

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Blida 1
Faculté de Technologie



Département de Génie des Procédés

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master en Génie des procédés

Spécialité : Génie de l'Environnement

Elaboré par :

Mlle DIALLO Aissata

Intitulé

**Contribution à l'étude comparative de
l'efficacité d'un compost et d'un
vermicompost**

Encadré par :

Mr AOUABED Ali

Encadreur

Mme BELMESKINE Hayet

Co-encadreur

Année Universitaire

2021/2022

Remerciements

Au terme de ce projet, je remercie ALLAH (swt) qui m'a donné la santé, la force, le courage et la patience de tenir tout au long de ce parcours, et de m'avoir permis de voir ce jour.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de mon encadreur Monsieur AOUABED envers qui j'exprime toute ma reconnaissance pour avoir mis à ma disposition tout le matériel nécessaire pour la réussite de ce projet, merci également pour son soutien, sa générosité et sa disponibilité tout au long de ce projet ainsi qu'à sa tendre épouse.

J'exprime mes vifs remerciements à Madame BELMESKINE pour son encadrement et la patience dont elle a fait preuve. Merci de m'avoir soutenu et aidé à la réalisation de ce projet.

Un grand merci à Monsieur Omar dont j'ai bénéficié de son aide et dont j'ai eu le privilège de profiter de ses vastes connaissances ainsi que de ses conseils.

J'exprime également mes vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce travail

Merci à mes professeurs du département de Génie des procédés ainsi qu'à mes promotionnaires

Mention spéciale à Mme Souad pour son aide et son assistance

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet



Dédicaces

Je brûle un encens de gratitude et de reconnaissance :

A mon père, mon mentor, mon guide, celui qui s'est toujours battu pour que je puisse réaliser mes rêves, qui m'a toujours soutenu et encouragé et qui a toujours été ma source de motivation.

A ma maman, ma force, mon pilier, celle qui m'a tant dorloté, soutenu et m'a appris à me relever après chaque coup dur. Chers papa et maman, rien ne peut égaler tout cet amour et ce sacrifice dont vous avez fait preuve afin que j'en arrive là, cette réussite c'est aussi la vôtre, puisse ce modeste présent être l'un des meilleurs que je puisse vous offrir.

A la mémoire de ma chère grand-mère qui tenait tant à voir ce jour, sache que je l'ai fait et j'espère que tu es fière de moi de là où tu es

A mes frères et sœurs Elhadj, Ibrahim, Moustapha, Souleymane, Elhadj M et Fatoumata ainsi qu'à mes belles sœurs qui ont cru en moi et m'ont toujours soutenu

A Koutim et à Touré pour leur soutien et encouragement

A mes sœurs de cœur Khady, Mamou, Sadio

A mes bonnes petites ainsi qu'à toute la communauté malienne de Blida



ملخص

تعتمد هذه الدراسة على طريقتين لمعالجة الجزء القابل للتخمير من النفايات التسميد والسماذ الدودي ، وكلاهما اقتصادي وفعال. تم إجراء خمس تجارب على السماذ العضوي وتجريتان على السماذ الدودي على نفايات السوق المكونة من الفاكهة والخضروات وثفل الزيتون والنفايات الخضراء والنفايات البنية وروث الخيول. استغرقت العمليتان 35 و 27 يومًا على التوالي تم خلالها مراقبة المعايير التالية: الأس الهيدروجيني درجة الحرارة الرطوبة المادة العضوية و الكربون العضوي الكلي في نهاية العملية ، حصلنا على درجة حموضة تتراوح من 7.17 إلى 9.28 للسماذ العضوي ومن 7.02 إلى 7.48 للسماذ الدودي سجلت أربعة من الركائز معدل المادة العضوية مرتفع بسبب الوقت المحدود على عكس السماذ الدودي. تم الحصول على أفضل نتيجة باستخدام الكومة المكونة من ثفل الزيتون والمخلفات الخضراء وروث الخيول. من جهة أخرى السماذ الدودي أيضًا أعطى نتائج جيدة.

الكلمات الرئيسية: نفايات السوق ، نفايات خضراء ، نفايات بنية ، ثفل الزيتون ، روث الخيول ، سماذ ، سماذ دودي

Résumé

La présente étude est basée sur deux méthodes de traitement de la partie fermentescible des déchets (le compostage et le vermicompostage), ils sont à la fois économiques et efficaces.

Cinq essais de composts et deux essais vermicomposts ont été réalisés avec des déchets de marché composés de fruits et légumes, de grignon d'olive, de déchets verts, de déchets bruns et de bouse de cheval. Les deux processus ont duré respectivement 35 et 27 jours au cours desquels les paramètres suivants : ont été suivi le pH, la température, l'humidité, la MO et le COT.

A la fin du processus, nous avons obtenu un pH variant de 7,17 à 9,28 pour les composts et de 7,02 à 7,48 pour les vermicomposts ; quatre des tas enregistrent un taux de MO élevé dû au temps limité contrairement aux vermicomposts.

Le meilleur résultat a été obtenu avec le tas C5 composé de grignon d'olive, de déchets verts et de bouse de cheval. Par ailleurs, les vermicomposts ont également conduit à de bons résultats.

Mots clés : Déchets de marchés, déchets verts, déchets bruns, grignon d'olive, bouse de cheval, compostage et vermicompostage

Summary

This study is based on two methods of treatment of the fermentable part of the waste (composting and vermicomposting), they are both economical and effective. Five compost trials and two vermicompost trials were carried out with market waste made up of fruit and vegetables, olive pomace, green waste, brown waste and horse dung. The two processes lasted 35 and 27 days respectively during which the following parameters were monitored: pH, temperature, humidity, MO and TOC. At the end of the process, we obtained a pH varying from

7.17 to 9.28 for the composts and from 7.02 to 7.48 for the vermicomposts; four of the piles recorded a high MO rate due to the limited time unlike the vermicomposts. The best result was obtained with pile C5 composed of olive pomace, green waste and horse dung. Vermicomposts have also led to good results.

Keywords: Market waste, green waste, brown waste, olive pomace, horse dung, composting and vermicomposting

Table des matières

Introduction	2
Chapitre I Généralité sur le compostage et le vermicompostage	
I.1 Introduction	5
I.2 Notion de déchet	5
I.2.1 Définition	5
I.2.2 Les types de traitements de déchets	5
I.3 Généralité sur le compostage	6
I.3.1 Définition	6
I.3.2 Les types de compostage	7
I.3.3 La bioconversion de la matière organique	8
I.3.4 Microorganismes	9
I.3.5 Les paramètres influant sur le compostage	9
I.4 Vermicompostage	15
I.4.1 Définition	15
I.4.2 Les déchets lombricompostables	15
I.4.3 Les vers de terre	16
I.4.4 Le processus de vermicompostage	17
I.4.5 Systèmes de lombricompostage	17
I.4.6 Paramètres influençant sur le lombricompostage	20
I.4.7 Qualité du vermicompost	22
I.4.8 Stabilité et maturité du lombricompost	23
Chapitre II Les déchets compostables et quelques études de cas	
II.1 Les types de déchets compostables	25
II.2 Choix et disponibilité des déchets compostés	25
II.2.1 Choix des substrats compostés	25
II.2.2 Disponibilité des matières organiques en Algérie	26

II.3	Avantages du compost	28
II.4	Etudes de cas	29
Chapitre III Matériels et Méthodes		
III.1	Introduction	37
III.2	Site expérimental	37
III.3	Compostage	38
III.3.1	Matériels	38
III.3.2	Méthodologie	39
III.3.3	Paramètres de suivi	42
III.3.4	Température	42
III.3.5	Humidité	43
III.3.6	pH	43
III.3.7	MO	44
III.4	Vermicompostage	44
III.4.1	Matériels	44
III.4.2	Méthodologie	45
III.4.3	Paramètres de suivi	48
Chapitre IV Résultats et discussions		
IV.1	Compostage	52
IV.1.1	Aspect physique des composts obtenus	52
IV.1.2	Variation du poids au cours du compostage	54
IV.1.3	Evolution des paramètres physico-chimiques	54
IV.2	Vermicompostage	59
IV.2.1	Aspect physique	59
IV.2.2	Evolution des paramètres	61
IV.2.3	Comparaison entre le compostage et le vermicompostage	62
Conclusion		65

Référence bibliographique.....67

Liste des figures

Figure I-1: Schéma simplifié du processus de compostage (Aboulam, 2005)	7
Figure I-2: Courbe de l'évolution de la température en fonction des différentes phases au cours du compostage	9
Figure I-3: Evolution de la température et du ph au cours du processus de compostage (Mustin, 1987)	10
Figure I-4: Les types de vers de terre (wikimemoires.net)	17
Figure I-5 : Lombricompostage en andain (www.auxine-shop.fr)	18
Figure I-6: Lombricomposteur en bac (www.pdfprof.com).....	19
Figure I-7: Lombricomposteur en lit.....	20
Figure I-8: Domaine de température du vers de terre (Munroe, 2004)	21
Figure III-1: Localisation de l'université de Blida 1	37
Figure III-2: Déchets de marché + déchet brun	38
Figure III-3: Grignon d'olive + bouse de cheval + déchets verts	38
Figure III-4 : Compost C1	40
Figure III-5: Compost C2	40
Figure III-6: Compost C3	41
Figure III-7: Compost C4	41
Figure III-8: compost C5	42
Figure III-9: Test de poignée	43
Figure III-10: Balance	45
Figure III-11: Cristalliseur + vers de terre	45
Figure III-12: Bacs superposés.....	45
Figure III-13 : Balance de laboratoire.....	45
Figure III-14: Vermicomposteur	46
Figure III-15: Vers de terre	47
Figure III-16: Mesure de la température	48
Figure III-17: Test de poignée	48
Figure IV-1: Compost C1 + refus	52
Figure IV-2 : Compost C2 + refus	52
Figure IV-3: Compost C3 + refus	53

Figure IV-4: Compost C4 + refus	53
Figure IV-5: Compost C5 + refus	54
Figure IV-6: Evolution de la température au cours de compostage.....	55
Figure IV-7: Evolution de la température au cours du compostage	56
Figure IV-8: Evolution du pH du compostage.....	57
Figure IV-9: Evolution du %H du compostage.....	57
Figure IV-10: Evolution de la MO au cours du compostage.....	58
Figure IV-11: Evolution de la MO au cours du compostage.....	59
Figure IV-12: Vermicompost V1	60
Figure IV-13: Vermicompost V2	60
Figure IV-14: Evolution de température dans les vermicomposteurs	61

Liste des tableaux

Tableau I-1: Rapport C/N de quelques matières organiques compostables (Aboulam,2005)	12
Tableau I-2: Teneurs en métaux lourds des composts selon la norme AFNOR et la norme d'ONTARIO	14
Tableau I-3 : Déchets de cuisine à mettre dans le lombricomposteur (Amorce, 2018 dans wikimemoires.net)	15
Tableau II-1: Classification des déchets compostables (Mustin 1987)	25
Tableau II-2: Composition de la boue brute et de la boue compostée (Tabou(e) story, 2001 cités par Arab et al, 2017)	26
Tableau II-3: Valeur agronomique du grignon (en kg / tonne de produit brut)	27
Tableau II-4: Caractéristiques des différents types de fumiers (CRAAQ, 2003 et 2007, MAPAQ, 1997 cités par Weill et al, 2009)	28
Tableau II-5 : Taux d'indices de germination (/MS) Beni Mered	32
Tableau II-6 : Taux de germination (% G/MS) Beni Mered	32
Tableau III-1: Quantité de matières entrants dans la fabrication des différents composts	39
Tableau IV-1: Variation du poids des composts	54
Tableau IV-2: Évolution du pH du compost 5.....	56
Tableau IV-3: Variation du pH dans les vermicomposteurs.....	61
Tableau IV-4: Humidité des vermicomposts	62
Tableau IV-5: Matière organique des vermicomposts murs.....	62
Tableau IV-6: Caractéristiques physico-chimiques des composts et des vermicomposts (murs) 63	

Liste des abreviations

C/N : rapport teneur en Carbone sur teneur en Azote.

DMA : Déchets ménagers et assimilés.

M.B : matière brute.

M.O : Matière Organique.

MS : Matière sèche.

DV : déchets verts

DM : déchets de marché

DB : déchets bruns

COT : carbone organique total

H : humidité

Introduction générale

L'environnement est le cadre de vie, il influence le bien-être des populations ; Il est donc indispensable de s'en soucier afin de trouver des solutions durables qui contribueront à léguer aux prochaines générations un environnement propre et sain. La valorisation agronomique de la part organique des déchets aide à l'amélioration de la propreté urbaine tout en apportant une plus-value économique à la mise en place des conditions du développement durable.

En Algérie, la constitution nationale 2015, à travers les articles 66 et 68, exprime clairement l'importance de la protection de la santé publique et le droit à un environnement sain, d'où la volonté politique à promouvoir une gestion saine et intégrée des déchets. Pour ce faire, le pays a réalisé au cours des deux dernières décennies, des efforts considérables tant dans la prise en charge des DMA que pour les Déchets Spéciaux et Spéciaux Dangereux (ME, 2020). A l'instar des méthodes de gestion en Algérie à savoir l'enfouissement, l'incinération (DASRI), la valorisation quant à elle est récente.

Selon **Beldi (2018)**, l'agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (**ADEME**) définit la valorisation comme "le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir de déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie". Chaque procédé de valorisation permet de réaliser des économies de matières premières et contribue de façon directe au respect et à la sauvegarde de l'environnement. Le concept de valorisation des déchets est né de l'idée que l'entreprise doit considérer ses déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser ! En effet beaucoup de matériaux sont réutilisables dans diverses applications après leur fin de vie attribuée.

L'une des méthodes de valorisation des déchets est le compostage. Le compostage consiste à utiliser des biodéchets (fraction fermentescible des déchets) afin de produire un produit bénéfique pour le sol. C'est une solution durable car elle permet de passer de l'économie linéaire à l'économie circulaire. Ces déchets sont une source de richesse à valoriser car comme on le dit si bien : << un déchet est un déchet pour celui qui le jette mais l'est bien plus pour celui qui le récupère >>.

C'est dans cette optique que s'inscrit ce présent travail basé sur le compostage et le vermicompostage de plusieurs types de déchets. L'objectif principal de cette étude est de déterminer lequel des deux permet de garantir une meilleure efficacité.

Ce document est subdivisé en deux parties :

- ❖ Une partie bibliographique, s'appuyant sur deux (2) principaux chapitres qui sont :
 - Généralité sur le compostage et le vermicompostage ;
 - Les déchets compostables et quelques études de cas
- ❖ Une partie expérimentale, qui regroupe deux (2) chapitres qui sont :
 - Matériels et Méthodologies ;
 - Résultats et discussion ;
 - Et une conclusion générale

Partie
bibliographique

Chapitre I

*Généralité sur le compostage et le
vermicompostage*

<<Dans un environnement qui change, il n'y a pas plus grand risque que de rester immobile>>

Jacques Chirac

I.1 Introduction

L'accroissement de la quantité de déchet généré par l'homme a un impact négatif sur l'environnement. Une des causes principales de la pollution est la mise en décharge des déchets, qui produit des gaz à effet de serre entraînant la pollution de l'air. Peu à peu, on se redirige vers des solutions plus durables et plus respectueuses de l'environnement. Ce chapitre est basé sur deux méthodes de valorisation des biodéchets qui sont le compostage et le vermicompostage.

I.2 Notion de déchet

I.2.1 Définition

Un déchet peut être défini comme étant un produit ou un résidu issu des activités humaines (domestique, agricole ou industrielle) pouvant être réutilisé ou transformé afin d'obtenir un autre sous-produit. En outre, un déchet est un déchet pour celui qui s'en débarrasse, mais n'en est plus un pour celui qui lui trouve une utilité.

Au sens de la loi algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001 (**Article 3**), on entend par déchet : « Tout résidu issu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur projette de se débarrasser, ou dont il a l'obligation de se débarrasser ou de l'éliminer ».

I.2.2 Les types de traitements de déchets

Les déchets au sens de la réglementation algérienne comprennent trois grandes catégories : les déchets ménagers et assimilés, les déchets spéciaux (industriels, agricoles, soins, services...) et les déchets inertes. La définition des différents types des déchets et des modes de traitement pouvant varier d'un pays à l'autre (**Brahim, 2013**).

Le type de traitement que subit un déchet dépend de sa nature (composition).

Il existe plusieurs types de traitements des déchets en Algérie :

- ✓ Immersion des déchets : tout rejet de déchets dans le milieu aquatique.
- ✓ Enfouissement des déchets : tout stockage des déchets en sous-sol.
- ✓ L'incinération : est un processus d'oxydation de la partie combustible du déchet dans une unité adaptée aux caractéristiques variables des déchets.

- ✓ Valorisation des déchets : est la réutilisation, le recyclage ou le compostage des déchets

I.3 Généralité sur le compostage

I.3.1 Définition

Bien qu'il existe de multiples définitions scientifiques du compostage, nous pouvons en citer entre-autre :

L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) définit le compostage comme « un processus naturel de dégradation ou de décomposition des matières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et déchets industriels appropriés, par les microorganismes dans des conditions bien définies. Une fois le processus de compostage terminé le compost, source importante de matière organique (MO), peut être appliqué aux sols. La MO du sol joue un rôle important dans la durabilité de la fertilité, et donc pour une production agricole durable » (FAO, 2005).

Selon FRANCOU (2003), le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost. Le processus de compostage est similaire à celui de l'humification naturelle des résidus organiques en substances humiques dans les sols.

En somme, le compostage est la décomposition naturelle des déchets provenant de la cuisine, des espaces verts ou encore des déchets issus de l'élevage afin de produire un riche terreau. C'est tout un processus biologique dans lequel interviennent des microorganismes afin de décomposer la matière organique en un produit riche en matières nutritives.

Ce produit stabilisé et hygiénique est appelé : Compost, et constitue un engrais naturel idéal pour les espaces verts, utilisable en agriculture et en horticulture pour l'amendement des sols en éléments nutritifs. L'apport de compost est un moyen simple et naturel d'enrichir la terre en humus, qui est la base de la fertilité et de la conservation des sols, Et assure ainsi une meilleure aération et rétention en eau (Huber, 2001 cité par Bensaid, 2020).

Peigne et al. (2001) précisent qu'il est difficile de donner une définition précise et rapide du compost car selon le cas, les objectifs et les caractéristiques qui lui sont attribués varient. On peut toutefois retenir que le compost est un produit de stabilisation et de traitement aérobie des

déchets organiques putrescibles. Le compostage concerne tous les déchets organiques mais surtout les déchets solides et semi - solides. C'est un processus de transformation de matière organique fraîche en une substance organique humifiée, plus stable, appelée « compost ».

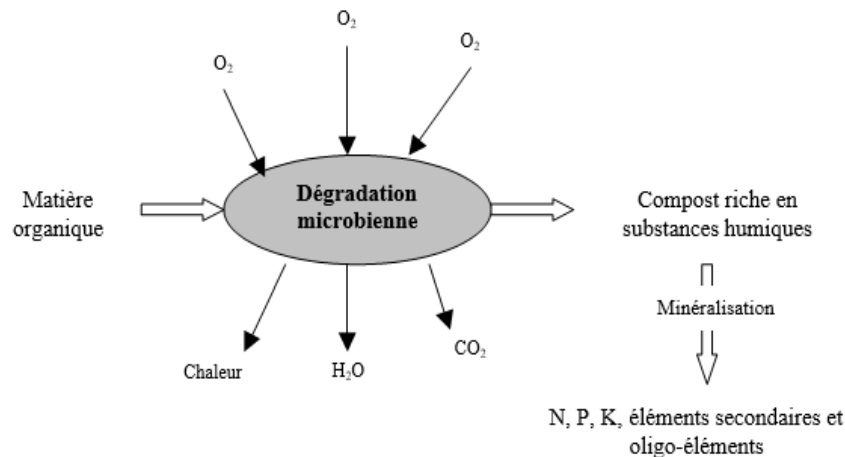


Figure I-1: Schéma simplifié du processus de compostage (Aboulam, 2005)

I.3.2 Les types de compostage

Il existe deux types de compostage : le compostage en aérobie et le compostage en anaérobie.

I.3.2.1 Compostage en aérobie

Un milieu aérobie se caractérise par la présence d'air. Dans un tel milieu, la présence des organismes vivants responsables de la décomposition (principalement les bactéries) est favorisée.

Au cours de ce processus, les micro-organismes aérobies décomposent la matière organique et produisent du gaz carbonique (CO_2), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et de l'humus, qui est le produit organique final relativement stable (FAO,2005).

I.3.2.2 Compostage en anaérobie

Le compostage en anaérobie, par opposition au compostage en aérobie, est la décomposition de la matière organique dans un milieu anaérobie (où il y a absence d'air) favorisant d'autres organismes qui nuisent à la décomposition et qui sont susceptibles de générer des problèmes d'odeur et une dégradation lente.

Dans ce processus, les microorganismes anaérobies dominant et élaborent des composés intermédiaires comme du méthane, des acides organiques, du sulfure d'hydrogène et d'autres substances.

I.3.3 La bioconversion de la matière organique

La bioconversion de la matière organique tout au long du processus de compostage se déroule suivant quatre phases : phase mésophile, phase thermophile, phase de refroidissement et la phase de maturation.

- **Phase mésophile** : C'est la phase initiale du compostage. Les premiers jours sont caractérisés par la présence de matières organiques facilement biodégradables (les sucres, les glucides, les lipides) entraînant une forte activité microbienne générant une rapide montée en température à l'intérieur du compost (**Bicana, 2017**).
- **Phase thermophile** : Dans cette phase, les températures sont suffisamment élevées pour tuer les agents pathogènes et les graines de mauvaises herbes et pour décomposer les composés phytotoxiques (organiques composés toxiques pour les plantes). Pendant cette phase, l'oxygène doit être reconstitué par voie passive ou aération forcée ou retournement du tas de compost. La température monte de 50 à 70°C, seules les bactéries peuvent survivre à ces températures. La grande partie de la matière organique est perdue sous forme de CO₂ et H₂O (**Toundou, 2016**).
- **Phase de refroidissement** : Elle est caractérisée par une diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoquant un ralentissement de l'activité microbienne. Ceci favorise une décroissance de la température : c'est le refroidissement qui marque le début de la phase de maturation (**Toundou, 2016**).
- **Phase de maturation** : Cette phase est plus lente et correspond à la conversion du carbone en dioxyde de carbone et en humus et l'azote en nitrates par les microorganismes (**Cefrepade, 2012**). Elle démarre par un refroidissement c'est-à-dire un retour à la température ambiante en dessous de 30 °C. L'activité des microorganismes est complétée par celle de la macro faune notamment les vers de compost, les acariens, les collemboles, les cloportes, les coléoptères, les mille-pattes, etc... (**Debril, 2005**). Par ailleurs, les bactéries laissent majoritairement place aux champignons, qui stabilisent les matières organiques sous formes de composés humiques (**ADEME, 2015**).

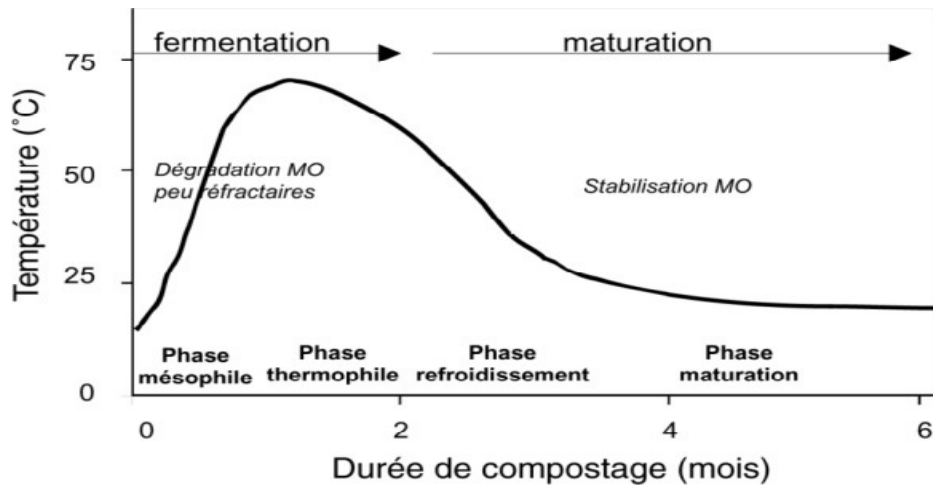


Figure I-2: Courbe de l'évolution de la température en fonction des différentes phases au cours du compostage

I.3.4 Microorganismes

Les microorganismes sont des organismes les plus actifs qui interviennent dans le processus de décomposition de la matière organique. Ils sont très petit et invisibles à l'œil mais jouent un rôle très important tout au long du processus. Ce sont : les bactéries, les champignons et les actinomycètes.

Les bactéries sont les premières arrivées dans le tas de compost et font le plus gros du travail (ADEME, 1993). Elles sont très abondantes dans la matière organique en décomposition. D'ailleurs, selon (Mustin, 1987), les bactéries seraient responsables de 80 à 90 % de l'activité microbienne lors du compostage actif. Pas étonnant puisque les bactéries ont absolument besoin d'azote et de carbone qu'elles trouvent abondamment dans la matière organique. De plus, les bactéries ont des goûts très diversifiés, ce qui leur permet d'envahir, de manger et de digérer des matières organiques d'origines diverses en des formes assimilables par d'autres organismes, et ce, à différents stades du processus de compostage.

Les champignons et les moisissures supportent mal les hautes températures et une teneur élevée en eau. Ils sont essentiellement actifs pendant la phase de maturation et sont responsables de la dégradation des polymères complexes, quant aux actinomycètes, ils apparaissent essentiellement lors de la phase thermophile et celle de maturation (Aloueimine, 2006).

I.3.5 Les paramètres influant sur le compostage

I.3.5.1 Paramètres physico-chimiques

- **Température**

La température un paramètre très important et son suivit tout au long du processus permet de déterminer l'évolution et l'activité microbienne.

Le processus de compostage met en œuvre deux gammes de température : mésophile et thermophile. Alors que la température idéale pour la phase initiale de compostage est de 20 à 45°C, par la suite, les organismes thermophiles ayant pris le contrôle des étapes ultérieures, une température située entre 50 et 70°C est idéale. Les températures élevées caractérisent les processus de compostage aérobie et sont les indicateurs d'une activité microbienne importante. Les pathogènes sont en général détruits à 55°C et plus, alors que le point critique d'élimination des graines d'adventices est de 62°C. Le retournement et l'aération peuvent être utilisés pour réguler la température (FAO, 2005).

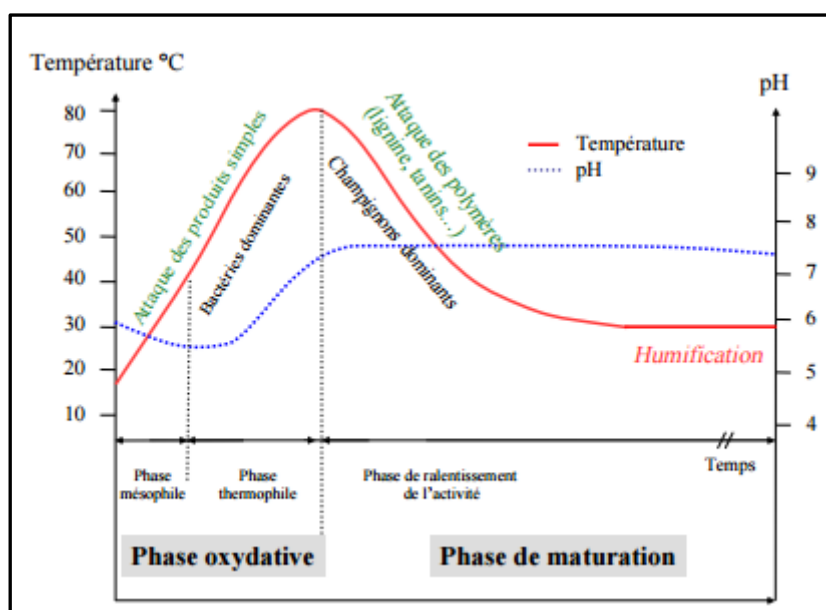


Figure I-3: Evolution de la température et du pH au cours du processus de compostage (Mustin, 1987)

- **Humidité**

Il est indispensable d'avoir une bonne humidité pour s'assurer du bon déroulement du processus de compostage car il y va de la survie des organismes qui interviennent dans la dégradation de la matière organique.

La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20% au contraire, si elle dépasse 70% ; l'eau commence à remplir les espaces lacunaires des

déchets et empêche les échanges d'O₂ provoquant des conditions favorables à l'anaérobiose (**Ramdani, 2015**).

L'humidité est un facteur important pour l'activité microbienne. L'eau sert à dissoudre les nutriments utilisés par les micro-organismes, à diffuser les enzymes digestifs sécrétés par ces derniers vers les molécules organiques et crée un environnement adéquat à l'accroissement de la population. Comme tous les autres paramètres, l'humidité doit être optimisée. Un excès d'eau chasse l'air de l'espace lacunaire du tas et limite sa diffusion entre les fragments ce qui déclenche des conditions d'anaérobiose. De plus, une humidité faible provoque un dessèchement du tas et ralentit de manière significative l'activité microbienne (**Aboulam, 2005**).

La teneur en eau optimale est voisine de 50 %. Un excès d'humidité peut conduire à une élimination trop rapide de l'oxygène donc à l'anaérobiose, de plus une teneur en eau élevée favorise les pertes en calories du système, ce qui peut perturber les évolutions thermiques. Par contre si le tas de compost est trop sec, il se décomposera très lentement. Il est donc nécessaire d'ajouter un peu d'eau au compost pour aider à accélérer le processus pendant les périodes de sécheresse (**Misseraoui et al., 2020**).

- **pH**

Le pH est un autre paramètre essentiel qui doit être contrôlé pendant le processus de compostage.

L'acidité ou l'alcalinité des matières organiques, mesuré par la valeur du pH, affecte la croissance des micro-organismes. Les décomposeurs bactériens préfèrent un pH plage de 6,0 à 7,5 tandis que les décomposeurs fongiques préfèrent le pH gamme 5.5-8.0. Si le pH du compost dépasse 7,5, des gaz les pertes d'ammoniac sont plus susceptibles de se produire (**Cooperband, 2002**).

- **Rapport C/N**

Les bactéries utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. Le compostage étant un processus de décomposition de la MO, cela conduit à une consommation de carbone et d'azote entraînant une diminution du rapport C/N.

Les micro-organismes ont besoin de C, N mais également de phosphore (P) et potassium (K) comme éléments nutritifs principaux. Le rapport C/N est un facteur particulièrement important. Le rapport optimal C/N se situe entre 25 et 30 bien que des rapports situés

entre 20 et 40 soient aussi acceptables. Quand le C/N est supérieur à 40, la croissance des micro-organismes est limitée, et implique une durée de compostage plus longue. Un rapport C/N inférieur à 20 entraîne une sous-utilisation de l'azote et le surplus d'azote pourra alors être perdu dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac ou d'oxyde nitreux, et l'odeur pourra devenir un problème. Le rapport final C/N devrait se situer entre 10/1 et 15/1 (FAO, 2005).

Tableau I-1 : Rapport C/N de quelques matières organiques compostables (Aboulam,2005)

Matières	C/N
Ordures ménagères brutes	15 à 25
Boues activées	6
Gazon	10 à 20
Feuilles mortes	20 à 50
Fanes de pomme de terre	26
Sciures de bois	150 à 511
Algues marines	17
Papiers-cartons	120 à 170
Déchets de légumes	11 à 12
Tailles d'arbustes	50 à 100
Paille des céréales	90 à 120

- **Apport en oxygène**

Les microorganismes utilisent l'oxygène comme accepteur final d'électron lors de la respiration aérobie et l'oxydation des substances organiques ce qui le rend indispensable au bon déroulement du processus afin d'assurer les conditions aérobies nécessaires à la décomposition rapide et inodore.

Les besoins en oxygène évoluent au cours du temps. Ils sont maximums au démarrage. La disparition progressive de la matière organique fermentescible provoque une diminution proportionnelle des besoins en oxygène (Mustin, 1987).

Une bonne ventilation est atteinte en tournant le tas de compost et faire en sorte qu'il soit classé dans la prochaine pile et peut prendre de trois à quatre fois plus longtemps pour créer l'humus bénéfique (Bouhadiba, 2014).

- **Matière organique**

La minéralisation importante de la matière organique entraîne une diminution des teneurs en matières organiques au cours du compostage. Les composts se caractérisent donc par des teneurs en matière organique inférieures à celles des déchets bruts. La diminution relative de matière organique (rapport entre la masse de matière organique perdue et la masse de matière organique initiale) est très variable et dépend des conditions de compostage et de sa durée. Ces pertes peuvent atteindre 20 à 60% de la matière organique initiale (**Iannotti et al., 1994 ; Canet & Pomares, 1995 ; Atkinson et al., 1996 cités par Francou, 2003**)

- **Carbone organique**

Le carbone organique est l'un des principaux constituants des déchets organiques compostés. Le carbone total est composé du carbone organique total (COT) et du carbone minéral sous forme de carbonates et bicarbonates. Le COT représente généralement plus de 90% du carbone total des composts (**Navarro et al., 1993 cités par Francou, 2003**).

La teneur en COT diminue au cours du compostage. La principale raison de cette diminution est l'utilisation par les micro-organismes du milieu des substances organiques indispensables à leur métabolisme, conduisant à la minéralisation en dioxyde de carbone (CO₂). La présence possible de sites anaérobies dans la matrice peut entraîner des émissions de méthane (CH₄) liées à des métabolismes de type fermentaire (**He et al., 2000**).

I.3.5.2 Paramètres de qualités du compost

Le compost est essentiellement utilisé comme amendement organique pour améliorer la qualité des sols et les rendements de production des cultures. Il doit correspondre à des standards de qualité répondant eux-mêmes aux exigences des consommateurs et du marché.

- **Les éléments traces métalliques ETM**

L'accumulation de grandes teneurs en éléments traces métalliques dans les sols présente un risque de pollution à long terme. S'il n'y a pas de tri des déchets à la source, les composts produits de ces déchets peuvent contenir des teneurs importantes en ETM. La teneur des ETM dans les composts est un critère de qualité si cette dernière ne dépasse pas les normes préconisées. Certains éléments traces sont indispensables aux processus biologiques donc, à la production agricole végétale et animale : ce sont les oligoéléments (Zn, Cu, Cr, Mo, B). D'autres éléments (Cd, Pb, Ni, Hg, Sn) ne jouent aucun rôle utile. Mais, ils sont tous potentiellement polluants. Cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (sols, air, eau, sédiments) mais surtout, de leur forme chimique. Les métaux des apports anthropiques sont sous des formes assez réactives (par exemple liées aux matières organiques) et entraînent éventuellement des dangers (**Bicana, 2017**).

Une analyse du compost est exigée pour chacun des paramètres indiqués dans le tableau ci-dessous. Le compost est ensuite classé en fonction des concentrations maximales, en poids sec, qui y sont indiquées pour chacun des métaux (**ONTORIO, 2012**) :

- Le compost de catégorie AA ne saurait renfermer une concentration de métaux réglementés supérieure aux limites indiquées à la colonne 2 du tableau ;
- Le compost de catégorie A ne saurait renfermer une concentration de métaux réglementés supérieure aux limites indiquées à la colonne 3 du tableau ;
- Le compost de catégorie B ne saurait renfermer une concentration de métaux réglementés supérieure aux limites indiquées à la colonne 4 du tableau.

Tableau I-2 : Teneurs en métaux lourds des composts selon la norme AFNOR et la norme d'ONTORIO

Métaux mg/kg, poids sec	Norme ONTORIO			Norme AFNOR
	Compost de catégorie AA	Compost de catégorie A	Compost de catégorie B	
Arsenic	13	13	75	18
Cadmium	3	3	20	3
Chrome	210	210	1060	120
Cobalt	34	34	150	-
Cuivre	100	400	760	300
Plomb	150	150	500	180
Mercure	0,8	0,8	5	2
Molybdène	5	5	20	-
Nickel	62	62	180	60
Sélénium	2	2	14	12
Zinc	500	700	1850	600

- **Les éléments fertilisants**

La valeur agronomique des composts peut être définie comme l'aptitude des composts à améliorer la fertilité du sol. En effet, les composts sont des produits riches en matières organiques et en composés minéraux (N, P, K et oligo-éléments) susceptibles d'améliorer la fertilité du sol (**Soumaré et al., 2003 cités par Bicana, 2017**).

La fonction des composts est comparable à celle des engrais chimiques quant à leur aspect fertilisant, en enrichissant le sol en N, P, K, mais, leur principal effet est, en tant qu'amendement organique, ils agissent sur la stabilité physique, biologique et chimiques des sols (**Bertoldi et al, 1983 cités par Douma, 2013 et Bicana, 2017**).

- **Test de phytotoxicité**

L'indice de germination (IG) représente un bon indicateur de la maturité d'un compost, des tests de germination sont donc couramment utilisés pour définir la qualité du compost. Ces tests sont réalisés sur des végétaux divers et les doses de compost incorporé varient généralement de 0 à 100%. Les causes possibles de phytotoxicité sont nombreuses : échauffement racinaire et immobilisation de l'azote dus à la stimulation de l'activité microbienne du sol, forte salinité, excès d'ammoniac, présence d'acides organiques, présence de pathogènes ou de métaux. Un compost est considéré comme non toxique lorsque son IG excède 50 % (Francou, 2003 ; Toundou, 2016).

I.4 Vermicompostage

I.4.1 Définition

Le vermicompostage ou encore appelé lombricompostage est une méthode de conversion de la matière organique en une ressource précieuse et apte à l'utilisation. Les deux produits issus du lombricompostage sont appelés : Lombricompost qui est stable, et présente un faible rapport C/N et une porosité élevée et le Lombrithé qui est un engrais liquide.

Non seulement il est économique mais c'est aussi une méthode écologique de valorisation des déchets biodégradables par leur transformation en amendement organique.

I.4.2 Les déchets lombricompostables

Le tableau ci-dessous représente les différents déchets provenant de la cuisine qui sont autorisés dans un lombricomposteur. En plus de ces déchets, on peut aussi utiliser de la boue issue d'une STEP, du déchet vert (paille, tonte etc...) mais aussi de déchet animal (fiente de volaille, déjection de cheval...)

Tableau I-3 : Déchets de cuisine à mettre dans le lombricomposteur (Amorce, 2018 dans wikimemoires.net)

Déchets de cuisine autorisés	Matière sèche en petits morceaux
-épluchures de fruit (banane)	
-épluchures et restes de légumes (salade),	-boîte d'œufs en carton,
-marc de café avec filtre papier,	-rouleaux de papier toilette,
-petits restes de pain, pâtes et riz cuits (sans sauce)	-essuie-tout,
-sachets de thé,	-papier journal noir et blanc
-miettes de pain,	

-coquilles d'œufs broyés.

Les restes de repas avec sauce ou graisse, viande, poisson, produits laitiers, ail, oignon, tontes de gazon et agrumes (orange, citron jaune, citron vert, mandarine, pamplemousse) sont à éviter. En plus du fait de ralentir le processus de décomposition, ces produits peuvent être mauvais pour les vers épigés, en changeant radicalement leur température ou en présentant de hautes teneurs de substances acides (**Amorce, 2018 dans wikimemoires.net**).

I.4.3 Les vers de terre

Comme son nom l'indique, c'est une méthode qui fait appel aux vers de terre pour la dégradation de la matière organique. Les différentes espèces de vers sont regroupés en trois catégories principales

- **Anécique** : tel que le lombric commun (*Lumbricus terrestris*) sont des vers de terre de grande taille pouvant atteindre plus d'un mètre avec une durée de vie relativement longue allant de 4 à 8 ans ces vers fouisseurs font surface la nuit afin de traîner de la nourriture dans leurs galeries creusées dans les couches minérales profondes du sol (**Ducasse, 2017 ; Munroe, 2004**)
- **Endogé** : tel que le ver marbré (*Allolobophora icterica*) sont des vers de taille moyenne pouvant atteindre jusqu'à 20 centimètres avec un durée de vie allant de 3 à 5 ans également des vers fouisseurs, mais leurs « tubes » ou trous sont généralement peu profonds ; ils se nourrissent de la matière organique du sol et viennent rarement à la surface (**Munroe, 2004**).
- **Épigé** : ces vers vivent dans des litières à la surface du sol et se nourrissent de la matière organique en décomposition. Ils forent très peu le sol et n'ont pas de trous permanents (**Munroe, 2004**). Certaines espèces épigées comme *Eisenia foetida* (en zone tempérée) ou *Eudrilus Eugenia* (en zone tropicale) sont parfois utilisées dans le lombricompostage.

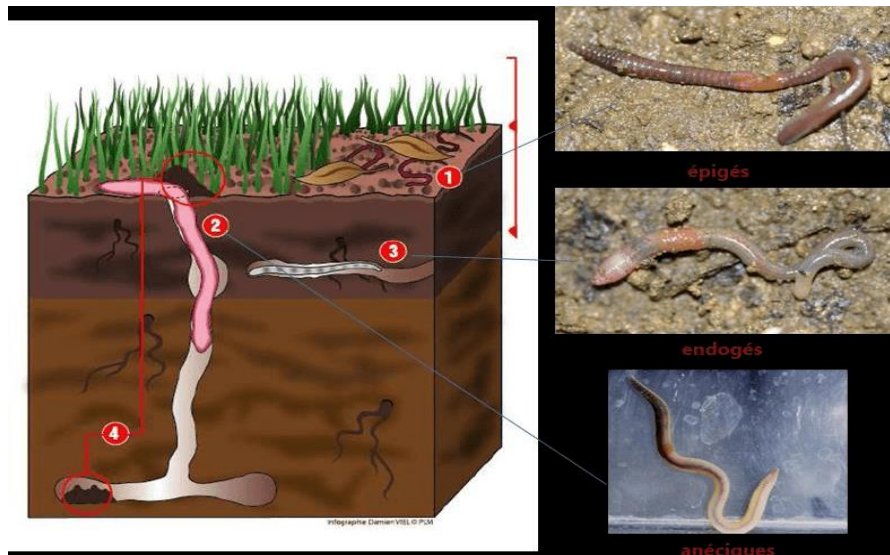


Figure I-4 : Les types de vers de terre (wikimemoires.net)

I.4.4 Le processus de vermicompostage

Le processus de vermicompostage comprend deux phases importantes en fonction de l'activité du ver de terre : une phase active et une phase de maturation

- **Phase active** : au cours de laquelle le ver de terre transforme le substrat organique, modifiant ainsi son état physique et sa composition microbienne (**Lores et al., 2006**).
- **Phase de maturation** : marquée par la migration des vers de terre vers des couches de substrat plus fraîches non digérées. Durant cette phase, les micro-organismes prennent en charge la décomposition du substrat déjà digéré par les vers de terre (**Aira et al., 2007 ; Gómez-Brandón et al., 2011**). La durée de la phase de maturation n'est pas fixe, elle dépend de l'efficacité avec laquelle se déroule la phase active du processus, qui est elle-même déterminée par l'espèce et la densité des vers de terre dans le compost (**Dominguez et al., 2010**).

I.4.5 Systèmes de lombricompostage

Il existe trois types de systèmes fondamentaux de lombricompostage pouvant intéresser les fermiers : en andains, en silos ou bacs, et en lits

I.4.5.1 Lombricompostage en andain

Le vermicompostage est le moyen choisi pour traiter une grande quantité de déchets, par conséquent, l'utilisation des andains est plus rentable. Les piles de compost peuvent être faites sous abris comme une serre ou à un étage avec certaines installations pour le drainage dans les climats chauds. Bien que la largeur et la longueur de la pile soient si variables, elles ne peuvent

toutefois pas être très hautes. Il est préférable de suivre la méthode de hauteur du bac (**Rostami, 2011**).



Figure I-5 : Lombricompostage en andain (www.auxine-shop.fr)

I.4.5.2 Lombricompostage en bac ou silos

Cette technique est utilisée pour le compostage domestique, dans la cuisine ou dans le garage, etc. Il permet de répondre au problème de la masse critique que rencontrent fréquemment les jardiniers amateurs avec leurs composts et qui freine le démarrage du compostage (**Grattepanche, 2005**). Le bac peut être fait de divers matériaux, mais le bois et le plastique sont populaires. Les bacs en plastique, en raison de leur légèreté, sont plus appréciés dans le compostage domestique. Un bac de vermicompost peut être de différentes tailles et formes, mais sa hauteur dépasse généralement 30 cm. Les bacs d'une hauteur de 30 à 50 cm et pas plus sont parfaits 13 (**Rostami, 2011**).



Figure I-6 : Lombricomposteur en bac (www.pdfprof.com)

I.4.5.3 Lombricompostage en lit

Le vermicompostage en lit peut se faire à grande échelle sous serre ou à l'extérieur. Pour sa réalisation, il est important de construire des lits de 40 cm de profondeur, de 1 à 2 m de largeur sur la longueur nécessaire, à l'aide de planches ou de béton. La surface inférieure du lit doit être isolée du sol pour empêcher les taupes, prédateurs des vers, de pénétrer dans le système. Dans le fond du lit, une première couche de matières organiquesensemencées de vers est déposée et la matière organique à composter est apportée régulièrement (**Grattepanche, 2005**).

Chaque système précédemment décrit présente un certain nombre de variantes : en systèmes continus ou discontinus :

- Dans le système continu, les vers de terre sont introduits dans la litière sur laquelle on ajoute de manière progressive et régulière de la nourriture fraîche et aussi une nouvelle couche de litière.
- Tandis que dans le système discontinu : la litière et la nourriture sont mélangées avant l'ajout des vers. Ainsi, plus aucun travail n'est fait sauf celui des vers de terre jusqu'à la fin du processus (**Munroe, 2004**).



Figure I-7 : Lombricomposteur en lit

I.4.6 Paramètres influençant sur le lombricompostage

I.4.6.1 La litière et la nourriture

Ce sont deux paramètres très importants à prendre en compte quand on veut démarrer un lombricompostage car le milieu et la nourriture influent sur les vers de terre et peuvent donc compromettre ou non le processus. La litière est l'habitat des vers, elle doit donc être constituée de matériaux qui permettent d'obtenir de la stabilité.

Selon **Munroe (2004)**, cet habitat doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Pouvoir absorbant élevé : les vers, qui respirent par leur peau, doivent vivre dans un milieu humide. Si la peau d'un ver sèche, il mourra ;
- Bon potentiel de gonflement : un matériau de trop grande densité initiale, ou qui se tasse trop, réduira ou bloquera la circulation de l'air ;
- Faible teneur en protéines et/ou en azote (rapport carbone/azote élevé) : même si les vers consomment leur litière au fur et à mesure qu'elle se dégrade, il est essentiel que ce processus soit lent.

I.4.6.2 La température

Les vers, comme la plupart des êtres vivants, ont des températures auxquelles ils se sentent bien et sont actifs. Plus on s'éloigne de ses températures, plus les vers vont en souffrir, ceci pouvant parfois aller jusqu'à la mort.

Dans le vermicompostage, l'activité du ver de terre, son métabolisme, sa croissance, sa respiration et sa reproduction sont fortement influencés par la température (**Reinecke et al., 1992 ; Dominguez, 2004 ; Rostami, 2011 cités par Ginette et al., 2019**).



Figure I-8 : Domaine de température du vers de terre (Munroe, 2004)

L'effet défavorable des températures élevées (supérieures à 30 °C) sur la plupart des espèces de vers de terre lors du processus n'est pas un effet tout à fait direct. Elles favorisent aussi les processus chimiques et microbiennes dans le substrat et l'intensité de l'activité microbienne consomme l'oxygène disponible entraînant des effets négatifs sur la survie des lombrics.

I.4.6.3 Humidité

Les lombrics respirent par la peau donc un taux d'humidité faible dans la litière est très dangereux. Hormis la chaleur ou le froid extrême, rien ne tuera plus rapidement les vers que le manque d'humidité. Le taux d'humidité idéal se situe entre 75 et 80%. Trop d'humidité empêche l'aération, freine le processus et dégage des odeurs désagréables. Pas assez d'humidité et les déchets deviennent alors secs, les micro-organismes meurent et le processus s'arrête (**Misra et al., 2005**).

I.4.6.4 Aération

Le processus de dégradation de la matière nécessite un bon apport en oxygène donc un meilleur échange d'air de l'intérieur vers l'extérieur de la compostière est nécessaire car les vers respirent à travers les parois de leur corps.

Si certains facteurs tels que des teneurs élevées en graisses dans leur nourriture ou une humidité excessive combinée à une mauvaise aération s'additionnent et restreignent l'arrivée d'oxygène, certaines parties de la litière ou même le système entier peuvent devenir anaérobies, ce qui tuera les vers très rapidement. Il n'y a pas que le manque d'oxygène qui est fatal aux vers ; ils sont également détruits par des substances toxiques (ex : ammoniac) dégagées par divers types de microbes qui prospèrent dans ces conditions (**Munroe, 2004**).

I.4.6.5 pH

Avec le temps, la décomposition de la matière organique entraîne une acidification de la litière, ce qui peut nuire aux lombrics ; il est donc indispensable de suivre l'évolution du pH afin de le maintenir à la valeur du pH neutre.

Si la nourriture est plutôt alcaline, cela a un effet régulateur qui tend vers un pH neutre ou légèrement alcalin. En revanche, une source de nourriture ou une litière acide (marc de café, mousse de tourbe) peut faire baisser le pH des lits bien en dessous de 7. Cela peut causer un problème de développement de parasites comme les acariens. On peut faire remonter le pH par l'ajout de carbonate de calcium. Dans les rares cas où l'on a besoin de le faire baisser, on peut introduire un matériau de litière acide comme la mousse de tourbe (**Munroe, 2004**).

I.4.6.6 Rapport C/N

Le rapport C/N désigne le taux de carbone et d'azote présent dans la matière organique. La proportion de différentes matières premières dans le mélange initial est d'une grande importance, c'est donc un facteur essentiel dans le processus de décomposition de la matière organique.

De manière générale, lorsque ce rapport est élevé à cause d'un apport important de matière carbonée, les microorganismes utilisent tout l'azote pour leurs besoins métaboliques. En outre, les microorganismes consomment 15 à 30 fois plus de carbone que d'azote. Cependant, si le rapport est faible, la matière première est très azotée par conséquent l'azote va être perdu dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac par volatilisation (**Graves & Hattemer, 2000 ; Aboulam, 2005**).

I.4.7 Qualité du vermicompost

Un vermicompost ou un compost de qualité permettrait à l'agriculteur d'améliorer la fertilité du sol et de booster la croissance des plantes. Toutefois, le réaliser de manière inadéquate serait source de nuisance pour les cultures (**GCP, 2008 dans Lingui, 2019**). Ainsi, pour une valorisation agricole du vermicompost (compost), il est important de connaître sa composition en éléments désirables telles que les éléments fertilisants majeurs et mineurs (N, P, K, Ca, Mg, Fe...). Il est aussi très important de connaître la teneur en éléments indésirables à savoir les métaux lourds toxiques (Cd, As, Hg, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr) (**Jemali et al., 1996**) et en pathogènes (salmonelles, Entérocoques, E. coli, œufs d'helminthes...).

I.4.8 Stabilité et maturité du lombricompost

La stabilité et la maturité d'un compost sont devenues un aspect critique pour l'épandage en champ, car le compost immature peut être préjudiciable à la croissance des plantes et à l'environnement du sol. La maturité est associée au potentiel de croissance des plantes ou à la phytotoxicité tandis que la stabilité est liée à l'activité microbienne du compost. Cependant, la stabilité et la maturité vont généralement de pair, car les microorganismes produisent des composés phytotoxiques dans les composts instables (**Gajalakshmi et al., 2008 dans Lingui, 2019**).

Chapitre II

Les déchets compostables et quelques études de cas

II.1 Les types de déchets compostables

Les déchets organiques, qu'ils soient d'origine agricole, municipale ou domestique, peuvent constituer un amendement organique (compost) de qualité pour des sols qui s'en appauvrissent, plutôt que d'être stockés en décharge où leur décomposition émet des gaz à effet de serre. Le retour au sol des matières organiques contribue à la fertilisation des cultures et à l'entretien des teneurs en matière organique des sols. Il faut alors connaître la disponibilité de ces matières pour ajuster les apports (www.dekra-industrials.fr).

Les matériaux susceptibles d'être compostés sont habituellement classés en deux catégories : les matériaux riches en azote et les matériaux riches en carbone. En fait, l'azote (N) et le carbone C sont les deux composés principaux de la matière organique, mais ils sont présents en quantité variable selon le matériau. Le rapport quantitatif entre ces deux composés qu'on appelle le rapport carbone/azote (identifié par le symbole C/N) nous indique si un ingrédient est plutôt riche en azote (C/N plus petit que 30) ou en carbone (C/N, plus grand que 30) (Michaud, 2007). Le tableau ci-dessous représente les types de déchets compostables

Tableau II-1 : Classification des déchets compostables (Mustin, 1987)

Suivant la nature chimique	Suivant l'état physique	Suivant leur origine
Déchets organiques : riche en carbone, riche en azote	Déchets solides : ordures ménagées, bois, paille...	Déchets provenant de l'activité des ménages : ordures ménagères
Déchets minéraux : adjuvants de compostage	Déchets semi – solides : boues de stations d'épuration	Déchets provenant de la distribution et des activités de services
Déchets basiques : calcaires, cendres, sels résiduaire	Déchets liquides : lisiers agricole, effluent agro-alimentaire, boues liquides...	Déchet du secteur primaire : déchet agricole, déchet des industries Déchets provenant de la du traitement des effluents liquides et gazeux

II.2 Choix et disponibilité des déchets compostés

II.2.1 Choix des substrats compostés

Notre choix a porté sur les fruits et légumes provenant des marchés de gros, déchets verts provenant des espaces publics, grignon d'olive, sciure de bois et de la bouse de cheval provenant de l'écurie de la station expérimentale de la faculté de biologie. En plus de leur disponibilité, ces déchets regorgent de matière organique qui peuvent être valoriser et cela

permettrait de réduire la pollution organique liée à la mise en décharge ou à l'incinération de ces déchets.

En outre, les boues produites dans les stations d'épuration ne peuvent pas être admises dans les décharges puisqu'elles sont riches en polluants toxiques (matières organiques, métaux...). Ceci montre qu'un traitement des boues est nécessaire afin de stabiliser et de réduire par la suite au maximum la teneur en matière organique toxique (Zaim et al., 2007).

II.2.2 Disponibilité des matières organiques en Algérie

L'Algérie dispose d'une multitude de ressources de matières organiques provenant de diverses sources et pouvant être valorisées par le compostage afin de réduire l'importation des engrais chimiques utilisés dans le secteur de l'agriculture.

Parmi ces MO, on peut citer :

- **La boue**

La boue de station d'épuration désigne l'ensemble des résidus de l'activité biologique des micro-organismes vivant dans les stations d'épuration, qui transforment les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites. Elles sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique (ONA).

La composition de la boue varie en fonction de l'origine des eaux usées et aussi des saisons. Elle est principalement composée de matière organique, des éléments fertilisants, d'ETM et d'agents pathogènes. La quantité de boue générée en Algérie annuellement est très importante par contre les méthodes d'élimination laissent à désirer. Elle peut être utilisée comme matière première dans le processus de compostage afin d'obtenir un fertilisant stable.

Tableau II-2 : Composition de la boue brute et de la boue compostée (Taboué story, 2001 cités par Arab et al., 2017)

Types de boues en kg/tonne de matière brute	MS	C/N	MO	Ntk	P ₂ O ₅	K ₂ O	Effet
Boues Brutes	18	7	120	10	13	0,9	Fertilisant
Compost de boues	50	13	600	12	17	4,5	Fertilisant et Amendant

- **La fraction organique des déchets ménagers**

La fraction organique représente plus de 60 % du tonnage produit comprenant les déchets de cuisine (dits « déchets putrescibles »), papiers/cartons et certains déchets des espaces verts. A l'heure actuelle, la mise en décharge des déchets verts des marchés de gros municipaux et des marchés hebdomadaires est la méthode de traitement la plus utilisée. Une partie est utilisée par les particuliers et par les éleveurs comme alimentation animale. Suivant la teneur en eau de ces déchets, un structurant est nécessaire pour pouvoir les composter. Toutefois, un complément carboné est souvent nécessaire suite à la forte teneur en azote de ces déchets pour équilibrer le rapport C/N et favoriser une fermentation aérobie (www.dekra-industrials.fr).

- **Grignon d'olive**

En Algérie l'olivier occupe 2,3% de la superficie totale du pays, l'olivieraie algérienne génère une production moyenne annuelle d'huile oscillant autour de 192000t et environ 45 000t d'olives de table (**Oumeddour et al., 2007**). L'industrie oléicole génère deux types de déchets : la margine et le grignon d'olive.

Le compostage de ces sous-produits est une technique complémentaire à l'épandage direct des grignons bruts ; bien maîtrisé, il permettra l'obtention d'un amendement organique stockable dont l'épandage sera facilité (**Mouton, 2009**).

Tableau II-3 : Valeur agronomique du grignon (en kg / tonne de produit brut)

Type de grignon	MS	MO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Grignon	380	360	5	1,7	9,3	
Compost de grignon	630	345	11	4	9	60

- **Fumier**

Le bétail (à l'exclusion de la volaille) comprend cinq espèces principales : les bovins, les ovins, les caprins, les chameaux et les chevaux. Le nombre total de têtes de bétail, au cours de la période 2000-2009, a été estimé à 24,5 millions de têtes (sur le total des 10 années), pour 2010-2017, ce nombre est passé à 33,6 millions de têtes, soit un taux de croissance de 37%. Les vaches et les moutons produisent respectivement 30 et 3 kg de fumier par jour. Le poulet, en revanche, produit environ 80 à 120 g par jour. Le fumier est connu pour sa teneur élevée en

azote. En conséquence, c'est déjà un produit commercial que les agriculteurs achètent pour engraisser leurs sols et les fabricants de compost (N'Guessan *et al.*, 2021).

Tableau II-4 : Caractéristiques des différents types de fumiers (CRAAQ, 2003 et 2007, MAPAQ, 1997 cités par Weill *et al.*, 2009)

Type de fumiers ou lisiers	Matière sèche (%)	Densité	N (kg/t)	P ₂ O ₅ (kg/t)	K ₂ O (kg/t)	NH ₄ ⁺ %	C/N
Bovins laitiers – fumier solide	21	0,8 0	5,7	3,6	5,3	31	16,6
Bovins laitiers- lisier	5	1	3,1	1,5	3,4	52	10,8
Bovins de boucherie (élevage intensif) – fumier	27	0,7 5	7,1	4,4	6		
Élevage vache-veau - fumier	26	0,7 5	4,8	2,4	4,92		
Ovins – fumier solide	25	0,6 2	11	5	14		
Porcs - engraissement, lisier	3,2	1	2,7 à 4,9	1,5 à 2,3	1,6 à 2,9	71	3,3
Volaille - fumier poulet	74	0,2 7	28	23	18	21	14,5
Volaille - fumier de poule	83	0,5 0	31	26	16	30	15,4

II.3 Avantages du compost

Aspect environnemental

Le compostage permet de recycler les déchets organiques et d'obtenir un compost. Permettant de diminuer la quantité de déchet à éliminer, le compostage est donc une pratique utile pour la protection de l'environnement (**Sietrem**).

Aspect économique

La pratique du compostage s'avère économique, elle permet d'éviter l'achat et l'utilisation d'engrais chimique, diminue la quantité de déchets ménagers produits d'environ

100kg/personne/an* et limite ainsi les coûts liés à l'élimination des déchets (**SIREDOM, 2006**).

Amendement organique

Le compost est un amendement organique. Cela signifie que, contrairement à l'engrais, il agit sur le long terme. D'une part, il renforce le stock d'humus du sol qui, en se dégradant lentement, nourrit les plantes de façon continue. D'autre part, il permet d'améliorer les propriétés physiques du sol : plus grumeleux, ce dernier est plus facile à travailler, laisse mieux passer l'air et retient mieux l'eau (**Sietrem**).

Fertilisant

Le compost favorise également la vie du sol, par ses propriétés physiques, chimiques et organiques. Son utilisation régulière permet de fertiliser durablement les sols agricoles, tout en limitant les pertes d'éléments minéraux (comme les nitrates) par lessivage, ce qui constitue un atout supplémentaire pour la protection de l'environnement (**Sietrem**).

Elimination des maladies du sol

Les microbes jouent un rôle très important en soutenant les plantes et en leur fournissant des nutriments, mais aussi en éliminant les maladies du sol. Beaucoup de composts ont la capacité de réprimer l'activité des agents pathogènes. Les effets directs comprennent la compétition microbienne pour les nutriments, les substances humiques, les substances volatiles toxiques ou les effets parasitaires directs. Les effets indirects des composts sont une croissance vigoureuse ou saine des plantes, une réduction du stress, une résistance induite et une amélioration de la structure du sol (**Grand et al., 2020**).

Matière organique du sol

Le compost a une teneur élevée en matière organique et peut facilement augmenter le niveau de matière organique dans les sols. Il en résulte une meilleure stabilité structurale du sol, une meilleure capacité de rétention d'eau et un taux d'infiltration plus élevé, ainsi qu'une capacité d'échange cationique supérieure (**Grand et al., 2020**).

II.4 Études de cas

Cette partie est basée sur quelques études de cas qui ont été réalisées par plusieurs personnes avec différents types de substrats.

- **Essai au Maroc**

Cette étude (**Zaim et al., 2007**) était basée sur le compostage de la boue issue d'une station d'épuration d'une industrie agro-alimentaire mélangé avec des déchets de jardin et l'évolution des paramètres physicochimiques (température, pH, MO, C/N, COT et NTK) a été suivi. Les prélèvements ont été réalisés à différents endroits du tas en compostage (bords, centre et sommet) et la température a été prise à l'intérieur du matériel composté.

Le traitement par compostage du mélange (boues + déchets de jardin) a duré 90 jours, la technique de compostage utilisé est le compostage en tas. Les résultats ont montré une augmentation progressive de la température au cours du temps pour atteindre son maximum (55 °C) vers le 21e jour tandis que la teneur en matière organique diminue avec le temps et se stabilise au bout du 80e jour. La teneur en matière organique passe de 845 mg/g de matière sèche à 590 mg/g à la fin du compostage. Le carbone organique dosé par la méthode ANNE diminue pour passer de 486 mg/g de matière sèche à 318mg/g, tandis qu'une légère diminution de la teneur en azote a été observée. Le compostage des boues de la station d'épuration de l'unité industrielle concernée en mélange avec les déchets de jardin permet d'aboutir à un produit stable, sans odeur et pouvant être valorisé en agriculture. Le pH du mélange à composter varie entre 5,2 et 5,4 pendant les 15 premiers jours. Une augmentation est enregistrée pendant la phase thermophile pour se stabiliser vers le 45e jour entre 7,9 à 8,1.

Cette technique a permis de faire passer la teneur en carbone organique de 486 à 318 mg/g, ce qui correspond à un rendement de réduction de la pollution organique du mélange de 35 %.

- **Essai Algérie**

L'objectif de ce travail (**Yefsah, 2017**) était le traitement des biodéchets de cuisine par la technique du compostage en rajoutant des quatre matières carbonées différentes et un liquide d'arrosage (solution des figues sèches), et suivre l'évolution paramètres physico-chimique des différents composte durant tout le processus.

Matières premières utilisées

-Déchet organique

-feuilles mortes de jujubier

-grignon d'olive

-sciure de bois

Protocol expérimental

- **Compost 1** : est constitué de 10 Kg de déchets organique +1 Kg de feuilles mortes de figuier
- **Compost 2** : est constitué de 10 Kg de déchet organique+ 1Kg de foin
- **Compost 3** : est constitué de 10 kg de déchet organique+ 1 Kg de sciure du bois
- **Compost 4** : est constitué de 10 Kg de déchet organique+ 3 Kg de grignon d'olive

La plateforme d'étude a une longueur de 2 m et une largeur de 0.50m (50 cm) subdivisé en quatre. Pour l'arrosage, ils ont utilisé des figues sèches trempés dans l'eau pendant deux, ils ont ensuite utilisé la solution obtenue pour arroser les composts car ce dernier est riche en sucre, dont les bactéries et d'autre micro-organismes ont besoin pour se développer.

Résultats

Les températures maximales des quatre compostes varies entre 31°C et 34°C, pour les tas mélangés avec les feuilles mortes et le foin respectivement et entre 40°C et 45°C, pour les tas mélangés avec la sciure de bois et le grignon d'olives durant la première semaine. A partir de la treizième semaine la température des tas mélangés avec les feuilles mortes, le foin et la sciure de bois est sur la même allure qui varie entre 16 et 20°C, par contre les tas mélangés avec le grignon d'olives ils ont enregistré un pic de 31°C, puis se stabilise comme le reste des tas. Au cours du compostage, la teneur en eau varie entre 80et 40% (début-fin). Une grande partie de l'eau nécessaire au développement bactérien est perdue par évaporation pendant les retournements.

Le pH varie entre 6,68 et 8,69 pour le tas mélangé avec les feuilles mortes et de 6,70 et 9,18 pour le tas mélangé avec le foin ; pour les tas mélangés avec le grignon d'olives et la sciure de bois les valeurs du pH varient entre 7,28 et 8,20 pour le premier tas et entre 6,75 et 7,85 pour le deuxième tas.

- **Essai Algérie**

Cette étude (**Talbi et al., 2017**) était basée sur la valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Beni-Mered et le suivi des paramètres physicochimiques.

Méthodologie

- Prélèvement d'un échantillon de 2 000 kg des déchets au niveau de la décharge de Soumaa.

- Tri manuel des indésirables, des textiles, des INC, des dangereux, des métaux et du verre par le biais de la table de tri selon la méthode MODECOM (Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères).
- Construction d'andain avec 853 kg de déchets biodégradables tels que : les putrescibles, les papiers-cartons et les CNC (Combustibles Non Classés)
- L'arrosage a été appliqué pendant la phase de dégradation de telle sorte de maintenir l'humidité de l'andain entre 40 et 50 %.
- Affinage final a été avec des tamis de pores carrés de 40 mm et de 10 mm

Résultats

Les résultats répertoriés montrent que la température atteint plus de 60 °C au bout du 2^{ème} jour de fermentation. Elle continue à augmenter pour atteindre 70 °C pendant le 4^{ème} jour, elle se stabilise au cours du processus pour atteindre 30°C à la fin.

Les résultats de mesures du pH montrent que le pH est légèrement acide (5,8) pendant le premier jour, ce qui confirme que les déchets sont dans un état non dégradé. Au cours du processus, il augmente progressivement pour devenir basique (9) à la fin.

Au début du compostage, le taux d'humidité est 76,9 %, ce qui s'explique par le mélange des substrats initiaux (putrescibles, papiers-cartons, CNC et fines). Au cours du compostage, le taux d'humidité baisse pour atteindre 28% vers la fin.

Tableau II-5 : Taux d'indices de germination (/MS) Beni Mered

	100%ED	25%ED+75%EC	50%ED+50%EC	75%ED+25%EC	100%EC
Cresson	100%	34%	62%	55%	6,30%
Laitue	100%	15%	64%	85%	-

ED : Eau Distillé ; **EC** : Extrait de Compost

Tableau II-6 : Taux de germination (% G/MS) Beni Mered

	100%S	25%S+75%C	50%S+50%C	75%S+25%C	100%C
Blé	100%	40	60	70	30
Maïs	100%	60	50	80	40

S : Sable ; **C** : Compost.

- **Essai en Tunisie**

Cette étude de **Chaher et al. (2020)** visait à examiner le potentiel de production compost de différents flux de déchets organiques en Tunisie. Deux tas d'andains expérimentaux fabriqués à partir de produits cuits et non cuits les déchets alimentaires et de jardin ont été initiés et suivis dans le temps. Le composant principal du test de compostage était le déchet alimentaire qui a été exploité comme matière première de base (50 % du total des masse) pour les deux essais de compostage, A1 et A2.

Les déchets alimentaires non-cuits étaient fournis par le Marché de Gros de Bir El Kassaa en Tunisie et comprenait des fruits et légumes crus, y compris du poivre, melon, pomme de terre, tomate et courgette. Les déchets alimentaires non-cuits étaient la principale matière première de A1.

Les déchets alimentaires cuits ont été collectés à la cantine de Charguia 2 en Tunisie et consistait en riz, nouilles, pain, salade, volaille cuite et veau. Les déchets alimentaires cuits étaient le constituant de base de A2. Cependant, le co-substrat ajouté était un déchet vert.

Le processus de compostage a été contrôlé en termes de température et l'humidité. L'échantillonnage a été effectué sur la période du processus de compostage. Tous les échantillons collectés ont été analysés en termes de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques ; pH, rapport C/N, indice de nitrification (NI), tests microbiologiques, l'activité respiratoire (AT4) et la teneur en métaux lourds. La qualité du produit final a été déterminée et comparée à Normes tunisiennes et allemandes. Les résultats ont démontré une réduction significative du rapport C/N initial à environ 15 par la fin du processus. De plus, les résultats ont montré que le compost produit semblait stable et était considéré comme étant de classe V compost fini ; le NI a été trouvé autour de 1, tandis que l'AT4 a été estimé inférieur à 6 mg O₂/g TS. En ce qui concerne la teneur en métaux lourds, les produits finaux ont été caractérisés comme ayant une concentration inférieure aux valeurs fixées par les autorités tunisiennes et Normes allemandes.

- **Essai Iran**

Cette étude (**Saghi et al., 2021**) visait à comparer la stabilité et la maturité des amendements de sol produits par le compostage des déchets industriels forestiers et des boues d'épuration sur la germination des graines.

Trois matériaux, à savoir la sciure de bois, les boues d'épuration et le fumier de poulet ont été mélangés à différents ratios (base de poids sec) pour atteindre la densité apparente initiale de 0,40 Kg.L⁻¹, la température de 30 °C, le rapport C/N de 25, et la teneur en humidité de 60 %. La composition des mélanges est répartie comme suit :

C1 : Boues d'épuration (60 % en poids) + Résidus de bois imprégnés de résine (40 % en poids) ;

C2 : Boues d'épuration (60 % en poids) + Résidus de bois sans résine (40 % en poids) ;

C3 : Boues d'épuration (60 % en poids) + Résidus de bois sans résine (30 % en poids) + Fumier de poulet (10 % en poids).

Un processus de compostage à l'échelle pilote a été appliqué pour surveiller le taux d'aération, la température et la teneur en humidité pendant le processus au fil du temps. La comparaison des indices physico-chimiques, de phytotoxicité et de germination entre les échantillons a été réalisée en trois répétitions.

Résultats

Les résultats de cette étude ont indiqué que les conditions durables (la température à 70 °C, l'aération 0.30 L.Kg⁻¹DM.min⁻¹ et l'humidité comprise entre 50-60 %) peuvent avoir un effet significatif sur le stade thermophile pour un séchage du compost sans aucune répercussion inhibitrice. L'augmentation de l'indice de germination du cresson (*Lepidium sativum*) jusqu'à 79 % a prouvé que la toxicité des boues d'épuration industrielles était diminuée grâce à l'élimination des métaux lourds. Cette étude a aussi révélé que la disponibilité d'agents volumineux tels que les résidus de bois peut renforcer l'activité microbienne en diminuant continuellement le rapport C/N jusqu'à la valeur minimale de 13,2.

Conclusion

Ces études avaient pour but de valoriser les biodéchets par la méthode du compostage en andain. Les mélanges constitués de plusieurs substrats et co-substrats ont permis d'obtenir des engrais naturels, stables et très bénéfiques pour le sol. Les résultats des tests de phytotoxicité révèlent l'importance de la présence du compost pour la fertilité du sol.

Les résultats obtenus montrent l'efficacité du compostage comme méthode de traitement des déchets car cette technique permet de réduire la pollution organique par la dégradation de la MO tout au long du procédé.

Partie expérimentale

Chapitre III
Matériels et Méthodes

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la valorisation de plusieurs types de déchets organiques par le compostage en tas et le compostage en bac (vermicompostage). Pour ce faire, nous avons utilisé différents mélanges constitués par plusieurs types de substrats et de co-substrats. Un suivi régulier des paramètres physico-chimiques a été fait afin de suivre l'évolution des composts et des vermicomposts.

III.2 Site expérimental

Le compostage et le vermicompostage ont été réalisés respectivement dans la faculté des sciences et technologie et dans la faculté de biologie de Blida.

La Wilaya de Blida est située dans le Nord de l'Algérie. Elle est limitée au nord par les wilayas d'Alger et Tipaza, à l'ouest par la wilaya d'Ain Defla, au sud par la wilaya de Médéa et à l'est par les wilayas de Bouira et de Boumerdès. La superficie globale de wilaya de Blida est de 1 478,62 km², répartie sur un total de 32 communes (ANDI, 2013).

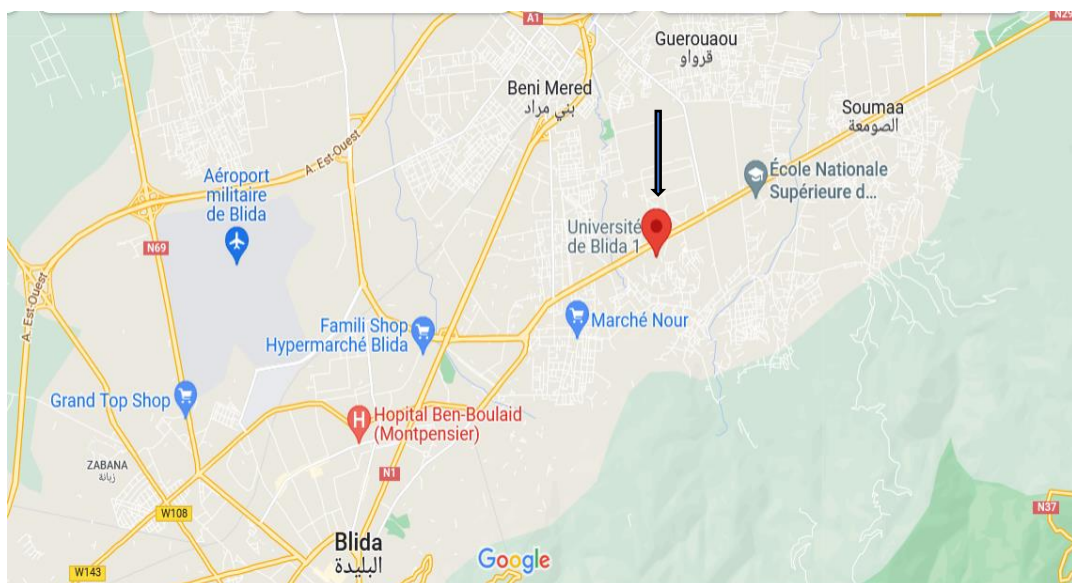


Figure III-1: Localisation de l'université de Blida 1

Le climat de Blida est chaud et tempéré. L'été, à Blida, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé Csa. La température moyenne annuelle à Blida est de 17.1 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 641 mm. Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 3mm. Une moyenne de 85 mm fait du mois de Janvier le mois ayant le plus haut taux de précipitations (Climate-Data.org).

III.3 Compostage

III.3.1 Matériels

III.3.1.1 Les matières premières

Les matières premières utilisés pour la réalisation des différents composts sont les déchets provenant des marchés (fruits et légumes), du grignon d'olive, des déchets verts issus de l'entretien des espaces publics, du déchet animal (bouse de cheval) de l'écurie de la station expérimentale de la faculté de biologie, de la boue issue du STEP de Boufarik et de déchet brun. La composition des mélanges varie d'un compost à un autre.



Figure III-2: Déchets de marché + déchet brun



Figure III-3: Grignon d'olive + bouse de cheval + déchets verts

III.3.1.2 Matériels de travail et de mesure

- Balance
- Arrosoir

- Pelle et fourche
- Petits matériels : sceaux, sacs en plastiques ;
- Équipements de sécurité : gants, masques, combinaison et bottes
- Thermomètre pour compost (suivit de la température)

III.3.2 Méthodologie

L'expérimentation s'est déroulée sous une serre, un film agricole a été étalé sur une dimension de 2m sur 5m afin d'éviter la prolifération des mauvaises herbes.

Les déchets de marchés ont été récupéré, trié et broyé avant d'arriver au site expérimental. Après avoir réceptionné et rassemblé tous les matériels et matières premières nécessaires, on passe alors aux étapes suivantes.

III.3.2.1 Composition des composts

Le tableau ci-dessous représente les différents composts en fonction des déchets utilisés.

Tableau III-1: Quantité de matières entrants dans la fabrication des différents composts

Types de déchets	Quantité de substrat en Kg				
	C1	C2	C3	C4	C5
Grignon d'olive	0	0	0	0	60
Déchets de marché	60	40	220	0	0
Déchets verts	0	0	9	6	9
Déchets animaux	20	0	0	0	60
Déchet brun	0	3	3	0	0
Boue	0	0	0	40	0

C1 : déchets de marché + déchets animaux

C2 : déchets de marché + déchet brun

C3 : déchets de marché + déchets verts + déchet brun

C4 : boue + déchets verts

C5 : grignon d'olive + déchets animaux + déchets verts

III.3.2.2 Confection des différents tas du compost

Le processus de compostage a duré 35 jours. La dimension des tas varie en fonction de leurs compositions.

- **Tas du compost C1**

Le mélange est constitué de 60Kg de déchets de marché et de 20Kg de déchets animaux. Les déchets de marchés, initialement triés et broyés ont été homogénéisés avec de la bouse de cheval (trié et dépourvu de toute substance incombustible) ensuite mis en tas. Le broyage permet d'élargir les surfaces d'attaque aux microorganismes et d'assurer donc une dégradation plus rapide de la matière organique.



Figure III-4 : Compost C1

- **Tas du compost C2**

Le mélange est composé de 40Kg de déchets de marchés et de 3Kg de déchet brun, homogénéisé et mis en tas.



Figure III-5: Compost C2

- **Tas du compost C3**

Initialement, le tas a été introduit dans un bac rectangulaire sous forme de couches. On a d'abord introduit de la paille au fond et sur les côtés du bac afin d'éviter que ça ne déborde pas à travers les trous et aussi d'absorber l'humidité du mélange. Le mélange est constitué de 220KG de déchets de marchés, 9Kg de déchets verts et de 3Kg de déchet brun. A chaque quatre couche de DM, on ajoutait une couche de DV ou de DB pour absorber l'humidité.

Au bout de 3 jours, l'humidité a diminué, on a donc renversé le bac en tas jusqu'à la fin du processus.



Figure III-6: Compost C3

- **Tas du compost C4**

Le mélange est constitué de 40Kg de boue et de 6Kg de déchets verts, homogénéisé et mis en tas.



Figure III-7: Compost C4

- **Tas du compost C5**

Le mélange est composé de 60Kg de grignon d'olive, de 60Kg de bouse de cheval et 9Kg de déchets verts qui ont été homogénéisés et mis en tas.



Figure III-8: compost C5

III.3.2.3 Arrosage des tas

A part le C5, aucun des tas n'a été arrosé en début de compostage car les fruits et légumes contiennent jusqu'à 90% d'eau. On les a broyés avant de les utiliser, ce qui a rendu les tas suffisamment humides donc on n'avait pas à les arroser.

Tout au long du processus, le C5 a été arrosé deux fois et le C2 et C4 une fois.

III.3.2.4 Retournement des tas

Cette opération permet de mélanger intimement les substrats, de vérifier l'aération et l'humidité. De plus il a pour objectif de favoriser une décomposition homogène de l'ensemble du tas et consiste en un transfert de la masse à composter de telle sorte que les parties supérieures du tas reviennent en bas (Bicana, 2017). Les composts C1, C2, C4 et C5 ont subi des retournements chaque 3 ou 4 jours en fonction de l'évolution de la température. Le C3 a subi plusieurs retournements et aérations durant la première semaine à cause de ses montées importantes de températures.

III.3.3 Paramètres de suivi

III.3.4 Température

La température de chaque tas a été mesurée presque tous les jours pendant les deux premières semaines à l'aide d'un thermomètre à compost. A partir de la deuxième semaine, la fréquence est passée à chaque trois jours au bout de chaque retournement. La valeur donnée correspond à la moyenne de six mesures effectuées dans différents côtés des composts.

III.3.5 Humidité

Sur le site, l'humidité des tas a été mesurée par le test de poignée. Une poignée de compost est pressée dans la main afin de déterminer son taux d'humidité.

- Si quelques gouttes sortent entre les doigts et que le compost ne se disperse pas quand on ouvre la main, le compost a une bonne humidité ;
- Si un filet d'eau s'en échappe, il est trop mouillé ;
- Si rien ne coule et que le paquet se défait, il est trop sec.



Figure III-9: Test de poignée

Le taux d'humidité a également été analysé au laboratoire selon la norme NF M 03-002. Cette méthode consiste à placer un échantillon de 100g dans une étuve à 105°C pendant 24h. Après le séchage et le refroidissement sous vide, la matière sèche est pesée. Le taux d'humidité est déterminé par :

$$\%H = \frac{M1 - M2}{M1} * 100$$

%H : pourcentage d'humidité ;

M₁ : masse de l'échantillon avant séchage ;

M₂ : masse de l'échantillon après séchage

III.3.6 pH

La détermination du potentiel hydrogène ou pH, est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme AFNOR NF ISO 10-390 de novembre 1994 (**Misseraoui et al., 2021**).

Des échantillons de 5g de matière sèche sont mis en suspension dans 25ml d'eau distillée et agiter pendant 10 à 15 minutes pour homogénéisation de la suspension, reposer pendant

2 heures. Les mesures de pH ont été effectuées par un pH-mètre à électrode combinée sous une température ambiante.

III.3.7 MO

La teneur en matière organique par rapport à la matière sèche a été déterminée par perte au feu. Des échantillons sont placés dans l'étuve à 105°C pendant 24H et sont ensuite pesés avant d'être mis en calcination dans un four à moufle à 550°C pendant 2h.

$$\%MO = \frac{M1 - M2}{M1} * 100$$

%MO : pourcentage d'humidité ;

M₁ : masse de l'échantillon avant calcination ;

M₂ : masse de l'échantillon après calcination

La proportion du carbone organique total dans la matière organique des composts est calculée selon :

$$\%COT = \%MO / 2$$

III.4 Vermicompostage

Le vermicompostage a lieu à la faculté de technologie de Blida, dans un endroit calme afin d'assurer un bon déroulement du processus.

III.4.1 Matériels

- Quatre bacs dont deux perforés et deux servants de bacs de fond (équipés de robinet) ;
- Deux balances : une pour la pesée des vers (balance de labo) et une pour de la nourriture ;
- Cristalliseur pour le rinçage des vers
- Thermomètre



Figure III-10: Balance



Figure III-11: Cristallisateur + vers de terre



Figure III-12: Bacs superposés



Figure III-13 : Balance de laboratoire

III.4.2 Méthodologie

III.4.2.1 Récupération des vers

Les vers de terre ont été récupéré par la méthode de la moutarde au niveau de la station expérimentale de la faculté de biologie sur une terre qui n'a pas subi de retournement récemment (les vers y sont plus abondants) selon les étapes suivantes :

- Préparation des zones d'échantillonnages : deux zones de 1m² chacune et distantes de 6mètres sont délimités et désherbés (et environ 10cm autour pour une meilleure

visibilité, faire attention à ne pas piétiner les zones, les vers sont sensibles aux vibrations) ;

- Solution de moutarde : diluer 2 pots de 300g de moutarde commerciale dans 20L d'eau ensuite la mettre dans un arrosoir ;
- Pour chacune des deux zones étudiées, appliquer à 15 minutes d'intervalle 2 épandages de moutarde diluée (arroser plus large que le m²), de façon homogène sur toute la surface. Entre les deux épandages et environ un quart d'heure à la suite du deuxième, récolter seulement dans la zone délimitée les vers de terre qui remontent à la surface, attendre qu'ils soient complètement sortis de leurs galeries ;
- Rincer les vers pour éviter qu'ils ne meurent sous l'effet de la moutarde et les garder dans un récipient avant de les transporter au labo pour le comptage et la mesure du poids.

III.4.2.2 La nourriture

L'expérience était basée sur deux types de vermicompost. Les déchets ont été collectés et déchiqueter en petit morceau cela permet aux vers d'avoir une meilleure surface d'attaque.

Vermicompost V1 : est composé de bouse de cheval, de déchets verts et de grignon d'olive

Vermicompost V2 : est composé de déchet de marché constitué de légumes et fruit tout comme le compost.

III.4.2.3 Installation des bacs

Les vers sont très sensibles aux bruits et vibrations et aiment l'obscurité, les vermicomposteur ont donc été placés à l'intérieur à l'abri du soleil, de pluie et de toute sorte de bruit. On a utilisé quatre bacs dont deux bacs de fond et deux bacs perforés. Les bacs de fond servent à récupérer le vermithé et les bacs perforés servent d'habitat.

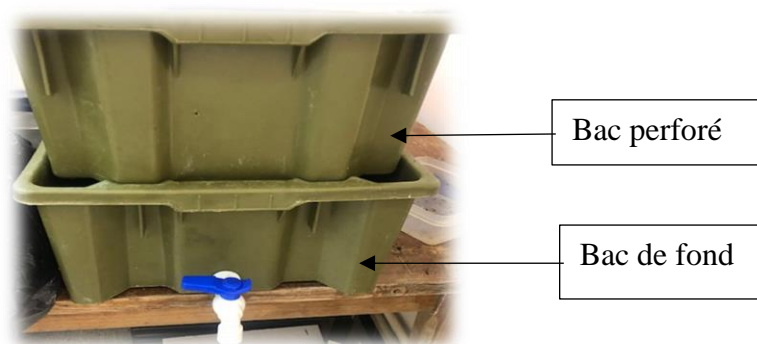


Figure III-14: Vermicomposteur

III.4.2.4 Mise en place des vers de terre

Les vers utilisés sont les épigés, ils ont été rincés, séchés et pesés un à un afin de déterminer leur poids de départ. On a utilisé 70 vers pour chaque vermicomposteur, le poids des vers varie de 0,30 à 0,54g. La quantité de nourriture est de 6 vers pour 500g de nourriture, on a donc utilisé 4,5Kg de nourriture pour chaque vermicomposteur.



Figure III-15: Vers de terre

III.4.2.5 La litière

La litière est installée dans le bac du dessus (bac perforé), elle est composée de :

- De matière riche en carbone : carton déchiré ;
- Une fine couche de tourbe
- Une poignée de sable : aide le tube digestif des vers à dégrader la nourriture
- On l'a un peu arrosé avant de déposer les vers et placé une petite quantité de nourriture et l'a recouvert de litière, on a attendu une semaine le temps qu'ils s'apparent à leur nouvel habitat.

III.4.2.6 L'alimentation des vers

Après une semaine, on a ajouté de la nourriture aux vermicomposteurs de 4,5Kg chacun et les vermithés ont été récupérés au fur et à mesure.

III.4.2.7 La récolte

Au bout de 27 jours, les vermicomposts sont déjà prêts !! on passe à la récolte. Les contenus des bacs ont été vidés sur des plateaux sous la lumière se poussent les vers à migrer vers le fond, on récupère alors au fur et mesure la partie supérieure.

III.4.3 Paramètres de suivi

III.4.3.1 La température

Selon le guide du lombricompostage, il faut veiller à maintenir la température afin de le maintenir entre 15 et 30°C. Pour ce faire, on a utilisé un thermomètre pour suivre l'évolution de la température.



Figure III-16: Mesure de la température

III.4.3.2 Humidité

Selon le guide du lombricompostage, le taux d'humidité idéal se situe entre 70 et 90%. On a donc suivi l'évolution de l'humidité par le test de poignée.



Figure III-17: Test de poignée

III.4.3.3 pH

Les vers peuvent survivre dans une plage de pH allant de 5 à 9. La plupart des experts estiment que les vers préfèrent un pH de 7 ou légèrement plus élevé. Des chercheurs de Nouvelle-Écosse ont découvert que la plage de 7,5 à 8,0 était la meilleure (**Edwards, 1998 ; Georg, 2004 cités par guide de lombricompostage**).

III.4.3.4 MO

La teneur en matière organique par rapport à la matière sèche a été déterminée par perte au feu. Des échantillons sont placés dans l'étuve à 105°C pendant 24H et sont ensuite pesés avant d'être mis en calcination dans un four à moufle à 550°C pendant 2h.

$$\%MO = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100$$

%MO : pourcentage d'humidité ;

M₁ : masse de l'échantillon avant calcination ;

M₂ : masse de l'échantillon après calcination

La proportion du carbone organique total dans la matière organique des composts est calculée selon :

$$\%COT = \%MO / 2$$

III.4.3.5 Test de germination

Le test de germination a été effectué sur les composts et les vermicomposts, c'est un test qui permet d'évaluer l'impact des composts sur les plantes. Pour ce faire, nous avons utilisé le haricot nain et le sorgho. Il consiste à semer un même nombre une graine de haricot et de sorgho dans des pots contenant différents pourcentages de composts et de terreau. Le taux de germination est évalué par rapport au témoin (100 %terreau). Les différentes proportions utilisées sont les suivantes :

- 25% compost et 75% terreau
- 50% compost et 50% terreau
- 75% compost et 25% terreau
- 100% compost et 0% terreau
- 0% compost et 100% terreau (témoin)

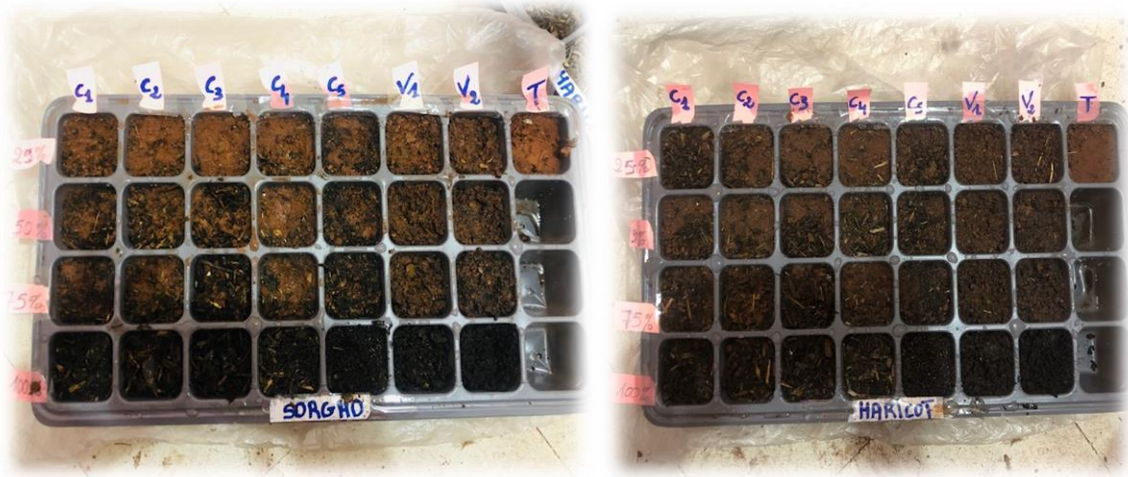


Figure III-18 : Test de germination

Nous allons travailler suivant la hauteur des tiges afin de déterminer l'impact des produits sur la croissance des plantes.

Chapitre IV
Résultats et discussions

IV.1 Compostage

IV.1.1 Aspect physique des composts obtenus

Les processus de compostage ont duré pendant 35 jours durant lesquels les tas ont subis des retournements et des aérations selon l'évolution de la température dans les tas. Les composts obtenus sont caractérisés par :

- De couleurs brun-noirs
- Bonnes odeurs
- Ne dégagent pas d'odeur d'ammoniac



Figure IV-1: Compost C1 + refus



Figure IV-2 : Compost C2 + refus



Figure IV-3: Compost C3 + refus



Figure IV-4: Compost C4 + refus



Figure IV-5: Compost C5 + refus

IV.1.2 Variation du poids au cours du compostage

L'évolution du poids des tas est représentée sur le tableau ci-dessous.

Tableau IV-1: Variation du poids des composts

Composts	Poids de départ en Kg	Poids final en Kg		Poids de refus en Kg	%Compost	%Refus
		Avant criblage	Après criblage			
C1	80	48	30	18	62,5	37,5
C2	43	29	11	18	37,94	62,06
C3	233	124	92	32	74,2	25,80
C4	46	39	10	19	51,29	48,71
C5	129	100	92	8	92	8

Après tamisage nous obtenons des résidus non dégradés lors du processus, ces derniers doivent être broyés pour mieux faciliter leurs décompositions. Le tas composé de grignon (C5) est celui qui s'est dégradé le mieux, il est plus granuleux et a moins de refus. Selon l'aspect physique, on peut dire qu'il est le meilleur parmi les cinq composts.

IV.1.3 Evolution des paramètres physico-chimiques

Tout au long du processus, nous avons suivi l'évolution de la température, l'humidité, le pH, la MO ainsi que le COT dans les différents tas.

IV.1.3.1 Evolution de température

L'évolution de la température au cours du compostage permet d'avoir une idée sur l'acuité de la dégradation de la MO. Les résultats de la variation de la température des quatre composts C1, C2, C3 et C4 sont représentés ci-dessous.

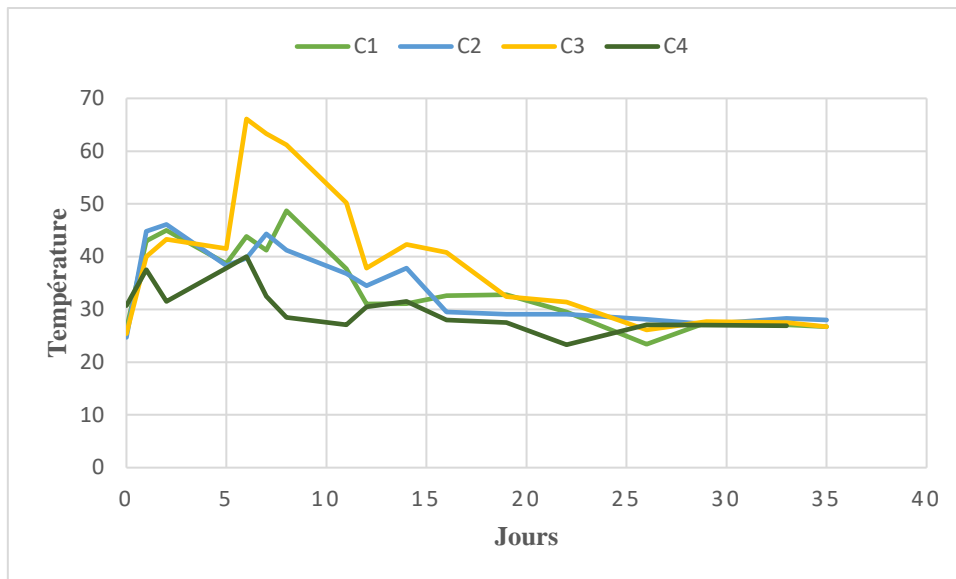


Figure IV-6: Evolution de la température au cours de compostage

Durant les cinq premiers, débute l'activité biologique à travers des micro-organismes mésophiles ce qui augmente la température des tas de 24,7 à 38,7°C. La température des différents compostes augmente après chaque retournement car ce dernier apporte l'oxygène nécessaire à la vie des micro-organismes aérobies. Les températures maximales ont été atteintes entre le 5^{ème} et le 10^{ème} jour, elles varient entre 40 à 66,6°C.

La phase de dégradation aérobie intense est observée chez le C3, il s'agit essentiellement de la décomposition de la matière organique fraîche à haute température (50 à 70 °C) sous l'action de bactéries et en présence d'oxygène ; c'est le tas qui a atteint la plus grande température dû au fait qu'il était le plus grand tas. Si le volume de matière est important, le compost montera en chaleur au-delà des températures permettant la destruction des germes et des graines. Si le volume est peu le compost ne chauffe pas au-delà de 60°C (**Anonyme, 2020**).

Durant la phase de maturation qui succède à la phase thermophile, elle va transformer le compost frais en un compost mûr, riche en humus. Les pertes de chaleur par échange avec le milieu extérieur et la diminution des éléments nutritifs, engendrent une chute de température progressive et se rapproche de l'ambiante 26°C dans C1, C3 ET C4 et de 20°C dans C2.

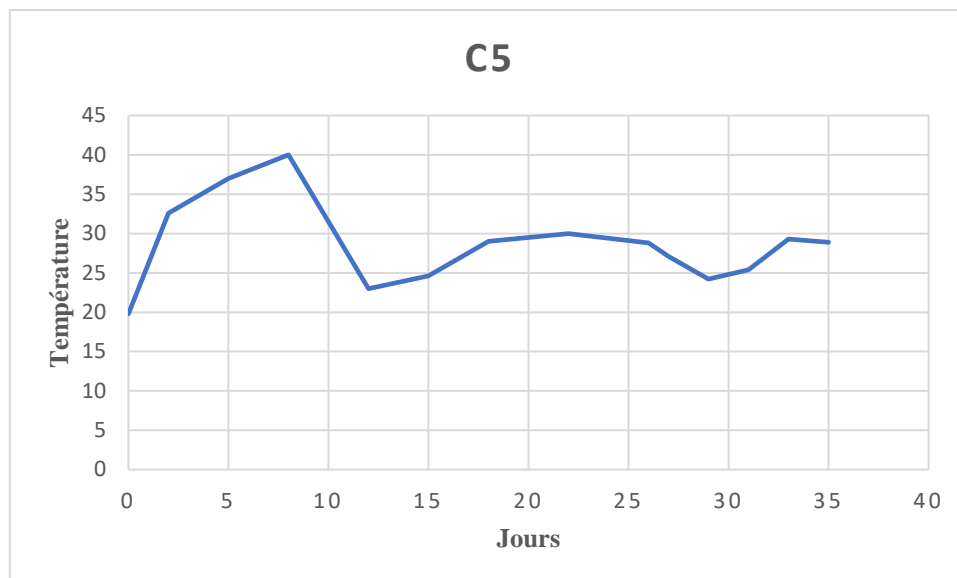


Figure IV-7: Evolution de la température au cours du compostage

Sur le C5, on observe une augmentation température jusqu'à atteindre la température maximale qui est de 40°C durant la deuxième semaine. Ce résultat est en accord avec celui de **Yefsah (2017)**. S'en est suivit une phase de maturation caractérisée par une diminution de la température et correspondront à la dégradation des molécules lignocellulosiques, et processus de l'humification (**Hanafi et al., 2019**).

IV.1.3.2 Evolution du pH

Les résultats de l'évolution de pH des composts C1, C2, C3 et C4 sont présentés sur la figure 20. On a seulement suivi la température du C5 car ses substrats étaient déjà stables avant utilisation ce qui a influé sur la montée de la température. Cependant, les autres paramètres ont été suivi au début et à la fin du processus.

Tableau IV-2: Évolution du pH du compost C5

Compost	pH initial	pH final
C5	6,68	7,7

Le pH de départ dans les différents tas est un pH acide (4,08 à 6,68) qui est due à la libération et l'accumulation des molécules d'acides organiques produites par les premiers colonisateurs dans des conditions d'anaérobiose instaurées au début du processus du compostage et au retournement manqué entre le 2^{ème} et le 5^{ème} jour. Après un 1^{er} retournement, on observe une augmentation progressive pour devenir basique à la fin (9) pour C1, C2 et C3. On assiste à une légère alcalinisation suite à la libération d'ammonium par le processus, suivie par une stabilisation au cours la dernière semaine avec une valeur de pH de 7,17 et 7,7 pour C4 et C5.

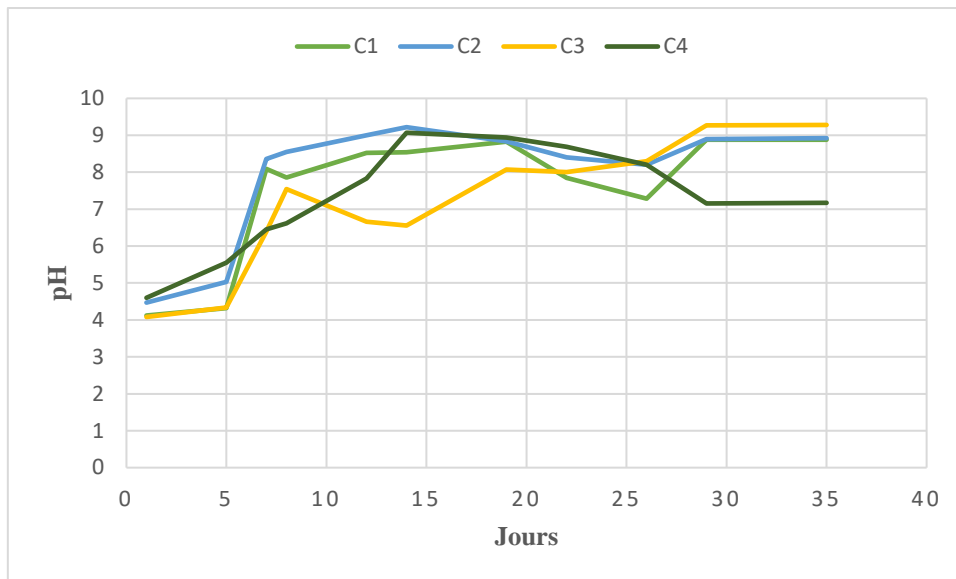


Figure IV-8: Evolution du pH du compostage

IV.1.3.3 Evolution de l'humidité

La diminution de la teneur en eau dans le tas est due à l'évaporation à cause de l'augmentation de la température pendant les deux premières phases du compostage ou par l'aération (retournement) (Misseraoui et al., 2021). L'évolution de l'humidité au cours du processus est représentée sur la figure ci-dessous.

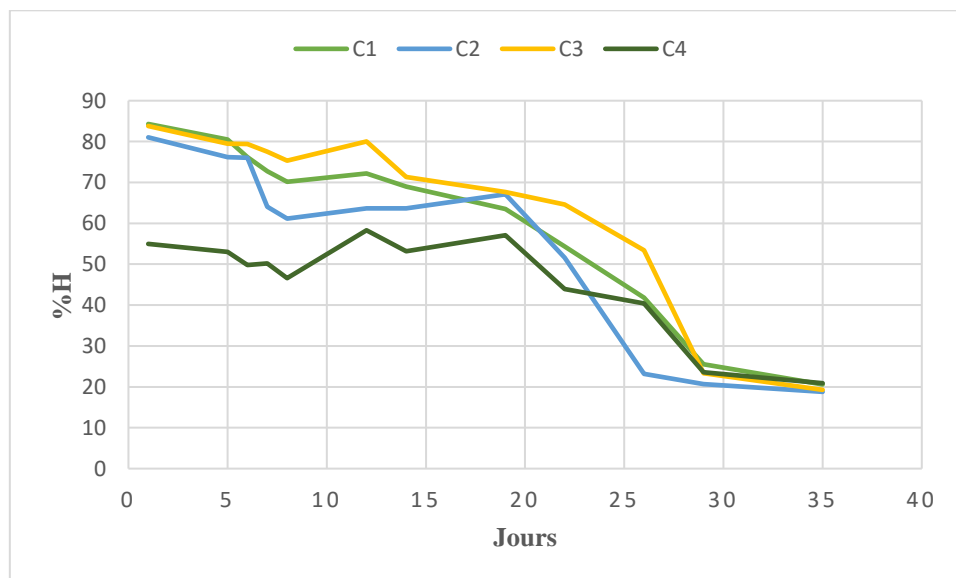


Figure IV-9: Evolution du %H du compostage

Au début du processus, le taux d'humidité ns les tas était supérieur à 80% sauf ceux du C4 et C5 qui étaient respectivement à 55 et 64%. Il diminue au cours de la 1^{ère} semaine pour atteindre une légère augmentation dû à une pluie survenu le 11^{ème} qui a impacté l'ensemble des paramètres. Le maintien d'une humidité adéquate est nécessaire au bon déroulement du

processus de Compostage. Cette humidité doit se maintenir à des taux de 50 à 60%, pour se Faire, les arrosages des lots de compost sont nécessaires pour contrebalancer les pertes d'eau. Ces pertes sont dues essentiellement aux réactions exothermiques de fermentation, aux Conditions climatiques et au retournement des andains (**Mustin, 1987, Heynitz, 1985 cités par Hanafi et al., 2019**).

D'après **Godden (1986)**, une humidité < à 40% / MB se traduit par un ralentissement de l'activité microbiologique. L'arrosage est nécessaire pour maintenir le taux d'humidité entre 40 et 50% par rapport à la matière brute. La sciure de bois et la boue absorbent l'eau très rapidement ce qui a conduit à un arrosage des deux tas le 16^{ème} jour.

A partir du 19^{ème} jour, l'humidité du tas diminue progressivement pour atteindre 20% à la fin du compostage. Nos résultats sont en accord avec ceux de **Yefsah (2017)**.

IV.1.3.4 Evolution de la matière organique et du carbone organique

Les différents composts présentent une valeur de matière organique qui varie en fonction du degré de la biodégradation du substrat. Les résultats de l'évolution de la MO et du COT sont représentés sur les figures ci-dessous.

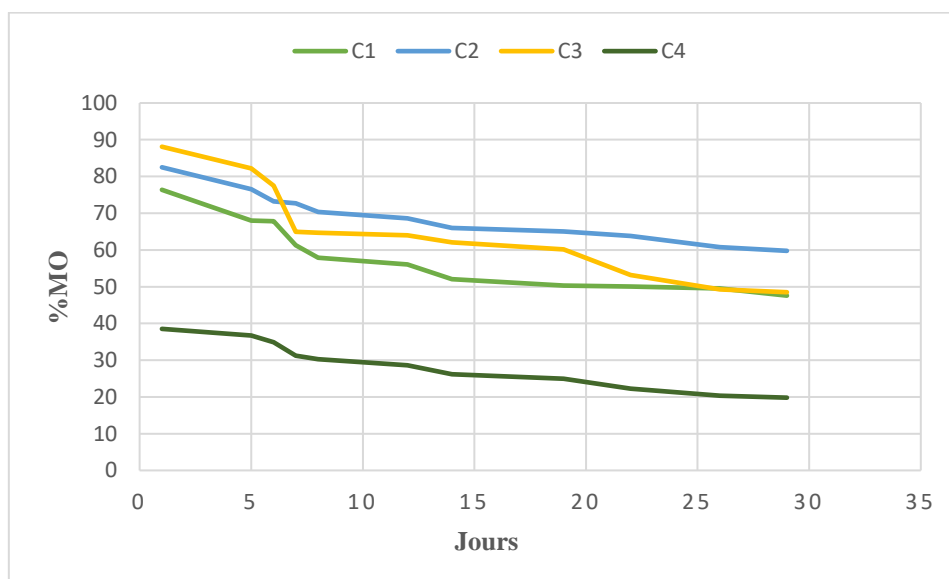


Figure IV-10: Evolution de la MO au cours du compostage

Les résultats obtenus montrent une diminution progressive de la MO qui passe de [76,37 ; 88,1%] pour C1, C2 et C3 au début pour atteindre [50 ; 60%] à la fin du processus cela s'explique par une intense dégradation des substrats. Le C2 est composé de déchet brun qui requière plus de temps pour se dégrader donc les 35journs n'ont pas suffi à le dégrader

suffisamment. La MO de départ du C4 était de 38,52 pour atteindre 20, il ne s'est suffisamment dégradé non plus.

La majeure partie de la matière organique volatilisée porte naturellement sur les substances riches en carbone, puisque ce dernier est éliminé sous forme de gaz carbonique. La diminution relative de la matière organique (rapport entre la masse de matière organique perdue et la masse de matière organique initiale) est très variable et dépend des conditions de compostage et de sa durée (Talbi *et al.*, 2017).

Lors de la bioconversion des matériaux, la concentration en carbone sera réduite tandis que l'azote augmentera en concentration, ce qui entraînera la réduction de la Rapport C/N à la fin du processus de compostage. Cette réduction peut être attribuée à la perte de masse sèche totale due aux pertes de C sous forme de CO₂ (Francou, 2003).

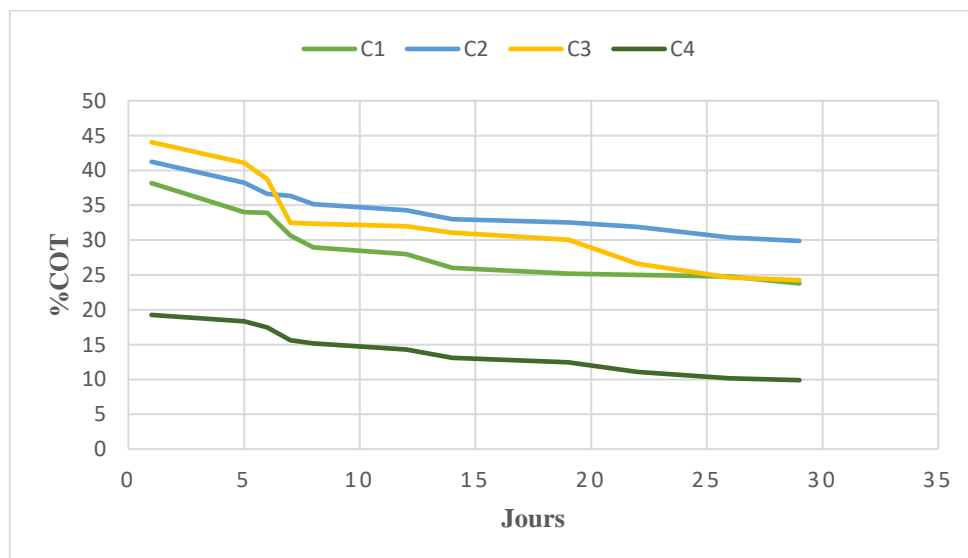


Figure IV-11: Evolution de la MO au cours du compostage

Tout comme la MO, les résultats obtenus montrent que le COT diminue progressivement tout au long du processus. Selon Znaïdi (2002), les taux du carbone à la fin du compostage situés entre 25,03 % et 48,07% pour des composts de déchets verts.

IV.2 Vermicompostage

IV.2.1 Aspect physique

Les processus de vermicompostage ont duré pendant 27 jours durant lesquels nous avons maintenu les conditions nécessaires afin d'assurer le bon déroulement des processus. Les vermicomposts obtenus sont caractérisés par :

- De couleurs noirs

- Bonnes odeurs
- Ne dégagent pas d'odeur d'ammoniac



Figure IV-12: Vermicompost V1



Figure IV-13: Vermicompost V2

IV.2.2 Evolution des paramètres

IV.2.2.1 Evolution de la température

Dans le vermicompostage, l'activité du ver de terre, son métabolisme, sa croissance, sa respiration et sa reproduction sont fortement influencés par la température (Reinecke et al., 1992 ; Dominguez, 2004 ; Rostami, 2011 cités par Ginette et al., 2019).

Selon le guide de lombricompostage, la température idéale se situe entre 15 et 30°C (des températures plus élevées ou plus basses réduisent l'activité de la microflore et des vers de terre) nous avons donc maintenu les températures dans cet intervalle. La variation de la température dans les deux vermicomposteurs est représentée sur la figure ci-dessous.

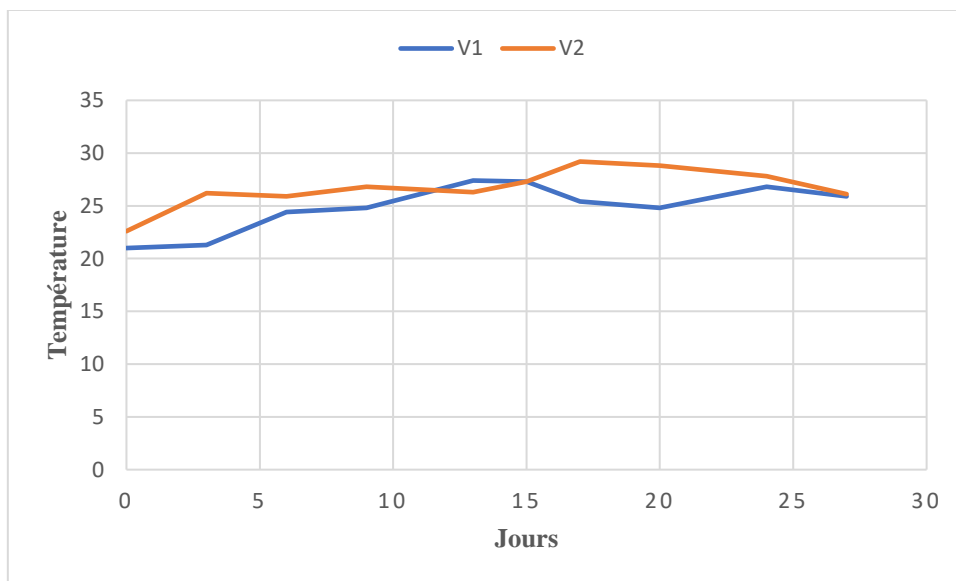


Figure IV-14: Evolution de température dans les vermicomposteurs

IV.2.2.2 Evolution du pH

Selon Misra et al. (2005) le pH de la matière première ne devrait pas être supérieur à 6,5-7. Une valeur de pH aussi neutre que possible était nécessaire pour assurer la continuité du processus.

Tableau IV-3: Variation du pH dans les vermicomposteurs

Vermicomposts	V1	V2
pH initial	6,25	6,98
pH final	7,02	7,48

IV.2.2.3 Evolution de l'humidité

Le taux d'humidité idéal se situe entre 75 et 80%. Trop d'humidité empêche l'aération, freine le processus et dégage des odeurs désagréables. Pas assez d'humidité et les déchets deviennent alors secs, les micro-organismes meurent et le processus s'arrête (Misra et al., 2005).

Tableau IV-4: Humidité des vermicomposts

Vermicomposts	%H
V1	73,44
V2	79,88

IV.2.2.4 Evolution de MO et COT

La MO a été déterminé à la fin du processus sur le vermicompost mur

Tableau IV-5: Matière organique des vermicomposts murs

Vermicomposts	%MO	%COT
V1	21,13	10,56
V2	22,07	11,03

IV.2.3 Comparaison entre le compostage et le vermicompostage

L'objectif même de cette étude est de réaliser une comparaison entre le compostage et le vermicompostage qui sont assez similaires mais différent sur plusieurs points, selon nos constats on peut en citer :

- Le vermicompostage implique l'action conjointe de vers de terre et de microorganismes tandis que le compostage n'utilise que des microorganismes
- Il est différent du compostage par l'absence de phase thermophile
- Le compost est un produit exempt de semence et d'agent pathogène. Le lombricompost est de meilleure qualité et le temps de production est un plus court.
- La qualité du compost est inférieure à celle du lombricompost.
- Il est nécessaire d'établir des équilibres corrects entre le carbone et l'azote pour son traitement correct pour le compostage.
- Le substrat issu du vermicompostage a un aspect uniforme tandis que celui du compostage a généralement un aspect plus hétérogène
- Le vermicompostage utilise moins d'espace que le compostage

Tableau IV-6: Caractéristiques physico-chimiques des composts et des vermicomposts (murs)

Paramètres	C1	C2	C3	C4	C5	V1	V2
T°C	26,7	28	26,7	26,9	28,9	25,9	26,1
%H	20,59	18,78	19,27	20,9	21	73,44	79,88
pH	8,88	8,92	9,28	7,17	7,74	7,02	7,48
%MO	46,5	58	47	18,2	23,25	21,13	22,07
%COT	23,25	29	23,5	9,1	11,62	10,56	11,03

IV.2.4 Test de germination

Après 12 jours de germination dans des conditions favorables, nous avons comparé les résultats obtenus selon les proportions suivantes :

- 1) 25% compost et 75% terreau
- 2) 50% compost et 50% terreau
- 3) 75% compost et 25% terreau
- 4) 100% compost et 0% terreau
- 5) 0% compost et 100% terreau (témoin)

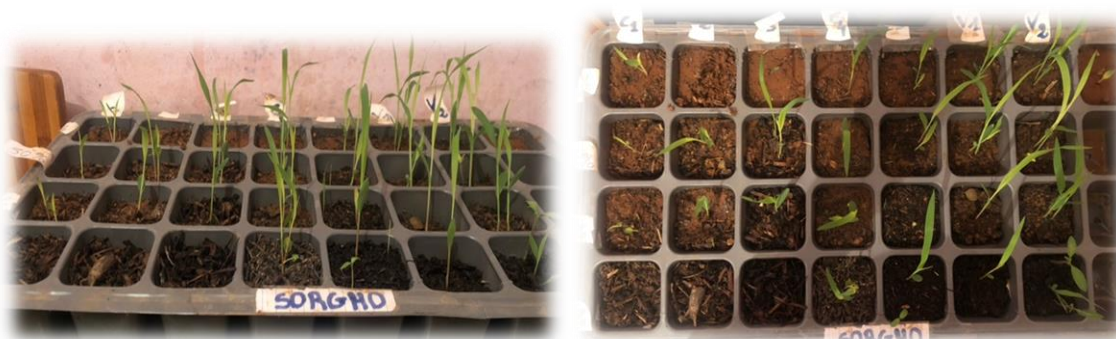


Figure IV-15 : Résultats des tests de germinations

Les haricots n'ont pas bien donné, nous nous sommes donc focalisés sur le sorgho dont la hauteur des tiges est représentée sur le tableau ci-dessous :

Tableau IV-7 : Hauteur des tiges de Sorgho

Produits	H(cm)				Hmoy(cm)
	25%	50%	75%	100%	
C1	5	4,5	3,5	0	4,5
C2	2	6	7	0	6
C3	1	7	10,5	0	7
C4	9	10,37	10,5	9	10,37
C5	6	8,75	3,5	12,5	8,75
V1	10	12	15	11	12
V2	11	10,25	10	6	10,25
T	-	-	-	-	0

Tous les échantillons ont germé sauf celui du témoin qui n'est composé que de terreau. Suivant la hauteur des tiges pour les composts, c'est le C4 qui a donné le meilleur résultat. Pour le vermicompost, c'est V1 qui a donné le meilleur résultat. Les résultats du test confirment que les vermicomposts sont de meilleures qualités que les composts.

Conclusion

Nous avons utilisé plusieurs types de substrats et de co-substrats pour le processus de compostage et suivi l'évolution des paramètres physico-chimiques tout au long. Au bout de 35jours, nous avons obtenu des produits répondant aux qualités d'un compost. Les caractéristiques physico-chimiques des composts murs montrent que certains composts sont plus stables par rapport aux autres et si on devait faire un classement, le C5 est le meilleur à travers son aspect physique et physicochimique. Les vermicompostages ont duré 27jours et ont conduit à des produits très stables et prêts à l'emploi. Les composts ont des matières organiques plus élevés que les vermicomposts ce qui confirme la rapidité du processus de vermicompostage.

Conclusion générale

La gestion des déchets par leur mise en décharge a un impact négatif sur l'environnement, à l'instar des odeurs malodorantes, ils produisent également des gaz à effet de serre ; c'est une méthode qui doit être abandonnée au profit des méthodes plus respectueuses de l'environnement à travers leur valorisation.

Cette étude est basée sur deux méthodes de valorisation des déchets à savoir le compostage et le vermicompostage de plusieurs types de déchets afin de déterminer la meilleure efficacité. Le compostage est un processus de dégradation des biodéchets par l'intermédiaire des microorganismes conduisant à un produit stable et bénéfique pour le sol. Le vermicompostage tout comme le compostage est processus de dégradation de la MO sous l'action conjointe de microorganismes et de vers de terre appelés : Lombrics. Les deux processus ont duré respectivement 35 et 27 jours au cours desquels nous avons suivi l'évolution des processus à travers les paramètres physicochimiques et nous avons obtenu des produits de couleurs brun et noirs et inodores.

Les températures des cinq tas de compost varient de 20 à 30 au début du processus pour atteindre 26 à 28°C à la fin. Les températures maximales atteintes varient de 40 à 66,1°C, le C5 est celui qui a enregistré la grande montée de température. Nous avons veillé à maintenir la température des vermicomposts entre 15 et 30°C comme l'indique le guide de lombricompostage.

Le pH des composts du début étaient acides (4,08 à 6,68) mais après un retournement, nous avons observé une montée significative des pH allant de 6,45 à 8,09 ; on observe une augmentation progressive pour devenir basique à la fin (9) pour C1, C2 et C3. On assiste à une légère alcalinisation suivie par une stabilisation au cours de la dernière semaine avec une valeur de pH de 7,17 et 7,7 pour C4 et C5. Le pH initial des vermicomposts est légèrement acide (6,25 et 6,98) contrairement aux pH finaux qui varient de 7,02 à 7,48.

L'humidité des tas C1, C2 et C3 excédaient 80% au début du processus dû à leur composition mais finissent par diminuer au fur et à mesure pour atteindre 18 à 20% à la fin. Celui de C4 et C5 variait de 55 à 64% et diminue jusqu'à atteindre 21%. On a observé une légère augmentation de l'humidité des tas suite la pluie et l'arrosage. Celui des vermicomposts étaient maintenu entre 70 et 80%.

Les résultats de la MO prouvent que les tas C1, C2, C3 et C4 ne se sont pas suffisamment dégradés par manque de temps contrairement au C5 et aux vermicomposts.

Les essais de germination ont donné de bons résultats conclus par rapport à la longueur des tiges sur le sorgho, ils sont comparables aux terreaux qu'on trouve sur le marché ; nos produits ne présentent donc pas de phytotoxicité.

Malheureusement nous n'avons pas pu faire l'analyse des éléments nutritifs et de métaux lourds car le temps était restreint. Néanmoins, les résultats obtenus nous permettent d'avoir une idée sur la qualité des composts et des vermicomposts.

On peut donc en conclure que le vermicompostage est le plus efficace en termes de qualité, de rapidité et d'espace mais nécessite plus de surveillance contrairement au compostage. Nos résultats nous permettent d'en déduire que ces deux méthodes de valorisation des déchets permettent de réduire considérablement les pollutions liées à ces déchets mais aussi de faire des économies. Ainsi, la multiplication de la filière de compostage dans la gestion des déchets devrait être prise en compte par les autorités algériennes.

Références bibliographiques

Aboulam, S. (2005). Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tricompostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière (ENSAT, Ed.). Toulouse: Thèse de Doctorat

ADEME, (1993). Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, France. Méthode de caractérisation 434 des ordures ménagères, MODECOMTM – Manuel de base – édité par ADEME Centre 435 Angers, Septembre 1993 - Réf 1601 - Coll., « Connaître pour agir », vol 64.

ADEME, 2008. Guide pratique sur le compostage. ADEME édition, Paris, 20 pages

ADEME. (2015). Le compostage : ce qu'il faut retenir (Vol. 2015)

Aloueimine. S«Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision », Thèse de doctorat n° 012 (2006), Université de Limoges.

ANDI, 2013 «Agence Nationale de Développement de l'Investissement»

Anonyme, (2022). Agronomie et valorisation agricole des déchets organiques. www.dekra-industrials.fr

Arab A., Adjoudj H. (2018). Caractérisation et valorisation de la boue de station d'épuration des eaux usées de la ville de Bouira. Mémoire. Université Bouira. 25p

BELDI Nora. (2018). Etude d'un compost issu d'une biomasse végétale. Mémoire ingénieur. Université de Blida. 3p

Bensaid O. 2020. Effet de compost de déchets de palmier dattier sur le développement de la culture de tomate. Mémoire ingénieur. Université Adrar. 2p

Bertoldi, M. de, and Vallini, P.A. «The biology of composting: A review», Waste Management Research, 1, (1983), pages 157–176

BICABA L. (2017). Evaluation des paramètres physico-chimiques des composts à base des résidus de mangue dans le village de samagan, Bobo Dioulasso (Burkina Faso). Mémoire ingénieur. UNIVERSITE NAZI BONI

Bouhadiba B. « Gestion des résidus solides urbains : application du protocole de la haut-normative à la wilaya d'Oran, Algérie: approche conceptuel et méthodologique », Thèse de doctorat d'Oran (2014)

Brahim, D. (2013). La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité. Sciences de l'environnement. Université de Rouen, 2012. Français. 16pages

CEFREPADE. (2012). Compostage des déchets ménagers dans les pays en développement : Modalités de mise en place et de suivi d'installations décentralisées pérennes. Version d'août. 57 P.

Chaher N., Mehrez C. et al (2020). Potential of windrow food and green waste composting in Tunisia. Environmental Science and Pollution. Research <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10264-7>

Cooperband, L.R. «Composting: art and science of organic waste conversion to a valuable soil resource», Laboratory Medicine, 31, 283–289, (2000).

Debril, J. (2005). Gestion des déchets de Jussie par le compostage.

FAO. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Documents de Travail Sur Les Terres et Les Eaux - FAO, 1–48. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/008/y5104f/y5104f05.htm>

Francou, C. 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage – Recherche d'indicateurs pertinents, Thèse de Doctorat, Institut national agronomique Paris- Grignon,

Godden, B. 1986. "Les tests enzymatiques et chimiques de maturité des composts." Compost Information 22: 20-24

Grand A., Michel V. Compost : avantages et inconvénients

Grattepanche, N. (2005). Le lombricompostage : principe et applications Bibliographie. Echo-MO, (55), 3–6.

Graves, R. E., Hattemer, G. (2000). Chapter 2 Composting. In USDA (Ed.), National Engineering Handbook (p. 88).

Hanafi B. ; Benaoula H.2019. Etude Et Evaluation Des Différents Matières Organiques par compostage. Mémoire ingénieur. Université Mostaganam. 51p

He Y, Inamori Y, Mizuochi M, Kong H, Iwami N, Sun T. 2000. Measurements of N₂O and CH₄ from aerated composting of food waste. *Sci. Total Environ.*, 254(1): 65-74. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00439-3

<https://best4soil.eu/videos/7/fr>

<https://paca.chambres-agriculture.fr>

Jemali B., Soudi B. and Lhadi, E. K. (1996). Contrôle des paramètres du compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de Rabat-Salé. *Actes Inst. Agron. Vet.*, 16(2), 43–50

Kherbache H., Talbi L. (2017). Valorisation par compostage des résidus solides urbains commune de Beni-Mered. Mémoire. Université de Blida. 20-46

Lingui G. (2019). Vermicompostage : Une alternative durable de valorisation des déchets organiques ménagers en maraîchage périurbain à Yaoundé (Cameroun). Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT). <http://hdl.handle.net/2268.2/8344>

Lores, M.; Gómez-Brandón, M.; Pérez-Díaz, D. & Domínguez, J. (2006). Using FAME profiles for the Characterization of Animal Wastes and Vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 38

Michaud L. 2007. Tout sur le compost : le connaître, le faire, l'acheter et l'utiliser Éd Multi Mondes.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. (2012). Normes de qualité du compost en Ontario. Direction des politiques de gestion des déchets. 12-13

MISRA R.V., ROY R.N. et HIRAOKA H. 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, Rome, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. 51p

Misseraoui M., Laref A. (2021) Valorisation des déchets végétaux et des déchets de restauration par compostage et lombricompostage. Mémoire. Université de Blida. 19-55

Mouton R. Etude de faisabilité sur le compostage des grignons d'olives. Valeurs moyennes issues de 20 analyses de grignons deux phases

Munroe, G. (Centre d'agriculture biologique du C. (2004). Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme. Agri-Réseau (CRAAQ), 37. Retrieved from <https://www.agrireseau.net/documents/96310/guide-du-lombricompostage-et-de-la-lombricultureala-ferme>

MUSTIN M. (1987). Le Compost, gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc, Paris : 954.

N. Zaim , S. Souabi, A.Aboulhassan , S.Aboulam , B. Morvan. (2007). Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec des déchets de jardin. Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement. FST Mohammedia, Maroc. Cemagref. Rennes, France. 1-6

N'guessan N., Louise B., Annemarijn N. (2021). Gestion des déchets organiques en Algérie Analyse sectorielle et opportunités d'affaires. Étude commandée par Agence Néerlandaise pour les Entreprises (RVO). 9-10.

OUMEDDOUR R., NIGRI S., DJEROUROU A., SELAIMIA R., KHRIBECHE A., OUMEDDOUR A. (2010). Label de qualité de l'huile d'olive d'Algérie. Normes et qualité des produits alimentaires. Rapport d'activité détaillé. Université de Guelma. 3p

Peigne, J., Girardin, P., 2001. Compostage et environnement. d'ABioDoc et du CETAB+

RAMDANI N.2015. Transformation de la matière organique au cours du co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Approche expérimentale pour une production durable de compost. Thèse de doctorat : Chimie. Oran : Université d'Ahmed Ben Bella.29p

Román, P., et al. (2015). "Farmer's compost handbook." Experiences in Latin America. Santiago: FAO.

Rostami, R. (2011). Vermicomposting. *Integrated Waste Management*, II(1), 13. <https://doi.org/10.2307/3964883>

Saghi H., Bay M. (2021) et al Physico manure chicken and sludge sewage with mixed residue. (Agriculture in Waste Organic of Recycling of Journal I4-175: 10

Toundou, O. (2016) Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicon esculentum*

L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Sciences de la Terre. Université de Limoges ; Université de Lomé (Togo), Français.

Weill A., Duval J. (2009). Les amendements organiques : fumiers et composts. Equiterre. 7p

Yefsah F. (2017). Contribution au traitement des déchets ménagers par le compostage. Mémoire ingénieur. Université TIZI-OUZOU. 22-39

ZNAÏDI I., 2002- Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Master of science degree mediterranean organic agriculture

Sites web

<http://www.siredom.com>

www.sietrem.fr