

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 GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie de l'environnement

Intitulé du mémoire

**Valorisation des déchets végétaux et des déchets de
restauration par compostage et lombricompostage**

Présenté par :

MISSERAOUI Mohamed Amine
LAREF Abdelmadjid

Encadré par :

Dr. Mme ALLEL N.
Pr. Mr NACEUR M.W.

Année universitaire 2020/2021

REMERCEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu DIEU le tout puissant de nous avoir donné courage et santé pour achever ce travail.

Un grand remerciement à nos encadrateurs Mme ALLEL N. et Mr NACEUR M.W. pour leurs valeureux conseils et leurs orientations qui ont beaucoup enrichi ce travail.

Que nos vifs remerciements aillent à Mme ZEDDAM qui nous fait l'honneur de présider l'honorable jury, et Mr CHANANE, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons aussi à remercier Mme KHERBACH H. pour son aide et son accueil à la CET de BNI MERED BLIDA.

Nous remercions Mme F. HARRAR, ingénieur au laboratoire de matériaux, pour la mise à notre disposition des moyens et du matériel nécessaires pour faire les analyses du compost.

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous les enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

-Mes très chers parents, dont ce travail constitue une légère compensation pour tous leurs nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation. Que Dieu les protège et les Gardent en bonne santé ;

-Mes chers frères : KHIRO, MOHAMED ET RAHIMO

-Toute la famille LAREF et KAHAL

-Mes amis(es) d'hier, d'aujourd'hui

-Tous mes enseignants

*-La promotion 2020-2021 de génie de l'environnement,
département de génie des procédés, Faculté de technologie,
Université SAAD DAHLEB BLIDA*

MADJID

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

MES TRÈS CHERS PARENTS, dont ce travail constitue une compensation pour tous leur Nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation que dieu les protège et les garde en bonne santé

MES ADORABLES SŒURS

Ma ***GRANDE MÈRE*** et mon oncle ***YUSEF***

Toute la famille ***MISSERAOUI*** et ***AMRI***

Tous mes amis ***FARES, ZOHIR, IMADE, OUSSAMA, ADEL, MOUNA***

Tous mes collègues : ***MED REDA, MADJID, MERIEM NARDJES ALDJIA, RAZIKA, SAWSEN***

Tous mes collègues de la promotion ***M2 G.P.E 2020/2021***

Tout le département de ***GENIE DES PROCEDES***

Tous ceux qui m'ont aidé

MED AMINE

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Composition moyenne des DMA- 4 saisons Algérie 2018/2019.....	04
Figure I.2. : Processus de compostage.....	08
Figure I.3 : Courbe de l'évolution de la température au cours du compostage.....	10
Figure I.4: andains dans l'exploitation agricole.....	15
Figure I.5: Schéma d'un andain statique aéré.....	16
Figure I.6: schéma d'un système de compostage en lits rectangulaires remués	17
Figure I.7 : Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost	21
Figure I.8 Lombricomposteur(Bac).....	25
Figure I.9. Lombricompostage en andain.....	25
Figure I.10. Lits de lombricompostage.....	26
Figure I.11. Les vers appropriés pour le lombricompostage.....	31
Figure II. 1: le site d'expérimentation EPWG CET-benimered- Blida.....	33
FigureII.2 : Diagramme climatique de Blida.....	34
Figure II.3 : Courbe des Valeurs moyennes mensuelles des températures de Blida.....	34
Figure II.4 : Les bacs de compostage (lombricomposteur).....	35
Figure II.5: Pelle et râteau	36
Figure II.6 : mini truck	36
Figure II. 7: Broyeur	36
Figure II. 8 : bidon d'arrosage.....	36
Figure II.9 : Collecte des déchets de restauration.....	37
Figure II.10 : Le tri manuel des déchets.....	38
Figure II.11 : déchets verts avant et après le broyage.....	38
Figure II.12 : la mise en place d'andain.....	39
Figure II.13 : L'arrosage de l'andain.....	39
Figure II.14 : Le retournement d'andain.....	40
Figure II.15 : Le criblage du compost (refus).....	40
Figure II.16 : Le criblage du compost (tamisat).....	40

Figure II.17 : stockage du compost mature.....	41
Figure II.18 : méthode d'installation des bacs du lombricompostage.....	41
Figure II.19 : l'installation des vers dans le Lombricomposteur.....	42
Figure II.20 : Installation de la nourriture des vers.....	42
Figure II.21 : Ajout d'épluchures de légumes	43
Figure II.22 : Ajout du papier carton ou marc de café.....	43.
Figure II.23: La méthode de la récolte.....	44
Figure II.24 : Méthode d'utilisation de lombricompost et lombrithé	44.
Figure II.25 : Mesure de température de vermicompost (à gauche) et andain (à droite).....	45
Figure II.26 : Mesure de l'humidité par méthode de poignée	46
Figure. II.27. Test de germination.....	49.
Figure III.1: Evolution de la température au cours du compostage.....	51
Figure III.2: Evolution de la température journalière au cours du compostage.....	52
Figure III.3 : Evolution du pH au cours du compostage.....	53
Figure III.4 : Evolution du l'humidité au cours du compostage.....	54
Figure III.5: Evolution de la matière organique au cours de compostage.....	55
Figure III.6 : Analyse de l'effet sur les plantes	57
Figure III .7 : test de germination de lombricompost.....	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Différentes formes que peut prendre un déchet en fonction de son origine.....	05
Tableau I.2 : Composition moyenne des boues urbaines fraîches en Europe.....	06.
Tableau .I.3 : Température et durée d'exposition nécessaire à la destruction de pathogènes.....	12
Tableau .I.4 : Caractéristiques de quelque espèce de vers de terre appropriées pour le lombricompostage.....	48
Tableau III.1 : évolution du poids au cours de compostage.....	50
Tableau III.2 : Evolution de température.....	51
Tableau III.3: Evolution de la température journalière.....	51
Tableau III.4 : Evolution de pH.....	52
Tableau III.5 : Evolution de l'humidité.....	53
Tableau III.6 : Evolution de la matière organique au cours de compostage.....	55
Tableau III.7 : Définition des classes de maturité des composts à partir de la production du carbone organique total après trois mois de compostage.....	56
Tableau III.8 : Les résultats finaux des éléments nutritifs du compost.....	56
Tableau III.9 : Effet sur les plantes de différentes proportions de compost.....	57
 Tableau III. 10 : Evolution du poids de lombricompost au cours du lombricompostage.....	 58
Tableau III.11 : Résultats finaux des paramètres de lombricompost.....	59
Tableau III .12 : Les résultats finaux des éléments nutritifs du lombricompost... ..	59
Tableau III.13 : Effet sur les plantes de différentes proportions de lombricompost	60
 Tableau III.14 : Comparaison entre le dimensionnement d'une plate forme de compostage et de lombricompostage.....	 61.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

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

CET : Centre d'Enfouissement Technique

DMA : Déchets ménagers et assimilés.

M.B : matière brute.

M.O : Matière Organique.

MS : Matière sèche.

RESUME

L'objectif de notre travail est de traiter des déchets organiques afin d'obtenir un compost en une courte durée. Pour cela, nous avons mélangé des déchets de restauration avec des déchets verts et nous avons effectué un suivi de deux processus de compostage :

Un compostage en andain a été réalisé pendant une durée de 10 semaines et un lombricompostage pendant 6 semaines. La qualité des deux composts a été évaluée par l'analyse des paramètres suivants : L'humidité, le pH, la teneur en matière organique, la teneur en carbone organique, calcium, magnésium, phosphore (P_2O_5), potassium (K_2O) et le test de germination.

Pour le lombricompost, un pH de 7.3 a été atteint après 6 semaines et pour le compost, il a atteint 7,7 ; le compost obtenu a une fraction fine ≤ 2 mm. Les deux composts contiennent des teneurs acceptables en carbone, en matière organique, en phosphore, en Potassium, en calcium et en magnésium avec une humidité suivant les normes internationales. Le test de germination a montré que le compost produit présente une bonne croissance des plantes pour les deux processus.

Mots clés : Déchets végétaux –Déchets de restauration –Compostage-Vermicompostage

Summary

The objective of our work is to treat organic waste in order to obtain compost in a short time. For that, we mixed food waste with green waste and we followed two composting processes:

Windrow composting was performed for duration of 10 weeks and earth warm composting for 6 weeks. The quality of both composts was evaluated by analyzing the following parameters: Moisture, pH, organic matter content, organic carbon content, calcium, magnesium, phosphorus (P_2O_5), potassium (K_2O) and germination test.

For the vermicompost, a pH of 7.3 was extinguished after 6 weeks and for the compost, it reached 7.7; the obtained compost has a fine fraction ≤ 2 mm. Both composts contain acceptable contents of carbon, organic matter, phosphorus, Potassium, calcium and magnesium with moisture according to international standards. The germination test showed that the compost produced has good plant growth for both processes.

Key Word : Vegetable waste -Food waste -Composting-earth warm composting

ملخص

بذلك ، قمنا بخطط الهدف من عملنا هو معالجة النفايات العضوية من أجل الحصول على السماد في وقت قصير. وللقيام نفايات المطاعم مع نفايات خضراء وتابعنا عمليتنا التسميد :

وقد نُفذت عملية تسميد ويندر لمدة 10 أسابيع والتسميد بواسطة دودة الأرض لمدة 6 أسابيع. وقد تم تقييم نوعية المركبين من خلال تحليل المعطيات التالية: الرطوبة ، درجة الحموضة ومحتوى المادة العضوية ، ومحتوى الكربون ، واختبار الجراثيم (K_2O) ، والبوتاسيوم (P_2O_5) العضوي ، والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، والفوسفور ، أما بالنسبة للومبريكومبوست ، بلغت درجة الحموضة 7.3 بعد 6 أسابيع ، أما بالنسبة للسماد فقد وصل إلى 7.7 ؛ السماد المتحصل عليه لديه جزء دقيق من 2 ملم. الـ

ويحتوي كلا المركبين على مستويات مقبولة من الكربون والمواد العضوية والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم مع وجود رطوبة وفقا للمعايير الدولية. أظهر اختبار الجراثيم أن السماد الناتج يظهر نمو نباتي جيد لكلتا العمليتين.

الكلمات المفتاحية: النفايات الخضراء -نفايات المطاعم- التسميد – تسميد دودة الأرض

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction.....	1

Chapitre I Synthèse bibliographique

I. Généralités sur les déchets organiques

I.1. Définition des déchets.....	03
I.2 Déchets organiques (fermentescibles).....	03
I.3. Principaux déchets concernés par le compostage	03
I.3.1. Déchets agricoles et agro-alimentaires.....	03
I.3.2. Déchets ménagers et assimilés.....	04
I.3.3. Déchets verts.....	05
I.3.4. Boues de stations d'épuration des eaux usées municipales	05
I.4. Impact des déchets sur l'environnement	06

II. Présentation générale du compostage

II.1. Définition du compostage.....	07
II.2. Objectives du compostage.....	08
II.3. Les quatre phases du compostage.....	08
II.4. Les paramètres influençant le compostage.....	10
II.4.1. Les paramètres biologiques.....	10
II.4.2. Paramètres physico-chimiques.....	11
II.4.2.1 Teneur en eau.....	11
II.4.2.2. pH.....	11
II.4.2.3. Température	12
II.4.2.4. Rapport carbone/azote.....	13
II.4.2.5. Apport en oxygène	13
II.4.2.6. Maturité et stabilité du compost.....	13
II.5. Les différents procédés de compostage.....	14

II .5.1 Le compostage en andains.....	14
II .5.1.1. Andains retournés.....	14
II .5.1.2 Andins aérés passivement	15
II .5.2 Tas statique aéré.....	15
II .5.3 Le compostage en récipient clos.....	16
II .5.3.1. Compostage en casier.....	16
II .5.3.2 Lits rectangulaires remués.....	16
II.5.4. Silos.....	17
II.6. Micro-organismes.....	18
II.7. Qualité du compost.....	18
II. 7.1 Composition du compost.....	18
II .7.2.Maturité d'un compost.....	19
II .7.3 Avantages du compost.....	19
II .7.3.1. Amélioration de la croissance de végétaux et racines.....	20
II .7.3.2. Amélioration du rythme de diffusion des nutriments.....	20
II .7.3.3. Amélioration de la porosité du sol.....	20
II .7.3.4. Amélioration de la capacité de rétention d'eau.....	20
II .7.3.5. Elimination des maladies chez les végétaux.....	20
II .7.3.6. Amélioration de la structure.....	21
II .7.3.7. Effet sur les caractéristiques physico-chimiques du sol.....	22
II .8. Utilisation du compost.....	22
II .8.1 Arboriculture et viticulture.....	22
II .8.2. Plantes d'intérieur.....	22
II .8.3.L'utilisation des composts pour la culture en pot.....	23
II .9.La valorisation environnementale.....	23
III. Généralités sur le lombricompostage	
III.1.1. Définition du lombricompostage.....	23
III.1.2. Processus de lombricompostage.....	23
III.1.3 Systèmes de lombricompostage.....	24
III.1.3.1 Lombricompostage en bac ou en silos.....	24
III.1.3.2Lombricompostage en andain.....	25

III.1.3.3Lombricompostage en lit.....	26
III.1.4.Paramètres influençant le lombricompostage.....	27
III.1.4.1 Température.....	27
III.1.4.2 Humidité.....	27
III.1.4.3 pH.....	28
III.1.4.4. Aération.....	28
III.1.4.5. Rapport C/N.....	28
III.1.5. Qualité du lombricompost.....	29
III.1.6. Stabilité et maturité du lombricompost.....	29
III.1.6.1. Indicateurs physiques et chimiques de maturité du lombricompost.....	29
III.1.6.2. Indicateurs biologiques.....	30
III.1.7.L'intérêt agronomique du lombricompost.....	30
III.2. Rôle et types de vers appropriés pour le lombricompostage.....	31
III.2.1. Rôle des vers de terre.....	31
III.2.2. Vers de terre appropriées pour le lombricompostage.....	31

Chapitre II

Partie expérimentale

II.1. Présentation du site d'étude.....	33
II.1.2. Situation climatique	34
II.2. Etapes de confection du compost	35
II.3.Protocole expérimental	35
II .3.1. Compostage en andain	35
II.3.3. Matériel utilisé	36
II.4.Méthodologie	37
II.4.1. Compostage en andain.....	37
II.4.1.Préparation de la matière à composter	37
II.4.1.2. Suivi de compost.....	39
II.4.2. Lombricompostage.....	41
II.4.2.1. Préparation de vermicomposteur.....	41
II.4.2.2.L'entretien du vermicomposteur.....	43
II.5. Méthodes d'analyse	45

II.5.1.Observation sur site	45
II .5.2.Analyses au laboratoire.....	46
II .5.2.1.Mesure de l’humidité (matière sèche, teneur en eau)	46
II .5.2.2.Détermination du pH :.....	46
II.5.2. 3. Détermination de la teneur en matières organiques (M.O).....	47
II.5.2. 4. Analyse des éléments nutritifs (compostmûr)par la technique XRF.....	48
II.5.3.2. Analyse de l’effet sur les plantes.....	48

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1.Compostage en andain	50
III.1.1. Caractéristiques du compost obtenu.....	50
III.1.2. Aspects physiques et chimiques	51
III.1.2.1. Evolution de la température	51
III.1.2.2. Evolution du pH	52
III.1.2.3.Humidité.....	53
III.1.2.4.Matière organique	55
III.1.3. Aspect agronomique.....	56
III.1.3.1. Analyse des éléments nutritifs (compost mur).....	56
III.1.3. 2. Analyse de l’effet sur les plantes	57
III.2. Lombricompostage	58
III.2.1. Caractéristiques du compost obtenu	58
III.2.2.Évolution des paramètres du vermicompostage.....	58
III.2.3. Aspect agronomique.....	59
III.2.3.1.Analyse des éléments nutritifs (compost mûr).....	59
III.2.3.2. Analyse de l’effet sur les plantes	60
III.3.Comparaison entre compostage et lombricompostage.....	61

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Les déchets sont apparus depuis l'existence de la vie sur terre. L'explosion démographique de la population, l'augmentation de la production, de la consommation et le changement du mode de vie sont la cause principale de la multiplication de la quantité, de la qualité et de la nocivité des déchets. Ces déchets sont de catégories différentes : ménagers, hospitaliers, industriels et nucléaires ainsi que les déchets agricoles et de restauration [1].

Les biodéchets sont définis comme étant des déchets biodégradables de jardin ou déchets alimentaires issus des ménages, des traiteurs et des restaurants, ces derniers produisent des tonnes de biodéchets chaque année. Une bonne gestion et valorisation des aliments non consommés, des restes de préparation de cuisine et autres sources de biodéchets en restauration permettent donc de diminuer la quantité de déchets produite. Ce qui permet de réduire l'impact environnemental ainsi que le coût financier de la prise en charge des déchets.

L'Algérie vit une intensification de la pollution et une prolifération des déchets urbains et industriels, ceci est dû à la croissance et à l'évolution des déchets, à l'absence d'une politique rigoureuse de leur gestion et au manque d'installations de traitement des déchets solides et des collecteurs [2]. La quantité de déchets produite annuellement est estimée à 8,5 millions de tonnes, alors qu'un algérien en zone urbanisée, génère quotidiennement environ 0,7 kg de déchets. Ces chiffres sont alarmants au vu de la gestion actuelle des déchets [3].

La mauvaise gestion des déchets organiques trouve son origine non seulement dans le manque des poubelles et des décharges publiques mais aussi dans le comportement irresponsable des citoyens. Le compostage de ces déchets solides ménagers pourrait constituer une voie de réduction des nuisances. La valorisation des déchets par compostage peut constituer la solution la plus durable. Parmi les démarches et les procédés de résolution de cette équation, le traitement des déchets par compostage reste le seul système de gestion « producteur » d'environnement intégrant les diverses rationalités. Cette dimension explique la présence d'un pôle de « compostage, valorisation des déchets, amendement organique ». Selon [4], le but du compostage est de faire un produit de qualité qui participe au retour au sol de la matière organique et des éléments qui lui sont associés. La qualité du compost sera liée aux matières premières utilisées et à la manière dont le processus sera mené.

La question à laquelle va répondre cette étude est fondée sur les problèmes majeurs liés à la gestion des déchets organiques. La pratique du compostage et du lombricompostage (en utilisant des lombrics) des déchets organiques comme moyen de recyclage des déchets biodégradables serait-il une solution pour gérer les déchets ménagers dans notre région?

L'objectif de notre travail est le traitement des bio-déchets de cuisine par une technique connue qui est le compostage ainsi qu'une technique récemment utilisée, appelée le lombricompostage. Nous avons pu tester le mode de compostage en andain, du lombricompostage en bacs, suivre les deux processus et évaluer la qualité du produit dans les deux cas.

Ce mémoire comprend trois chapitres principaux :

- La première partie est une synthèse bibliographique qui donne des généralités sur les déchets, une présentation du compostage et du lombricompostage.
- La deuxième partie représente tout ce qui est expérimental : matériel utilisé, protocole expérimental.
- La troisième partie est consacrée aux résultats et leur discussion.

Le mémoire se termine par une conclusion générale.

Chapitre I
Synthèse bibliographique

I. Généralités sur les déchets organiques

I.1.Définition des déchets

D'après la loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, on entend par déchet : tout résidu 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 se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

I.2 Déchets organiques (fermentescibles):

Ce sont les résidus d'origine végétale ou animale qui peuvent être dégradés par les micro-organismes pour lesquels ils représentent une source d'alimentation .Ils incluent : les végétaux, les déchets putrescibles de la cuisine et ceux collectés auprès des cantines et restaurants d'entreprises, les papiers et cartons souillés sous certaines conditions [4]. Ces déchets sont destinés au traitement biologique par compostage.

I.3.Principaux déchets concernés par le compostage

I.3.1. Déchets agricoles et agro-alimentaires:

Les déchets agricoles correspondent aux déchets associés au niveau primaire de production agricole. L'agriculture s'affiche comme le premier secteur économique producteur de déchets. Les fumiers, les lisiers et autres déchets d'élevage [5]. Ils peuvent être classés selon leur origine :

- Origine animale :

- Déchets d'élevage (déjections animales, ...),
- Déchets des abattoirs, de l'équarrissage et des autres industries de la viande,
- Déchets des industries de conserverie,

- Déchets des industries de la pêche,
- Déchets de laiteries et de fromageries.
- **Origine végétale :** (déchets pauvres en azote)
- Résidus de culture,
- Déchets des industries agro-alimentaires (IAA : conserveries, brasseries, etc.),
- Déchets de l'aquaculture.

I.3.2. Déchets ménagers et assimilés

Les déchets ménagers sont des déchets issus de l'activité domestique des ménages et pris en compte par les collectes usuelles ou séparatives et représentent la fraction la plus importante parmi les déchets solides générés en Algérie. On estime leur quantité pour 2018 à plus de 13,1 Millions de tonnes. Ce chiffre s'appuie sur une démographie de 2018 estimée à 42,2 Millions d'habitants [6].

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.

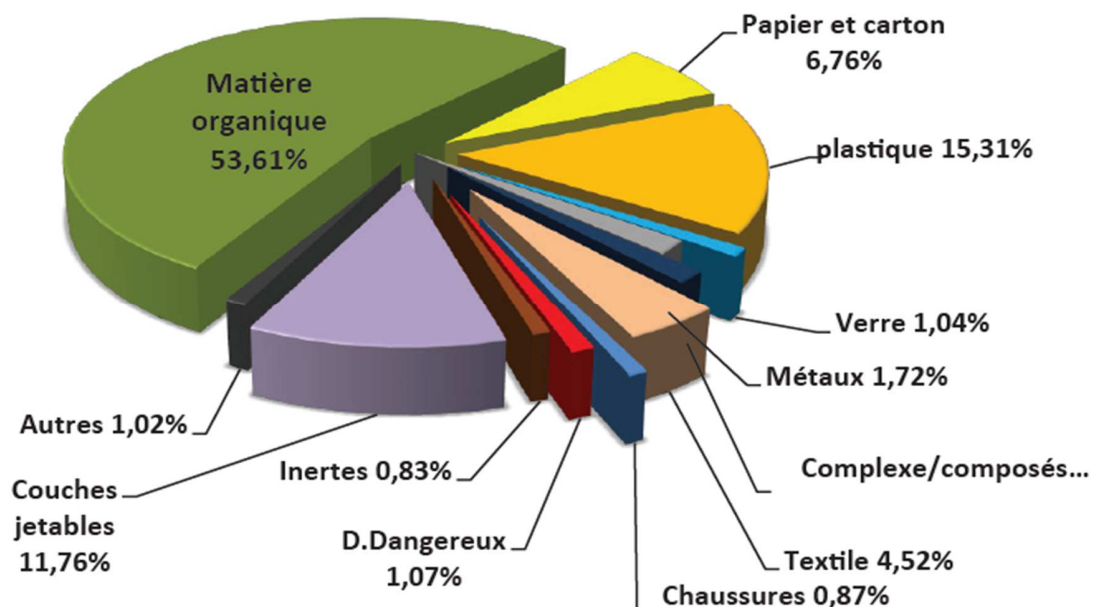


Figure I.1 : Composition moyenne des DMA- 4 saisons Algérie 2018/2019

I.3.3. Déchets verts

Les déchets verts sont des déchets organiques issus de l'entretien des espaces verts, des jardins privés, des serres, des terrains de sports... On désigne par déchets verts les feuilles mortes, les tontes de gazon, les tailles de haies, d'arbustes, les résidus d'élagage, les déchets d'entretien de massifs, les déchets de jardins des particuliers collectés séparément ou par le biais des déchetteries [5].

Tableau I.1 : Différentes formes que peut prendre un déchet en fonction de son origine [7].

Activité provisionnelle	Type de déchets
Entretien des espaces verts et des jardins	Tontes, coupes et tailles de haies ou d'arbustes, branche et branchages de différentes épaisseurs. Ces déchets sont générés par les services municipaux ou par les entreprises spécialisées dans la gestion des espaces verts intervenant auprès des communes, des établissements publics et privés ou des particuliers
Abattage d'arbres	Racines, troncs, branches et feuilles. La partie ligneuse appartient plutôt à la catégorie <<déchets de bois >>

I.3.4. Boues de stations d'épuration des eaux usées municipales :

Les stations d'épuration (« STEP ») assurent le traitement des eaux usées collectées par le réseau d'assainissement auquel sont raccordés les particuliers, les établissements de la collectivité, les artisans et les entreprises. Elles produisent de l'eau épurée, dont le rejet dans le milieu naturel est autorisé, et des boues [5].

Les boues de STEP sont constituées de matières organiques et minérales, la composition moyenne est donnée dans le Tableau suivant.

Tableau I.2 : Composition moyenne des boues urbaines fraîches en Europe (d'après [8]).

Matière organique % des MS	
Total	55-75
Protéines	30
Lipides	13
Glucides	33
Composés hydrocarbonés non fibreux 24	
Carbone	45-50%
Hydrogène	8%
Oxygène	33%
Azote	3-6%
Phosphore	3-8%
Potassium	0,5-1,5%
Rapport C/N	5-10

I.4. Impact des déchets sur l'environnement

Les stratégies de la gestion des déchets, y compris l'incinération et les décharges, peuvent émettre des produits chimiques toxiques et des gaz à effets de serre qui peuvent être relâchés dans l'atmosphère, le sol et les cours d'eau [9]. Les déchets organiques qui ne sont pas éliminés de façon judicieuse peuvent polluer les cours d'eau potable, comme ils peuvent causer des dégâts sur la flore et la faune.

D'autres types de déchets peuvent prendre des années à se décomposer et leur accumulation dans la nature constitue un grand danger sur le fonctionnement de l'écosystème et les différents cycles de la matière qui le constituent. [9].

II. Présentation générale du compostage

II.1.Définition du compostage

Il existe plusieurs définitions assez voisines du compostage [10].qui permettent de le définir de la manière suivante:

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation« contrôlées» de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie. Des communautés différentes de micro-organismes se succèdent lors du compostage, elles sont constituées majoritairement de bactéries, d'actinomycètes, de champignons (ou Mycètes), de protozoaires ou d'algues [11].

Le processus de compostage démarre donc généralement tout seul. Il reproduit en accéléré les étapes de transformation des résidus végétaux en humus dans un sol ,«composter correspond donc essentiellement à la production des substances humiques stables dans le produit final et à un recyclage d'une matière organique dont le trajet naturel a été modifié » [4].

Suivant leurs origines, les composts peuvent avoir des différences dans leur qualité fertilisante, mais les caractéristiques standards d'un compost proposées dans d'autres travaux [12].sont : un pH dans une marge de 7,0-8,5, une humidité de 35-55 %, une teneur en matière organique supérieure à 25 %, une teneur en azote total (Kjeldahl) de l'ordre de 8,1 Kg/tonne de matière fraîche, en calcium sous forme d'oxyde (CaO 50 Kg/tonne de matière fraîche), en potassium (K_2O 6,7 Kg/tonne de matière fraîche), en phosphore (P_2O_5 3,4 Kg/tonne de matière fraîche), Magnésium (2 Kg/tonne de matière fraîche) et Soufre (1 Kg/tonne de matière fraîche).

Le processus de compostage se réalise en plusieurs phases dont la première est la fermentation: une dégradation rapide de la matière organique fraîche et facilement biodégradable en molécules moins complexes comme les sucres ou les polymères. La seconde phase, la maturation, plus lente correspond à la mise en jeu des processus d'humification.

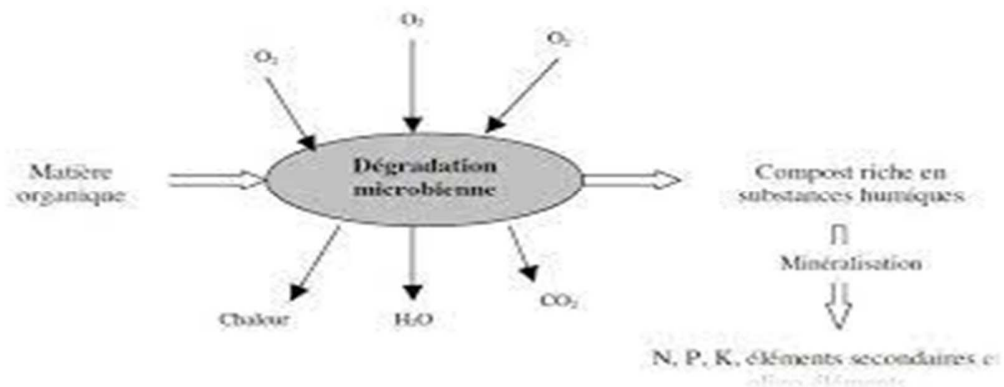


Figure I.2. : Processus de compostage

II.2.Objectives du compostage

Le compostage est une solution simple et pratique pour de nombreux bio-déchets (sauf déchets ultimes) interdits d'être mis en décharge et ne pouvant être incinérés à cause du coût élevé. Cette solution présente de nombreux avantages tels la valorisation des déchets pour la production d'un amendement organique stable; elle concerne tous les types de déchets organiques : les déchets verts, les bio-déchets ménagers, les boues de stations d'épuration collectives ou industrielles, les déchets agroalimentaires et d'élevage.

II.3.Les quatre phases du compostage

Le compostage est accompagné de production de chaleur. Il est largement admis que la chaleur générée au sein du compost est due à l'activité microbienne [13]. Des oxydations chimiques exothermiques peuvent également prendre part à l'échauffement du compost. Mais l'origine abiotique de l'échauffement est considérée négligeable devant l'origine biologique, lorsque les températures n'atteignent pas des valeurs très convenables pour l'activité microbienne dans un domaine dépassant les 80 °C.

L'évolution de la température au sein du compost permet de définir quatre phases au cours du compostage. Ces phases sont largement décrites dans la littérature [14].

La phase mésophile est la phase initiale du compostage. Durant les premiers jours de compostage, la présence de matières organiques facilement biodégradables entraîne une forte activité microbienne générant une forte production de chaleur et une montée rapide de la température au cœur du compost.

Très vite, la température atteint des valeurs de 60 °C jusqu'à 75 °C. Cette phase est appelée **phase thermophile** car seuls les micro-organismes thermorésistants peuvent survivre à ces hautes températures. Au cours de cette phase, une part importante de matière organique est dégradée sous forme de CO₂, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé.

Après la phase thermophile, succède la phase de refroidissement. La diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoque un ralentissement de l'activité microbienne.

Cette phase de refroidissement peut être très progressive ou très rapide en fonction des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost par exemple. Au cours de cette phase, des micro-organismes mésophiles recouvrent à nouveau le compost.

Au cours de la dernière phase appelée **phase de maturation**, les processus d'humification prédominent, ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation des composts [14].

Il faut noter que les deux premières phases qui sont en général des phases de dégradation des matières organiques sont regroupées sous le nom **de fermentation**, il s'agit effectivement du processus de dégradation de la matière organique, il ne s'agit pas au sens strict d'une fermentation, car par définition, le compost doit évoluer en conditions aérobies.

Certains auteurs utilisent le terme de fermentation aérobie dans le milieu du compostage [15]; [16].

Il faut signaler que cette vision des quatre phases du compostage est avant tout une vision théorique qui représente ce qui se passe au cœur du compost. L'évolution de

température au sein d'un compost dépend de la production interne de chaleur et des échanges avec l'extérieur. Un tas de compost est un milieu hétérogène, qui a des surfaces d'échange avec le milieu extérieur, des zones de tassement, et des gradients de température et d'humidité [17]. Pour réduire cette hétérogénéité et favoriser la biodégradation, un travail du compost est souvent réalisé, généralement durant la phase de dégradation : retournement, arrosage et criblage.

Ce travail entraîne fréquemment une reprise de l'activité microbienne, traduite par des remontées de la température

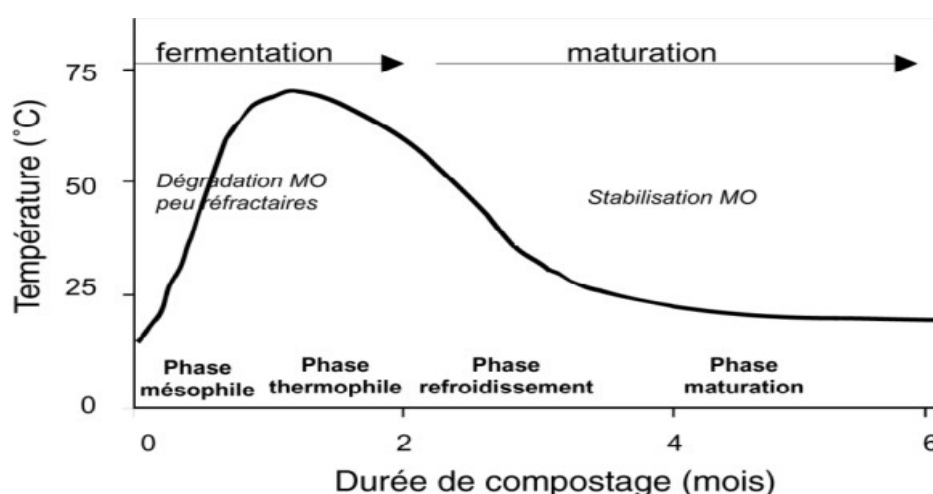


Figure. I.3. Courbe de l'évolution de la température au cours du compostage [14].

II.4. Les paramètres influençant le compostage

II.4.1. Les paramètres biologiques

Les micro-organismes sont les organismes les plus actifs dans le processus de décomposition. Les principaux qui interviennent dans la décomposition de la matière organique sont les bactéries, les champignons et les actinomycètes [18].

Les bactéries sont les premières arrivées dans le tas de compost et font le plus gros du travail [19]; selon [4]. Les bactéries seraient responsables de 80 à 90% de l'activité microbienne lors du compostage actif.

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 [4].

II.4.2. Paramètres physico-chimiques

II. 4.2.1 Teneur en eau

L'eau est indispensable pour la croissance microbienne. Selon [20], 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.

II.4.2.2.pH

Il est généralement vrai de dire que les matières avec une grande gamme de pH (3-11) peuvent être compostées. Cependant, les valeurs optimales sont comprises entre 5,5 et 8. Alors que les bactéries préfèrent un pH presque neutre, les champignons se développent mieux dans un environnement assez acide.

Des valeurs élevées de pH dans les phases initiales du processus, en association avec des grandes températures peuvent entraîner une perte d'azote par volatilisation de l'ammoniac [10].

II .4.2.3. Température

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 ont une température idéale située entre 50 et 70°C [20].

Les températures élevées peuvent être utiles au début du compostage (phase thermophile) dans la lutte contre les agents pathogènes thermosensibles, mais après il est préférable de les réduire à des niveaux qui permettent le développement des eumycètes et des actinomycètes, qui sont les principaux décomposeurs des polymères à longue chaîne telles que la cellulose et la lignine [10].

Tableau .I.3: Température et durée d'exposition nécessaire à la destruction de pathogènes [21].

Type de micro-organisms	Température et durée nécessaire à sa destruction
<i>Ascarislumbricoides</i>	4h à 60°C ou 1h à 65°C
<i>Salomonellaspp</i>	15 - 20 min à 60°C ou 1h à 55°C
<i>Escherichia coli</i>	15 - 20 min à 60°C ou 1h à 55°C
<i>Tania saginata</i>	5 min à 71°C
<i>Shigellaspp</i>	1h à 55°C

II.4.2.4. Rapport carbone/azote

Disposé d'une matière présentant un rapport C/N adéquat au départ est une condition indispensable pour le bon déroulement du processus de compostage. La décomposition est

optimale lorsque le mélange des intrants tend vers un rapport C/N de 30/1. De façon pratique, les bactéries ont besoin de 30g de carbone pour décomposer 1 gramme d'azote

Un C/N initial élevé peut limiter la croissance microbienne par carence d'azote, tandis qu'un C/N initial faible conduit à des pertes par dégazage ammoniacal. Le rapport C/N évolue tout au long de la fermentation, une bonne partie du carbone organique étant transformée en CO₂ [18].

II.4.2.5. Apport en oxygène

Etant donné que le compostage est une oxydation biologique, la disponibilité de l'oxygène pendant le processus est d'une importance primordiale, la teneur de l'oxygène dans l'aire circulaire ne doit pas tomber en dessous de 18%.

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 [10].

II.4.2.6. Maturité et stabilité du compost

La maturation s'effectue à température ambiante, sous les microorganismes mésophiles. La libération de chaleur et la perte de poids restent faibles. On peut déclarer que pendant la phase de maturation, il y a des réactions secondaires de polymérisation et de condensation qui conduisent à la formation de l'humus avec les acides humiques qui sont particulièrement résistants à la dégradation. Le matériau composté arrive à maturité lorsque:

- ✓ Ne pas chauffer davantage après le retournement,
- ✓ Ne pas devenir anaérobie pendant le stockage,
- ✓ Ne pas apporter d'azote au sol après son amendement.

Au cours de cette phase, une partie de l'azote provenant des protéines devient résistante à la dégradation microbienne par son incorporation dans les acides humiques [22].

La stabilité est une étape dans la décomposition de la matière organique et une fonction de l'activité biologique. Elle est fonction du processus et souvent liée à la durée du processus. Plus le compost est stable, plus l'activité biologique est faible ou lente. Dans un produit stable, il y a moins de risques d'odeurs et de réchauffement. Un produit instable, lorsqu'il est appliqué au sol, privera le sol de l'azote qui serait normalement disponible pour les plantes. La maturité est une condition organo-chimique du compost qui indique la présence ou l'absence d'acides organiques phytotoxiques. Elle est également liée au processus.

La plupart des études sur la maturité du compost sont basées sur l'évolution des paramètres physico-chimiques tels que le pH, le rapport C/N, la teneur en matière organique, le taux d'humification, la capacité d'échange cationique (CEC) [23].

II.5. Les différents procédés de compostage

II .5.1 Le compostage en andains

II.5.1.1. Andains retournés

Le compostage en andains consiste à placer un mélange de matières premières dans de longs tas étroits appelés andains, remués ou tournés de façon régulière. Ces andains sont aérés essentiellement par un mouvement naturel de l'air.

La taille de l'andain peut être déterminée par la porosité de matières compostées. Un andain composé de feuilles peut être bien plus grand qu'un andain humide contenant du fumier [23].

De manière générale, les andains ont une hauteur qui varie de 90 cm pour les matières denses telles que le fumier à 360 cm de haut pour les matières légères, volumineuses telles que les feuilles. Leur largeur varie de 300 à 600 cm [20].



Figure I.4 : andains dans l'exploitation agricole.

II .5.1.2 Andins aérés passivement

Le système d'andainage à aération passive suppose l'installation de tuyaux d'aération dans ou sous le tas de compost. , Les matières premières sont habituellement mises en tas sur un lit à base de paille, de tourbe ou de compost prêt à l'emploi afin d'absorber l'humidité et isoler l'andain, et couverte de tourbe ou de compost pour éloigner les mouches et permettre de conserver l'humidité, les odeurs et l'ammoniac, l'air est laissé circuler passivement dans les tuyaux et lit de matériaux qui se trouve sous le tas. Selon [20]. Les andains aérés passivement devraient avoir une hauteur de 90 à 120cm.

II .5.2 Tas statique aéré

Le plus souvent, des tuyaux d'aération sont disposés bout à bout sous toute la longueur de l'andain, ces derniers ainsi que la portion médiane de la base de l'andain sont recouverts d'une matière poreuse comme des copeaux de bois. On forme ensuite l'andain au-dessus du lit d'aération.

Des ventilateurs sont raccordés aux tuyaux de ventilation et l'air est forcé dans l'andain (pression positive) ou aspiré hors du tuyau (pression négative). Lorsque la pression négative est utilisée, des bios filtres peuvent être nécessaires pour retirer les odeurs de l'air d'extraction.

Les andains qui sont aérés doivent être recouverts d'un matériau isolant si l'on veut que la température de la matière s'élève suffisamment en surface et ne sont habituellement pas retournés [20].

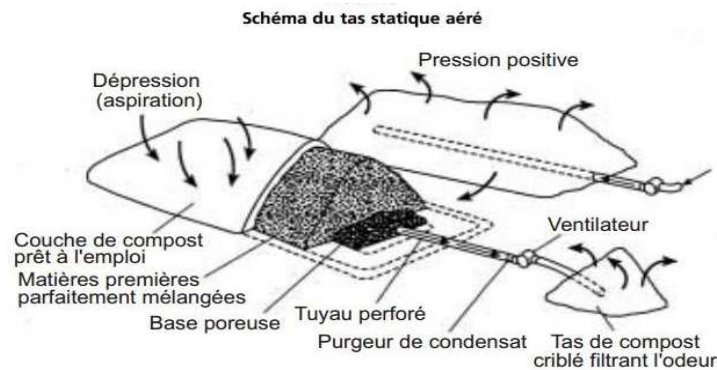


Figure I.5 : Schéma d'un andain statique aéré [20].

II .5.3 Le compostage en récipient clos

II .5.3.1. Compostage en casier

La dégradation s'effectue totalement, ou partiellement, dans des casiers, de volume compris entre 4 et 20 m³. Le produit est changé de casier toutes les semaines pendant 8 semaines. L'aération passive est amenée par des tuyaux.

II .5.3.2 Lits rectangulaires remués

Le compostage a lieu entre des murs qui forment de longs et étroits couloirs appelés lits. Un rail ou une saignée en haut de chaque mur supporte et guide la machine retournant le compost. Les matières premières sont placées par un chargeur à l'extrémité frontale du lit. Au fur et à mesure que la machine retournant les matières avance sur les rails, elle mélange le compost et le repose derrière elle. A chaque retournement, la machine déplace le compost à une distance bien déterminée, en direction de l'extrémité du lit, avec des tuyaux d'aération ou une chambre de diffusion d'air encastré dans le fond du lit.

La longueur d'un lit et la fréquence de retournement déterminent la période de compostage :

- Quand la machine déplace les matières de 3 m à chaque retournement et si le lit est long de 30 m, la période de compostage est de 10 jours avec des retournements quotidiens.

- Celle-ci passe à 20 jours si le retournement ne se fait qu'un jour sur deux. Les périodes de compostage recommandées pour les systèmes commerciaux de lits remués varient de deux à quatre semaines, bien qu'une longue période de maturation puisse être nécessaire par la suite [20].

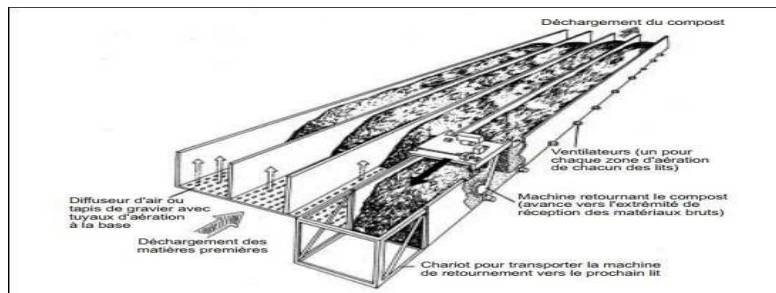


Figure I.6:schéma d'un système de compostage en lits rectangulaires remués

II.5.4. Silos

Une autre technique de compostage en récipient clos ressemble à un silo à déchargement par le bas où se trouve un système d'aération qui souffle de l'air à travers les matières à composter. Cet air évacué peut être recueilli au sommet du silo de façon à traiter les odeurs. Généralement, la durée de compostage est d'environ 14 jours, et 1/ 14^{ème} du volume du silo est alors retiré et remplacé quotidiennement par un mélange de matières premières et est chargé à son sommet.

Une fois le compost quitte le silo, il est conservé pour maturation, dans un second silo aéré.

Ce système minimise la surface de compostage car les matières sont empilées verticalement. Cependant, l'empilement présente des problèmes au niveau de la compaction, du contrôle de la température et de la circulation de l'air [20].

II.6. Micro-organismes

Bien que le compostage soit un « art » très ancien et couramment utilisé, ce procédé est l'une des biotechnologies les plus complexes qu'il soit, en raison des changements d'états physiques et biologiques innombrables durant le processus. Une bonne compréhension de ces changements exige une étude précise des successions de communautés microbiennes comprenant l'ensemble des micro-organismes présents y compris ceux qui sont en très faible proportion. Selon [24]. La microbiologie du compostage doit être étudiée au travers de divers aspects, comme par exemple, la composition et la succession des communautés pendant le processus, les micros habitats, ainsi que les fonctions des microorganismes au sein de la communauté.

Les bactéries sont toujours présentes et largement dominantes en qualité et quantité au cours du compostage, ces bactéries intervenant à différentes phases du compostage et sont responsables de la destruction des produits simples au cours des deux premières phases. Elles sont majoritaires au cours de la première phase.

Comme les bactéries, la majorité des champignons sont mésophiles et se développent entre 5°C et 37°C, ces champignons intervenant à des températures et pH donnés pour dégrader la matière organique (MO) surtout au cours de la phase de ralentissement [4].

II.7. Qualité du compost

II. 7.1 Composition du compost

Aujourd'hui, nul ne peut construire une plate forme de compostage sans tenir compte des conditions spécifiques locales du PED.

Les conditions climatiques, comme par exemple un climat très sec ralentit la dégradation. La teneur en eau lors du procédé doit être contrôlée et optimale. Dans les PED où l'apport d'eau est abondant et involontaire par pluviométrie, il est préconisé de couvrir les plates-formes de fermentation, ou quelques fois uniquement les andains. La montée en température ne s'effectuera qu'après l'évacuation, par les pentes autour des andains, de cet excès d'humidité. Cet excès qui est le lixiviat et qui finit par ruisseler totalement après un ou deux jours doit être traité pour éviter leur propagation dans le milieu naturel. [25].

II.7.2.Maturité d'un compost

La maturité n'est définie que de manière implicite ou non définie du tout. Quelques auteurs donnent des définitions explicites et parfois différentes de la maturité [26]. La signification précise de la notion de maturité est importante pour le choix des expériences à réaliser afin de l'évaluer. Dans la littérature, deux approches peuvent être distinguées.

La première s'appuie sur la définition même de la maturité : un produit mûr est un produit qui « *a atteint son développement complet* ». Selon cette approche, **Un compost est mûr si sa matière organique est stable, cette condition étant nécessaire et suffisante.** C'est à dire que : Tout compost stable est un compost mûr. Le degré de maturité du compost est alors estimé par l'étude de la biodégradabilité de sa matière organique [15]; [26].

La seconde approche considère qu'un compost est mûr dès lors que son utilisation n'entraîne pas de préjudice pour les plantes [27]. Partant de cette définition, les auteurs font la différence entre un compost stable et un compost mûr. « *Un compost est mûr s'il a une matière organique stabilisée et s'il ne présente aucun effet inhibiteur pour les plantes* ».

La stabilité de la matière organique est alors une condition nécessaire mais non suffisante. Dans cette situation le meilleur indicateur de maturité d'un compost est l'estimation de son impact sur la plante [10].

II.7.3 Avantages du compost

Le premier intérêt des amendements organiques issus des déchets ménagers est donc une diminution de la part des engrais chimiques lixiviables et leur remplacement par des déchets organiques valorisés. L'utilisation du compost comporte plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer :

II .7.3.1. Amélioration de la croissance de végétaux et racines

Il a été démontré que les végétaux se développant dans un milieu de croissance contenant du compost sont plus forts et ont un meilleur rendement. Le compost ajoute non seulement de la matière organique au sol mais aussi des fertilisants (N, P₂O₅, K₂O, CaO), des oligo-éléments tels que le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc et le bore, nécessaires à la croissance des végétaux [28].

II .7.3.2. Amélioration du rythme de diffusion des nutriments

Le compost rend au sol ses nutriments prolongeant ainsi leur présence dans le sol pour nourrir les végétaux pendant une plus longue période [28].

II .7.3.3. Amélioration de la porosité du sol

L'activité microbienne est essentielle à la porosité du sol. Les micro-organismes décomposent les matières organiques pour rendre les nutriments accessibles aux végétaux. Le compost étant constitué de particules de tailles différentes, il offre une structure poreuse qui améliore la porosité du sol. [28]. L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique.

II .7.3.4. Amélioration de la capacité de rétention d'eau

La matière organique contenue dans le compost peut absorber l'eau et améliorer ainsi la capacité de rétention d'eau du sol. Ce dernier est alors en mesure d'absorber une forte quantité d'eau et de la retenir pour la mettre à la disposition des végétaux entre deux pluies ou deux arrosages. L'eau disponible pour les végétaux grâce à l'utilisation d'un compost correspond au double du volume d'eau pouvant être retenue par un sol minéral. Ainsi en augmentant le taux d'humus du sol de 0,2 %, la quantité d'eau disponible pour la plante croît de 0,5 % et la porosité du sol de 1%. [28]; [29].

II .7.3.5. Elimination des maladies chez les végétaux

Il a été montré que certains composts améliorent la résistance des végétaux vis-à-vis de certaines maladies [30]. L'effet phytosanitaire décrit la faculté fongicide du compost.

D'une manière générale, le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis-à-vis de certains pathogènes.

II .7.3.6. Amélioration de la structure

Le compost améliore la structure du sol par l'augmentation des agrégats (pénétration des racines, facilité et exploitation du sol en favorisant la meilleure perméabilité à l'air et à l'eau, la réduction importante de l'érosion (eau et vent), la diminution de la dessiccation par ventilation et l'augmentation de l'absorption des rayons solaires (réchauffement).

En effet, parmi les différents éléments minéraux présents dans le sol, les argiles s'associent à la matière organique du sol (l'humus) et aux micro-organismes pour former, sous l'action stabilisatrice du calcium, le complexe argilo-humique. Sa structure en feuillet lui confère une puissante charge négative permettant à une certaine quantité de cations libres de la solution du sol de s'y fixer (Ca^{2+} , K^+ , H^+ , Na^+ etc.) [31]. Le complexe argilo-humique est ainsi un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture.

Selon ce même auteur, la formation d'agrégats stables rend ainsi le sol plus résistant à l'influence éolienne et hydrique, par conséquent, moins soumis à l'érosion. L'ajout de compost retient l'érosion causée par l'eau ; les nutriments sont alors plus accessibles aux végétaux, ce qui améliore leur qualité dans les régions exposées à l'érosion.

L'azote est l'élément fondamental de la production végétale, le « pivot de la fertilisation ». Sa disponibilité détermine le rendement. Il entre dans la composition de très nombreux éléments essentiels à la vie cellulaire. Le cycle de l'azote consiste en la transformation des formes de l'azote assuré par les microorganismes du sol [32].

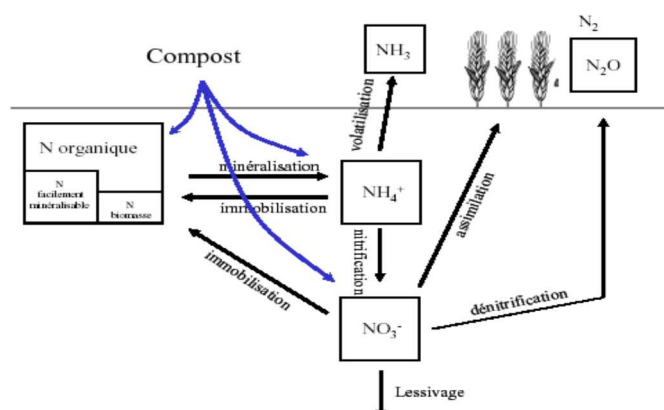


Figure I.7 : Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost [32].

II .7.3.7. Effet sur les caractéristiques physico-chimiques du sol

En se minéralisant, le compost fournit des substances nutritives progressivement assimilables par les plantes. La matière organique du compost améliore les propriétés physiques du sol, augmente son pouvoir tampon. Le compost contenant la chaux réagit avec l'acide carbonique de la solution du sol et le neutralise.

De nombreuses études ont montré le rôle bénéfique du compost sur les qualités physiques et chimiques des sols amendés. Par exemple, une amélioration des propriétés physiques, une augmentation de la conductivité hydrique et une diminution de la densité des sols ont été observées par [33].

Le compost mûr évite une acidification du sol ou corrige l'acidité d'un sol ou permet de réduire l'acidité du sol, et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers la plante [34]. Les substances basiques du compost et les substances humiques sont bénéfiques contre l'acidification du sol et le stabilisent chimiquement. Une revitalisation des sols fortement dégradés et un développement de la végétation sont favorisés.

II .8. Utilisation du compost

II .8.1 Arboriculture et viticulture

Lors de la plantation des arbres et des arbustes, le compost devrait être mélangé à la terre provenant du trou à raison d'une partie de compost pour deux parties de terre [19].

Il vaut mieux éviter les applications de compost à la base des arbres et des arbustes entre le début du mois d'août et la tombée des feuilles. Cela évitera de compromettre le processus d'aoûtement, ce qui pourrait occasionner des dommages durant l'hiver [18].

II .8.2. Plantes d'intérieur

Certains ouvrages recommandent de stériliser le compost avant de l'incorporer aux plantes d'intérieur, c'est-à-dire de le mettre au four pendant 20 minutes à très basse température afin de tuer les organismes décomposeurs, et ainsi éviter qu'il se trouve dans la maison.

Lorsqu'on stérilise le compost, on le tue, il devient par conséquent de la terre, entraînant ainsi la perte de tous ces bienfaits.

Il est possible d'utiliser les bienfaits du compost en faisant un purin ou un thé de compost. Cette façon de faire sera parfaite pour fertiliser les plantes d'intérieur, puisqu'en tamisant ainsi le solide du liquide, on filtre les organismes décomposeurs et on s'assure qu'ils ne se promèneront pas dans la maison [19].

II.8.3.L'utilisation des composts pour la culture en pot

Pour le faire, il faut utiliser 1 part de compost mûr pour 3 parties de terreau. Il faut veiller à ne pas excéder 33% de compost dans le mélange, car on pourrait enregistrer des problèmes de drainage [18].

II.9.La valorisation environnementale

En raison du fort pouvoir adsorbant des macromolécules humiques des composts mûres, ils peuvent être utilisés comme système de filtration des odeurs dans une station d'épuration, ou une station de traitement des ordures ménagères.

III. Généralités sur le lombricompostage

III.1.1. Définition du lombricompostage

Le vermicompostage (lombricompostage) est un processus naturel qui permet de convertir les déchets ménagers biodégradables, grâce à l'action de vers, en un engrais 100 % organique : le compost.

Le lombricompost est un engrais qui nourrit les plantes et un amendement de qualité qui améliore la terre, il est semblable au compost fait individuellement (en bac dans un jardin). Le terme lombricompost fait référence au lombric ou ver de terre (*Lombricus terrestris*) qui se nourrit de matières organiques déjà décomposées dans la terre et creuse des galeries profondes. Cependant, c'est son cousin le ver de fumier (*Eisenia foetida*) qui est utilisé pour le lombricompostage.

III.1.2. Processus de lombricompostage

Le processus de lombricompostage comprend deux phases importantes en fonction de l'activité du ver de terre. On distingue une phase active, au cours de laquelle, le ver de terre transforme le substrat organique ; modifiant ainsi son état physique et sa composition microbienne [35]. Et une 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 [36]. 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, cette dernière est déterminée par l'espèce et la densité des vers de terre dans le compost. L'activité immédiate des vers de terre améliore considérablement la minéralisation du carbone et de l'azote dans le substrat

et ces effets sont proportionnels à la densité des vers de terre présents dans les déchets. En alimentant les vers avec de la matière organique, certaines bactéries qui jouent un rôle utile dans la décomposition des déchets organiques s'associent à ceux-ci et accélèrent le processus de dégradation. C'est ainsi que pendant le passage de la matière organique dans l'intestin du ver de terre, les fragments et les excréments riches de ces bactéries sont mélangés pour homogénéiser la matière [37]. Pour un tas de compost d'une dimension de 2,4 m × 1,2 m × 0,6 m de haut, il faut une population de vers de terre d'environ 50 000 individus. Leur ensemencement dans le compost favorise le mélange de la matière, l'aération et l'accélération du processus de décomposition.

III.1.3 Systèmes de lombricompostage

Il existe trois principaux types de systèmes de base pour le lombricompostage très prisés par les agriculteurs. Selon qu'il est fait de manière industrielle ou sur de petites surfaces, on distingue deux types de lombricompostage : à petite échelle (utilisation des petits composteurs et à grande échelle (méthode de l'andain, bacs extérieurs). Les méthodes en bacs et en andains sont les plus utilisées [38].

III.1.3.1 Lombricompostage en bac ou en silos

Le lombricompostage pratiqué à petite échelle se fait dans de petits ou de grands composteurs cylindriques, 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 [39]. Le bac peut être fait de divers matériaux, mais le bois et le plastique sont populaires. Un bac de lombricompostage peut être de différentes tailles et formes, mais sa hauteur dépasse généralement 30 cm [38]. Pour la réalisation du bac, il est important de percer des trous dans le fond, sur les côtés et sur le couvercle pour l'aération et le drainage du jus de compost. Le bon choix est d'environ 10 trous de 1-1,5 cm de diamètre.



Figure I.8 :Lombricomposteur (Bac)

III.1.3.2. Lombricompostage en andain

A grande échelle, on utilise la méthode de lombricompostage en andain au lieu de la méthode en bac car elle permet de traiter une grande quantité de déchets, ce qui rend son utilisation plus rentable. Les piles de compost peuvent être faites sous abri 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 [38].



Figure I.9 : Lombricompostage en andain

III.1.3.3. Lombricompostage en lit

Le lombricompostage 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 [39].

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 puis une nouvelle couche de litière.

Tandis que dans le système discontinu, la litière et la nourriture sont mélangées avant l'ajout des vers. Aucun travail n'est fait sauf celui des vers de terre jusqu'à la fin du processus [40].



Figure I.10 : Lits de lombricompostage

III.1.4.Paramètres influençant le lombricompostage

Les paramètres du lombricompostage sont presque les mêmes que ceux du compostage classique, toutefois, ils doivent respecter les conditions de vie des vers de terre. Ce sont principalement, les paramètres influençant l'activité des lombrics au cours du processus.

III.1.4.1 Température

La température est le facteur clé qui affecte l'activité biologique dans toute opération de compostage. Elle est importante pour assurer une croissance et une activité optimales des microbes .Dans le lombricompostage, l'activité du ver de terre, son métabolisme, sa croissance, sa respiration et Sare production sont fortement influencés par la température. En effet, les températures élevées et l'environnement sec sont plus contraignants que les basses températures et l'environnement saturé d'eau, pour les vers de terre [38]. Les températures élevées (supérieures à 30 °C) ont un effet défavorable sur la plupart des espèces de vers de terre ; elles favorisent les processus chimiques et microbiens dans le substrat et l'intensité de l'activité microbienne qui consomme l'oxygène disponible entraînant des effets négatifs sur la survie des lombrics. Il est par ailleurs important de noter que, l'activité bactérienne se multiplie par deux pour chaque augmentation de température de 10 °C et les vers ont une bonne activité autour de 15-30 °C. Des études ont montré qu'une plage de température d'environ 15-25°C est plus appropriée pour le lombricompostage [37].

III.1.4.2 Humidité

De fortes relations existent entre la teneur en humidité des déchets organiques et le taux de croissance des vers de terre. En effet, le manque ou l'excès d'humidité est néfaste pour les vers de terre. En cas de forte humidité, les concentrations en oxygène deviennent faibles dans le substrat et sont préjudiciables pour les vers car ils respirent à travers la peau, de même que pour les microorganismes aérobies qui jouent un rôle essentiel dans la dégradation de la matière organique. La plage optimale de la teneur en humidité dans le lombricompostage, pour la plupart des espèces, se situerait entre 50 et 90 %, tandis que dans les déchets, l'humidité devrait tourner autour de 75 % et ne pas dépasser 85 %. Lorsque le substrat est sec, un arrosage est recommandé ; par contre, en cas d'apport de déchets fortement humides, un drainage ou un apport de matière brune sèche corrigerait le niveau d'humidité [41].

III.1.4.3 pH

Les vers ont une forte sensibilité au pH, c'est pourquoi le pH du sol ou des déchets est parfois un facteur limitant la distribution, le nombre, les espèces de lombrics et même l'activité de ces derniers. Cependant, des chercheurs ont montré que plusieurs espèces de vers de terre manifestent un intérêt pour la vie à pH neutre. Les augmentations mineures de l'acidité causées par l'ajout de déchets frais sur le lit de lombricompostage peuvent être neutralisées par les sécrétions intestinales de calcium de vers de terre ainsi que l'ammoniac excrété. Une autre solution pour pallier à ce problème d'acidité, la chaux ou les coquilles d'œufs sont couramment ajoutées au lombricompost [37].

III.1.4.4. Aération

N'ayant pas d'organes respiratoires spécialisés, les vers de terre obtiennent de l'oxygène par diffusion à travers la paroi du corps et perdent du dioxyde de carbone par le même mécanisme. Par ailleurs, ils sont très sensibles aux conditions anaérobies et leur fréquence respiratoire est réduite lorsque la concentration en oxygène est faible (entre 55 et 65 %), ainsi que leurs activités d'alimentation pourraient être réduites dans des conditions non optimales. Le processus de dégradation de la matière nécessite par conséquent un bon apport en oxygène donc un meilleur échange d'air de l'intérieur vers l'extérieur de la compostière est nécessaire [42].

III.1.4.5. Rapport C/N

L'apport de carbone (C) par rapport à l'azote (N) est une qualité importante des matières premières du compost. Celui-ci est désigné par le rapport C/N qui exprime les proportions de carbone et d'azote disponibles dans la matière organique, c'est un paramètre essentiel dans le processus de décomposition aérobie de la matière organique. Selon certains auteurs, pour le compostage des déchets ménagers, le rapport C/N optimal doit être compris entre 25 et 30 selon le type de matière première. 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 et par conséquent l'azote va être perdu dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac par volatilisation [43]. L'optimisation de ce rapport C/N au cours du compostage des déchets ménagers qui sont très riches en azote peut se faire par l'apport de la sciure ou des copeaux de bois, de la paille, du papier carton etc....

III.1.5. Qualité du lombricompost

Un lombricompost 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. Ainsi, pour une valorisation agricole du lombricompost (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) [44]. et en germes pathogènes (salmonelles, Entérocoques, E. coli, œufs d'helminthes...).

III.1.6. 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 phyto-toxicité 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 [45]. Dans le même ordre d'idée, [46]. Considèrent un lombricompost comme mature lorsqu'il est appliqué sur le sol en tant qu'amendement organique pour la croissance des plantes sans entraîner d'effets néfastes. Cependant, il est à préciser qu'aucune méthode ne peut être appliquée universellement à tous les types de compost en raison du type de matière première et de la technologie de compostage.

III.1.6.1. Indicateurs physiques et chimiques de maturité du lombricompost

Sur le plan physico-chimique, les changements de pH et de conductivité électrique dus à la décomposition des acides organiques, suggèrent que ces deux paramètres pourraient constituer de bons indicateurs de la stabilité du compost. Ainsi, un pH acide est caractéristique d'un compost immature tandis qu'un pH compris entre 7 et 9 traduit un compost stable et mature [47]. Par ailleurs, pour [48], le rapport carbone/azote (C/N) apparaît comme l'un des paramètres essentiels qui détermine le degré de compostage et le degré de maturité du compost. En effet, la réduction de ce rapport C:N peut être considérée comme un indice fiable de la maturité lorsqu'elle est combinée à d'autres paramètres tels que le dégagement de CO₂, le carbone soluble dans l'eau et le contenu en substances humiques. La maturité du compost peut aussi être déterminée en termes de nitrification à

travers le rapport $N-NH_4^+/(N-NO_3^- + N-NH_4^+)$. En effet, pendant la phase de maturation, la diminution du NH_4^+ traduit sa conversion en NO_3^- . Par conséquent, la teneur en NO_3^- devrait être supérieure à celle en NH_4^+ .

III.1.6.2. Indicateurs biologiques

D'un autre point de vue, des méthodes biologiques d'estimation du degré de maturité reposent également sur des tests de phyto-toxicité. Dans la littérature, le test de germination est principalement utilisé pour évaluer ce paramètre car il fournit une image instantanée de la phyto-toxicité du compost. La diminution du taux de germination indique la présence de phytotoxines dans les mélanges de déchets lors du compostage, alors qu'une augmentation reflète la disparition de substances phytotoxiques [45]. Ainsi, [49]. A rapporté que le compost avec des taux de germination de 80 % était exempt de phytotoxines et considéré comme étant à maturité complète.

III.1.7.L'intérêt agronomique du lombricompost

Sur le plan agronomique, les avantages du lombricompost en tant qu'amendement implique son potentiel à maintenir la matière organique du sol, favoriser la disponibilité des éléments nutritifs, supprimer les maladies des plantes et augmenter l'abondance et l'activité microbiennes du sol [50]. En effet, [51]. ont constaté deux contributions majeures du lombricompost dans le sol, celles de l'augmentation de la population microbienne et de leur activité. Ces deux facteurs jouent un rôle déterminant dans le rythme du cycle des nutriments dans le sol, la production d'éléments influençant la croissance des plantes, l'accroissement de la résistance des plantes ou la tolérance aux maladies. Cet amendement organique rend non seulement les plantes saines et productives, mais il régule également le développement des plantes grâce aux acides humiques et aux hormones de croissance. Il présente des bénéfices assez significatifs. Le lombricompost améliore l'état nutritionnel du sol, permet une bonne croissance des racines et l'absorption des macros et des micronutriments essentiels à la plante. En effet, les excréments (turriculés) des vers sont riches en nitrate, P, K, Ca et Mg sous formes assimilables par la plante. Le lombricompost améliore l'aération et la texture du sol, réduisant ainsi le compactage. Il contribue également à améliorer la capacité de rétention en eau du sol en raison de sa teneur élevée en matière organique.

III.2. Rôles et types de vers appropriés pour le lombricompostage

III.2.1. Rôles des vers de terre

La principale activité des vers de terre consiste à ingérer du sol, à mélanger différentes composantes du sol et à produire du fumier en surface, convertissant ainsi la matière organique en humus du sol [52]. Les vers de terre jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique et le métabolisme du sol par l'alimentation, la fragmentation, l'aération, le renouvellement et la dispersion. Dans les conditions idéales, les lombrics peuvent consommer pratiquement toutes sortes de matières organiques et ils peuvent manger l'équivalent de leur propre poids par jour.

III.2.2. Vers de terre appropriés pour le lombricompostage

Il existe des espèces de vers de terre appropriées pour le lombricompostage : ce sont les espèces épigées. Celles-ci sont caractérisées par la capacité naturelle à coloniser les déchets organiques, avec un taux de consommation, de digestion et d'assimilation de la matière organique élevé ; une tolérance à un large éventail de facteurs environnementaux ; des cycles de vie courts et un taux de reproduction élevé. Leur endurance et la tolérance à la manipulation montrent leur bon potentiel pour le lombricompostage. Toutefois très peu d'espèces de vers de terre possèdent toutes ces caractéristiques. On compte seulement trois d'entre elles qui ont été largement utilisées pour le lombricompostage. [53]. Ces espèces sont réparties dans le monde en fonction des régions et des conditions climatiques qui y règnent.



Figure I.11 : Les vers appropriés pour lombricompostage

Dans les régions tempérées, les espèces appropriées pour le vermicompostage sont regroupé dans le tableau suivant :

Tableau .I.4: Caractéristiques de quelque espèce de vers de terre appropriées pour le lombricompostage [54]. [55]. [56].

• <i>Eiseniafaetida</i> et <i>E. Andrei</i>	• cycle de vie court, • Ce sont des vers de terre résilients et faciles à manipuler. • La température optimale pour la croissance est de 25 °C • la teneur en eau optimale est de 85 %
• <i>Lumbricusrubellus</i>	• Ce ver est connu pour sa préférence des conditions humides et pour sa survie à des températures froides • La température optimale pour sa croissance est de 18 °C. • un cycle de vie relativement long (120 à 170 jours) • un taux de croissance lent et une longue période de maturation (74 à 91 jours).
• <i>Eudriluseugenia</i> est originaire d’Afrique,	• faible tolérance à la température et sa sensibilité à la manipulation. • taux de reproduction élevé • une préférence pour les températures élevées, avec une production maximale de biomasse entre 25 et 30 °C, • les taux de croissance très faibles à 15 °C

Chapitre II

Partie expérimentale

Notre travail consiste à traiter et à valoriser les déchets organiques en utilisant la méthode du compostage en andains (tas) et la méthode du compostage en bac (vermicompostage). Les déchets générés par le restaurant universitaire de Saad Dahleb (wilaya de Blida) et par les Travaux d'entretien des déchets verts de la commune Blida sont traités par le processus du compostage des déchets biodégradables.

II.1. Présentation du site d'étude:

Le compostage a été réalisé dans le CET à la commune de benimered (wilaya de Blida) où nous avons démarré l'expérimentation le 28-03-2021

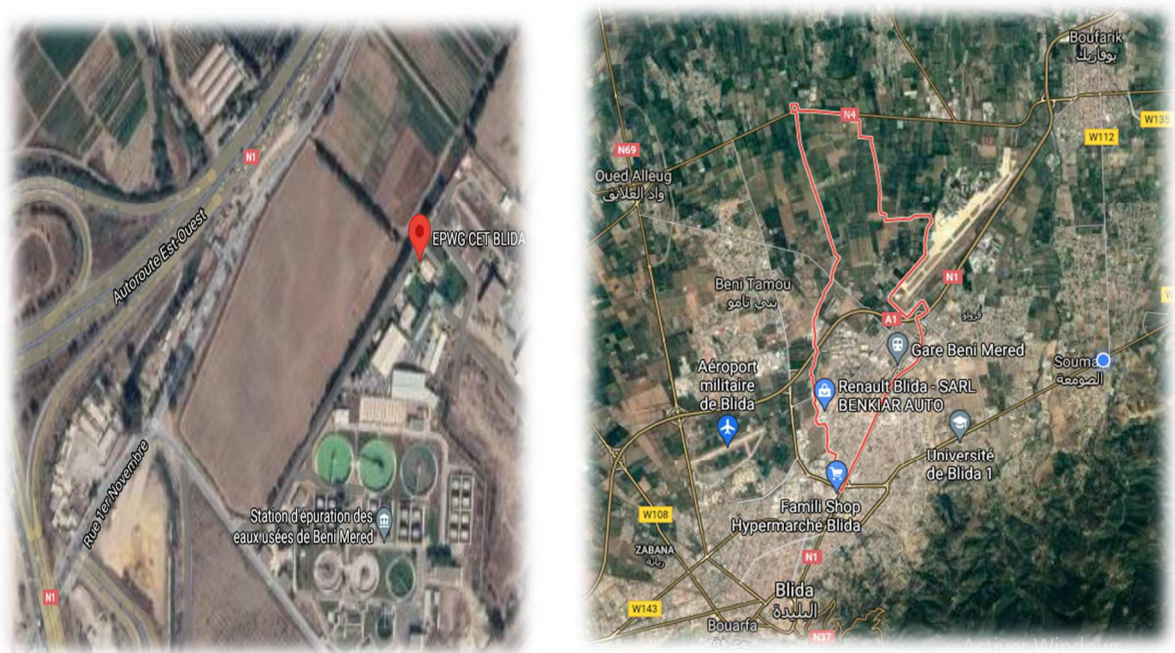


Figure II. 1: le site d'expérimentation EPWG CET-benimered- Blida

II.1.2. Situation climatique

Blida se trouve à 252m d'altitude où le climat de Blida est chaud et tempéré. L'été, à Blida, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. La température moyenne annuelle dans cette région est de 17.1 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 641 mm.

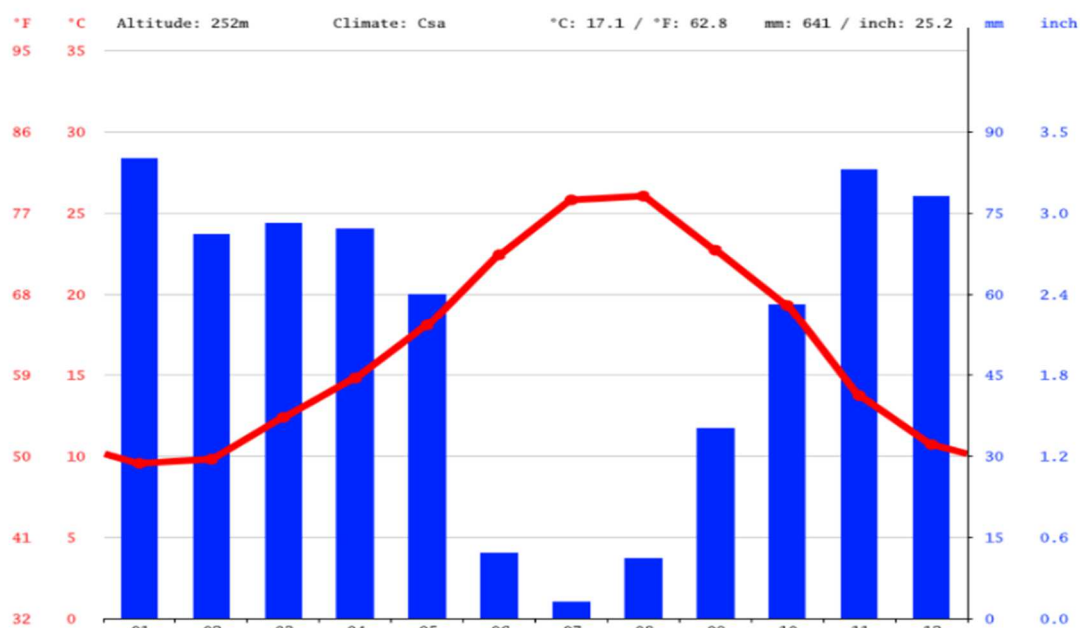


Figure II.2 : Diagramme climatique de Blida

Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 3 mm de précipitations. Une moyenne de 85 mm fait du mois de Janvier le mois ayant le plus haut taux de précipitations.

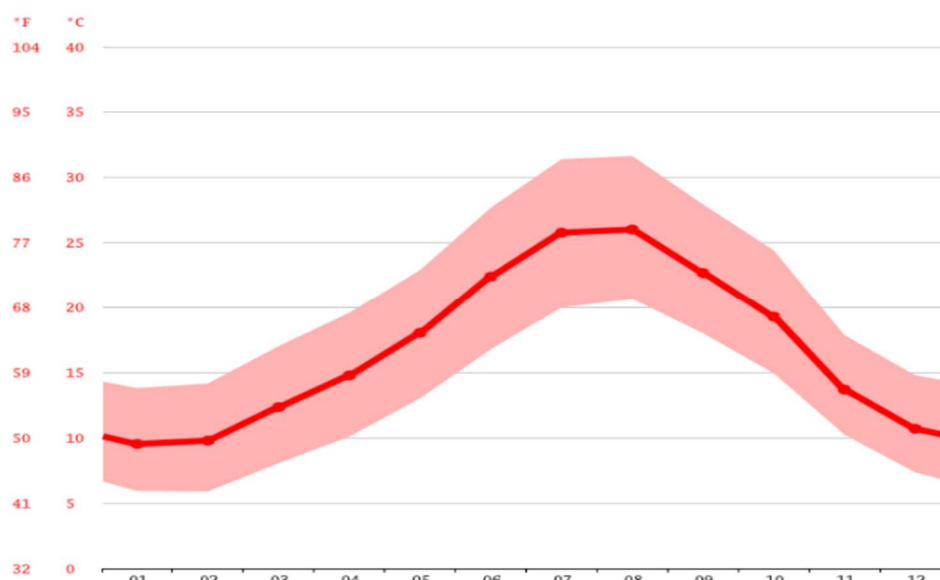


Figure II.3 : Courbe des Valeurs moyennes mensuelles des températures de Blida

26.0 °C font du mois d’Août le plus chaud de l’année. 9.5 °C font du mois de Janvier le plus froid de l’année.

II.2. Etapes de confection du compost :

- I. **Tri** : sert à séparer les matières organiques fermentescibles des autres matières retrouvées dans les déchets tels que le plastique, verre, ...
- II. **Broyage** : sert à réduire la taille de la matière première grossière pour accroître les surfaces d'attaque et un maintien suffisant d'interstices entre les particules.
- III. **Mis en tas** : le broyat trempé sera ensuite mis sous forme de couches formant ainsi un andain. Les dimensions du tas en fonction de la quantité du mélange disponible.
- IV. **Homogénéisation** : il s'agit de mélanger les différents composants du tas pendant ou juste après la mise en tas du mélange. [4].

II.3. Protocole expérimental

II .3.1. Compostage en andain

La proportion du mélange initial est de (1/3) du broyat des déchets verts secs (110kg) et (2/3) de déchets de restauration (440kg après le **tri** des déchets). La longueur est de 2.3 m, la largeur de 1.6 m et la hauteur est de 0.9 m.

II.3.2. Lombricompostage

- Pour cette expérience, Nous avons construit un Lombricomposteur avec des bacs de dimensions suivantes : (longueur 50 cm, largeur 40cm, hauteur 20cm).



Figure II.4 : Les bacs de compostage (lombricomposteur)

- Installation des bacs de forme superposée.
- La proportion du mélange initial est de 250 g de vers, 500 g de nourriture (50g de céréales, 150g de marc de café, 200g épluchures de pomme de terre, 100g de salade)

II.3.3. Matériel utilisé :



Figure II.5 : Pelle et râteau



Figure II.6 : mini truck



Figure II. 7 : Broyeur



Figure II. 8 : bidon d'arrosage

Le broyeur :

Le broyeur permet de réduire le volume des matières de base, et d'augmenter la surface d'attaque pour les micro-organismes. Le broyage est assez grossier, ce qui permet d'obtenir une structure plus aérée, pour une bonne dégradation de la matière [57].

Mini truck :

Utilisé pour collecter les déchets et les transporter de l'université à la plateforme de compostage.

II.4.Méthodologie :

Les procédés de compostage étudiés sont :

1/ Compostage en andains

2/ Compostage en bacs ou vermicompostage

Nous avons suivi les étapes suivantes :

- ✓ Préparation de la matière à composter
- ✓ Observation sur site et évaluation de la matière du compost
- ✓ Analyse au laboratoire (analyse des différents paramètres du compost)

II.4.1. Compostage en andain

II.4.1.1.Préparation de la matière à composter

Nous avons procédé à :

- **Collecter et transporter les déchets de restauration :**



Figure II.9 : Collecte des déchets de restauration

- **Le tri des déchets:**

Sert à éliminer la fraction non-organique de déchet (plastique, verre,...). Il reste seulement la matière organique compostable (le reste des repas, papier, carton, légumes, fruits et épluchures).



Figure II.10 : Le tri manuel des déchets

- **Le broyage de déchets verts :**

Les déchets sont broyés pour réduire leur volume et accélérer leur fermentation en augmentant la surface d'attaque par les micro-organismes.



Figure II.11 : déchets verts avant et après le broyage

- **L'homogénéisation et la mise en place d'andain :**



Figure II.12 : la mise en place d'andain

II.4.1.2. Suivi de compostage

- **L'arrosage de l'andain :**

Nous avons arrosé les lots pour atteindre une humidité comprise entre 50 et 60%.
L'arrosage s'effectue à partir du sommet du lot jusqu' à la base.



Figure II.13 : L'arrosage de l'andain

- **Le retournement :**

Le retournement d'andain sert à apporter l'oxygène nécessaire à la respiration des microorganismes, à homogénéiser le mélange des végétaux et aussi à évacuer le gaz carbonique et la chaleur accumulés.



Figure II.14 : Le retournement d'andain

- **Le criblage**

On a utilisé un grillage de maille de 3 millimètre pour cribler notre compost et séparer les particules grossières afin d'obtenir un compost plus fin et homogène.



Figure II.15 : refus du compost



Figure II.16 : tamisat du compost

- **Le stockage du compost :**

Nous avons stocké notre compost final dans des sacs en plastique transparent de 50kg.



Figure II.17 : stockage du compost mature

II.4.2. Lombricompostage

II.4.2.1. préparation de vermicomposteur

Nous avons procédé à :

- ✓ **L'installation des bacs**

On a placé le Lombricomposteur à l'intérieur de la maison à l'abri du soleil et de la pluie et loin de toute source de bruit ou de vibration. Les vers ont besoin de beaucoup d'oxygène, d'une température comprise entre 15 et 35°C et d'une humidité forte mais pas excessive.



Figure II.18 : Méthode d'installation des bacs du lombricompostage

✓ **L'installation des vers**

- On a disposé dans le bac perforé situé au-dessus du bac de fond d'une litière d'environ 5 cm d'épaisseur constituée de papier journal découpé en petits morceaux, 2mm de terreau et deux poignées de sable.
- On a déposé les vers sur la litière et les laissés s'acclimater à leur nouveau milieu pendant une semaine.



Figure II.19 : Installation des vers dans le Lombricomposteur

✓ **L'alimentation des vers**

Après une semaine, on a incorporé des déchets coupés finement en petits morceaux. On a augmenté la quantité de déchets au fur et à mesure lorsque les vers et les micro-organismes du milieu se sont bien reproduits.



Figure II.20 : Installation de la nourriture des vers

II.4.2.2.L'entretien du vermicomposteur

✓ On a ajouté un autre plateau troué et on a disposé les déchets dedans. Quand le niveau des déchets dans le 1^{er} plateau dépasse les 2/3, Les vers continuent à dégrader les déchets dans le plateau du bas, puis grâce aux trous, montent dans celui du haut pour chercher leur nourriture fraîche.

✓ la présence de liquide (le jus de vermicompost ou thé de vers) dans la caisse du bas, est à récupérer régulièrement.

✓ On a équilibré la nourriture des vers en fibres et en matières organiques.

✓ concernant l'humidité du vermicomposteur, le milieu de vie des vers ne doit être ni trop sec ni trop mouillé. On rajoute des légumes si le milieu est trop sec ou des morceaux de carton ou du marc de café s'il est trop mouillé.



Figure II.21 : Ajout d'épluchures de légumes



Figure II.22 : Ajout du papier carton ou marc de café

- **La récolte**

A la fin du processus, on a interrompu l'alimentation de la lombricompostière durant une ou deux semaines

1. On a vidé le contenu des bacs dans un plateau sous un éclairage
2. On a séparé l'amas obtenu en plusieurs petits monticules
3. On a retiré la couche supérieure du lombricompost (sans prélever de vers), à cause de la lumière, les lombrics se déplaceront vers le bas



Figure II.23: La méthode de la récolte

4. On a préparé une nouvelle litière fraîche dans la lombricompostière et on a redémarré le processus

5. Le vermicompost obtenu va vers la préparation pour l'utilisation soit :

- Transformé en engrais liquide : Placer une boule de vermicompost dans un bidon, ajouter aux 10 volumes d'eau. Mélanger pour bien diluer le vermicompost et utiliser en arrosage.

- Incorporé avec de la terre de jardin pour du repotage : Mélanger un volume de vermicompost pour deux volumes de terre.



Figure II.24 : Méthode d'utilisation de lombricompost et lombrithé

II.5. Méthodes d'analyse

II.5.1. Observation sur site :

➤ Pour le compostage en andain et lombricompostage

- **Mesure de la température**

Les températures ont été relevées quotidiennement avant les prélèvements de l'échantillon du compost, la température est mesurée à l'aide d'un thermomètre électronique équipé d'une sonde de pénétration de 20cm de long.

Pour les mesures de températures, la sonde du thermomètre est plongée dans le lot du compost à 20 cm à partir du sommet du lot.



Figure II.25 : Mesure de température de vermicompost (à gauche) et andain (à droite)

- **Humidité sur site**

Pour mesurer l'humidité, nous avons utilisé le test de poignée. Nous avons pris une poignée de compost dans la main et on a pressé :

- Si quelques gouttes sortent entre les doigts et que le matériau 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 II.26 : Mesure de l'humidité par méthode de poignée

II .5.2.Analyses au laboratoire

II .5.2.1.Mesure de l'humidité (matière sèche, teneur en eau)

- **Matériel utilisé**

- Une étuve
- un cristalliseur
- balance analytique

- **Méthode**

Un échantillon d'environ 100 g est pesé puis placé dans une étuve portée à une température de 105°C [21]. pendant 24 heures. L'échantillon est pesé après refroidissement [58]. L'humidité est obtenue par différence de pesée entre la masse de l'échantillon avant l'étuvage et la masse de l'échantillon séché à l'étuve. Elle est exprimée en % par rapport à la masse de l'échantillon avant l'étuvage.

II .5.2.2.Détermination du 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.

- **Matériel utilisé :**

- 3 béchers de 100 ml (trois prises d'essai),
- pH-mètre,

- Balance analytique.
- Agitateur magnétique
- éprouvette graduée

• **Méthode :**

Des échantillons de 10 g de compost sont mis en suspension dans 50 ml d'eau distillée.

Agitation pendant 10 minutes pour homogénéisation de la suspension, les laisser reposer pendant 2 heures.

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

II.5.2. 3. Détermination de la teneur en matières organiques (M.O):

Le taux de cendres et le taux de décomposition sont calculés après calcination de l'échantillon sec à 550 °C (2h)

• **Matériel utilisé :**

- Les creusets en porcelaine pour la calcination à 550°C.
- Un four à moufle.
- Balance analytique.

• **Méthode :**

Avant de peser, l'échantillon est séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures, le pesage se fait sur la poudre obtenue. On pèse des échantillons de 25 g, placés dans le four à 550°C. La méthode par calcination est utilisée pour déterminer la matière organique totale (Association Française de Normalisation (AFNOR 1999). La matière organique est calculée à partir de la teneur en cendres après la calcination de la matière sèche à une température de 550°C pendant 2heures.

$$\text{MO \%} = (M_1 - M_2 / M_1) \times 100$$

La relation entre la MO % et le COT%

$$\text{COT\%} = \% \text{MO} / 2$$

II.5.2. 4. Analyse des éléments nutritifs (compost mûr) par la technique XRF

Les concentrations des éléments (K, P, Ca, Mg) sont mesurées par la technique XRF.

La méthode des paramètres fondamentaux a été utilisée en tenant compte du facteur d'adsorption tiré à partir de la composition de la matrice.

II.2.3.2. Analyse de l'effet sur les plantes

La méthode la plus simple, pouvant être adoptée, pour le test de maturation du compost, sans difficulté est celle du test de germination. Pour effectuer ces tests de germination, nous avons choisis l'haricot nain (*Phaseolus* sp.). Une espèce qui présente un pouvoir de germination très élevé (85/99% min). Nous avons pris des échantillons de compost et un échantillon de terreau comme témoin, que nous avons disposés dans 30 gobelets.

Pour l'échantillon de compost, nous avons utilisé 15 gobelets. Dans chaque gobelet, nous avons disposé 1 graine. Chaque 3 gobelet ont la même proportion selon l'ordre suivant :

- 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)

Pour l'échantillon de lombricompost, nous avons utilisé la même méthode et les mêmes proportions

A la fin de la germination, nous avons calculé le nombre de graines ayant germé et nous avons mesuré la longueur des racines et des tiges.



Figure. II.27. Test de germination

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1.Compostage en andain :

III.1.1. Caractéristiques du compost obtenu:

Le compostage de MO en andain a duré 2 mois moyennant des arrosages selon l'humidité et des retournements selon la température de l'andain.

Des observations visuelles ont été effectuées régulièrement sur l'andain jusqu'à aboutir à un compost mur ayant les caractéristiques suivantes :

- Il ne dégage pas d'odeur d'ammoniac.
- Sa température est similaire à la température ambiante.
- Il est granuleux, noir et sent bon.

Tableau III.1 : Evolution du poids au cours du compostage

MO utilisée	Poids avant compostage		Poids de compost mur avant criblage		Poids de compost mur après criblage (5 mm)		Poids de refus	
Déchets de restauration	440K g	550 Kg	358 Kg	100 %	250 Kg	69,8 %	92 Kg	25,69 %
Déchets verts	110K g							

En termes d'efficacité, le compost à partir des déchets de restauration et déchets verts est plus efficient : 69,8% du poids brut est transformé en humus de diamètre moyen < 5 mm, correspondant à un humus stable de bonne qualité physique. Par contre, on note un pourcentage assez élevé (25,69 % de refus de diamètre supérieur à 5 mm), ceci est attribué certainement au fait que les déchets n'ont pas été triés avant le compostage (ou broyage non efficace).

Cette expérimentation menée en 2 mois de maturation prouve qu'une grande quantité de produits carbonés considérés comme déchets peut être valorisée en humus stable et améliorer ainsi la fertilité physique et organique des sols agricoles.

III.1.2. Aspects physiques et chimiques :

III.1.2.1. Evolution de la température :

Tableau III.2 : Evolution de la température

Semaine	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TC°	20	62,18	50,3	41,67	36,06	23	22,5	22,3	23,6	22,2	22,2

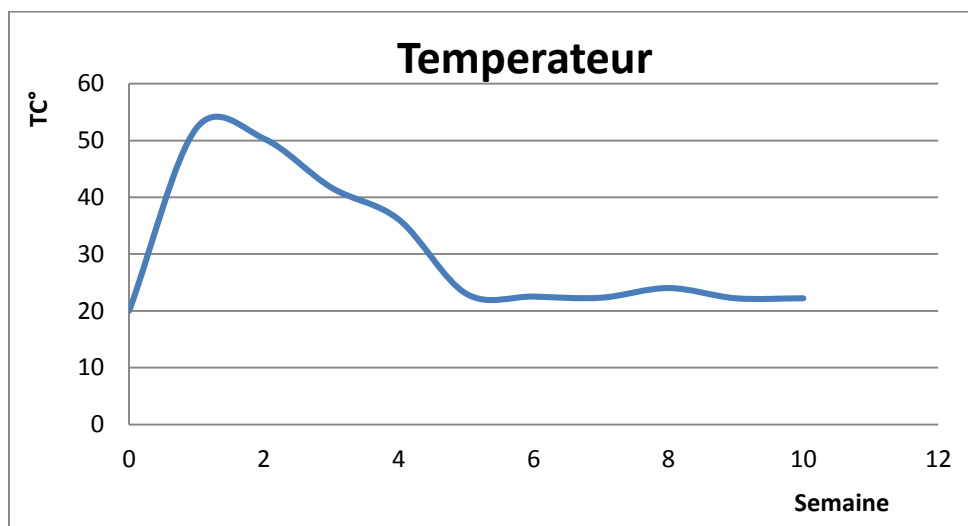


Figure III.1 : Evolution de la température au cours du compostage.

La variation de la température traduit une bonne évolution du processus de compostage, par succession de deux phases d'activité microbiologique.

- Phase de stabilisation d'une durée de deux semaines caractérisée par une élévation de la température jusqu'à une valeur maximale de 52,18°C correspondront à la dégradation des composés organiques simples. Les températures relevées ne sont que des mesures indirectes des flux de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du tas.

- Phase de maturation caractérisée par une diminution de la température correspondant à la dégradation des molécules lignocellulosiques et au processus d'humification. Elle est peut être causée par le ralentissement de l'activité microbienne. Ce ralentissement est lié à la stabilisation de la matière organique du compost.

Tableau III.3 : Evolution de la température journalière

Jour	0	1	2	3	4	5	6	7
TC°	20	41.2	60.5	50	46	37.6	34	48

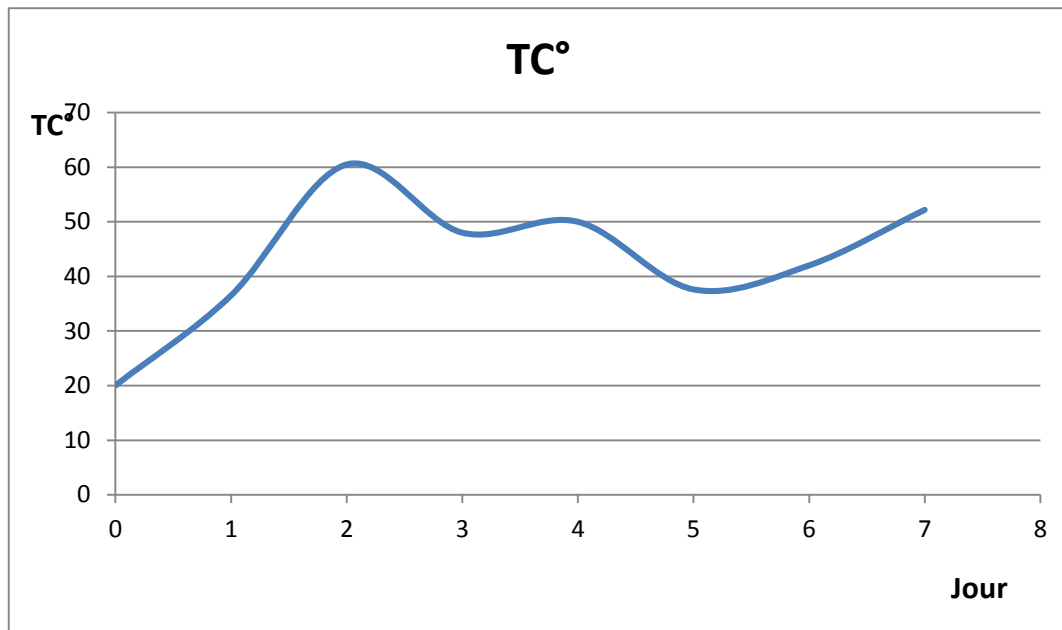


Figure III.2 : Evolution de la température journalière au cours du compostage

Pendant les trois premiers jours, nous remarquons une augmentation de la température qui atteint une valeur maximale de 52.18°C, suivie d'une légère diminution.

La température du tas augmente après chaque retournement car ce dernier apporte l'oxygène nécessaire à la vie des micro-organismes aérobies. Pendant la première semaine, un retournement a été fait chaque deux jour. D'après [20]. Des mélanges de composés facilement dégradables ou avec de fortes teneurs azotées pourront nécessiter des retournements quotidiens au début du processus. Au fur et à mesure du déroulement du compostage, la fréquence de retournement pourra être réduite à un seul par semaine.

L'homogénéisation du compost est liée directement au contrôle du retournement, à l'aérobiose, la durée suffisante et à l'humidité. [59].

III.1.2.2. Evolution de pH :

Tableau III.4: Evolution de pH :

Semaine	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	6,7	7,8	7,55	7,45	7,8	7,6	8	7.9	7.8	7,7	7,7

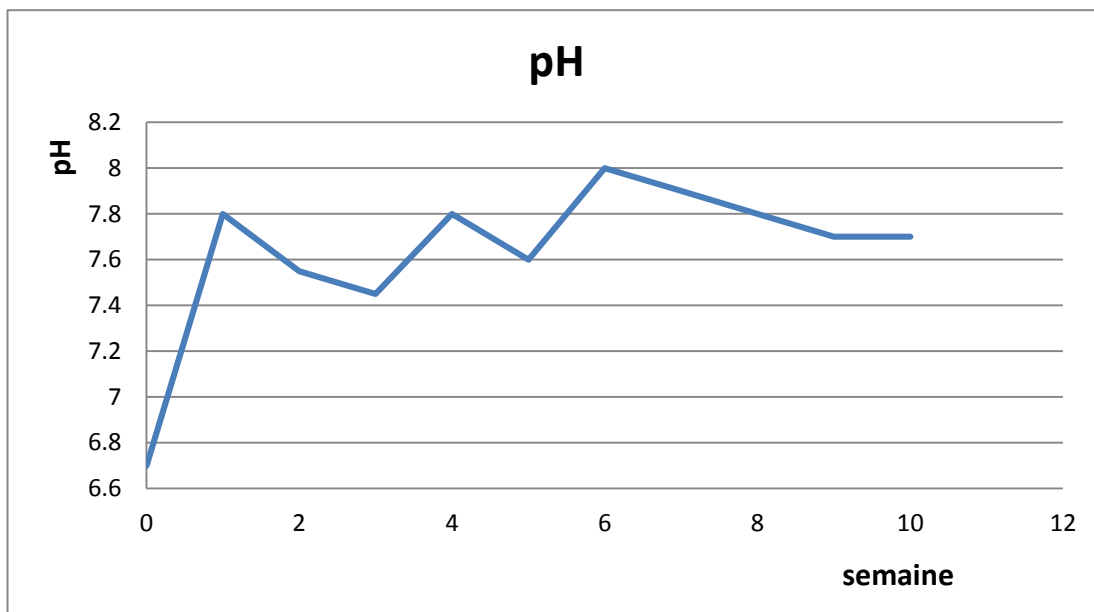


Figure III.3 Evolution du pH au cours du compostage.

Au début du compostage, on remarque que le pH est légèrement acide. Un Ph de 6.7 a été relevé le premier jour pour devenir faiblement neutre durant la première semaine (PH=7,8).D'autres diminutions ont été observées, suivies par des augmentations jusqu'à atteindre un seuil de pH=8.

Au bout de la huitième semaine, les résultats d'analyse affichent un pH de 7.8. On assiste à une légère alcalinisation suite à la libération d'ammonium par le processus, suivie par une stabilisation au cours la neuvième semaine avec une valeur de pH de 7,7.

III.1.2.3.Humidité:

Tableau III.5 : Evolution de l'humidité :

Semaine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H %	64	42	37.5	55	39.2	35	40.3	34	20.6	12.2

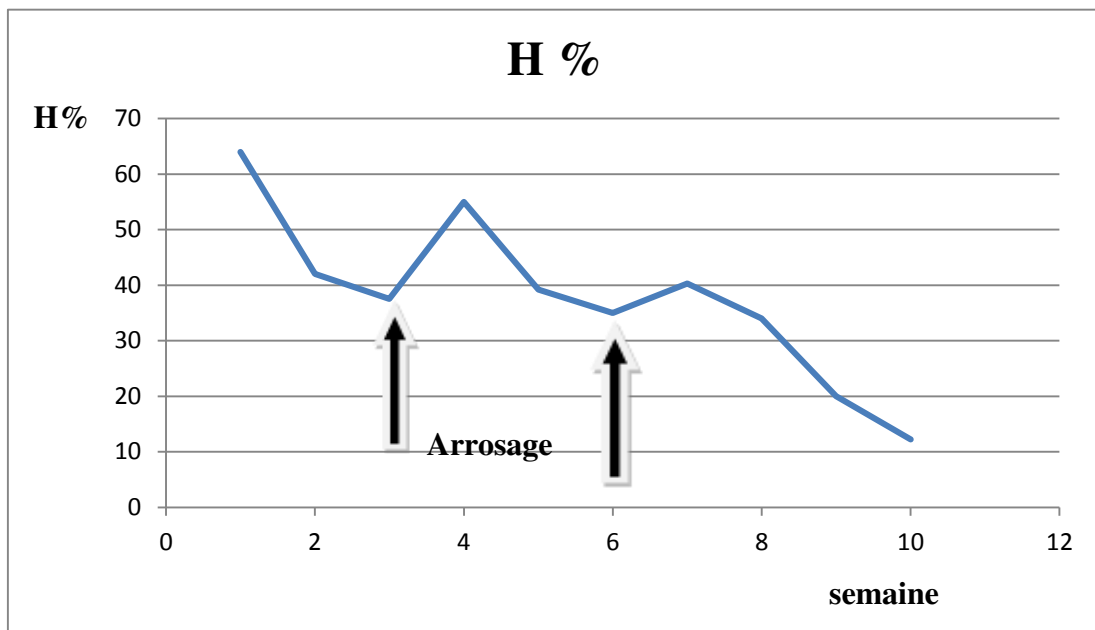


Figure III.4 Evolution de l'humidité au cours du compostage

L'humidité du compost a atteint une valeur de 65% durant la première semaine d'installation, elle commence à diminuer à partir de la 2^{ème} semaine pour atteindre un taux de 42%. Une légère augmentation est enregistrée après l'arrosage. A partir de la 7^{ème} semaine, l'humidité du tas diminue progressivement pour atteindre 12.2% à la fin du compostage.

L'eau est un facteur important pour l'activité des micro-organismes ; ainsi, l'humidité contenue dans les déchets mis en compostage est nécessaire à la vie des micro-organismes [4].

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). D'après [60], une humidité inférieure à 40% / MB se traduit par un ralentissement de l'activité microbienne. L'arrosage est nécessaire pour maintenir le taux d'humidité entre 40 et 60% par rapport à la matière brute.

Les travaux de [61], ont montré que le développement microbien est réduit par une teneur en eau trop faible mais, une saturation des espaces interstitiels et un étouffement des micro-organismes sont provoqués avec des teneurs en eau élevées.

III.1.2.4.Matière organique :

Tableau III .6 : Evolution de la matière organique au cours du compostage

Semaine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MO %	72.6	65.5	59.05	51.8	46.8	40.25	34.9	32	28.7	28.09

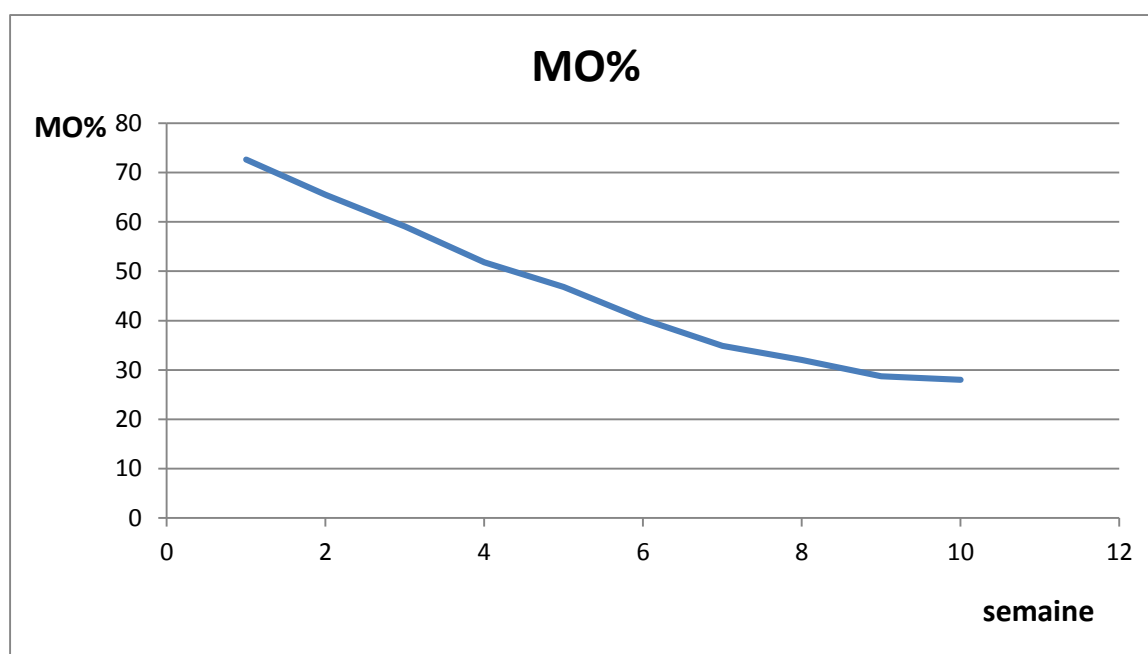


Figure III.5: Evolution de la matière organique au cours du compostage

Les résultats obtenus montrent que les taux de matières organiques diminuent au cours du compostage, passant de 72,6 % à 28,09 % de la matière sèche à la fin du processus (Tableau III.6). Le carbone organique diminue également en passant de 36,3 % à 14,045 % en 10 semaines de compostage. Nous avons remarqué l'existence de deux périodes distinctes : une première phase comprise entre 0 et 6^{ème} semaine, pendant laquelle, MO et COT affichent de fortes diminutions passant respectivement de 72,6 à 40,25 % et de 36,3 à 20,125 % de la matière sèche. Une seconde phase, entre 6^{ème} et 10^{ème} semaine, présente une stabilisation de MO et COT avec respectivement 40,25 et 28,09 % et de 20,125% à 14,045 % de la matière sèche.

Dans le cas de cette étude, la première phase de diminution des matières organiques peut être attribuée à une importante dégradation et à une minéralisation des matières organiques par les micro-organismes entre 1^{er} et 6^{ème} jour alors que la seconde phase, caractérisée par une stabilisation de ces deux paramètres, indique, au contraire, un ralentissement de la minéralisation et le début de la phase de maturation.

Tableau III.7 : Définition des classes de maturité des composts à partir de la production du carbone organique total après trois mois de compostage (Francou, 2003).

Niveau de stabilité du Compost	Taux de carbone organique après trois mois (% brut)	Degré de maturité de Compost
Compost très stable	[0 ; 10]	Maturité très élevée
Compost stable	[10 ; 15]	Maturité élevée
Compost moyennement Stable	[15 ; 20]	Maturité moyenne
Compost instable	[20 ; 30]	Maturité faible
Compost très instable	>30	Maturité très faible

Après 10 semaines de compostage, nous avons constaté que la classe de maturité du compost est [15 ; 20] car le taux de carbone organique est de 16,3. On a un compost moyennement stable, donc il est moyennement mûr.

III.1.3.Aspect agronomique

III.1.3.1. Analyse des éléments nutritifs (compost mur)

Tableau III.8 : Les résultats finaux des éléments nutritifs du compost

	Compost final	Norme AFNOR
P (%)	2,353	0,6
K (%)	8,135	1,4
Ca (%)	20,466	7,8
Mg (%)	0 ,57	0,7

L'augmentation des éléments nutritifs (P, K, Ca) dans le compost final serait due au fait que, pendant le processus de compostage, les micro-organismes modifient les propriétés chimiques des déchets initiaux et rendent disponibles ces éléments nutritifs dans le produit final [62]. La teneur en phosphore (2,353%) est significativement plus élevée dans le compost final que dans la norme (0,6%). La concentration en potassium dans le compost

final (8,135%) est plus élevée que celle de la norme (1,4%). Pour les teneurs en calcium et en magnésium du compost final, la concentration obtenue est considérable (20,466% et 0,57 %) par rapport à la norme (7,8 % et 0,7 %). Cette différence peut être liée à la composition et/ou au type de déchets utilisés.

III.1.3.2. Analyse de l'effet sur les plantes

Après six jours, nous avons observé les premières germinations dans les deux substrats utilisés (compost et terreau)

Après 10 jours de germination dans des conditions favorables, on a 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 III.6 : Analyse de l'effet de compost sur les plantes

En calculant la longueur moyenne des racines et la longueur moyenne des tiges jusqu'aux feuilles des deux substrats, on a pu établir le tableau ci-dessous :

Tableau III.9 : Effet sur les plantes de différentes proportions de composts.

	Longueur moyenne des tiges (cm)	Longueur moyenne des racines (cm)
1 (25 %)	20	4
2 (50 %)	22,3	5
3 (75 %)	25	7
4 (100 %)	3	4.5
5 (0%)	17.4	8.5

Concernant le test de compost sur les plantes, les taux de germination des graines de laitue varient en fonction de la dose de compost appliquée. Ces résultats corroborent ceux [63], qui considèrent que l'effet du compost peut être lié à la dose appliquée. Toutefois, les valeurs obtenues sont comprises entre 55-76,67 % c'est-à-dire >50% comme recommandées par la norme suisse.

III.2.Lombricompostage :

III.2.1.Caractéristiques du compost obtenu :

Le compostage de MO par lombricompostage a duré en moyenne 6 semaines, ce qui a abouti à un compost mur ayant les mêmes caractéristiques que celui du compostage :

- Il ne dégage pas d'odeur d'ammoniac ;
- Sa température est similaire à la température ambiante ;
- Il est granuleux, noir et sent bon.

Tableau III.10 : Evolution du poids de lombricompost au cours du lombricompostage

MO utilisée	Quantité obtenue dans un bac	Lombricompost après 2semaines	Lombricompost après 4 semaines	Lombricompost après 6 semaines
Déchets de cuisine	12 Kg	4 Kg	8Kg	12Kg
		33 ,33 %	66,66 %	100 %

III.2.2.Évolution des paramètres du vermicompostage

Selon le guide de lombricompostage, les paramètres doivent être contrôlés dans des domaines bien précis :

- La température doit être contrôlée entre 15 et 30°C
- Le pH doit avoir une valeur de 7
- L'humidité doit être au voisinage de 50%

Donc à partir de ces conditions, on a essayé de stabiliser et maintenir ces paramètres dans leurs domaines pour obtenir un bon déroulement de procédé.

Tableau III.11 : résultats finaux des paramètres de lombricompost

T°C	pH	H%	MO%	COT%
22,7	7,3	46,3	22,5	11,25

A partir du tableau des valeurs finales de lombricompost, on peut dire que le maintien de la température, le pH et l'humidité a été bien contrôlé au cours du procédé.

Concernent la valeur de la matière organique de lombricompost final (22,5 %), elle est identique à la norme FAO (20-30 %) et norme AFNOR >5 %. De même pour le carbone organique, qui confirme le bon maintien de l'expérience

III.2.3. Aspect agronomique

III .2.3.1. Analyse des éléments nutritifs (compost mûr)

Tableau V.12 : Les résultats finaux des éléments nutritifs du lombricompost

	Lombricompost	Compost
P	1,242	2,353
K	9,694	8,135
Ca	30,556	20,466
Mg	0,68	0,57

L'augmentation des éléments nutritifs (P, K, Ca) dans le lombricompost final serait due au fait que pendant, le processus de lombricompostage, les vers de terre et les micro-organismes modifient les propriétés chimiques des déchets initiaux et rendent disponibles ces éléments nutritifs dans le produit final [62]. La teneur en phosphore (1,242 %) est généralement faible dans le lombricompost que dans le compost (2,353 %). En effet, lors du passage de la matière organique dans l'intestin des vers de terre, les acides organiques et la phosphatase solubilisent le phosphore et le rendent non disponible [64]. La concentration en potassium dans le vermicompost final (9,694 %) est plus élevée que celle obtenue dans le compost (8,135 %). Pour la teneur en calcium et en magnésium du vermicompost final, la concentration obtenue (0,68 %) est considérable par rapport au compost, cependant [65] ont obtenu des valeurs bien plus élevées pendant le

vermicompostage des déchets de restauration. Cette différence peut être liée à la composition et/ou au type de déchets utilisés.

III.2.3.2. Analyse de l'effet sur les plantes

Après six jours, nous avons observé les premières germinations dans les deux substrats utilisés (lombricompost et terreau)

Après 10 jours de germination dans des conditions favorables, on a comparé les résultats obtenus selon les proportions suivantes :

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



Figure III.7 : Effet du lombricompost sur les plantes

Tableau III.13 : Effet sur les plantes de différentes proportions de lombricompost.

	Longueur moyenne des tiges (cm)	Longueur moyenne des racines (cm)
1 (25 %)	21	5
2 (50 %)	22,5	6
3 (75 %)	28	8
4 (100 %)	7	3
5 (à %) (témoin)	18,3	5

Concernant le test de lombricompost sur les plantes, les taux de germination des graines de laitue varient en fonction de la dose de lombricompost appliquée. Ces résultats corroborent ceux [63] qui considèrent que l'effet du lombricompost est directement lié à la dose

appliquée. Toutefois, les valeurs obtenues sont comprises entre 55-76,67 % c'est-à-dire >50% comme recommandées par la norme suisse.

III.3.Comparaison entre compostage et lombricompostage

Cette expérience présente les résultats d'une étude sur les différences de caractéristiques et d'effets des deux produits par deux méthodes différentes : un compost par compostage en andain et un lombricompost par lombricompostage en bacs.

- **Dimensionnement d'une plate forme de compostage**

Tableau III.14 : Comparaison entre le dimensionnement d'une plate forme de compostage et de lombricompostage

	Compostage en andain	Lombricompostage
Surface totale (m ²)	1500	1500
Surface de stockage (m ²)	120	120
Surface de compostage (m ²)	680	680
	L =20	L =2,4
Dimension (andain /bac)	l =3	l =1,2
(m)	h =1	h =0,6
		50000 vers (25Kg)
Répartition	5 andains	15 lignes de 8 lits
	6 espacements	15 espacements
Quantité / période	54 Tonnes	63 Tonnes
Quantité /an	281,5 Tonnes	547,5 Tonnes

- Le seul inconvénient du compostage en andain est la surface utilisée.
- Pour le lombricompostage, le maintien des vers est un peu délicat ainsi que la difficulté d'avoir de grandes quantités de vers.

- **La température**

Pour le compostage et à cause des phases mésophile, thermophile et de refroidissement, l'augmentation et la diminution de température est significativement remarquable, par contre, pour le lombricompostage, la température est contrôlée et fixée dans un domaine entre 15 et 30°C.

- **Le pH**

Le compost et lombricompost ont presque le même pH final.

- **Taux de matière organique et carbone organique**

Le taux de matière organique et carbone organique du compost final est plus élevé par rapport à celui du lombricompost.

- **Les éléments nutritifs**

Le compost final est généralement moins nutritif que le lombricompost final.

- **L'effet sur les plantes**

L'effet de compost sur les plantes est un peu plus faible que le lombricompost.

- **Durée de processus**

- Le compostage en andain dure moyennement 10 semaines ainsi que le lombricompostage dure moyennement 6 semaines.

Conclusion général

Le présent travail avait pour objectif l'étude et le suivi d'une méthode d'élimination et de valorisation des bios déchets de la restauration collective.

Cette méthode est une solution durable de valorisation des déchets organiques de restauration, elle représente un processus maîtrisé de compostage et lombricompostage.

Le compostage qui est une fermentation aérobie des déchets organiques, a été proposé afin de définir les conditions favorables du traitement des déchets de restauration.

Le lombricompostage est une technique retenue pour la valorisation des matières organiques, à la dimension rurale agricole ou citadine domestique en utilisant des vers de terre.

Les deux processus réalisés pendant deux différentes périodes ,10 semaines pour le premier et 06 semaines pour le deuxième, ont donné des composts de température similaire à la température ambiante et d'aspect granuleux, noir et sentant bon.

Pour le compostage, la température a été suivie selon son évolution durant le traitement jusqu'à atteindre un maximum de 52,18 °C pendant la dégradation, tandis que le lombricompostage est suivi pour des températures contrôlées entre 15 et 30°C.

Le pH relevé au début du compostage était légèrement acide (6,7) puis a commencé à augmenter jusqu'à atteindre une valeur de 7,8 après plusieurs fluctuations.

Pour le vermicompostage, il a été maintenu à 7 durant tout le processus.

L'humidité qui est un facteur indispensable pour l'activité des microorganismes a atteint 65% au début du compostage et a commencé à diminuer jusqu'à 42% au cours du traitement et une valeur de 12,2% a été enregistrée à la fin du compostage. Une légère augmentation a été remarquée après l'arrosage.

L'humidité pour le lombricompostage doit être maintenue à 50% durant le tout processus. Suivant le type et la composition du déchet utilisé, les valeurs des éléments nutritifs varient d'un processus à un autre mais en général, elles sont avoisinantes ou supérieures aux valeurs imposées par les normes internationales connues.

Les produits obtenus (compost et lombricompost) ont été testés sur des plantes en pleine germination (graines d'haricot).

Comparés au terreau à plusieurs pourcentages, les deux produits ont donné des résultats considérables, conclus par rapport à la longueur des racines et des tiges.

Enfin, on peut conclure que :

- Le lombricompostage peut réduire le temps et l'espace,
- Les composts ne présentent pas de phytotoxicité. Ils contiennent des éléments nutritifs qui peuvent leur permettre de jouer un rôle de fertilisant. Cette filière de traitement par compostage constitue une voie de production d'un amendement organique qui permet d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols et par conséquent les rendements et la qualité des cultures.

Il s'ensuit que le traitement des déchets par compostage est le meilleur système de gestion qu'il faut encourager et financer et il doit être installé comme perspective dans la politique de l'état afin de subvenir et accomplir la création d'entreprise pour promouvoir le compostage en Algérie

Références bibliographiques

- [1] **Bachir D, 2016**, « Evolution de la gestion des déchets et valorisation par le compostage des bio-déchets au niveau de la résidence universitaire tamda 3 »
- [2] **Belkacem A ,2012** , « gestion des déchets ménagers de la ville de alys (Algérie) analyse et diagnostique » ingénieur d'état en biologie Université Djillaliliabés Sidi bel Abbesmémoire online.
- [3] **TAHRAOUI DOUMA N.2013**. Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie. Thèse de doctorat. Ecole Doctorale Science et Techniques. 244p.
- [4]**MUSTIN M. (1987)**. Le Compost, gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc, Paris : 954.
- [5]**Gourdon, R. (2002)** «AIDE A LA DEFINITION DES DECHETS DITS BIODEGRADABLES, FERMENTESCIBLES, METHANISABLES, COMPOSTABLES»
- [6] **AND (2018)**. « Caractérisation des déchets ménagers et assimilés »
- [7] **Anonyme2, 2012**. « Les déchets verts. »
- [8] **Kakule, 2008**, « problématique de la gestion des déchets d'élevage et ménagers :cas de la cité de Lubero » Université de conservation de la nature et de développement de Kasugho – Grade 2008.mémoire online
- [9] **Anonyme, 2010**, « Déchets ménagers impacte sur la santé et l'environnement »
- [10] **DE BERTOLDI M., G. Vallini et A. Pera., 1982**. *The biology of composting: a review*. Waste Management & Research (1983). p157,176
- [11] **HASSEN A.-BELGUITH K.-JEDIDI N.-CHERIF A.-CHERIF M.-BOUDABOUS A. (2001)**. "Microbial characterisation during composting of municipal solid waste. " *Bioresource Technol.*, 80: 217-225.
- [12] **SCOTLAND R. (2004)**. "Factsheet on the benefits of using compost for scottish crops". http://www.remade.org.uk/Organics/organics_documents/compostbenefitsscottishcrops.pdf.
- SEEKINS B. (1996)**. "Field test for compost maturity. " *BioCycle* : 72-75.
- [13] **WAKSMAN S. A. (1939)**. "*Humus*. " Baillière eds, Baltimore
- [14] **LECLERC B. (2001)**. "Guide des matières organiques. " (eds Guide Technique de l'ITAB), ifen . (2002). L'environnement en France. (eds La Découverte): 600.
- [15] **IGLESIAS-JIMENEZ E. and V. PEREZ-GARCIA. (1989)**. "Evaluation of city refuse compost maturity: A review. " *Biological Wastes*, 27: 115-142.
- [16] **SANTIS-NAVARRO, A., GEA, T., BARRENA, R., SANCHEZ, A., (2001)** : Production of lipases by solid-state fermentation using vegetable oil-refining wastes. *Journal of Bioresour. Technol.* 102, 10080-10084.
- [17] **FERMOR T. R. (1993)**. "Applied aspects of composting and bioconversion of lignocellulosic materials: an overview. " *International Biodetermination and Biodegradation*, 31: 87-106.
- [18] **MICHAUD L. 2007**. Tout sur le compost : le connaître, le faire, l'acheter et l'utiliser Éd Multi Mondes.
- [19] **DUPLESSIS J. 2006**. Le compostage facilité : guide sur le compostage domestique. NOVA Envirocom. Canada. p112. *and Technology*, 5(12), 1566. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i12.1566-1570.1461>

- [20] **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
- [21] **CHARNAY F. 2005.** Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat. Université de Limoges. Ecole Doctorale Science Technique. 448 p.
- [22] **Román, P., et al. (2015).** "Farmer's compost handbook." Experiences in Latin America. Santiago: FAO.
- [23] **Albrecht, R. (2007).** Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique.
- [24] **HARUTA S.-NAKAYAMA T.-NAKAMURA K.-HEMMI H.-ISHU M.-IGARASHI Y.-NISHINO T. (2005).** "Microbial diversity in biodegradation and reutilization process of garbage. " J. Biosci. Bioeng. 99 (1) : 1–11
- [25] **Matejka, G., Barbier, J., De Las Heras, F., Klein, A., Paquetteau, F., Kebe, A., 2001.**
Composting of urban refuse in Labé (Guinea): process optimization and agricultural value; Cagliari (Sardinia) Eighth International Waste Management and Landfill Symposium (CISA : Environ. Sanitary Engineering Centre) 1 - 5 Oct. 2001.
- [26] **HOUOT S.-C. FRANCOU and C. VERGE-LEVIEL. (2001).** "Gestion de la maturité des composts: conséquence sur leur valeur agronomique et leur innocuité. " *Les nouveaux défis de la fertilisation raisonnée; Actes des 5èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de la terre. Palais des Congrès de Blois. 27-29 novembre 2001. Ed. G.Thevenet (Comifer) et A.Joubert (Gemas).*
- [27] **RYNK R. (2003).** "The art in the science of composting. " *Compost Science & Utilization*, 11, 2: 94-95.
- [28] **ADEME, 2008.** Guide pratique sur le compostage. ADEME édition, Paris, 20 pages
- [29] **Zurbrugg, C., Ahmed, R., 1999.** "Enhancing Community Motivation and Participation in Solid Waste Management." SANDEC News 4.
- [30] **Larbi, M., 2006.** Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse, Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, CH-Frick; l' Université de Neuchâtel. <http://orgprints.org/8935/>
- [31] **Guittonny-Larchevêque, M., 2004.** Valorisation d'un compost de boues urbaines en garrigue pour le reboisement : Comportement des jeunes arbres d'une plantation et modifications de la dynamique de la végétation naturelle après amendement, Thèse de Doctorat, Université Paul Cezanne, 227p.
- [32] **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, 289p.
- [33] **WONG J. W. C.-MA K. K.-FANG K. M. & CHEUNG C. (1999).** "Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. " *Bioresource Technology* 67: 43-46.

- [34] Bolan, N. S., Adrianob, D. C., Natesana, R., Koob, B.-J. 2003. Effects of Organic Amendments on the Reduction and Phytoavailability of Chromate in Mineral Soil. *Journal of Environmental Quality* 32, 120-128.
- [35] 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*, 38(9), 2993–2996. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.001>
- [36] Gomez-Brandon, Maria. Cristina, Lazcano. Dominguez, J. (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, 70, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>
- [37] Dominguez, J. (2004). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. In *Earthworm Ecology*, Second Edition (Earthworm). <https://doi.org/10.1201/9781420039719>
- [38] Rostami, R. (2011). Vermicomposting. *Integrated Waste Management*, II(1), 13. <https://doi.org/10.2307/3964883>
- [39] Grattepanche, N. (2005). Le lombricompostage : principe et applications Bibliographie. *Echo-MO*, (55), 3–6.
- [40] 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-lombriculture-a-la-ferme>
- [41] Chaoui, H. (2010). Vermicompostage (ou lombricompostage) : Le traitement des déchets organiques par les vers de terre. *Fiche Technique*, Vol. 10-010, p. 8. Ontario: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires.
- 42] Morin, É. (2004). Le lombricompostage, une façon écologique de traiter les résidus organiques. In E. 58 P.-M. P (Ed.), *Guide pratique* (pp. 1–20).
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] Antil, R. S., & Raj, Dev. Narwal, P. R. and Singh, J. P. (2013). Evaluation of Maturity and Stability Parameters of Composts Prepared from Organic Wastes and Their Response to Wheat. *Waste Biomass Valor*, 4, 95–104. <https://doi.org/10.1007/s12649-012-9141-7>
- [46] Tara, C. (2003). Vermicomposting. Development alternatives. *Sustainable Livelihoods* ([Http://Www.Dainet.Org/Livelihoods/Default.Htm](http://Www.Dainet.Org/Livelihoods/Default.Htm)).
- [47] AVNIMELECH Y.-M. BRUNER- I. EZRONY-R. SELA and M. KOCHBA. (1996). "Stability indexes for municipal solid 230 waste compost." *Compost Science & Utilization* 4, 2: 13-20
- [48] Shanthi, K. (2018). Evaluation of maturity parameters of vermicomposts prepared from different biodegradable wastes. *Int. J. of Life Sciences*, 6(2), 487–493.
- . [49] Zucconi, F. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22(2), 54–57.

- [50] Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (2014). Recycling of solid organic wastes through vermicomposting: Microbial community changes throughout the process and use of vermicompost as a soil amendment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(12), 1289–1312. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763588>
- [51] Arancon, N. Q., Edwards, C. A., & Bierman, P. (2006). Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology*, 97(6), 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.016>
- [52] Ansari, A. A., & Ismail, S. A. (2012). Earthworms and Vermiculture Biotechnology. In Dr. Sunil Kumar (Ed.), *Management of Organic Waste* (INTECH, p. 11).
- [53] Francis, F., Haubruge, E., Thang, P. T., Van Kinh, L., Lebailly, P., & Gaspar, C. (2003). Technique de lombriculture au Sud Vietnam. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 7(3–4), 171–175.
- [54] Dominguez, J., & Edwards, C. A. (2010). *Chapter 3 Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting*
- [55] Dominguez, J. (2001). The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg)(Oligochaeta) in cattle waste solids. *Pedobiologia*, 45(4), 341–353.
- [56] Bouché, M. B. (1972). *Lombriciens de France, écologie et systématiques*. INRA, Paris.
- albedinis*, Edition CNRC, Canada, pp.69-77.
- [57] Heynitz K.V., 1985. Le compost au jardin, Edition Terre vivante, paris, p.125.
- [58] Mohee, 2002. Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; Resources, Conservation and recycling 36 (2002) 33-43.
- [59] Liang, C., Das, K.C., Mc Clendon, R.W., 2003. "The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a solids composting blend." *Bioresource Technology* 86: 131-137.
- [60] Godden, B. 1986. "Les tests enzymatiques et chimiques de maturité des composts." *Compost Information* 22: 20-24.
- [61] Kulcu R & Aldine, 2004, "Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes." *BioresourceTechnology* 93: 49–57.
- [62] Suthar, S., Kumar, K., & Mutiyar, P. K. (2014). Nutrient recovery from compostable fractions of municipal solid wastes using vermiculture. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1), 174–184. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0238-x>
- [63] ATTRASSI. B, MRABET. L, B, DOUIRA. A OUNINE.K et EL HALOUI.L., 2005. Etude de la valorisation des déchets ménagers. *Revue de Biotechnologie et environnement*.
- [64] Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2017). Instrumental characterization of organic wastes for evaluation of vermicompost maturity. *Journal of Analytical Science and Technology*, 8(2), 12. <https://doi.org/10.1186/s40543-017-0112-2>
- [65] Favoretto, L. B. Atoloye, I. A., & Obikoya, A. O. Borsato, A. V. Rezende, M. O. O. (2016). Chemical 56 study of vermicomposted agroindustrial wastes. *Int J Recycl Org Waste Agricult*, 5, 55–63. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0117-7>