manure into a stable organic amendment, thereby reducing environmental pollution and improving soil fertility.

In this study, the raw materials were characterized by determining moisture content, dry matter, and pH. The obtained composts were then evaluated through pH measurement, UV–Visible spectroscopy using the E4/E6 ratio, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, and the determination of total polyphenols, flavonoids, and tannins. These analyses were carried out to monitor the transformation of organic matter and to assess the maturity of the compost.

The results revealed progressive changes in the physicochemical properties of the compost, accompanied by a decrease in phenolic compounds, indicating an improvement in compost quality and maturity. Spectroscopic analyses also confirmed structural modifications of organic matter throughout the composting process. Overall, the findings demonstrate the effectiveness of composting in the valorization of olive pomace and show that the addition of biochar contributed to improving certain properties of the final compost.

Introduction

Introduction :

La gestion des déchets organiques constitue actuellement un défi environnemental majeur en raison de l'augmentation continue des résidus issus des activités agricoles et agroalimentaires. La valorisation de ces déchets par des procédés biologiques représente une solution durable permettant de limiter leur impact sur l'environnement tout en produisant des amendements organiques utiles à l'agriculture **(Awasthi et al., 2024)**.

Parmi les différentes techniques de valorisation, le compostage est considéré comme l'un des procédés les plus efficaces pour transformer les matières organiques biodégradables en un produit stable et riche en substances humiques. Ce processus repose sur l'action de microorganismes capables de dégrader progressivement la matière organique, entraînant une évolution des propriétés physico-chimiques du substrat et une amélioration de sa stabilité biologique **(Bernal et al., 2009 ; Akratos et Vayenas, 2013)**.

Dans les régions méditerranéennes, l'industrie oléicole génère d'importantes quantités de grignon d'olive, principal résidu solide issu de l'extraction de l'huile d'olive. Malgré sa richesse en matière organique, ce sous-produit présente une forte teneur en composés lignocellulosiques et phénoliques susceptibles de ralentir sa biodégradation naturelle et d'affecter l'activité microbienne **(Roig et al., 2006 ; Enaïme et al., 2024)**. Son association avec le fumier bovin, riche en azote et en microorganismes, constitue une alternative intéressante permettant d'améliorer les conditions du compostage et d'accélérer les transformations biologiques de la matière organique **(Bernal et al., 2009)**.

Par ailleurs, le biochar obtenu par carbonisation de biomasses végétales suscite un intérêt croissant dans le domaine de la gestion des déchets organiques. Grâce à sa structure poreuse, sa grande surface spécifique et ses propriétés adsorbantes, il peut améliorer certaines propriétés physico-chimiques du compost et favoriser la rétention de différents composés organiques et minéraux **(Wang et al., 2022 ; Lustosa Filho et al., 2024)**.

Dans ce contexte, la question principale de cette étude est la suivante :

Le compostage du mélange grignon d'olive–fumier bovin permet-il d'améliorer les caractéristiques physico-chimiques, spectroscopiques et phytochimiques du substrat durant la phase initiale du compostage ? Et quelle est l'influence de l'incorporation du biochar issu du grignon d'olive sur les propriétés du compost obtenu ?

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique portant sur le compostage, le grignon d'olive, le fumier bovin et le biochar.
- Le deuxième chapitre présente le matériel utilisé, les méthodes expérimentales adoptées ainsi que les différentes analyses réalisées.
- Le troisième chapitre expose les résultats obtenus et leur discussion à la lumière des données de la littérature scientifique.

Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus et présente quelques perspectives de recherche.

Chapitre I

Recherches bibliographiques

I. Le compostage

I.1 Historique du compostage :

Le compostage est l'une des plus anciennes pratiques agricoles utilisées par l'Homme pour valoriser les matières organiques et améliorer la fertilité des sols. Depuis l'Antiquité, plusieurs civilisations, notamment les Égyptiens, les Chinois et les Romains, utilisaient les résidus végétaux et les déjections animales comme amendements organiques après leur décomposition naturelle, afin d'augmenter la productivité agricole (**FAO, 2003**).

Au cours du XIX^e siècle, les progrès réalisés dans les domaines de la microbiologie et de l'agronomie ont permis de mieux comprendre les mécanismes de dégradation de la matière organique. Les travaux scientifiques ont démontré le rôle essentiel des microorganismes, tels que les bactéries et les champignons, dans la transformation des déchets organiques en substances plus stables et bénéfiques pour les sols (**Finore et al., 2023**).

Au début du XX^e siècle, les recherches menées par Sir Albert Howard ont largement contribué au développement du compostage moderne. Ses travaux ont mis en évidence l'importance du recyclage des résidus organiques pour le maintien de la fertilité des sols et ont constitué une base importante pour l'agriculture durable (**Mustin, 1987**).

Aujourd'hui, le compostage est reconnu comme une méthode écologique et durable de gestion des déchets organiques. Il permet de réduire les quantités de déchets destinés à l'élimination tout en produisant un amendement organique de qualité. Dans le contexte actuel de développement durable et d'économie circulaire, cette technique joue un rôle majeur dans la valorisation des résidus agricoles et la protection de l'environnement (**Waqas et al., 2023**).

I.2. Définition du compost et du compostage :

I.2.1. Définition du compost :

Le compost est un produit organique stable obtenu à partir de la dégradation biologique contrôlée de matières organiques d'origine végétale et/ou animale. Il résulte de l'action des microorganismes qui transforment les déchets organiques en une matière humifiée, riche en éléments nutritifs et bénéfique pour le sol. Le compost mature se caractérise par sa

stabilité biologique, l'absence d'odeurs désagréables et une faible phytotoxicité, ce qui permet son utilisation comme amendement organique pour améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols **(Waqas et al., 2023)**.

Le compost constitue ainsi une source importante de matière organique et contribue à l'amélioration de la structure du sol, de sa capacité de rétention en eau et de son activité microbienne **(FAO, 2003)**.

I .2.2. Définition du compostage :

Le compostage est un processus biologique aérobie contrôlé au cours duquel les microorganismes, principalement les bactéries, les champignons et les actinomycètes, dégradent les matières organiques biodégradables en présence d'oxygène. Cette dégradation entraîne la production de chaleur, d'eau, de dioxyde de carbone (CO₂) et de substances humiques stables constituant le compost final **(Finore et al., 2023)**.

Le compostage est considéré comme une méthode écologique de gestion et de valorisation des déchets organiques. Il permet de réduire le volume des déchets tout en produisant un amendement organique de qualité pouvant être utilisé en agriculture. L'efficacité du processus dépend de plusieurs facteurs, notamment la température, l'humidité, l'aération, le pH et la nature des matériaux compostés **(Waqas et al., 2023)**.

I .3. Pourquoi composter ?

D'un point de vue environnemental, le compostage contribue à la réduction de la pollution liée à l'accumulation des déchets organiques, qui peuvent provoquer des nuisances telles que les mauvaises odeurs, la prolifération de micro-organismes indésirables et la contamination des sols et des eaux.

Sur le plan agronomique, le processus permet la production d'un amendement organique stable riche en matière organique humifiée, améliorant la structure du sol, sa capacité de rétention en eau et son activité biologique.

I .4. Les différentes phases du compostage :

Le compostage est un processus biologique aérobie accompagné d'une production importante de chaleur résultant principalement de l'activité des microorganismes. Au cours de la dégradation de la matière organique, la température évolue progressivement,

permettant de distinguer quatre phases principales : la phase mésophile, la phase thermophile, la phase de refroidissement et la phase de maturation. La durée de chaque phase dépend de la nature des matières compostées, de l'humidité, de l'aération et de l'activité microbienne (**Waqas et al., 2023 ; Finore et al., 2023**).

I .4.1 Phase mésophile :

La phase mésophile constitue la phase initiale du compostage. Elle est caractérisée par une température comprise entre 20 et 40 °C. Durant cette étape, les bactéries et les champignons mésophiles dégradent rapidement les composés organiques facilement biodégradables tels que les sucres et les protéines. Cette activité biologique intense provoque une élévation progressive de la température au sein du compost (**Waqas et al., 2023**).

I .4.2 Phase thermophile:

Lorsque la température dépasse 45 °C, la phase thermophile s'installe. Les microorganismes thermophiles deviennent alors dominants et assurent la dégradation des composés organiques plus complexes, notamment la cellulose et l'hémicellulose. La température peut atteindre 60 à 70 °C, favorisant ainsi l'élimination de nombreux agents pathogènes et graines d'adventices. Cette phase est considérée comme la plus active du processus de compostage (**Finore et al., 2023 ; Waqas et al., 2023**).

I .4.3 Phase de refroidissement :

Après l'épuisement d'une grande partie des matières facilement dégradables, l'activité microbienne diminue progressivement. La production de chaleur devient alors inférieure aux pertes thermiques, ce qui entraîne une baisse graduelle de la température. Les microorganismes mésophiles recolonisent progressivement le compost et poursuivent la dégradation des matières organiques résiduelles (**Bernal et al., 2009**).

I .4.4 Phase de maturation :

La phase de maturation correspond à la dernière étape du compostage. La température se stabilise à un niveau proche de celle de l'environnement. Les réactions biologiques deviennent plus lentes et les processus d'humification prédominent. Les composés organiques résistants sont progressivement transformés en substances humiques stables,

conduisant à l'obtention d'un compost mature, stable et moins phytotoxique (Bernal et al., 2009 ; Waqas et al., 2023).



Figure 01 : Les différentes phases du compostage aérobie (FAO, 2003).

I.5 Facteurs influençant le compostage :

Le succès du compostage dépend de plusieurs facteurs physico-chimiques et biologiques qui influencent directement l'activité des microorganismes responsables de la dégradation de la matière organique. Parmi les facteurs les plus importants figurent la température, l'humidité, l'aération et le pH (Waqas et al., 2023).

I.5.1 Température:

La température est l'un des principaux indicateurs de l'activité microbienne au cours du compostage. Une augmentation de la température traduit une activité biologique intense et une dégradation rapide de la matière organique. Les températures élevées favorisent également l'élimination des microorganismes pathogènes et des graines d'adventices. Cependant, des températures excessives peuvent inhiber l'activité microbienne et ralentir le processus de compostage (Finore et al., 2023).

I .5.2 Humidité:

L'eau est indispensable au développement et au métabolisme des microorganismes. Une humidité suffisante facilite le transport des nutriments et favorise les réactions biologiques. En revanche, une humidité trop faible limite l'activité microbienne, tandis qu'un excès d'eau réduit la circulation de l'oxygène dans le compost et peut entraîner des conditions anaérobies défavorables à la dégradation de la matière organique (**Awasthi et al., 2020**).

I .5.3 Aération:

Le compostage étant un processus aérobie, la présence d'oxygène est essentielle pour assurer la respiration des microorganismes. Une bonne aération favorise la dégradation de la matière organique, limite les mauvaises odeurs et permet l'évacuation de l'excès de chaleur et de vapeur d'eau. À l'inverse, un manque d'oxygène peut provoquer des fermentations anaérobies et ralentir le processus de compostage (**Waqas et al., 2023**).

I .6.4 pH :

Le pH influence directement l'activité des microorganismes et la disponibilité des éléments nutritifs. Au début du compostage, le pH peut diminuer en raison de la formation d'acides organiques, puis augmenter progressivement sous l'effet de leur dégradation et de la libération d'ammoniac. La plupart des microorganismes impliqués dans le compostage se développent dans un milieu dont le pH est compris entre 6 et 8, considéré comme favorable à une activité biologique optimale (**Bernal et al., 2009**).

II . Le grignon d'olive

II.1. L'oléiculture en Algérie :

L'oléiculture constitue l'une des principales filières arboricoles en Algérie. Grâce à des conditions climatiques favorables, l'olivier est cultivé dans plusieurs régions du pays, notamment en Kabylie, dans les Aurès, à Tlemcen, Sétif, Béjaïa, Bouira et Jijel. Cette culture joue un rôle important sur les plans économique, social et environnemental.

Au cours des dernières années, la filière oléicole a connu un développement notable grâce aux programmes nationaux de plantation et d'extension des superficies oléicoles. Selon les statistiques du Conseil Oléicole International (**COI, 2024**), l'Algérie figure parmi les principaux pays producteurs d'olives du bassin méditerranéen et occupe une place importante dans la production mondiale d'olives de table.

Les données de la **FAO (2024)** indiquent que la production nationale d'olives a dépassé 900 000 tonnes ces dernières années, témoignant du développement continu de cette filière. Toutefois, l'augmentation de la production oléicole s'accompagne également d'une génération importante de sous-produits tels que les feuilles, les margines et le grignon d'olive, dont la valorisation représente un enjeu environnemental et économique majeur (**COI, 2024 ; FAO, 2024**).

II.2. Définition du grignon d'olive :

Le grignon d'olive est le principal sous-produit solide généré lors de l'extraction de l'huile d'olive. Il est constitué d'un mélange de fragments de pulpe, de peau, de noyaux broyés et d'une faible quantité d'huile résiduelle. Sa composition varie selon la variété des olives, leur degré de maturité ainsi que le procédé d'extraction utilisé (**Dermeche et al., 2013**).

Sur le plan physico-chimique, le grignon d'olive se caractérise par une forte teneur en matière organique et en composés lignocellulosiques, principalement la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Il contient également des composés phénoliques tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins, connus pour leurs propriétés antioxydantes mais pouvant exercer un effet inhibiteur sur certains microorganismes lorsqu'ils sont présents à des concentrations élevées (**Niaounakis & Halvadakis, 2006 ; Dermeche et al., 2013**).

En raison de sa richesse en matière organique, le grignon d'olive constitue une ressource intéressante pour la valorisation biologique, notamment par compostage. Toutefois, sa biodégradation est souvent ralentie par la présence de lignine et de composés phénoliques résistants à la décomposition. Pour cette raison, il est généralement mélangé à d'autres matières organiques afin d'améliorer les conditions de compostage et d'accélérer sa transformation en amendement organique stable (**Awasthi et al., 2020**).

II.3. Impact environnemental du grignon d'olive :

- **Pollution des sols** : Le grignon d'olive peut entraîner une accumulation de matière organique et de composés phénoliques dans le sol, ce qui perturbe ses propriétés physico-chimiques et biologiques (**Roig et al., 2006**).
- **Pollution des eaux** : Les substances organiques et phénoliques peuvent être entraînées par lessivage vers les eaux de surface et les nappes souterraines, réduisant leur qualité (**Mekki et al., 2013**).
- **Toxicité pour les microorganismes** : Les composés phénoliques possèdent une activité antimicrobienne susceptible de diminuer l'activité microbienne du sol (**Dermeche et al., 2013**).
- **Nuisances olfactives** : Le stockage prolongé du grignon favorise les fermentations anaérobies responsables d'odeurs désagréables (**Niaounakis et Halvadakis, 2006**).
- **Émission de gaz à effet de serre** : Sa décomposition non contrôlée peut produire du dioxyde de carbone (CO₂) et du méthane (CH₄), contribuant au réchauffement climatique (**Roig et al., 2006**).
- **Phytotoxicité** : La présence de polyphénols, flavonoïdes et tanins peut inhiber la germination des graines et la croissance des plantes (**Taccari et al., 2019**).
- **Perte de ressources valorisables** : Le rejet direct du grignon représente une perte importante de matière organique pouvant être transformée en compost ou en biochar (**Dermeche et al., 2013**).

III . Le fumier bovin

III.1. Définition et origine du fumier bovin :

Le fumier bovin est un amendement organique naturel provenant du mélange des déjections solides et liquides des bovins avec des résidus de litière tels que la paille. Il est largement utilisé en agriculture en raison de sa richesse en matière organique et en éléments nutritifs nécessaires à la fertilité des sols. Sa composition dépend principalement de l'alimentation des animaux, du type de litière et des conditions de stockage (**Bernal et al., 2009**).

Le fumier bovin constitue également une source importante de microorganismes capables de favoriser la dégradation de la matière organique lors du compostage. Il est fréquemment utilisé comme co-substrat pour améliorer le rapport carbone/azote (C/N) et accélérer la biodégradation des résidus agricoles tels que le grignon d'olive (**Makan et al., 2014**).

III.2. Composition physico-chimique du fumier bovin :

Le fumier bovin possède une composition physico-chimique variée qui lui confère une grande valeur agronomique. Il est principalement constitué de matière organique, d'eau, de microorganismes et d'éléments nutritifs essentiels tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). La teneur en matière organique est généralement élevée, tandis que le rapport carbone/azote (C/N), souvent compris entre 15 et 25. Selon **Bernal et al. (2009)**.

III.3. Valeur agronomique du fumier bovin :

Le fumier bovin est un déchet organique riche en matière organique et en éléments nutritifs essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Son application améliore la structure du sol, augmente sa capacité de rétention en eau et stimule l'activité biologique, contribuant ainsi à l'amélioration de la fertilité des sols (**Bernal et al., 2009**).

III.4. Rôle du fumier bovin dans le compostage :

Le fumier bovin joue un rôle important dans le compostage grâce à son apport en microorganismes, en nutriments et en matière organique facilement dégradable. Il favorise

ainsi la décomposition des déchets organiques et la maturation du compost (**Bernal et al., 2009**).

IV . Le biochar

IV.1. Définition du biochar

Le biochar est un matériau solide riche en carbone obtenu par la décomposition thermique de la biomasse en absence ou en faible présence d'oxygène. Il se caractérise par une grande stabilité chimique, une forte porosité et une capacité élevée de rétention de l'eau et des nutriments. Grâce à ces propriétés, le biochar est largement utilisé pour l'amélioration des sols, la séquestration du carbone et la valorisation des résidus agricoles (Lehmann & Joseph, 2015).

IV.2. Production du biochar par pyrolyse :

Le biochar est produit par un procédé appelé pyrolyse, qui consiste à chauffer une biomasse organique (résidus agricoles, bois, grignon d'olive, etc.) à des températures généralement comprises entre 300 et 700 °C en absence ou en faible présence d'oxygène. Ce procédé permet d'obtenir un matériau riche en carbone tout en produisant également des gaz et des huiles de pyrolyse. Les caractéristiques du biochar dépendent du type de biomasse utilisée et des conditions de pyrolyse, notamment la température et la durée du traitement (Tomczyk et al., 2020).

IV.3. Propriétés physico-chimiques du biochar

Le biochar présente des propriétés physico-chimiques qui expliquent son intérêt croissant dans les domaines de l'agriculture et du compostage. Il se caractérise par une teneur élevée en carbone fixe, lui conférant une grande stabilité chimique et une forte résistance à la dégradation biologique. Sa structure hautement poreuse et sa grande surface spécifique favorisent la rétention de l'eau, des nutriments et des microorganismes. Le biochar possède généralement un pH alcalin, susceptible d'améliorer les sols acides. Il présente également une capacité d'échange cationique (CEC), liée à la présence de groupements fonctionnels oxygénés à sa surface, qui favorise la rétention des éléments nutritifs et limite leur lessivage. L'ensemble de ces caractéristiques fait du biochar un amendement organique efficace pour améliorer la fertilité des sols et optimiser les procédés

de compostage. Les propriétés du biochar varient toutefois selon la nature de la biomasse utilisée et les conditions de pyrolyse, notamment la température et la durée du traitement (Lehmann & Joseph, 2015 ; Tomczyk et al., 2020).

IV.4. Effets du biochar sur le compostage :

Le biochar est de plus en plus utilisé comme additif dans les procédés de compostage en raison de ses propriétés physico-chimiques particulières. Sa structure poreuse et sa grande surface spécifique améliorent les conditions du compostage et contribuent à la qualité du compost final.

IV.4.1. Amélioration de l'aération :

Grâce à sa structure poreuse, le biochar augmente la porosité du mélange de compostage et facilite la circulation de l'air. Cette amélioration de l'aération favorise l'activité des microorganismes aérobies et limite les phénomènes de fermentation anaérobie responsables des mauvaises odeurs (Jindo et al., 2012).

IV.4.2. Rétention de l'humidité :

Le biochar possède une capacité élevée de rétention d'eau grâce à sa porosité interne. Son incorporation dans le compost permet de maintenir un taux d'humidité favorable à l'activité microbienne et de réduire les pertes d'eau durant le processus de compostage (Agegnehu et al., 2017).

IV.4.3. Réduction des pertes d'azote :

Le biochar est capable d'adsorber l'ammonium (NH_4^+) et d'autres formes d'azote, ce qui limite les pertes par volatilisation sous forme d'ammoniac (NH_3). Cette propriété permet une meilleure conservation des nutriments et améliore la valeur fertilisante du compost obtenu (Steiner et al., 2010).

V . Paramètres physico-chimiques suivis au cours de l'étude

V.1. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH constitue un paramètre important dans le suivi du compostage, car il influence l'activité des microorganismes responsables de la dégradation de la matière organique. La plupart des bactéries actives au cours du compostage se développent dans une gamme de pH comprise entre 6 et 8, tandis que les champignons tolèrent des conditions légèrement plus acides.

Au début du compostage, une diminution du pH est souvent observée en raison de la formation d'acides organiques provenant de la dégradation des composés facilement biodégradables. Cette acidification peut être représentée par la réaction générale suivante :

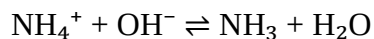


L'accumulation des ions hydrogène (H^+) entraîne une baisse du pH du milieu.

Par ailleurs, le dioxyde de carbone (CO_2) produit par la respiration microbienne peut se dissoudre dans l'eau et former de l'acide carbonique selon la réaction :



Au cours de la phase thermophile, le pH augmente généralement sous l'effet de la dégradation des composés azotés et de la formation d'ammoniac :



Cette alcalinisation est souvent observée durant les premières semaines du compostage. À mesure que le processus progresse vers la phase de maturation, le pH se stabilise progressivement autour de la neutralité, traduisant la stabilisation de la matière organique et la maturité du compost (**Sánchez-Monedero et al., 2001 ; Awasthi et al., 2022**).

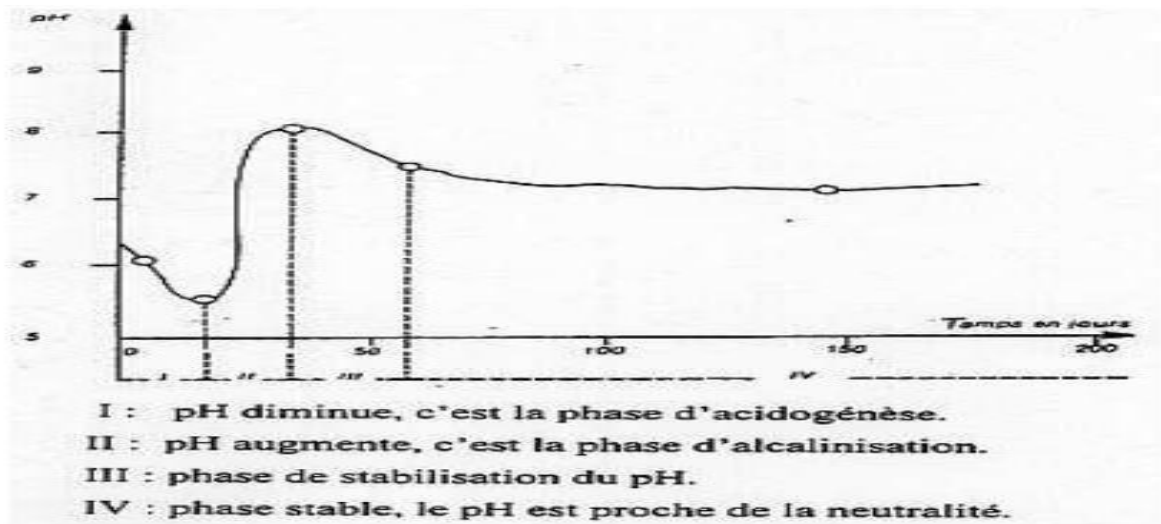


Figure 2: Courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987)

V.2. Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique (CE) est un paramètre essentiel pour évaluer la salinité et la qualité du compost au cours de sa maturation. Elle reflète la concentration en sels solubles issus de la minéralisation de la matière organique. Une CE élevée peut indiquer une forte libération d'ions (NH_4^+ , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+}), susceptible d'influencer négativement la croissance des plantes si le compost est appliqué à l'état immature. En revanche, une diminution progressive de la CE au cours du compostage traduit généralement une stabilisation du matériau et une diminution de la phytotoxicité.

Au début du processus de compostage, la décomposition rapide des composés organiques entraîne une libération importante d'ions solubles, ce qui provoque une augmentation de la conductivité électrique. Par la suite, durant les phases thermophile et de maturation, une partie de ces ions est incorporée dans de nouvelles structures organiques ou perdue par volatilisation et lixiviation, ce qui entraîne une diminution progressive de la CE. Cette évolution est souvent utilisée comme indicateur indirect de la maturité du compost.

Selon plusieurs études récentes, la CE est fortement influencée par la nature des déchets utilisés, le rapport C/N initial et les conditions de compostage (aération, humidité, température). Un suivi régulier de ce paramètre permet donc d'optimiser le processus et de garantir un produit final stable et apte à l'usage agronomique (**Awasthi et al., 2022 ; Bernal et al., 2009**).

V.3. Taux de matière sèche (MS) :

Le taux de matière sèche (MS) est un paramètre fondamental du compostage, correspondant à la fraction solide de la matière organique après élimination de l'eau. Il permet d'évaluer la concentration du substrat et de suivre son évolution au cours du processus de dégradation. Une diminution de la MS peut être liée à la biodégradation de la matière organique ainsi qu'aux variations de l'humidité du système, ce qui en fait un indicateur important de l'avancement et de la stabilité du compost (**Bernal et al., 2009 ; Rynk, 1992**).

V.4. Composés phénoliques :

Les composés phénoliques sont des molécules organiques issues du métabolisme secondaire des plantes, largement présentes dans les résidus végétaux, notamment le grignon d'olive. Ils se caractérisent par la présence d'un ou plusieurs noyaux aromatiques porteurs de groupements hydroxyles, ce qui leur confère une forte réactivité chimique et biologique.

Ainsi, la diminution des composés phénoliques constitue un indicateur important de la détoxification et de la stabilisation de la matière organique au cours du compostage (**Bernal et al., 2009 ; López et al., 2010**).

V.5 Caractéristiques spectroscopiques du compost :

V.5.1 La spectroscopie UV–Visible :

La spectroscopie UV–Visible est une technique qui repose sur l'absorption de la lumière dans les domaines ultraviolet (200–400 nm) et visible (400–800 nm). Cette absorption est liée au passage des électrons d'un niveau d'énergie stable vers un niveau plus élevé, surtout dans les molécules organiques contenant des groupes fonctionnels appelés chromophores.

Dans le compostage, cette méthode est utilisée pour suivre l'évolution de la matière organique au cours de sa décomposition. Elle permet notamment d'étudier la formation des substances humiques et d'évaluer le degré de maturation du compost.

L'un des paramètres souvent utilisés est le rapport E4/E6. Une diminution de ce rapport indique généralement une augmentation de la stabilité et du degré d'humification de la matière organique.

Selon plusieurs travaux scientifiques (**Swift, 1996 ; Domeizel et al., 2004 ; Zbytniewski & Buszewski, 2005**), la spectroscopie UV–Visible est une méthode efficace pour suivre les transformations de la matière organique durant le compostage.

V.5.2 La spectroscopie infrarouge (FTIR) :

La spectroscopie infrarouge (FTIR) est une technique basée sur l'absorption du rayonnement infrarouge par les molécules, ce qui provoque des vibrations des liaisons chimiques. Chaque groupe fonctionnel (OH, C=O, C–H, etc.) absorbe à des longueurs d'onde spécifiques, ce qui permet d'identifier la composition chimique d'un matériau.

Dans le compostage, la FTIR est utilisée pour analyser les changements de la matière organique au cours du temps. Elle permet de suivre la disparition des composés facilement dégradables et l'apparition de structures plus stables comme les composés aromatiques.

Cette technique est également utilisée pour évaluer la maturité et le degré d'humification du compost. Les études de **Chen (2003)**, **Sanchez-Monedero et al. (2002)** et **Stevenson (1994)** ont montré que la FTIR est une méthode fiable, rapide et non destructive pour suivre l'évolution du compost.

Chapitre II

Matériels et méthodes

I.1 Origine des matières premières :

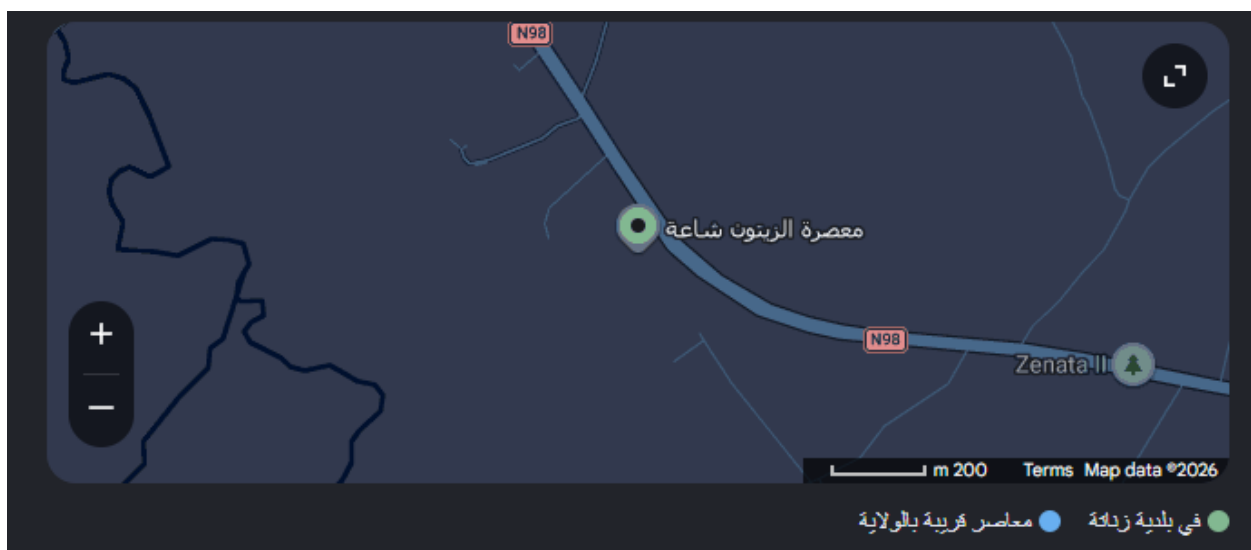


Figure 1: Localisation de la commune de Zenata dans la wilaya de Tlemcen.

I.2 Le grignon d'olive :

Le grignon d'olive utilisé dans cette étude provient d'une huilerie située dans la commune de Zenata, wilaya de Tlemcen.

I.3 Le fumier bovin :

Le fumier bovin a été collecté auprès d'un éleveur de bovins de la commune de Zenata, wilaya de Tlemcen.

I.4 Le biochar de grignon d'olive :

Le biochar utilisé a été obtenu à partir du grignon d'olive préalablement collecté dans la même région et soumis à une opération de pyrolyse.

I.5 Préparation des mélanges et échantillonnage :

Dans le cadre de cette étude, un mélange de grignon d'olive et de fumier bovin a été préparé manuellement de manière à obtenir un substrat homogène. Le mélange a été placé dans un récipient approprié et soumis à un processus de compostage durant une période d'un mois. Afin de maintenir des conditions favorables à l'activité microbienne, le substrat

a été régulièrement humidifié à l'aide d'eau tiède lorsque cela était nécessaire. Le récipient a également été recouvert d'un film plastique noir afin de limiter les pertes d'humidité et de favoriser le déroulement des processus biologiques de dégradation de la matière organique.

Le suivi expérimental a été réalisé à travers l'analyse de trois échantillons représentatifs:

- **T0** : mélange initial de grignon d'olive et de fumier bovin prélevé immédiatement après sa préparation (0 heure).
- **T1** : mélange de grignon d'olive et de fumier bovin après un mois de compostage.
- **T2**: compost obtenu après un mois de compostage auquel a été ajouté du biochar issu du grignon d'olive à la fin de la période expérimentale.

Les échantillons ont été prélevés puis conservés dans des sacs propres et hermétiques avant leur transfert au laboratoire pour la réalisation des différentes analyses physico-chimiques.

I.6 Préparation des échantillons :

Avant les analyses physico-chimiques, les différents échantillons ont subi plusieurs étapes de préparation afin d'assurer leur homogénéité et d'améliorer la fiabilité des résultats analytiques.

- **Séchage** : Les échantillons ont été séchés à l'air libre ou à l'étuve jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Une partie des échantillons frais a été conservée pour la détermination de l'humidité et de la matière sèche.
- **Broyage** : Après séchage, les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique afin d'obtenir une poudre homogène facilitant les différentes analyses physico-chimiques.
- **Tamissage** : Les échantillons broyés ont ensuite été tamisés afin d'obtenir une granulométrie uniforme et d'éliminer les particules grossières. La fraction fine obtenue a été utilisée pour l'ensemble des analyses réalisées dans cette étude. ^

I.7 Préparation du biochar de grignon d'olive :

La préparation du charbon d'olive a été réalisée selon les étapes suivantes **Lehmann & Joseph (2015)**.

- **Collecte du grignon d'olive** : les résidus de grignon d'olive ont été récupérés après l'extraction de l'huile.
- **Séchage** : les résidus ont été séchés afin de réduire leur teneur en eau.
- **Carbonisation** : les résidus séchés ont été soumis à un processus de carbonisation pendant une durée de cinq heures 500 °C dans un milieu pauvre en oxygène.
- **Refroidissement** : après la carbonisation, le charbon obtenu a été laissé refroidir à température ambiante.
- **Broyage** : le charbon produit a été broyé afin d'obtenir des particules plus fines avant son incorporation au compost



Figure 2 :les etapes de pyrolyse utilisé pour la production du biochar à partir du grignon d'olive.

II . Les caractéristiques physiques

II.1 Détermination du taux d'humidité:

Le taux d'humidité correspond à la quantité d'eau contenue dans un échantillon. Il a été déterminé par la méthode gravimétrique après séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Cette analyse a été réalisée sur les matières premières utilisées dans l'étude, à savoir le grignon d'olive et le fumier bovin **AOAC (2019)**.

Le taux d'humidité a été calculé selon la formule suivante :

Où :

$$H (\%) = ((m_1 - m_2) / m_1) \times 100$$

m₁ : masse initiale de l'échantillon avant séchage (g) ;

m₂ : masse de l'échantillon après séchage (g).

II.2 Détermination du taux de matière sèche :

La matière sèche représente la fraction solide restant après élimination de l'eau contenue dans l'échantillon. Sa détermination permet d'évaluer la proportion réelle de matière solide présente dans les matières premières étudiées.

Mode opératoire :

- Prélever 30 g de chaque échantillon ;
- Introduire les échantillons dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures ;
- Laisser refroidir les échantillons après séchage ;
- Peser les échantillons jusqu'à stabilisation de leur masse ;
- Déterminer le taux de matière sèche à partir de la formule suivante :

Où :

$$MS (\%) = (m_2 / m_1) \times 100$$

m₁ : masse initiale de l'échantillon avant séchage (g) ;

m₂ : masse de l'échantillon après séchage (g).



Figure 3: Séchage des échantillons dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures

Remarque : Les mesures de l'humidité et de la matière sèche ont été réalisées sur le grignon d'olive et le fumier bovin avant leur incorporation dans le mélange destiné au compostage.

III . Les caractéristiques chimiques

III.1 Détermination du pH :

La mesure du pH a été réalisée sur des suspensions aqueuses conformément à la norme AFNOR (2000), à l'aide d'un pH-mètre à électrode combinée après étalonnage avec des solutions tampons.

III.1.1 Mode opératoire :

La détermination du pH a été effectuée sur les trois compost étudiés: T0 ,T1 ,T2 et les matière première

III.1.2 Mode opératoire :

- Peser 2 g de chaque échantillon broyé (fraction 250 µm)
- Ajouter 100 mL d'eau distillée dans un flacon en verre fermé
- Agiter pendant 15 minutes
- Laisser reposer pendant 24 heures afin d'assurer l'équilibre entre les phases
- Étaler le pH-mètre à l'aide de solutions tampons
- Immerger l'électrode dans la phase aqueuse surnageante
- Lire directement la valeur du pH après stabilisation

III.2 Dosage des polyphénols totaux :

III.2.1 Principe de la méthode :

La méthode de Folin-Ciocalteu est basée sur la réaction des composés phénoliques avec le réactif de Folin-Ciocalteu en milieu alcalin. Cette réaction entraîne la formation d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de composés phénoliques présents dans l'échantillon. L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible *Singleton et al. (1999)*.

III.2.2 Préparation des réactifs :

- Le réactif de Folin-Ciocalteu dilué a été préparé en introduisant 2,5 mL du réactif commercial dans une fiole jaugée de 25 mL puis en complétant le volume avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

- La solution méthanolique à 80 % a été préparée par mélange de 80 mL de méthanol et 20 mL d'eau distillée.
- La solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) a été obtenue en dissolvant 7,4 g de Na_2CO_3 dans 100 mL d'eau distillée.
- Préparation de la solution étalon d'acide gallique
- La solution mère a été préparée en dissolvant 0,01 g d'acide gallique dans 10 mL d'eau distillée. Une dilution au 1/2 a ensuite été réalisée pour l'obtention des solutions étalons.

III.2.3 Mode opératoire :

Le dosage des polyphénols a été effectué sur les trois échantillons étudiés : T0 ,T1 ,T2

Pour chaque échantillon :

- Prélever 200 μL de l'extrait
- Ajouter 1 mL du réactif de Folin-Ciocalteu dilué
- Ajouter 0,8 mL de la solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3)
- Homogénéiser le mélange
- Laisser les tubes à l'abri de la lumière pendant 30 minutes afin de permettre le développement de la coloration
- Mesurer l'absorbance à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

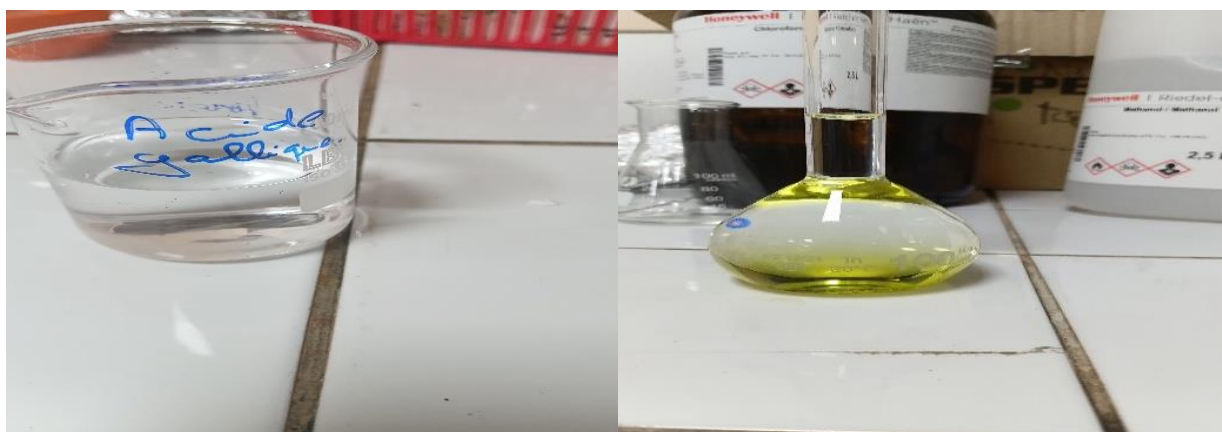


Figure 4 : Réactifs Folin-Ciocalteu et acide gallique utilisés pour le dosage des polyphénols totaux

III.3 Dosage des tanins :

III.3.1 Principe de la méthode :

La méthode vanilline-HCl repose sur la réaction des tanins condensés avec la vanilline en milieu fortement acide. Cette réaction conduit à la formation d'un complexe coloré dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en tanins présents dans l'échantillon **Price et al. (1978)**. L'absorbance du complexe formé est mesurée à une longueur d'onde de 550 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

III.3.2 Préparation des réactifs :

Le réactif à la vanilline a été préparé en dissolvant 4 g de vanilline dans 100 mL d'eau distillée.

L'acide chlorhydrique (HCl) a été utilisé comme réactif acidifiant afin de favoriser le développement de la coloration nécessaire à la détermination des tanins.

III.3.3 Mode opératoire :

Le dosage des tanins a été réalisé sur les trois échantillons étudiés :T0 , T1 ,T2

Pour chaque échantillon :

- Prélever 50 μ L de l'extrait
- Ajouter 1500 μ L de la solution de vanilline
- Ajouter 750 μ L d'acide chlorhydrique (HCl)
- Homogénéiser soigneusement le mélange
- Incuber les tubes pendant 20 minutes à température ambiante
- Mesurer l'absorbance à 550 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

III.4 Dosage des flavonoïdes totaux :

III.4.1 Principe de la méthode :

La méthode repose sur la réaction des flavonoïdes avec le chlorure d'aluminium en milieu alcalin. Cette réaction conduit à la formation d'un complexe coloré dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des flavonoïdes présents dans l'échantillon **Zhishen**

et al. (1999). L'absorbance du complexe formé est mesurée à une longueur d'onde de 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

III.4.2 Mode opératoire :

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé sur les trois échantillons étudiés : T0 ,T1 ,T2

Pour chaque échantillon :

- Prélever 500 μ L de l'extrait
- Ajouter 1500 μ L d'eau distillée
- Ajouter 150 μ L de solution de nitrite de sodium (NaNO_2) à 5%.
- Laisser réagir pendant 5 minutes
- Ajouter 150 μ L de solution de chlorure d'aluminium (AlCl_3 à 10 %)
- Incuber le mélange pendant le temps nécessaire au développement de la réaction
- Ajouter 500 μ L de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4%
- Homogénéiser soigneusement le mélange
- Mesurer l'absorbance à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

III.5 Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique constitue un indicateur important de la salinité des substrats organiques et des composts. Elle reflète la concentration en sels solubles présents dans la solution du sol ou du compost, lesquels peuvent influencer la croissance des plantes et l'activité microbienne *AFNOR (2000)*.

III.5.1 Mode opératoire :

La conductivité électrique a été mesurée sur les trois échantillons étudiés : T0 ,T1 ,T2

Pour chaque échantillon :

- Peser 5 g de l'échantillon broyé ;
- Ajouter 25 mL d'eau distillée dans un flacon en verre fermé ;
- Laisser l'échantillon en contact avec l'eau distillée pendant 30 minutes afin de permettre la dissolution des sels solubles ;
- Filtrer la suspension et récupérer le filtrat ;

- Étalonner le conductimètre à l'aide de l'eau distillée ;
- Mesurer la conductivité électrique du filtrat à l'aide d'un conductimètre ;
- Noter directement les valeurs obtenues.

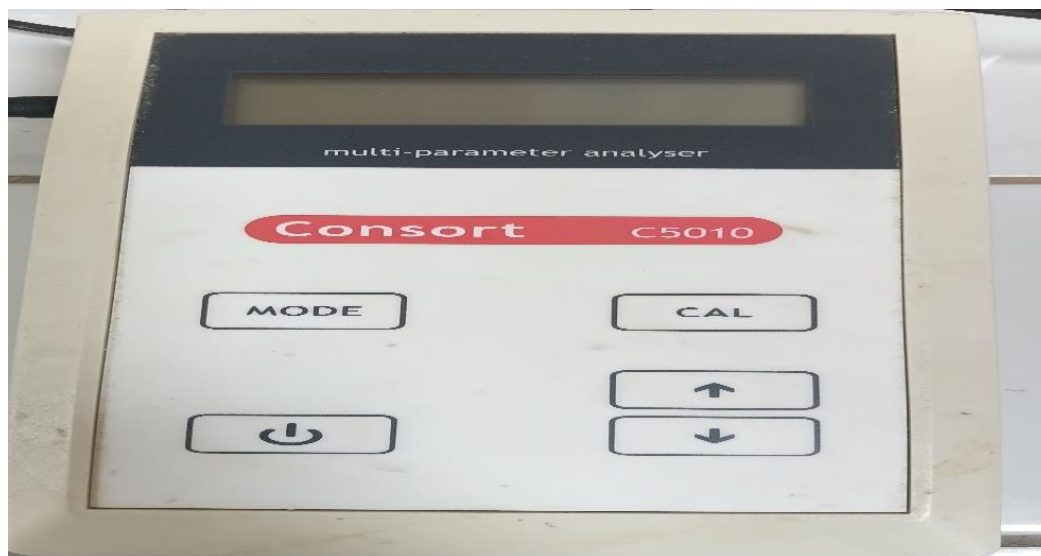


Figure5: Appareil de mesure de la conductivité électrique (CE) des échantillons de compost.

IV . Caractérisation des extraits par spectroscopie

IV.1 Analyse par spectroscopie UV-Visible :

La spectroscopie UV-Visible est une technique d'analyse largement utilisée pour la caractérisation des matières organiques et des substances humiques issues des processus de compostage *Stevenson (1994) et Domeizel et al. (2004)*. Elle permet d'évaluer la structure et le degré de transformation de la matière organique à travers la mesure de l'absorbance à différentes longueurs d'onde.

Dans cette étude, les extraits des échantillons ont été analysés après extraction alcaline afin de suivre l'évolution des composés organiques au cours du processus de compostage.

Mode opératoire :

- Peser 1 g de compost pour chaque échantillon étudié
- Ajouter 50 mL de solution de NaOH 0,5 M
- Agiter le mélange pendant 2 heures afin d'assurer l'extraction des substances organiques
- Procéder à une centrifugation pendant 25 minutes à 3000 rpm
- Récupérer le surnageant pour la mesure
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible à différentes longueurs d'onde (notamment 450 nm et 665 nm)
- Calculer le rapport d'absorbance E4/E6 (465 nm / 650 nm) utilisé pour caractériser le degré d'humification de la matière organique.



Figure6 : Analyse des extraits par spectroscopie UV-Visible

IV.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est une technique couramment utilisée pour l'identification des groupes fonctionnels présents dans les substances organiques issues du compostage *Smidt & Meissl (2007) et Coates (2000)*. Elle permet de suivre les transformations chimiques des composés organiques au cours de la dégradation et de l'humification.

Cette méthode est particulièrement utilisée pour l'analyse des substances humiques extraites des composts, des boues et des résidus organiques, en fournissant des informations sur les liaisons chimiques et les structures fonctionnelles présentes dans les échantillons étudiés.

Principe de la méthode :

La technique FTIR repose sur l'absorption du rayonnement infrarouge par les liaisons chimiques des molécules organiques. Chaque groupe fonctionnel absorbe à des longueurs d'onde caractéristiques, permettant ainsi d'identifier la nature des composés présents dans l'échantillon.

Les régions spectrales les plus utilisées pour l'interprétation des substances humiques se situent principalement entre 4000 et 2000 cm^{-1} , correspondant aux vibrations des principaux groupements fonctionnels organiques.

Chapitre III

Résultats et discussion

I . caractérisation physique

I.1 Détermination du taux d'humidité et de taux de la matière sèche :

Les résultats obtenus montrent que le grignon d'olive présente un taux d'humidité de 10,27 %, légèrement supérieur à celui du fumier bovin (7,10 %). En conséquence, les teneurs en matière sèche sont élevées et atteignent respectivement 89,73 % et 92,90 %. Cette relation inverse entre l'humidité et la matière sèche est observée pour les deux substrats. Les valeurs obtenues indiquent que les matières premières utilisées sont relativement sèches avant le démarrage du compostage.

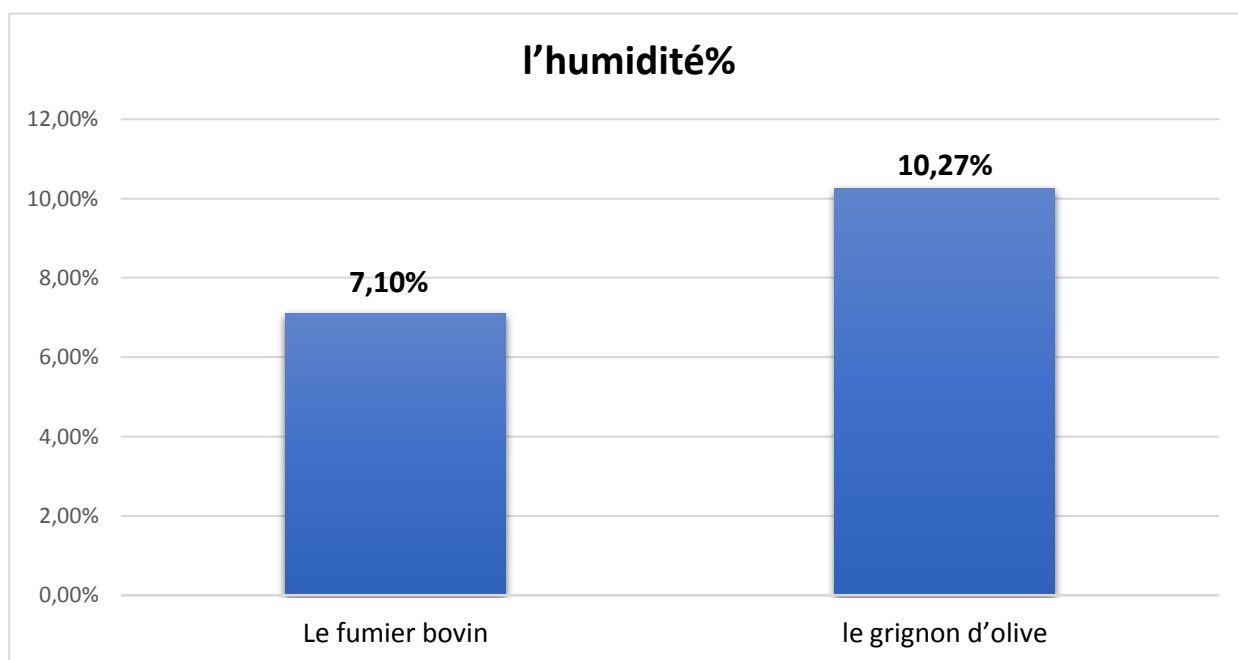


Figure III.1 : Teneurs en humidité des matières premières utilisées (fumier bovin et grignon d'olive)

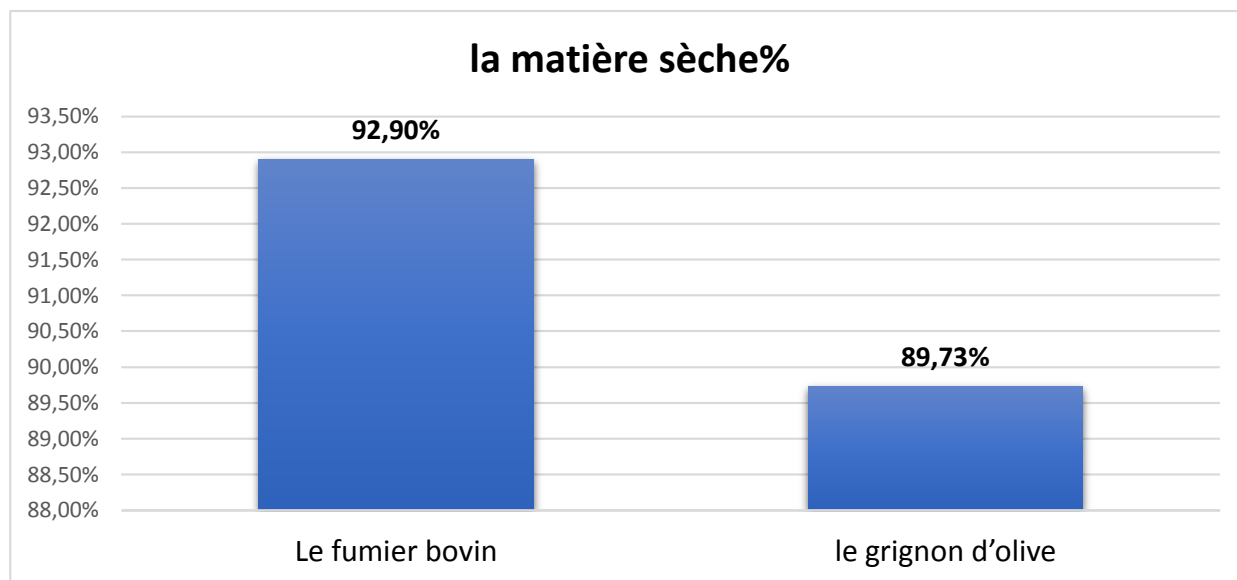


Figure III.2 : Teneurs en matière sèche des matières premières utilisées (fumier bovin et grignon d'olive)

II . Les caractéristiques chimiques

II.1 Mesure du pH :

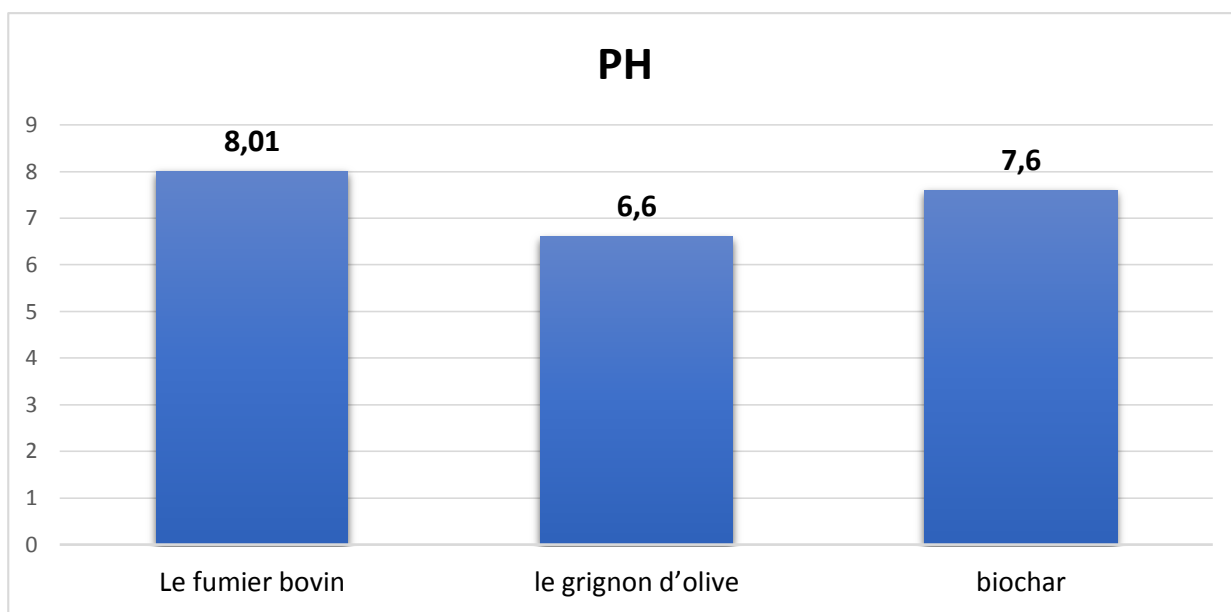


Figure III.3 : Caractérisation du pH des matières premières avant compostage.

Les valeurs de pH mesurées pour les matières premières étaient de 6,60 pour le grignon d'olive, 8,01 pour le fumier bovin et 7,60 pour le biochar de grignon d'olive.

Le grignon d'olive présente un caractère légèrement acide, probablement dû à la présence d'acides organiques et de composés phénoliques résiduels issus de la trituration des olives. Cette valeur est comparable à celles rapportées par **Hachicha et al. (2009)**, qui ont observé des pH compris entre 5,5 et 6,8 pour différents résidus oléicoles.

Le fumier bovin présente un pH alcalin (8,01), en accord avec les valeurs généralement rapportées dans la littérature (7,5–8,5). Cette alcalinité est attribuée à la présence de composés ammoniacaux et de bases minérales issus de la dégradation des matières organiques azotées.

Le biochar de grignon d'olive affiche un pH de 7,60, légèrement alcalin. Cette caractéristique est fréquemment observée pour les biochars en raison de leur richesse en cendres et en carbonates formés lors de la pyrolyse. Selon **Lehmann et Joseph (2015)**, le pH des biochars agricoles varie généralement entre 7 et 10 selon les conditions de production.

II.1.1 Évolution du pH des extraits de compost:

Les mesures effectuées sur les extraits de compost montrent une augmentation progressive du pH au cours du premier mois de compostage.

La valeur initiale de 6,05 traduit un milieu légèrement acide, ce qui est fréquent dans les premières phases du compostage. Cette acidité résulte principalement de la formation d'acides organiques issus de la décomposition des composés facilement biodégradables. Après un mois de compostage, le pH augmente jusqu'à 7,56. Cette évolution peut être expliquée par la dégradation progressive des acides organiques et par la production d'ammoniac provenant de la minéralisation de l'azote organique. Cette tendance est conforme aux observations de **Bernal et al. (2009)**, qui indiquent que le pH des composts évolue généralement vers la neutralité ou une légère alcalinité au cours de la phase active du compostage. L'ajout de biochar conduit à une augmentation supplémentaire du pH jusqu'à 7,96. Cette hausse peut être attribuée au caractère alcalin du biochar et à sa capacité tampon. Plusieurs travaux ont montré que l'incorporation de biochar dans les mélanges de compostage favorise la stabilisation du pH et améliore les conditions de développement des microorganismes (**Jindo et al., 2012 ; Awasthi et al., 2016**).

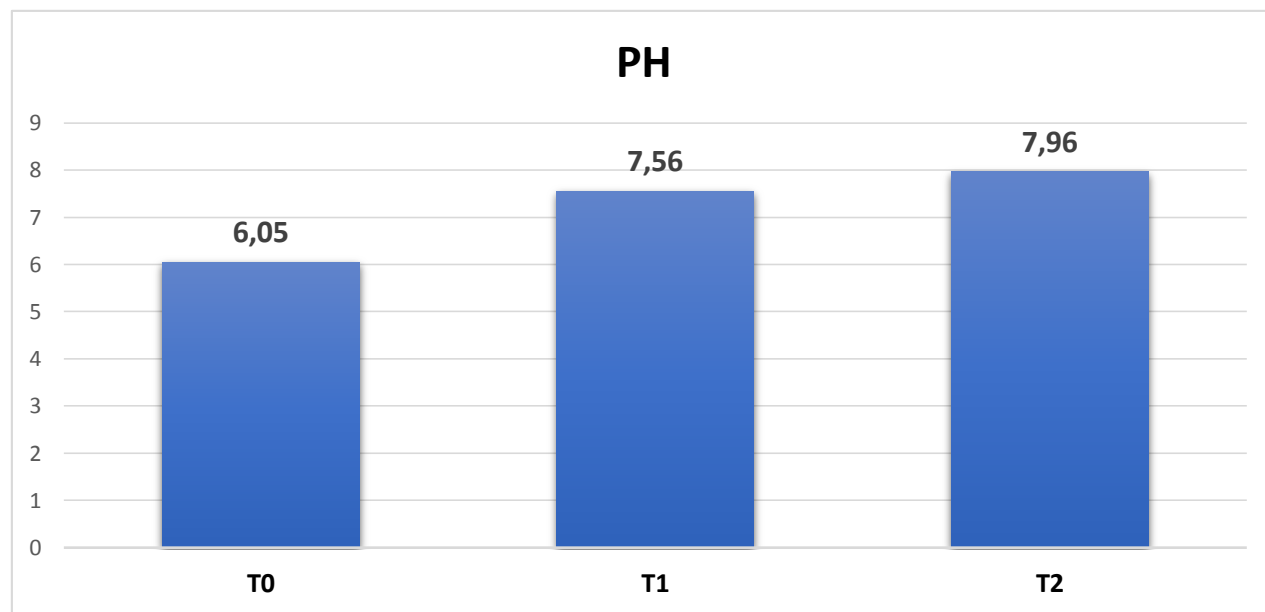


Figure III.4 : Valeurs du pH des différents composts (T0, T1 et T2) après compostage.

II.2 Les résultats du dosage des tanins :

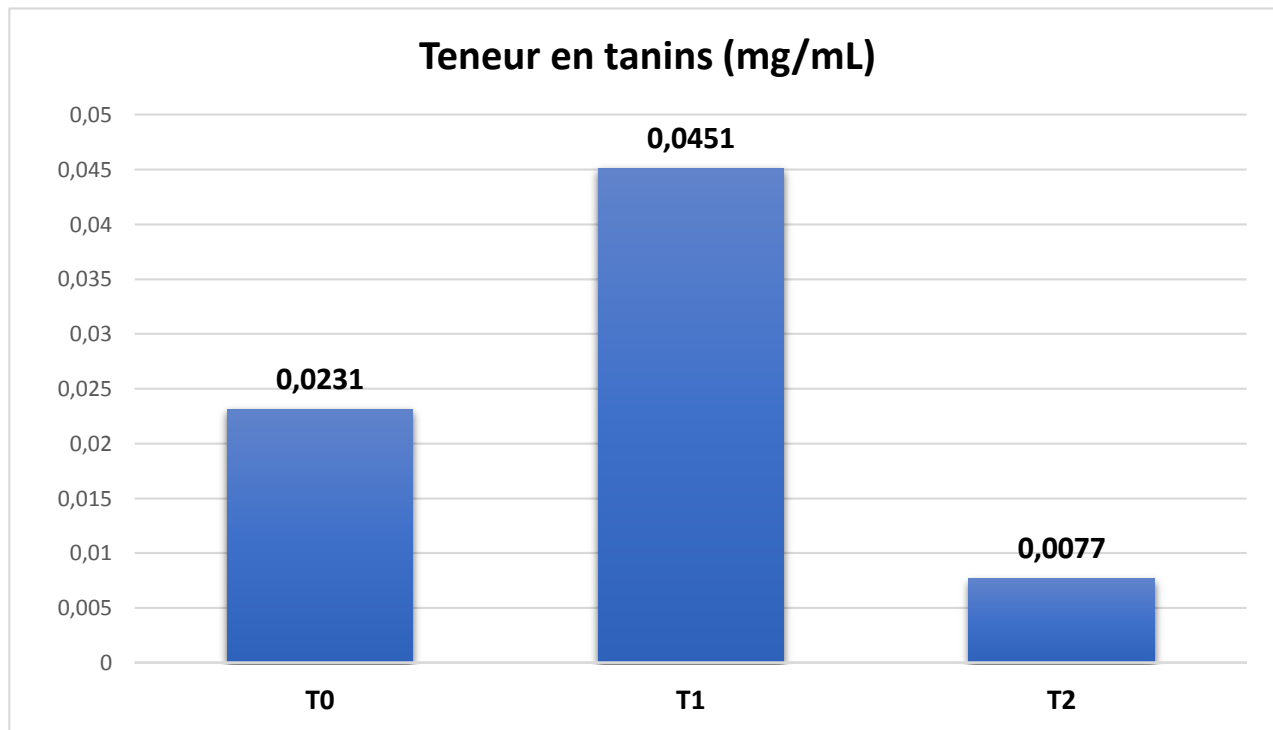


Figure III.5 : Teneur en tanins des différents composts (T0, T1 et T2).

Les résultats du dosage des tanins montrent des teneurs de 0,0231 mg/mL pour T0, 0,0451 mg/mL pour T1 et 0,0077 mg/mL pour T2. La concentration la plus élevée a été observée dans l'échantillon T1, tandis que la plus faible a été enregistrée dans l'échantillon T2.

L'augmentation de la teneur en tanins dans l'échantillon T1 peut être attribuée à la dégradation initiale de la matière organique au cours du compostage, entraînant la libération de composés phénoliques, notamment les tanins, initialement liés aux tissus végétaux du grignon d'olive.

En revanche, la diminution importante observée dans l'échantillon T2 est probablement liée à l'ajout du biochar à la fin de la période expérimentale. Grâce à sa structure poreuse et à sa grande surface spécifique, le biochar est capable d'adsorber une partie des composés phénoliques, y compris les tanins, ce qui réduit leur concentration dans les extraits

analysés. Cette diminution ne traduit donc pas une dégradation supplémentaire des tanins durant le compostage, mais plutôt un effet d'immobilisation et d'adsorption induit par le biochar après son incorporation.

Ces résultats sont cohérents avec les observations rapportées dans la littérature. Sánchez-Monedero et al. (1999) ont montré que les composés phénoliques évoluent progressivement au cours du compostage sous l'action de l'activité microbienne. Par ailleurs, Cayuela et al. (2013) ont rapporté que le biochar possède une forte capacité d'adsorption des composés organiques, notamment des substances phénoliques.

Ainsi, la faible teneur en tanins observée dans l'échantillon T2 constitue un indicateur favorable de la qualité du compost, car la réduction de ces composés contribue à limiter la phytotoxicité et à améliorer les propriétés agronomiques du produit final.

II.3 Les résultats du dosage des flavonoïdes :

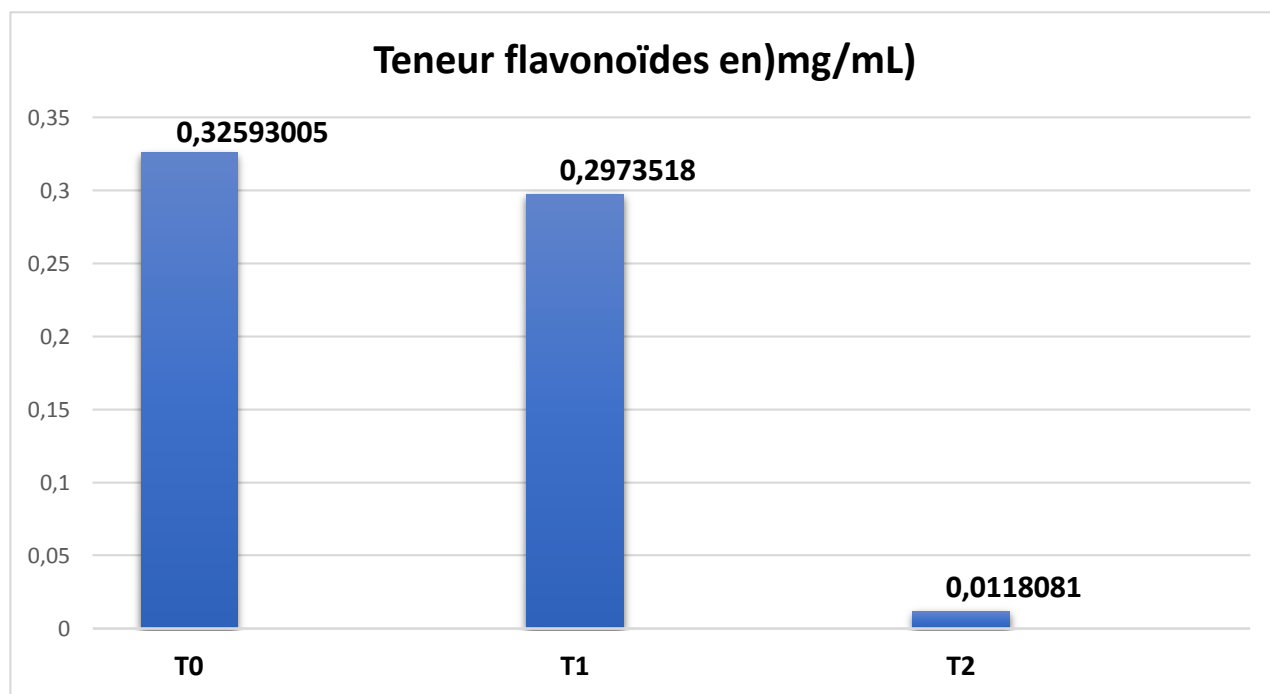


Figure III.6 : Teneur en flavonoïdes des différents composts (T0, T1 et T2).

Les résultats du dosage des flavonoïdes montrent des teneurs de 0,3259 mg/mL pour T0, 0,2974 mg/mL pour T1 et 0,0118 mg/mL pour T2. Une diminution progressive de la concentration en flavonoïdes est observée entre T0 et T1, suivie d'une baisse très importante dans l'échantillon T2.

La légère diminution observée entre T0 et T1 peut être attribuée aux transformations de la matière organique au cours du compostage et à l'activité des microorganismes, qui contribuent à la dégradation partielle des composés phénoliques, notamment des flavonoïdes. La forte diminution enregistrée dans T2 est probablement liée à l'ajout du biochar à la fin de la période expérimentale. En effet, le biochar possède une structure poreuse et une surface spécifique élevée lui permettant d'adsorber une partie des composés phénoliques, ce qui réduit leur concentration dans les extraits analysés.

Ces résultats sont en accord avec les travaux de Sánchez-Monedero et al. (1999), qui ont montré que les composés phénoliques évoluent au cours du compostage sous l'effet de l'activité microbienne. Par ailleurs, Cayuela et al. (2013) ont rapporté que le biochar favorise l'immobilisation de nombreux composés organiques, notamment les flavonoïdes et d'autres substances phénoliques.

Ainsi, la faible teneur en flavonoïdes observée dans l'échantillon T2 constitue un indicateur favorable de la qualité du compost, la diminution de ces composés pouvant contribuer à réduire la phytotoxicité et à améliorer les propriétés agronomiques du produit

II.4 Les résultats du dosage des polyphénols totaux :

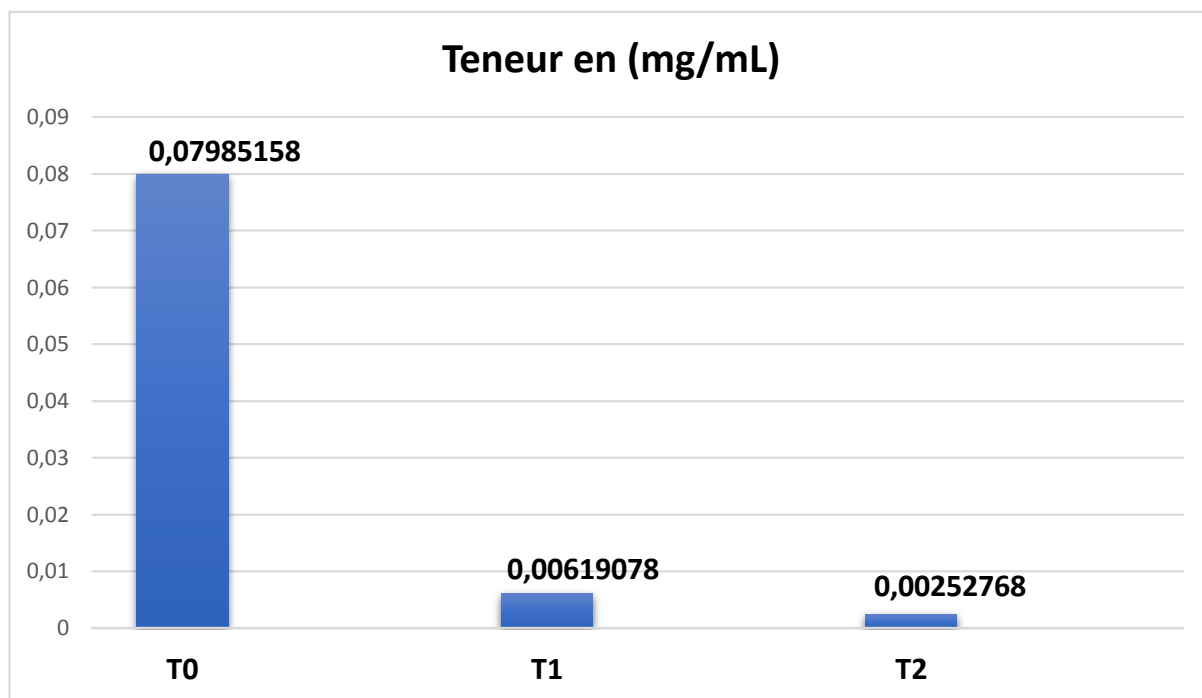


Figure III.7 : Teneur en polyphénols totaux (mg/mL) des différents composts (T0, T1 et T2).

Les résultats du dosage des polyphénols totaux ont révélé des concentrations de 0,0799 mg/mL pour l'échantillon T0, 0,0062 mg/mL pour T1 et 0,0025 mg/mL pour T2. Une diminution progressive et importante de la teneur en polyphénols est observée de T0 à T2.

La forte diminution enregistrée entre T0 et T1 peut être attribuée aux transformations de la matière organique au cours du compostage, sous l'action de l'activité microbienne, qui favorise la dégradation des composés phénoliques et leur conversion en substances plus stables. La diminution supplémentaire observée dans l'échantillon T2 est probablement liée à l'ajout du biochar à la fin de la période expérimentale. En effet, grâce à sa structure poreuse et à sa grande surface spécifique, le biochar possède une forte capacité d'adsorption des composés phénoliques, ce qui contribue à réduire leur concentration dans les extraits analysés.

Ces résultats sont en accord avec les observations rapportées par Sánchez-Monedero et al. (1999), qui ont montré que les composés phénoliques diminuent progressivement au cours du compostage sous l'effet de l'activité microbienne. De plus, Cayuela et al. (2013) ont indiqué que le biochar favorise l'immobilisation de nombreux composés organiques, notamment les substances phénoliques.

Ainsi, la faible teneur en polyphénols observée dans l'échantillon T2 constitue un indicateur favorable de la qualité du compost, car la réduction de ces composés contribue à diminuer la phytotoxicité potentielle et à améliorer les propriétés agronomiques du produit final.

II.5 Mesure de la conductivité électrique :

Les résultats montrent des valeurs de conductivité électrique de 5,91 mS/cm pour le grignon d'olive, 5,80 mS/cm pour le fumier bovin et 4,39 mS/cm pour le biochar. La conductivité électrique des composts a légèrement augmenté de 7,08 mS/cm (T0) à 7,48 mS/cm (T1), en raison de la minéralisation de la matière organique et de la libération d'ions solubles. Après l'ajout du biochar à la fin de la période expérimentale (T2), elle a diminué à 3,74 mS/cm, ce qui s'explique par sa capacité à adsorber une partie des sels solubles.

Ces résultats concordent avec ceux de Hachicha et al. (2009), qui ont rapporté une augmentation de la conductivité électrique au cours du compostage liée à la minéralisation de la matière organique. De même, Jindo et al. (2012) et Awasthi et al. (2016) ont montré que l'incorporation du biochar réduit la conductivité électrique grâce à ses propriétés adsorbantes. Par ailleurs, la valeur obtenue pour T2 (3,74 mS/cm) se situe dans la plage généralement considérée comme acceptable pour un compost destiné à un usage agricole (Bernal et al., 2009), ce qui traduit une amélioration de sa qualité et une réduction du risque de salinité.

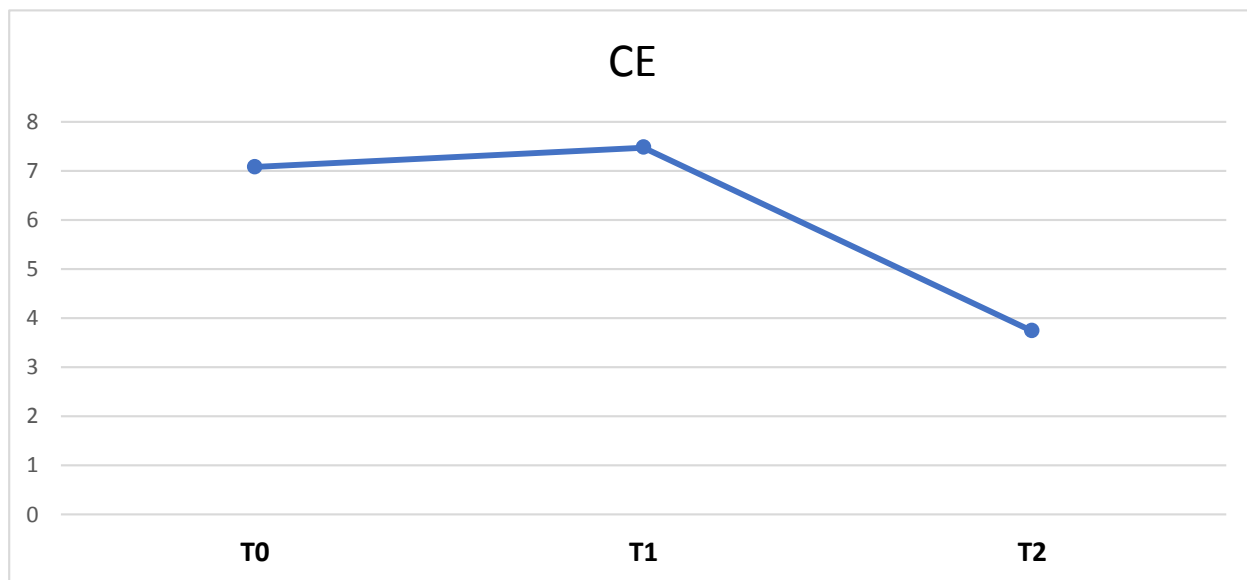


Figure III.8 : Conductivité électrique d'échantillon de composts (T0, T1 et T2).

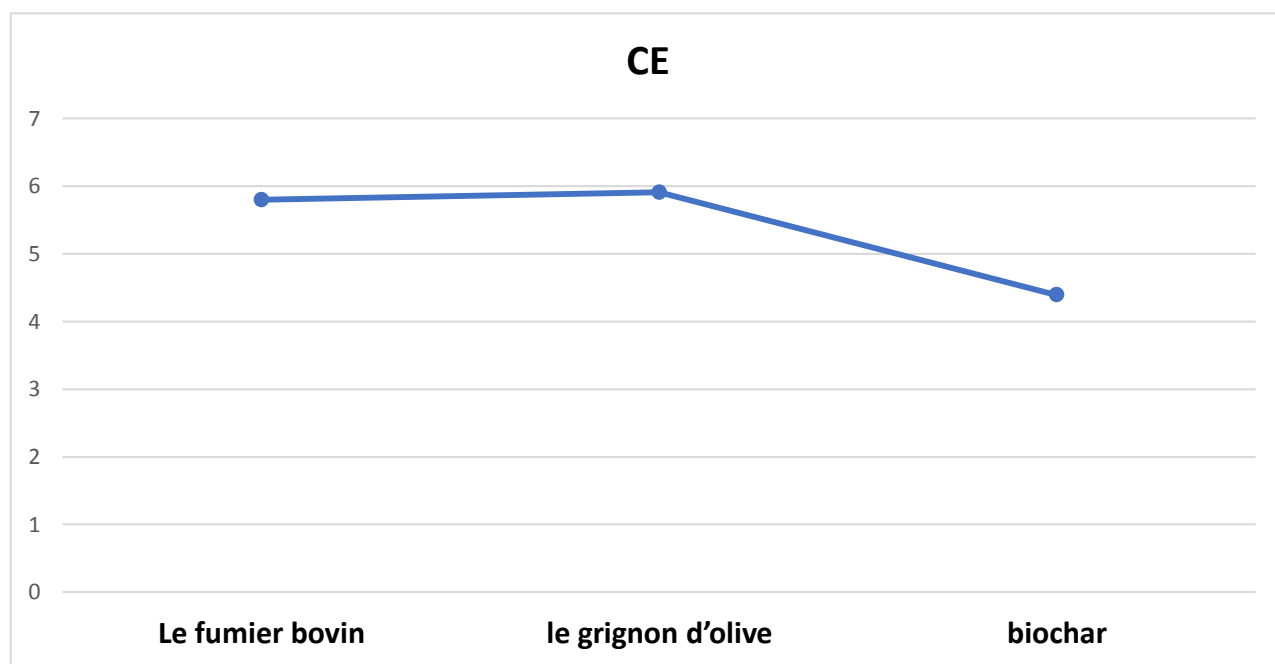


Figure III.9 : Conductivité électrique de matière premier.

III . Caractérisation spectroscopique

III.1 Analyse à l'UV-Visible :

Les résultats de l'analyse UV-Visible des extraits de compost sont présentés dans le tableau suivant :

	T0	T1	T3
E4=465nm	0.8588	0.7676	0.5879
E6=650nm	0.1084	0.1221	0.0750
E4/E6	7.92	6.28	7.83

Tableau III.1 : Valeurs des absorbances à 465 et 650 nm et du rapport E4/E6 des différents composts (T0, T1 et T2).

Le rapport E4/E6 a diminué de 7,92 (T0) à 6,28 (T1), traduisant une évolution de la matière organique vers un degré d'humification plus avancé au cours du compostage. Après l'ajout du biochar à la fin de la période expérimentale (T2), le rapport E4/E6 a augmenté à 7,83. Cette variation peut être attribuée aux propriétés optiques et adsorbantes du biochar, susceptibles de modifier les caractéristiques spectrales des extraits humiques.

Ces résultats sont en accord avec Domeizel et al. (2004), qui ont montré que la diminution du rapport E4/E6 est généralement associée à une augmentation du degré d'humification et de maturité du compost. De même, Zbytniewski et Buszewski (2005) ont indiqué que les variations du rapport E4/E6 reflètent les transformations structurales de la matière organique au cours du compostage. Dans le cas de T2, l'augmentation du rapport pourrait être liée à l'incorporation du biochar, qui influence les propriétés spectrales des extraits sans nécessairement refléter une diminution de la maturité du compost.

III.2 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

Les résultats de l'analyse FTIR indiquent que le processus de compostage a entraîné une transformation progressive de la structure de la matière organique, caractérisée par la dégradation des composés facilement biodégradables et le maintien ou la formation

de composés plus stables. Cette évolution traduit l'avancement du processus d'humification et la formation d'une matière organique plus stable.

L'ajout du biochar a également influencé les caractéristiques spectrales de la matière organique, notamment dans les régions associées aux structures aromatiques, sans entraîner l'apparition de nouveaux groupements fonctionnels ni modifier la nature des principaux groupements chimiques. Cela suggère que le biochar contribue principalement à la stabilisation de la matière organique plutôt qu'à une modification des mécanismes de transformation chimique.

Ces observations sont en accord avec les travaux de Smidt et Meissl (2007), qui ont montré que les spectres FTIR permettent de suivre la dégradation progressive des composés labiles et la formation de composés plus humifiés au cours du compostage. Elles sont également cohérentes avec les résultats rapportés par Awasthi et al. (2020), selon lesquels l'incorporation du biochar peut modifier certaines propriétés spectrales de la matière organique en raison de sa nature carbonée et de sa forte stabilité chimique, sans altérer les principaux groupements fonctionnels.

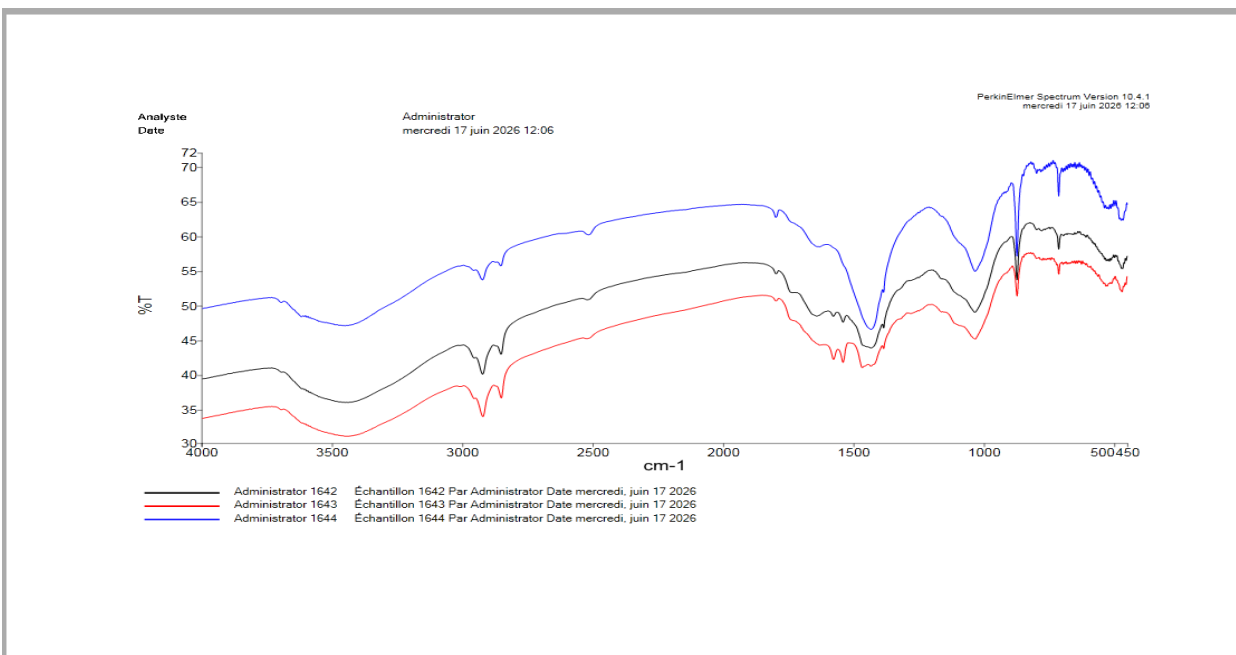


Figure III.10: Spectres infrarouges (FTIR) des échantillons de compost T0, T1 et T2.

Conclusion

CONCLUSION GÉNÉRALE

La présente étude a été consacrée à la valorisation du grignon d'olive, un sous-produit important de l'industrie oléicole, par compostage en association avec le fumier bovin. Elle avait pour objectif principal de suivre l'évolution des caractéristiques physico-chimiques, spectroscopiques et phytochimiques du mélange au cours de la phase initiale du compostage, ainsi que d'évaluer l'influence de l'incorporation du biochar issu du grignon d'olive sur la qualité du compost obtenu.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont mis en évidence une évolution favorable des paramètres étudiés. L'augmentation du pH de 6,05 à 7,56 après un mois de compostage traduit une stabilisation progressive du milieu. L'incorporation du biochar a conduit à une légère augmentation du pH jusqu'à 7,96, tout en maintenant des valeurs compatibles avec celles généralement observées dans les composts de bonne qualité. La conductivité électrique a légèrement augmenté au cours du compostage sous l'effet de la minéralisation de la matière organique, puis a nettement diminué après l'ajout du biochar, ce qui témoigne de sa capacité à réduire la concentration des sels solubles et à améliorer certaines propriétés du compost.

L'analyse UV-Visible a montré une diminution du rapport E4/E6 entre le mélange initial et le compost après un mois, indiquant une évolution du processus d'humification et une transformation progressive de la matière organique vers des structures plus stables. Les analyses FTIR ont confirmé ces observations en mettant en évidence la dégradation partielle des composés facilement biodégradables, notamment les fractions aliphatiques et polysaccharidiques, ainsi que l'apparition de structures organiques plus résistantes et plus humifiées. Les modifications observées dans les spectres après l'incorporation du biochar traduisent l'influence de ce matériau sur les propriétés chimiques et structurales du compost.

Les analyses phytochimiques ont révélé une diminution importante des polyphénols totaux et des flavonoïdes au cours du traitement. Concernant les tanins, une augmentation transitoire a été observée après un mois de compostage, suivie d'une diminution marquée

après l'ajout du biochar. Ces résultats indiquent une réduction globale des composés phénoliques potentiellement phytotoxiques présents dans le grignon d'olive. Cette évolution peut être attribuée à la fois à l'activité microbienne responsable de leur dégradation et à la capacité adsorbante du biochar qui favorise leur immobilisation.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus démontrent que le compostage constitue une voie efficace de valorisation du grignon d'olive lorsqu'il est associé au fumier bovin. Cette approche permet de transformer un résidu agroalimentaire potentiellement polluant en un produit organique présentant des caractéristiques intéressantes pour une utilisation agronomique. Par ailleurs, l'incorporation du biochar issu du grignon

d'olive apparaît comme une stratégie complémentaire prometteuse permettant d'améliorer certaines propriétés du compost et de contribuer à la réduction des composés indésirables.

Enfin, cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour des travaux futurs portant sur le suivi du compostage durant des périodes plus longues afin d'atteindre un stade de maturation plus avancé. Il serait également pertinent d'évaluer les performances agronomiques du compost obtenu à travers des essais sur plantes ou sur sol, afin de confirmer son potentiel comme amendement organique durable et son intérêt dans le cadre d'une gestion intégrée et écologique des sous-produits oléicoles.

Matériels et réactifs utilisés au laboratoire

Abréviation	Signification
pH	Potentiel Hydrogène
CE	Conductivité Électrique
UV-Visible	Spectroscopie Ultraviolet-Visible
FTIR	Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier
E4	Absorbance à 465 nm
E6	Absorbance à 650 nm
E4/E6	Rapport des absorbances 465/650 nm
NaOH	Hydroxyde de sodium
rpm	Révolutions par minute
nm	Nanomètre
cm⁻¹	Centimètre inverse
mg/mL	Milligramme par millilitre
mS/cm	Millisiemens par centimètre

Suivi du compost	Signification
T0	Temps initial (0 jour)
T1	Compost après 1 mois
T2	Compost après ajout du biochar

Ions / Groupements	Signification
NH₄⁺	Ion ammonium
K⁺	Ion potassium
Ca²⁺	Ion calcium
Mg²⁺	Ion magnésium
CO₃²⁻	Ion carbonate
OH⁻	Groupe hydroxyle
NH₂	Groupe amine
C-H	Liaison carbone-hydrogène
CH₂	Groupe méthylène
CH₃	Groupe méthyle
C=C	Liaison double carbone-carbone
C=O	Groupe carbonyle
C-O	Liaison carbone-oxygène
Si-O-Si	Liaison silicium-oxygène-silicium

Références bibliographiques

1. Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2017). *Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality and crop performance. Applied Soil Ecology, 119, 156–170.*
2. Agnolucci, M., et al. (2019). *Scientific Reports, 9, 13569.*
3. Akratos, C. S., & Vayenas, D. V. (2013). *Composting of agricultural wastes. Waste Management.*
4. AFNOR. (2000). *Qualité des sols – Détermination du pH (NF ISO 10390). Association Française de Normalisation.*
5. AOAC. (2019). *Official methods of analysis of AOAC International (21st ed.). AOAC International.*
6. Awasthi, M. K., Wang, Q., Ren, X., Zhao, J., Huang, H., Awasthi, S. K., & Zhang, Z. (2020). *Role of biochar in composting: A review. Bioresource Technology, 300, 122730.*
7. Awasthi, M. K., et al. (2022). *Composting and its application in bioremediation of organic contaminants. Frontiers in Microbiology, 13, 1002477.*
8. Awasthi, M. K., et al. (2024). *Recent advances in organic waste composting technologies. Bioresource Technology.*
9. Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. Bioresource Technology, 100(22), 5444–5453.*

10. Cayuela, M. L., Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Hanley, K., Enders, A., & Lehmann, J. (2013). *Biochar and denitrification in soils: When, how much and why does biochar reduce N₂O emissions?* *Scientific Reports*, 3, 1732.
11. Chen, Y. (2003). *Rapid analysis of compost maturity using spectroscopic methods.* *Chemosphere*, 50, 847–858.
12. Coates, J. (2000). *Interpretation of infrared spectra, a practical approach.* In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (pp. 10815–10837). John Wiley & Sons.
13. Demirbas, A. (2004). *Pyrolysis characteristics of biomass.* *Energy Conversion and Management*.
14. Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Moulti-Mati, F., & Michaud, P. (2013). *Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies.* *Process Biochemistry*, 48(10), 1532–1552.
15. Domeizel, M., Khalil, A., & Prudent, P. (2004). *Monitoring of compost maturity by UV–Visible spectroscopy.* *Bioresource Technology*, 94(2), 177–184.
16. Enaïme, G., Baâzaoui, N., et al. (2024). *Valorisation des sous-produits oléicoles par compostage : état actuel des connaissances.* *Environmental Technology Reviews*.
17. FAO. (2003). *Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole.* Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
18. FAO. (2024). *FAOSTAT Database – Olive Production Statistics.*

19. Finore, I., Feola, A., Russo, L., et al. (2023). *Thermophilic bacteria and their thermozymes in composting processes: A review. Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10, 7.
20. Garcia-Ibáñez, P., et al. (2006). *Chemical characterization of olive residues. Journal of Agricultural Science*.
21. Hachicha, R., et al. (2009). *Composting olive mill wastes with animal manure: Evolution of organic matter and compost quality. Bioresource Technology*, 100, 581–589.
22. Hargreaves, J. C., Adl, M. S., & Warman, P. R. (2008). *Organic amendments from waste materials and their effects on soil properties. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123, 1–14.
23. International Olive Council. (2024). *World Olive Oil Figures 2024*.
24. Ippolito, J. A., Cui, L., Kammann, C., et al. (2020). *Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics. Journal of Environmental Quality*, 49, 1452–1468.
25. Jauhiainen, J., et al. (2005). *Composition of lignocellulosic materials. Biomass and Bioenergy*.
26. Jindo, K., Suto, K., Matsumoto, K., García, C., Sonoki, T., & Sánchez-Monedero, M. A. (2012). *Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. Bioresource Technology*, 110, 396–404.
27. Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation (2nd ed.)*. Routledge.

28. López, M. J., et al. (2010). *Science of the Total Environment*.
29. Lustosa Filho, J. F., et al. (2024). *Biochar application in organic waste management and composting. Journal of Environmental Management*.
30. Makan, A., Assobhei, O., & Mountadar, M. (2014). *Initial air pressure influence on in-vessel composting for the biodegradable fraction of municipal solid waste in Morocco. Bioresource Technology*, 112, 249–257.
31. Mekki, A., Dhouib, A., & Sayadi, S. (2013). *Effects of olive mill wastewater application on soil properties and plants. Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 1025–1038.
32. Mustin, M. (1987). *Le Compost : Gestion de la matière organique. Éditions François Dubusc*.
33. Niaounakis, M., & Halvadakis, C. P. (2006). *Olive Processing Waste Management: Literature Review and Patent Survey. Elsevier*.
34. Pinho, A., et al. (2017). *Waste Management*, 61, 291–299.
35. Price, M. L., Van Scoyoc, S., & Butler, L. G. (1978). *A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(5), 1214–1218.
36. Roig, A., Cayuela, M. L., & Sánchez-Moneder

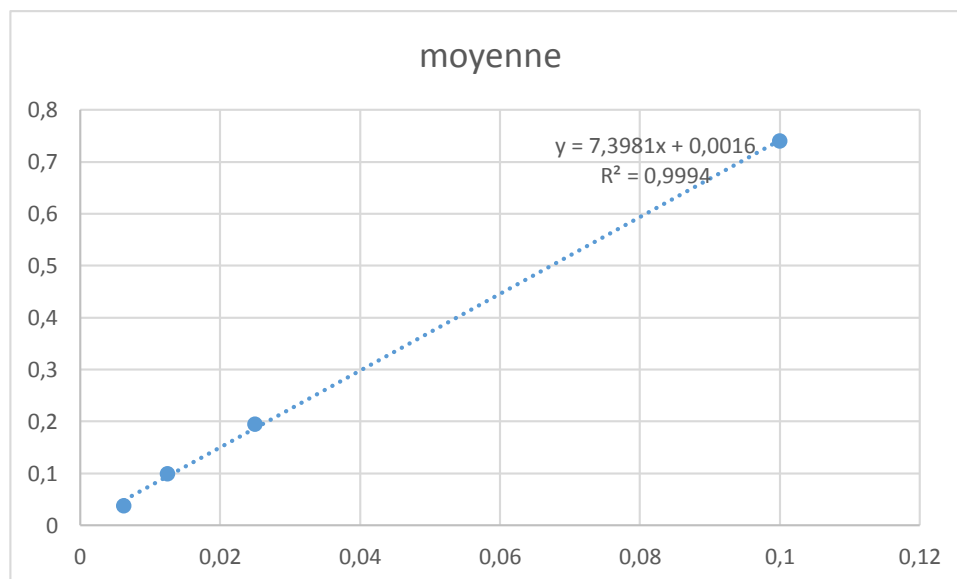
Annexes

Annexe 01 : Matériels et Réactifs utilisés

Matériels	Réactifs
Erlenmeyers	Eau distillée
Entonnoirs	Méthanol (80 %)
Verres de montre	Réactif de Folin-Ciocalteu
Balance analytique	Carbonate de sodium (Na_2CO_3)
Barreaux magnétiques	Acide gallique
Papier filtre	Vanilline
Pipettes jaugées / Micropipettes	Acide chlorhydrique (HCl)
Fioles jaugées	Nitrite de sodium (NaNO_2)
Béchers	Chlorure d'aluminium (AlCl_3)
Flacons en verre	Hydroxyde de sodium (NaOH)
Tubes à essai / Porte-tubes	Solutions tampons (pH 4,7,10)
Agitateur magnétique	
Étuve	
Broyeur électrique	
Tamis (250 μm)	
pH-mètre	
Conductimètre	
Spectrophotomètre UV-Visible	
Spectrophotomètre FTIR	
Centrifugeuse	
Récipient de compostage	
Film plastique noir	
Sacs hermétiques	
Échantillons : grignon d'olive, fumier bovin, biochar, T0, T1, T2	

Annexe 02 : Gamme d'etalonnage acide galique (01/06/2016)

[]	do1	do2	moyenne
0,1	0,8064	0,6726	0,7395
0,05	0,3427	0,5802	
0,025	0,2099	0,1793	0,1946
0,0125	0,1044	0,0926	0,0985
0,00625	0,0448	0,0297	0,03725

Annexe 03 : Gamme d'etalonnage acide galique (01/06/2016)**Annexe 04 : DOSAGE EN PHENOLS TOTAUX**

Colonne1	DO1	DO2	MOYENNE
DO E1	0,5887	0,596	0,59235
DO E2	0,0525	0,0423	0,0474
DO E3	0,0235	0,0171	0,0203

Annexe 05 : DOSAGE FLAVONOIDE

	DO1	DO2	MOYENNE
DO E1	0,599	0,6293	0,61415
DO E2	0,5762	0,5444	0,5603
DO E3	0,0274	0,0171	0,02225

Annexe 06 : DOSAGE TANINS

Colonne1	DO1	DO2	MOYENNE
DO E1	0,036	0,051	0,0435
DO E2	0,084	0,086	0,085
DO E3	0,01	0,019	0,0145

Annexe 07 : Teneurs en humidité et en matière sèche des matières premières utilisées (fumier bovin et grignon d'olive)

	l'humidité%	la matière sèche%
Le fumier bovin	7.10%	92.90%
le grignon d'olive	10.27%	89.73%

Annexe 08 : Caractérisation du pH des matières premières avant compostage

	Le fumier bovin	le grignon d'olive	<i>biochar</i>
<u>PH</u>	<u>8.01</u>	<u>6.60</u>	<u>7.60</u>

Annexe 09 : Valeurs du pH des différents composts (T0, T1 et T2) après compostage.

	T0	T1	T2
PH	6.05	7.56	7.96

Annexe 10 : Teneur en tanins des différents composts (T0, T1 et T2).

Échantillon	Teneur en tanins (mg/mL)
T0	0.0231
T1	0.0451
T2	0.0077

Annexe 11 : Teneur en flavonoïdes des différents composts (T0, T1 et T2).

Échantillon	Teneur flavonoïdes en(mg/mL)
T0	0,32593005
T1	0,2973518
T2	0,0118081

Annexe 12 : Teneur en polyphénols totaux (mg/mL) des différents composts (T0, T1 et T2).

Échantillon	Teneur en(mg/mL)
T0	0,07985158
T1	0,00619078
T2	0,00252768

Annexe 13 : Conductivité électrique d'échantillon de composts (T0, T1 et T2).

	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>
<i>CE</i>	708 mS/cm	7.48 mS/cm	3.74 mS/cm

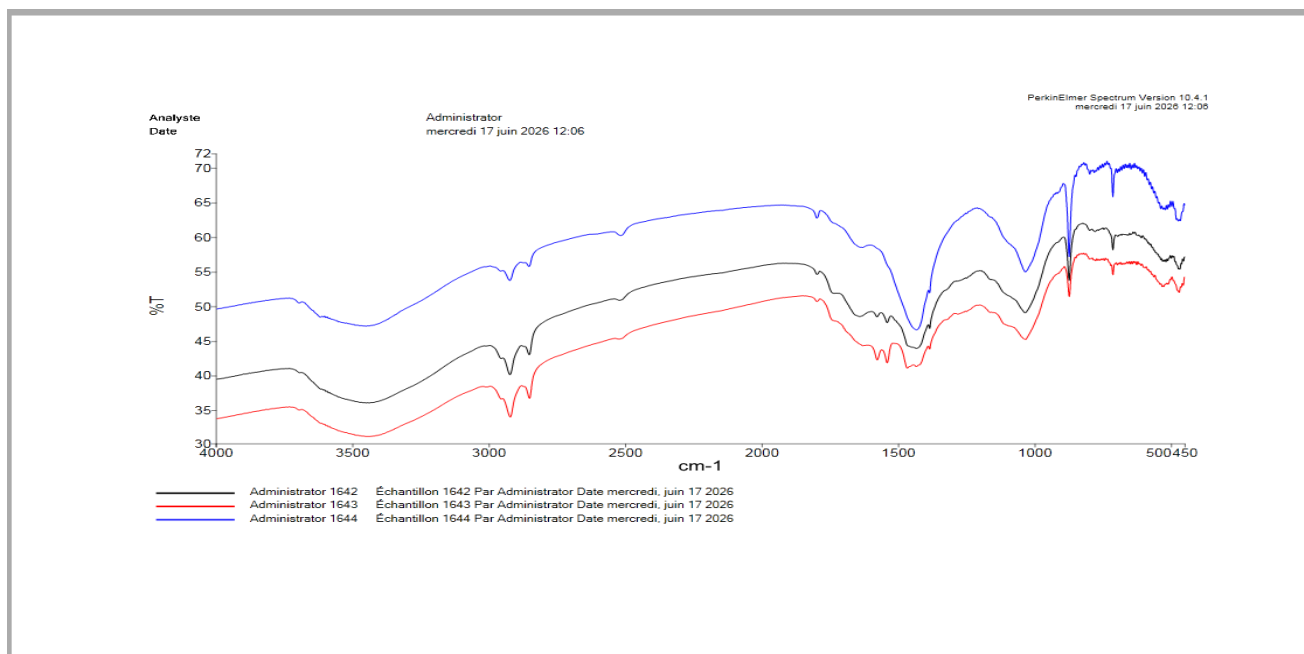
Annexe 14 : Conductivité électrique de matière premier.

	Le fumier bovin	le grignon d'olive	<i>biochar</i>
<i>CE</i>	58 mS/cm	591 mS/cm	4.39 mS/cm

Annexe 15 : Valeurs des absorbances à 465 et 650 nm et du rapport E4/E6 des différents composts (T0, T1 et T2).

	T0	T1	T3
E4=465nm	0.8588	0.7676	0.5879
E6=650nm	0.1084	0.1221	0.0750
E4/E6	7.92	6.28	7.83

Annexe 16 : Spectres infrarouges (FTIR) des échantillons de compost T0, T1 et T2.



Résumé

Cette étude a pour objectif principal d'évaluer l'évolution des caractéristiques physico-chimiques, spectroscopiques et phytochimiques d'un mélange de grignon d'olive et de fumier bovin au cours du compostage, ainsi que d'étudier l'influence de l'incorporation du biochar sur la qualité du compost obtenu.

Le compostage constitue une solution durable de valorisation des déchets organiques agricoles. Il permet de transformer des résidus tels que le grignon d'olive et le fumier bovin en un amendement organique stable, contribuant ainsi à la réduction de la pollution et à l'amélioration de la fertilité des sols.

Dans cette étude, les matières premières ont été caractérisées par la détermination de l'humidité, de la matière sèche et du pH. Les composts obtenus ont ensuite été évalués à travers la mesure du pH, l'analyse par spectroscopie UV-Visible (rapport E4/E6), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), ainsi que le dosage des polyphénols totaux, des flavonoïdes et des tanins, afin de suivre les transformations de la matière organique et d'apprécier le degré de maturité du compost.

Les résultats obtenus mettent en évidence une évolution des propriétés physico-chimiques et une diminution des composés phénoliques, traduisant une amélioration de la qualité du compost. Les analyses spectroscopiques confirment également les transformations de la matière organique au cours du compostage, soulignant l'intérêt de cette technique pour la valorisation du grignon d'olive.

Abstract

This study aimed to evaluate the evolution of the physicochemical, spectroscopic, and phytochemical characteristics of a mixture of olive pomace and cattle manure during the composting process, as well as to investigate the effect of biochar addition on the quality of the resulting compost.

Composting is considered a sustainable approach for the valorization of agricultural organic wastes. It enables the transformation of residues such as olive pomace and cattle manure into a stable organic amendment, thereby reducing environmental pollution and improving soil fertility.

In this study, the raw materials were characterized by determining moisture content, dry matter, and pH. The obtained composts were then evaluated through pH measurement, UV-Visible spectroscopy using the E4/E6 ratio, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, and the determination of total polyphenols, flavonoids, and tannins. These analyses were carried out to monitor the transformation of organic matter and to assess the maturity of the compost.

The results revealed progressive changes in the physicochemical properties of the compost, accompanied by a decrease in phenolic compounds, indicating an improvement in compost quality and maturity. Spectroscopic analyses also confirmed structural modifications of organic matter throughout the composting process. Overall, the findings demonstrate the effectiveness of composting in the valorization of olive pomace and show that the addition of biochar contributed to improving certain properties of the final compost.

المخلص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تطور الخصائص الفيزيائية والكيميائية والطيفية والكيميائية النباتية لخليط من قفل الزيتون وروث الأبقار أثناء عملية التسميد العضوي، بالإضافة إلى دراسة تأثير إضافة الفحم الحيوي في تحسين جودة السماد العضوي الناتج. يمثل التسميد العضوي إحدى الطرق المستدامة لتنظيم المخلفات العضوية الزراعية، حيث يتيح تحويل بقايا مثل قفل الزيتون وروث الأبقار إلى سماد عضوي مستقر، مما يساهم في الحد من التلوث البيئي وتحسين خصوبة التربة. في هذه الدراسة، تم توصيف المواد الأولية من خلال تحديد نسبة الرطوبة، ونسبة المادة الجافة، ودرجة الحموضة (pH). كما تم تقييم السماد العضوي الناتج بإجراء مجموعة من التحاليل شملت قياس درجة الحموضة، والتحليل الطيفي بالأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Visible) من خلال نسبة (E4/E6)، والتحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء باستخدام تحويل فورييه (FTIR)، بالإضافة إلى تقدير محتوى البوليفينولات الكلية والفلافونويدات والتانينات، وذلك بهدف متابعة التحولات التي تطرأ على المادة العضوية وتقييم درجة نضج السماد.

أظهرت النتائج حدوث تطور في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسماد العضوي، مصحوباً بانخفاض في محتوى المركبات الفينولية، مما يدل على تحسين جودة السماد وارتفاع درجة نضجه. كما أكدت التحاليل الطيفية حدوث تغيرات في بنية المادة العضوية خلال عملية التسميد، وهو ما يبرز أهمية هذه التقنية في تقييم قفل الزيتون وتحويله إلى سماد عضوي ذي جودة جيدة، مع الإشارة إلى أن إضافة الفحم الحيوي ساهمت في تحسين بعض خصائص السماد الناتج.