

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département : Sciences Biologiques



جامعة غليزان
RELIZANE UNIVERSITY
MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Biochimie appliquée

Intitulé

**Effet de la source de matières premières sur la qualité et
l'efficacité du compostage**

Présenté par :

Mlle : MERBAH Manel

Mlle : OULLAA Djamila

Mlle : OULLAA Inés

Devant les membres de jury :

Président : Mme BOUZIANI Dréffa

Encadrant : Mr BENAÏSSA Miloud

Co- Encadrant : Mme ABDI Nessrin

Examineur : Mme OUCIF Hanane

Maître assistant (A) (U. Relizane)

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

Doctorante (U. Relizane)

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

Année universitaire : 2023/2024

Remerciement

*Tout d'abord, nous remercierions le Bon Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis
D'accomplir cette humble œuvre .*

*Nos remerciements aussi et surtout à nos encadrateurs : Dr.BENAISSA MILOUD
et Madame ABDI NESRIN pour leurs confiances et leurs assistances au cours de ces
travaux.*

Nous tenons à leur exprimer notre gratitude Et notre profond respect.

*Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation Au
cours des cinq années.*

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté l'examiner pour ce travail.

*Nous ne pouvons terminer cette reconnaissance sans nous référons à Ceux qui
nous sont chers, nos parents, nos frères, nos sœurs dont l'aide et les encouragements nous ont
aidés à poursuivre nos études jusqu'à*

La réussite.

Merci à tous....

Dédicace

*Tout au début, je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir donné
du courage et de la patience afin de réaliser ce modeste travail
que je dédie à :*

*Mon cher père qui a été toujours un exemple pour moi, et
qui a veillé à ma réussite en déployant tous les efforts nécessaires.*

*Ma chère mère qui m'a appris à être femme et
qui m'a beaucoup aidé dans mes études, pour les sacrifices
qu'elle a fait, pour mon éducation et la confiance et*

L'amour qu'elle m'a toujours accordé.

Ma très chère grand-mère.

Mes adorables frères (Bouabdellah et kader)

Et sœurs (Bohra et lamis).

Mes copines,

*A tous ceux qui m'ont soutenu et aidé pour la réalisation
de ce travail et tous ceux qui me sont chers.*

Manel

À tous ceux qui m'ont appris une lettre dans monde mortel.

À l'âme pure de mon père.

*À l'âme de ma chère, chère mère et à mes quatre frères (Hani, Issa, Hakim
et Ahmed) et mes deux meilleures sœurs (Wahiba et Karima).*

À tous les membres de la famille éducative de l'Algérie libre et fière.

Dirigée par le professeur BENAISA MILOUD .

À eux tous, je dédie cet humble travail.

*Nous demandons à dieu de faire de lui un phare pour tout étudiant en
Connaissance.*

Amen, seigneur des mondes.

Djamila

*C'est avec toute l'ardeur de mes sentiments
que dédie ce mémoire à mes chers parents Ma Mère et*

Mon Père pour leur patience, leur amour, et leur encouragement, que Dieu les gardes et le protèges.

-A' mon frère Abdelhamid .

*Mes chère sœurs Samira et Amina et Marwa et toute la
famille Oullaa Sans oublier tous les professeurs que ce soit du
primaire, moyen, secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

Inés

Résumé

Le compostage, pierre angulaire de la gestion durable des déchets organiques et de l'agriculture régénératrice, fait l'objet de cette étude visant à optimiser la synergie des matériaux pour produire un compost nutritionnellement équilibré. L'objectif est de déterminer la composition initiale idéale, calibrant finement les proportions de chaque intrant pour maximiser la biodégradabilité et la richesse nutritive du produit final.

L'expérimentation a porté sur cinq mélanges distincts, élaborés avec un rapport C/N oscillant entre 15% et 30%. Le processus de compostage, d'une durée de deux mois, s'est déroulé dans des bacs perforés, avec un retournement quotidien assurant une aération optimale. Un monitoring périodique des paramètres physico-chimiques clés (température, humidité, pH) a été effectué pour suivre l'évolution du processus.

Les résultats obtenus après cette période révèlent un compost prometteur : un taux de carbone organique de 24,37% à 36,15%, une matière organique s'élevant à 49,62-62,18%, un pH quasi neutre (7,1-7,5), une conductivité électrique modérée (1,872-2,7 mS/cm), et une humidité adéquate (55-73%). Le test de phytotoxicité, utilisant un extrait pur du compost, indique une toxicité modérée avec un taux de germination de 62%.

Cette étude démontre que la qualité du compost s'affine avec le temps. Elle souligne l'importance de la patience dans le processus de maturation, rappelant que l'application du compost comme amendement ne devrait se faire qu'à pleine maturité. Cette recherche éclaire ainsi la complexité du compostage, où chaque ingrédient, chaque proportion, chaque paramètre contribue à la symphonie nutritive finale, offrant un guide précieux pour l'élaboration de composts sur mesure, adaptés aux besoins spécifiques de chaque sol.

Mots-clés : compostage, déchets phytotoxicité, optimisation, maturation, compost.

ملخص

التسميد حجر الزاوية في الإدارة المستدامة للنفايات العضوية والزراعية، تهدف هذه الدراسة إلى تحسين إنتاج الاسمدة متوازنة التركيب . من خلال تحديد التركيب الأولي المثالي، والمعايرة الدقيقة لنسب كل المكونات الأولية القابلة للتحلل الحيوي للإثراء الغذائي للمنتج النهائي.

ركزت التجربة على خمس خلطات متميزة، تم إعدادها بنسبة كربون إلى نيتروجين تتراوح بين 15% و 30%. استمرت عملية التسميد لمدة شهرين، في صناديق مثقبة، مع تقليب يومي يضمن تهوية مثلى. تم إجراء مراقبة دورية للمعايير الفيزيائية والكيميائية الرئيسية (درجة الحرارة، الرطوبة، درجة الحموضة) لمتابعة تطور العملية.

كشفت النتائج التي تم الحصول عليها بعد هذه الفترة عن سماد واعد: نسبة الكربون العضوي 24.37% إلى 36.15%، المادة العضوية 49.62-62.18%، درجة حموضة شبه متعادلة (7.1-7.5)، توصيل كهربائي معتدل (1.872-2.7 ملي سيمنز/سم)، ورطوبة كافية (55-73%). يشير اختبار السمية النباتية، باستخدام مستخلص نقي من السماد، إلى سمية معتدلة بمعدل إنبات 62%. تثبت هذه الدراسة أن جودة السماد تتحسن مع مرور الوقت. وهي تسلط الضوء على أهمية الصبر في عملية النضج، مذكرة بأن تطبيق السماد كمحسن يجب ألا يتم إلا عند النضج الكامل. تؤثر المواد الأولية على جودة ونوعية السماد على حيث يساهم كل مكون، وكل نسبة، وكل معلمة في القيمة الغذائية النهائية، مما يوفر دليلاً قيماً لتطوير أسمدة مصممة خصيصاً، مكيفة للاحتياجات المحددة لكل تربة.

الكلمات المفتاحية: التسميد، النفايات، السمية النباتية، التحسين، النضج، السماد العضوي.

ABSTRACT:

Composting, the cornerstone of sustainable organic waste management and regenerative agriculture, is the subject of this study aimed at optimizing material synergy to produce a nutritionally balanced compost. The objective is to determine the ideal initial composition, finely calibrating the proportions of each input to maximize biodegradability and nutritional richness of the final product.

The experiment focused on five distinct mixtures, formulated with a C/N ratio ranging from 15% to 30%. The composting process, lasting two months, took place in perforated bins, with daily turning ensuring optimal aeration. Periodic monitoring of key physicochemical parameters (temperature, humidity, pH) was conducted to track the process evolution.

The results obtained after this period reveal a promising compost: an organic carbon content of 24.37% to 36.15%, organic matter rising to 49.62-62.18%, a near-neutral pH (7.1-7.5), moderate electrical conductivity (1.872-2.7 mS/cm), and adequate moisture (55-73%). The phytotoxicity test, using a pure compost extract, indicates moderate toxicity with a germination rate of 62%.

This study demonstrates that compost quality refines over time. It highlights the importance of patience in the maturation process, reminding us that the application of compost as an amendment should only be done at full maturity. This research sheds light on the complexity of composting, where each ingredient, each proportion, and each parameter contributes to the final nutritive symphony, offering a valuable guide for developing tailor-made composts, adapted to the specific needs of each soil.

Keywords: composting, waste, phytotoxicity, optimization, maturation, compost.

Liste des abréviations	i
Liste des tableaux	ii
Liste de figures	iii
Introduction.....	4
I Généralités sur les déchets et le compostage.....	4
I.1 Historique	5
I.2 Le Compostage	5
I.3 Objectifs du compostage.....	5
I.4 Le déchet	5
I.5 Les phases du processus de compostage.....	7
I.6 Processus et population microbiologique.....	8
I.7 Les différentes méthodes de compostage	8
I.8 L'équilibre dans le composteur	8
I.9 Les paramètres clés à contrôler pour optimiser le processus de compostage	9
I.9.1 La température.....	9
I.9.2 Le pH.....	10
I.9.3 L'humidité.....	10
I.9.4 L'aération.....	11
I.9.5 Rapport C/N.....	11
I.10 Contrôle de composte	12
I.11 Effets sur les propriétés physico-chimiques des sols	12
I.12 Valorisation agronomique par apport d'éléments fertilisants :	12
I.13 Remarque sur le compost	13
II Matériel et méthode	14
II.1 Site d'expérimentation.....	19
II.2 Matériel biologique utilisé	19
II.3 Préparation des déchets avant leur compostage.....	19
II.3.1 La collecte de déchets	19
II.3.2 Le tri sélectif	19
II.4 Méthodologie du travail.....	19
II.5 Formulation	19
II.6 Protocole expérimental.....	19
II.7 Préparation des mélanges et dispositif expérimental	21

II.8	La mise des déchets récupérés en suivant les règles de compostage	21
II.9	Les paramètres physiques du compost.....	22
II.9.1	Mesure de température	22
II.9.2	Mesure de pH	22
II.9.3	Mesure Humidité.....	22
II.10	Analyses physico-chimiques.....	23
II.10.1	Conductivité électrique (CE).....	23
II.10.2	Rapport Carbone/Azote	23
II.10.3	Dosage du carbone organique total (COT)	23
II.11	Analyses biologiques	24
II.11.1	Champignons.....	24
II.11.2	Bactéries	25
II.12	Test de phytotoxicité.....	25
III	Résultats et discussion	27
III.1	Propriétés physico-chimiques des matières premières et du mélange final.....	34
III.2	Évolution des paramètres physicochimiques du compost.....	34
III.2.1	Evolution de la température	34
III.2.2	Evolution du pH	36
III.2.3	Évolution d’humidité	37
III.2.4	Conductivité électrique (CE).....	38
III.2.5	Évolution de la matière organique (MO) , carbone organique total (COT) et de l’azote total	39
III.2.5.1	Évolution de la matière organique (MO).....	39
III.2.5.2	Evolution du Carbone organique total (COT)	41
III.2.5.3	Évolution de l’azote total :	43
III.3	Tests biologiques.....	43
III.3.1	Analyse microbiologique	43
III.4	Test de germination	44
Conclusion	et Perspectives	47
Références bibliographiques.....		50
Annexes		I

Liste des abréviations

g	gramme
C	degré Celsius (température)
P	phosphore (élément chimique)
h	heure
ml	millilitre (unité de mesure de volume)
kg	kilogramme
C/N	rapport carbone/azote
N	azote (élément chimique)
k	potassium (élément chimique)
Ca	calcium (élément chimique)
Mg	magnésium (élément chimique)
S	Soufre (élément chimique)
NH3	Ammoniac
pH	Potentiel hydrogène (mesure de l'acidité ou de l'alcalinité)
M1	melange 1
n	Nombre (généralement utilisé pour désigner une quantité spécifique ou un nombre d'objets)
COT	Carbone organique total
P1	Valeur phosphorique initiale
CE	Conductivité électrique
MO	Matière organique

Liste des tableaux

Tableau 1: La nature des résidus organiques (NOVA ENVIROCOM, 2002).	9
Tableau 2: les deffirantes preparation des composts etudier.....	20
Tableau 3 :resultat des analyse de composte final.....	34

Liste de figures

Figure 1 : classification des déchets compostables	6
Figure 2:évolution théorique de la température durant le compostage en milieu tempère (Francou, 2004).....	7
figure 3: courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987)	10
Figure 4: Evolution du rapport C/N de différents substrats au cours du compostage (Hafidi, 2011) ...	11
Figure 5 : Influence des paramètres physico-chimiques lors du compostage (adapté de Lashermes, 2010).....	12
figure 6: préparation des mélange de compost	20
Figure 7:Mise en tas des déchets	21
Figure 8 : Tests manuels d'humidité	22
Figure 9:Mesure de conductivité électrique.	23
Figure 10: dosage du carbone	24
Figure 11:Préparation de dilutions.	25
Figure 12:tests de germination	26
Figure 13:Evolution de la température pendant du compostage	35
Figure 14:Evolution du pH pendant du compostage	37
Figure 15:Evolution d'humidité pendant du compostage	38
Figure 16: Evolution de la conductivité électrique (EC) pendant du compostage	39
Figure 17: Evolution du carbone organique total (COT) a la fin du compostages	43
Figure 18Graines de cresson germées après 4 jours de la mise en marche du processus germination .	46

Introduction

La production de déchets solides municipaux et industriels ne cesse d'augmenter dans le monde entier, en quantité absolue et par habitant. Le niveau de prospérité d'un pays est un facteur déterminant de la quantité de déchets qu'il produit. Plus un pays est riche, plus il génère de déchets. Cette situation engendre de graves risques de pollution des sols, des eaux et de l'air, menaçant la salubrité publique. (Badi et Benana 2020).

Le développement des activités humaines et industrielles contribue sans aucun doute à l'accroissement de la production de déchets, qui peuvent avoir des impacts néfastes directs ou indirects sur la santé humaine. La production mondiale annuelle de déchets atteint le chiffre colossal de 4 milliards de tonnes, posant d'énormes défis environnementaux, financiers, économiques, sociaux et écologiques aux villes. (Basalo, 1974)(Golueke, 1977 et 1979). (Khorief et Mahimoud, 2019).

Dans les pays en développement, le traitement des déchets se fait principalement par enfouissement. Cependant, la plupart finissent dans des décharges périphériques plus ou moins contrôlées, gaspillant un potentiel important de valorisation par recyclage des matériaux et compostage de la forte proportion de matière organique fermentescible. (Charnay, 2005).

En Algérie, l'enfouissement technique reste la principale filière d'élimination des déchets solides, privilégiée par les pouvoirs publics pour son coût moindre. Mais depuis les années 2000, des efforts considérables ont été déployés pour une gestion intégrée et efficiente, conformément à la constitution qui consacre les droits à la santé et à un environnement sain. Néanmoins, des lacunes persistent dans la mise en œuvre. (Badi et Benana, 2020).

Le compost, riche en matières organiques, constitue un excellent amendement pour régénérer les sols appauvris. Il peut largement remplacer les mélanges commerciaux et convient à toutes les cultures. Son introduction dans le sol permet de maintenir la matière organique et d'améliorer la fertilité. (Tietjen, 1975) (Hafidou.,2017).

L'objectif principal de cette étude est d'optimiser les mélanges de matières premières afin d'obtenir un compost équilibré en nutriments, d'étudier ses propriétés et d'identifier les caractéristiques des matières premières utilisées.

Le mémoire est structuré en trois parties principales :

1. Une étude bibliographique abordant les généralités sur le compost, l'évolution de ses caractéristiques physico-chimiques, et plus particulièrement celles de sa matière organique.
2. La présentation des matériels et méthodes utilisés, détaillant notamment les caractéristiques d'élaboration des composts étudiés.
3. Le traitement des résultats de caractérisation de la matière organique des composts et son évolution au cours du compostage, ainsi que l'étude de la valeur agronomique des composts.

Enfin, une conclusion générale résumant les principaux résultats et quelques perspectives pour de futures recherches sont proposées.

I Généralités sur les déchets et le compostage

I.1 Historique

Le compostage est une technique très ancienne qui a été utilisée dès l'Antiquité. Les Chinois ont collecté et composté depuis des millénaires toutes les matières organiques provenant du jardin, des champs et de la maison, y compris les matières fécales.

Par exemple, au Proche-Orient, une zone de stockage des déchets urbains était créée devant les portes de Jérusalem : certains étaient brûlés et les autres compostés.

I.2 Le Compostage

Le mot 'compost' vient du latin « Compositus » qui signifie « composé de plusieurs choses ». (Znaïdi, 2002).

Le compostage est un processus [aérobie / anaérobie] de dégradation de composés organiques par l'action successive des micro-organismes (bactéries, levures, et champignons), dont la concentration peut atteindre des millions, voir des milliards par gramme de compost. (Amir et al., 2010)

- Une phase dite oxydative, au cours de laquelle l'oxydation biologique des composés facilement biodégradables se fait principalement par des bactéries. Cette forte activité microbienne entraîne une augmentation de la température jusqu'à 60-75°C, c'est pour cela que cette phase est appelée aussi phase thermophile.

- Une phase dite de maturation caractérisée par un ralentissement de l'activité microbiologique et la prédominance des phénomènes d'humification. Les micro-organismes les plus actifs sont les champignons et les actinomycètes qui dégradent les substances les plus polymérisées. Au cours de cette phase, on assiste à une stabilisation croissante de la matière organique qui se traduit par une diminution de sa biodégradabilité résiduelle.

I.3 Objectifs du compostage

Le compostage vise à valoriser les différents types de biodéchets organiques (déchets verts, boues, déchets ménagers, effluents d'élevage, etc.) en produisant un amendement organique stable, plutôt que de les mettre en décharge ou de les incinérer. C'est une solution pratique et simple pour la gestion collective de ces déchets, qui tire parti des progrès des techniques de compostage. Son principal avantage est de transformer ces résidus en un compost de qualité pouvant servir à amender les sols.

I.4 Le déchet

Le déchet est défini comme étant le résidu des processus de production, de transformation ou d'utilisation, destiné normalement à l'abandon.(Aloueimine, 2006).

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 obligation de se défaire ou de l'éliminer. (M.A.T.E, 2003).

Classification des déchets

Une classification des déchets compostables est formulée selon leur origine, leur nature chimique ou encore leur état physique (*cf.* Figure 1). Pour le compostage, seuls les déchets organiques fermentescibles et non pollués sont susceptibles d'être utilisés. De plus, selon leur nature (Asnoue, 2017).

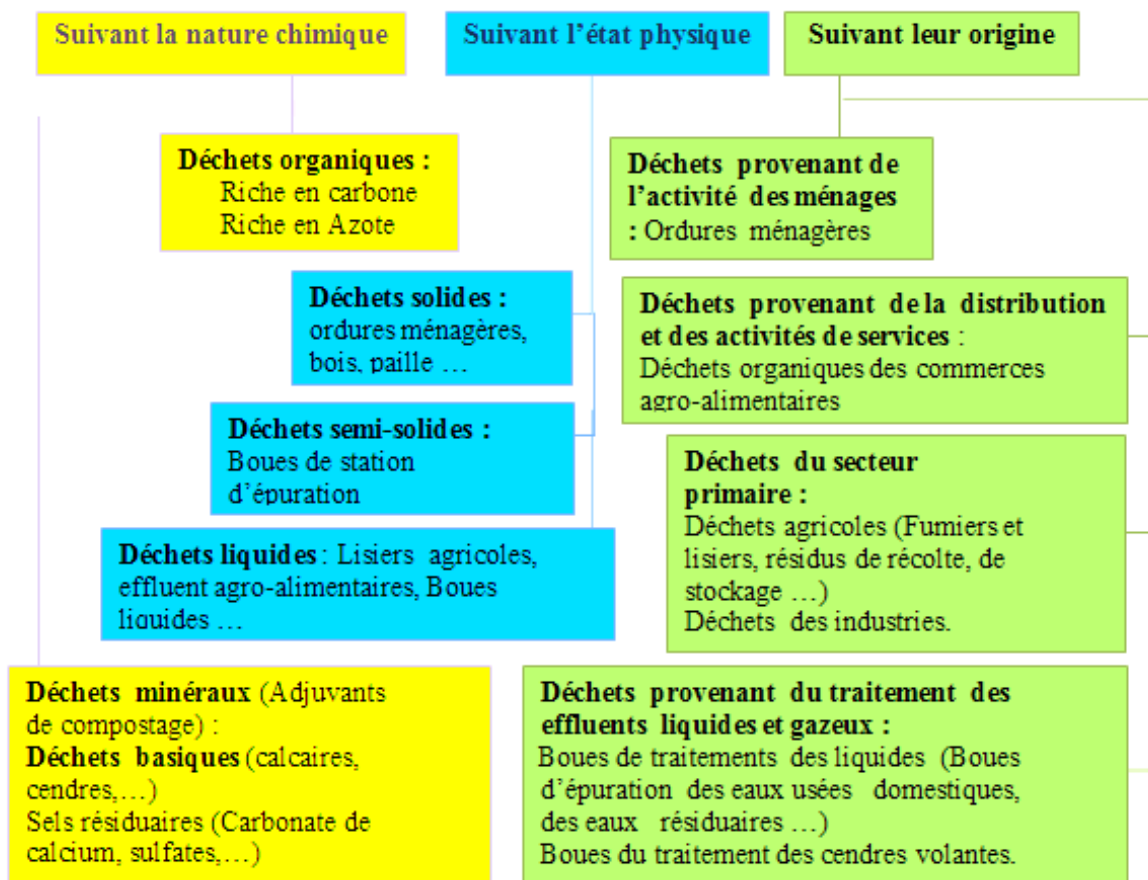


Figure 1 : classification des déchets compostables

On peut noter aussi une autre caractéristique des déchets urbains est leur forte teneur en eau (de 50 à 95 %).

I.5 Les phases du processus de compostage

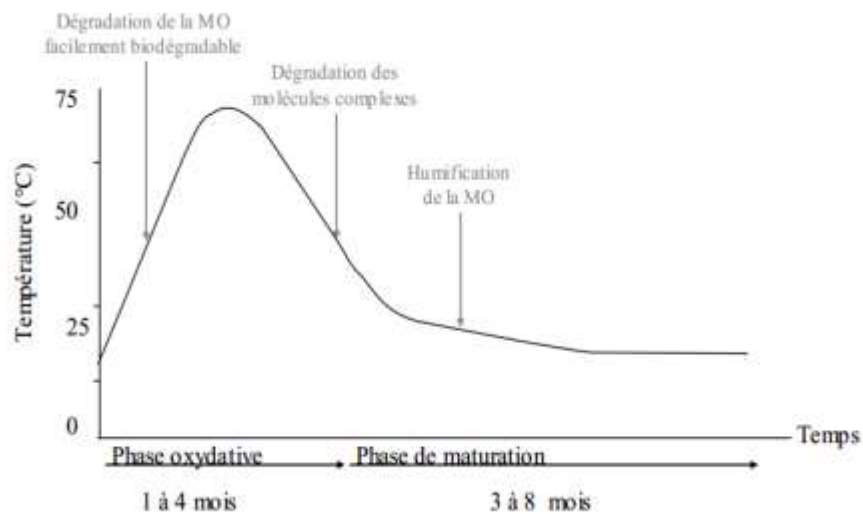


Figure 2: évolution théorique de la température durant le compostage en milieu tempère (Francou, 2004)

- La phase mésophile : C'est la phase initiale où les matières premières sont envahies par les micro-organismes mésophiles (bactéries et champignons principalement). Leur activité entraîne une augmentation de la température (de 10-15°C à 30-40°C), un important dégagement de CO₂ (diminuant ainsi le rapport C/N) et une acidification. Cette phase est responsable de plus de 75% de la perte de poids sec due à la dégradation de la cellulose.
- La phase thermophile : Cette phase est atteinte au cœur du tas de compost, avec des températures élevées (60 à 70°C pour les composts agricoles). Seuls les micro-organismes thermotolérants ou thermophiles (actinomycètes, bactéries thermophiles) peuvent survivre, entraînant l'arrêt de l'activité des champignons. Les pertes en azote sous forme ammoniacale (NH₄⁺) pouvant se volatiliser en ammoniac (NH₃), ainsi que l'évaporation d'eau, sont plus importantes durant cette phase. Le dégagement de CO₂ peut provoquer jusqu'à 50% de perte de poids sec à la fin de la phase thermophile. Cependant, les hautes températures ne concernent que le centre du tas. (voir figure2).
- La phase de refroidissement (C) : C'est la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la maturation. La température redescend jusqu'aux niveaux ambiants. Le milieu est alors recolonisé par des micro-organismes mésophiles qui dégradent les polymères restants de la phase thermophile et incorporent l'azote dans des molécules complexes.
- La phase de maturation (D) : Peu d'activité microbiologique pendant cette phase, mais recolonisation par la macro-faune comme les lombrics si présents. Les matières organiques se stabilisent et s'humifient par rapport aux matières premières initiales.

Les trois premières phases (mésophile, thermophile, refroidissement) sont relativement rapides comparées à la maturation. Leur durée dépend des matériaux de départ et des conditions techniques. Les retournements sont déterminés par la baisse de température, et la maturation se poursuit en principe jusqu'à l'épandage final.

La durée de maturation varie selon la composition des matières premières : environ 6 semaines pour les déchets lignocellulosiques comme les fumiers, contre 6 mois minimum pour les déchets ligneux comme les déchets verts.

I.6 Processus et population microbiologique

Au cours du compostage Les micro-organismes, notamment les bactéries et les actinomycètes, sont responsables de l'intégralité du processus de décomposition dans le compostage. Ils jouent un rôle crucial dans la dégradation des composés organiques complexes. Différents types de micro-organismes interviennent selon les phases du compostage (réchauffement, phase thermophile, refroidissement). (Azouma, 2011) (Beffa et al., 1996) Bien que la majorité soient bénéfiques, décomposant la matière organique, certains micro-organismes pathogènes pour l'homme comme E.coli, Aspergillus ou certains virus peuvent également coloniser les composts. Des études ont identifié les genres microbiens prédominants selon la matière compostée. (Beffa, 1996; Rabia et al., 2007).

I.7 Les différentes méthodes de compostage

- Le compostage en andains : Les matières sont disposées en longs tas étroits (andains), retournés régulièrement pour assurer l'aération. Plusieurs systèmes d'aération existent (retournement mécanique, aération forcée...). Durée moyenne de 3 mois.
- Le compostage en récipient clos : Les matières sont confinées dans un bâtiment/récipient avec aération forcée et retournement mécanique pour accélérer le processus (moins de 3 mois).
- Les lits rectangulaires remués : Les matières sont disposées dans de longs couloirs (lits) délimités par des murs et retournées mécaniquement.
- Le vermicompostage : Utilisation de vers de fumier qui se nourrissent et décomposent les déchets.
- Ajout d'adjuvants naturels (phosphates, calcaire, fumier) pour augmenter la qualité fertilisante du compost final en azote, phosphore, potassium.

I.8 L'équilibre dans le composteur

Un équilibre est nécessaire entre les matières (les verts riches en azote et les bruns riches en carbone) pour obtenir un compost de qualité. (Nova envirocom, 2002).

Par ailleurs, le tableau ci-dessous permet de distinguer les matières compostables et celles à éviter.

Tableau 1: La nature des résidus organiques (NOVA ENVIROCOM, 2002).

Matières riches en azote (Les verts)	Matières riches en carbone (Les bruns)	Matériaux à ne pas composter		
Restes de fruit	Paille/foin	Serviettes de papier	Cendre de bois	Viande et poisson
Restes de légumes	Sciures de bois	Pâtes alimentaires, pain	Plante ou feuillage malade	Os
Coquilles d'œufs	Papier (préférable de le recycler)	Tissus naturels (lin, laine, cuir, coton, etc.)	Excréments d'animaux : chat ou chien	Produits laitiers
Fumier mature	Marc de café (filtre inclus)	Litière d'oiseaux, plumes	Briquettes	Huile (gras)
Tontes de gazon fraîches	Feuilles d'arbre séchées	Écales de noix, Noyaux	Mauvaise herbe montée en graine	Plastic
Algues	Cheveux/ongles	Terre (riche en minéraux)	Poussière d'aspirateur	Métaux

I.9 Les paramètres clés à contrôler pour optimiser le processus de compostage

Le compostage est un phénomène naturel mais le contrôle de certains paramètres biologiques et physico-chimiques permet d'optimiser la dégradation et d'obtenir un compost de qualité. Il faut maîtriser l'activité des micro-organismes en régulant l'aération (taux d'oxygène), l'humidité, la température et le pH. (Finstein et Morris, 1975); (Miller et al., 1989); (Devisscher, 1997).

I.9.1 La température

La température est un indicateur pertinent de l'activité microbienne, des températures élevées (autour de 60°C) signalent une forte activité permettant une bonne dégradation. Cependant, au-delà de 70°C, la chaleur dégagée par la respiration microbienne peut devenir létale. L'optimum

se situe donc entre 55 et 70°C pour assurer une bonne hygiénisation. Les variations de température dépendent aussi de l'aération et de l'humidité. Une stabilisation finale de la température indique l'arrêt de l'activité de dégradation. (Soudi, 2009); (Kolezi, 2011)

I.9.2 Le pH

Le suivi du pH renseigne sur le degré d'avancement de la décomposition. Deux phases se succèdent : une phase acidogène initiale (pH vers 6) par production d'acides organiques, puis une phase alcaline (pH 6-8) avec production d'ammoniac lors de la dégradation des protéines. Sans ajout de tampon, le pH du compost reste généralement entre 6 et 8 selon le substrat, mais peut varier de 5 à 9 pendant le processus. (Attrassi et al., 2010) ; (Compaoré et al., 2010)

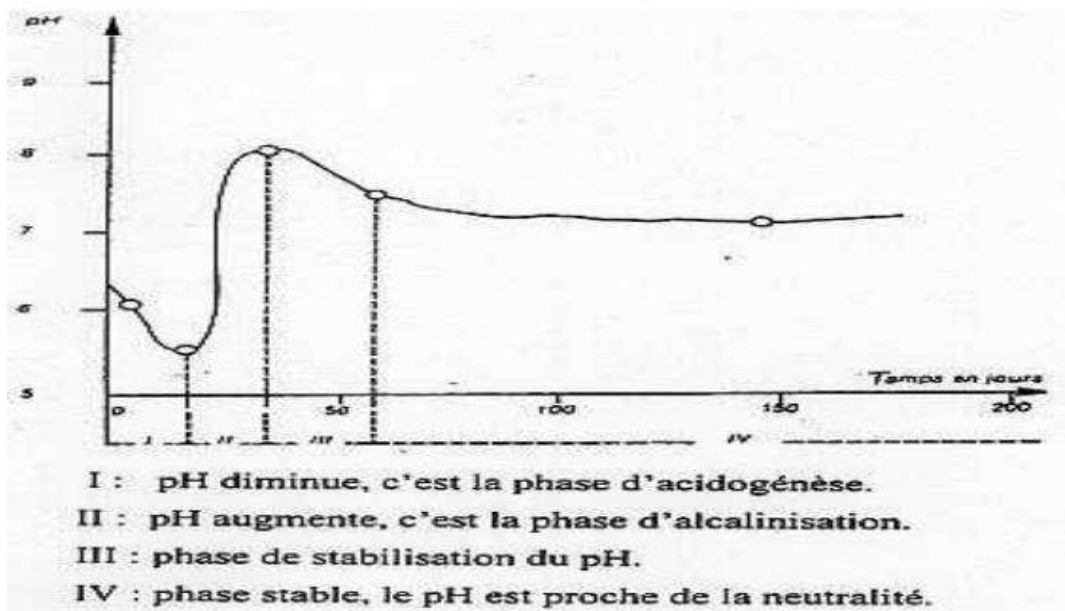


Figure 3: courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987)

I.9.3 L'humidité

Le taux d'humidité du compost conditionne l'activité des micro-organismes et donc la vitesse de dégradation de la matière organique. C'est même considéré comme le paramètre le plus influent par certains auteurs sachant que Le taux d'humidité optimal dépend de la densité du milieu, donc de l'état physique et de la nature du substrat. Il est conditionné par deux phénomènes opposés : la libération d'eau lors de la décomposition des matières d'un côté, et l'évaporation due à la chaleur dégagée par la fermentation de l'autre.

En général, une humidité comprise entre 40 et 60% du poids frais est considérée comme optimale. En-dessous de 20%, la décomposition est inhibée. Au-dessus de 70%, les échanges

d'oxygène diminuent, favorisant des conditions anaérobies indésirables car l'eau remplit les espaces lacunaires.

Un arrosage régulier permet de maintenir un taux d'humidité idéal de 50 à 70%. Les conditions météorologiques influencent aussi l'humidité, d'où l'utilisation fréquente de systèmes de couverture. En fin de processus, un compost sec facilite son conditionnement.

I.9.4 L'aération

L'oxygène est indispensable au compostage pour maintenir des conditions aérobies permettant une décomposition rapide et sans odeurs. Le taux d'oxygène dans les espaces entre les particules (oxygène lacunaire) doit rester suffisant, typiquement au moins 5%. Ce taux dépend de la granulométrie et de l'humidité du mélange.

Une aération insuffisante ou un milieu trop compact favorise l'anaérobiose indésirable. Différents systèmes d'aération existent : retournements mécaniques, aération forcée avec ou sans recirculation. Outre l'apport en oxygène, ces systèmes permettent aussi de réguler l'humidité, d'homogénéiser le mélange et de contrôler la température.

I.9.5 Rapport C/N

Pendant la décomposition, les micro-organismes consomment le carbone comme source d'énergie et l'azote comme nutriment protéique, diminuant ainsi le rapport C/N initial. L'évolution de ce rapport dépend de la teneur en matière organique et en azote du substrat.

Il est primordial d'évaluer ce rapport C/N initial pour ajuster le mélange à composter et assurer une dégradation homogène. Sa valeur optimale dépend des caractéristiques du substrat, généralement entre 25-30 pour les déchets et 25-45 pour les ordures ménagères hétérogènes.

Un rapport trop élevé (>35) ralentit la dégradation par manque d'azote. Un rapport trop bas (<15) entraîne des pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac et une baisse de pH.

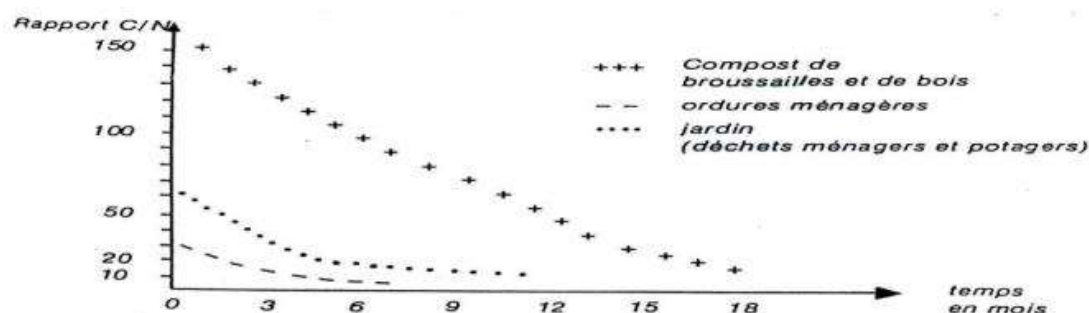


Figure 4: Evolution du rapport C/N de différents substrats au cours du compostage (Hafidi, 2011)

I.10 Contrôle de composte

Le processus de compostage peut être contrôlé par la maîtrise de l'aération du retournement et de l'arrosage. Ces facteurs doivent être pris en compte simultanément, en effet la génération de chaleur métabolique, la température, la ventilation et l'humidité sont quatre facteurs interconnectés lors du processus de compostage (Strom, 1985).

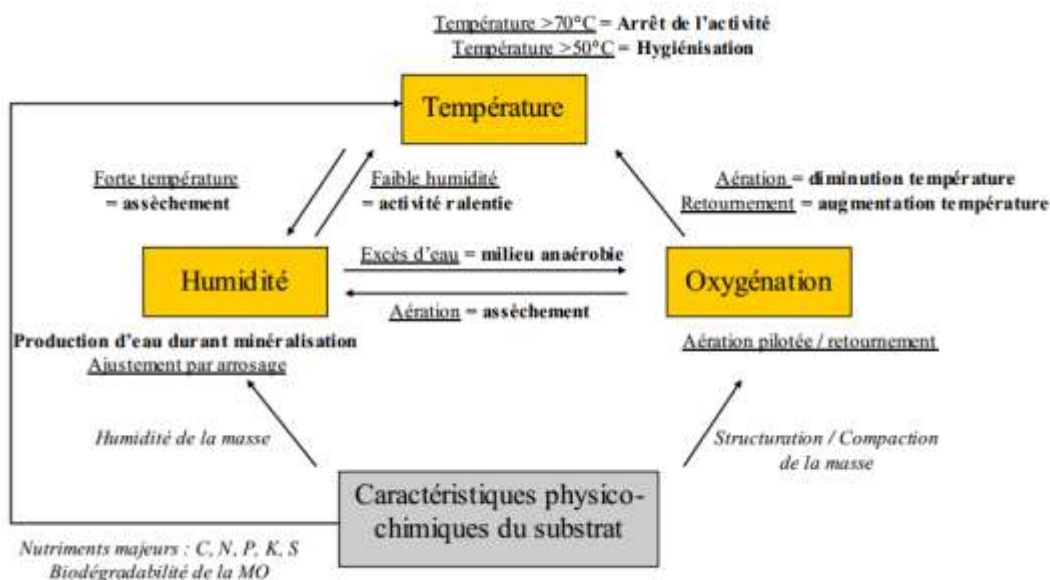


Figure 5 : Influence des paramètres physico-chimiques lors du compostage (adapté de Lashermes, 2010)

I.11 Effets sur les propriétés physico-chimiques des sols

- Amélioration de la structure, de la porosité et de la conductivité hydrique
- Diminution de la densité et de la dégradation en surface
- Augmentation du pouvoir tampon et de la capacité d'échange cationique
- Réduction de l'acidité des sols

I.12 Valorisation agricole par apport d'éléments fertilisants :

- Permet de compenser la chute du taux de matière organique dans les sols cultivés
- Réduit le besoin en engrais minéraux solubles et lessivables
- Améliore durablement la fertilité des sols
- Favorise la nutrition, la croissance et la survie des plantes, notamment en période de sécheresse
- Apporte des éléments nutritifs majeurs (N, P, K, Ca, Mg, S) et oligo-éléments

Le compost constitue donc un excellent amendement organique permettant d'améliorer les propriétés physico-chimiques des sols tout en apportant les éléments fertilisants nécessaires à la croissance des plantes.

I.13 Remarque sur le compost

- La stabilisation de la température du compost traduit la fin de phase de dégradation intensive (Harada et al, 1981).
- L'absence d'odeurs déplaisantes générées par l'émission de composés organiques volatiles lors de la phase de dégradation intensive peut également être utilisée (Iglesias- jimenez et Perez-garcia, 1989).
- Le rapport C/N est un indicateur très utilisé dans l'étude des composts. Le C/N diminue au cours du compostage et Roletto et al (1985) considère qu'une valeur inférieure à 25 caractérise un compost mûr, alors que Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia (1989) considère qu'un rapport inférieur à 20 et même 15 est préférable. Mais beaucoup d'auteurs considèrent que la valeur du C/N d'un compost n'est pas suffisante pour déterminer sa maturité (Morel et al, 1986 ; Serra-wittling, 1995).
- En effet, les pH acides sont caractéristiques des composts immatures alors que les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9 (Forster et al, 1993)

II Matériel et méthode

II.1 Site d'expérimentation

La présente étude est réalisée au niveau l'université Relizane dans un lieu réservé aux expériences scientifiques.

II.2 Matériel biologique utilisé

Boue récupérer de la station d'épuration de Relizane : en apportant de la matière organique riche en nutriments (azote, phosphore, oligo-éléments)

Matériaux humides et riches en azote : Nous avons utilisé les matériaux riches en azote tel que déchets des légumes, fumier bovin, épluchures.

Matériaux secs et riches en carbone : Pour les matériaux riches en carbone nous avons utilisé les déchets suivants paille, coquilles, sciure.

II.3 Préparation des déchets avant leur compostage

II.3.1 La collecte de déchets

Généralement, les déchets sont constitués d'un mélange de divers déchets. En outre la présence de produits toxiques tel que (le plastique, métaux, des matières infectées, ...etc.), impose un tri sélectif au préalable.

II.3.2 Le tri sélectif

Cette étape, permet de séparer les matières fermentescibles organiques fermentescibles (épluchures des fruits et légumes, reste de repas, papiers, textiles, etc.), des matériaux recyclables tel que les papiers, cartons d'emballage, verres, métaux, plastiques ou indésirables (médicaments, piles, huiles, peintures, détergents, etc.).

II.4 Méthodologie du travail

Nous avons lancé un essai du compostage dans Des clayettes avec perforations sur les côtés pour la ventilation, que ce fait en deux étapes complémentaires qui sont la formulation et l'homogénéisation.

II.5 Formulation

Il s'agit d'un essai qui comporte 2/3 des défèrent déchets plus 1/3 boue selon la méthode de compostage thermophile de Berkley modifier, afin d'obtenir un rapport C/N = entre 20 et 40.

II.6 Protocol experimental

Pour cette étude, 5 mélanges de compost ont été préparés avec des compositions variées. Les ingrédients utilisés sont le fumier (bovin), la paille, les épluchures de fruits/légumes, les

coquilles et la sciure de bois. A chaque mélange, 3,3 kg de boue active a été ajouté pour apporter les micro-organismes nécessaires au compostage.

Tableau 2: les différentes préparation des composts étudiier

Composition de déchets	Fumier	Paille	Sciure	Déchets verts	Boue
Compost n°1(M1)	3,3 kg	2 kg	0,66 kg	0,99 kg	3,3 kg
Compost n°2(M2)	2,64 kg	0,66 kg	0,33 kg	2,97 kg	3,3 kg
Compost n°3(M3)	3,96 kg	1,32 kg	0,33 kg	0,99 kg	3,3 kg
Compost n°4(M4)	1,98 kg	1,32 kg	0,33 kg	2,97 kg	3,3 kg
Compost n°5(M5)	2,31 kg	1,98 kg	0,66 kg	1,65 kg	3,3 kg

Cette préparation en 5 échantillons distincts permettra d'évaluer l'influence des différents ratios d'ingrédients organiques sur la qualité finale du compost obtenu après décomposition. Le suivi des paramètres clés (humidité, aération, température) sera effectué pour chaque mélange.



Figure 6: préparation des mélange de compost

II.7 Préparation des mélanges et dispositif expérimental

Pour la présente étude, la méthode de compostage choisie correspond à la méthode de compostage dans des récipients clos .Cette dernière offre de multiples avantages :

- Encombrement réduit, accès propre.
- Compostage rapide.
- Protection contre les animaux et les aléas climatiques.
- Diminution de pertes de gaz.

II.8 La mise des déchets récupérés en suivant les règles de compostage

Cette technique consiste à mettre les déchets dans des sacs Ce qui nous permet d’avoir une bonne accessibilité, et un suiviefacile à réaliser. Les expériences ont été lancées 10 Mars 2024



Figure 7: Mise en tas des déchets

II.9 Les paramètres physiques du compost

Lors de la caractérisation et la valorisation d'un déchet par la filière de compostage, plusieurs paramètres sont à identifier (Charnay, 2005).

Nous avons suivi les variations des paramètres physiques (PH, humidité et température) de notre compost pendant toute la période de notre étude.

II.9.1 Mesure de température

La température est mesurée quotidiennement à 11 h durant tout le processus, à l'aide d'un thermomètre, qui est introduit directement dans le tas après quelque minute on lit la température affichée. (Annexe 2)

II.9.2 Mesure de pH

La détermination du potentiel hydrogène, pH, est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme AFNOR NF ISO 10-390 de novembre 1994 (Tahraoui, 2013).

Dans un bécher, nous avons mélangé 10 g de compost avec 50 ml d'eau distillée. La mesure du pH est effectuée après dix minutes d'homogénéisation par agitation magnétique à température ambiante à l'aide d'un pH mètre la mesure a été effectuée.

II.9.3 Mesure Humidité

L'humidité est un facteur indispensable à la décomposition des substrats. Pour mesurer l'humidité, nous avons utilisé le test de poignée (figure 6). Nous avons pris une poignée de compost dans la main et on a presse :

- Si quelques gouttes sortent entre les doigts et que le matériau ne se disperse pas quand vous ouvrez la main, le compost à 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 8 : Tests manuels d'humidité

- nous avons utilisé aussi l'hygromètre.

II.10 Analyses physico-chimiques

Normalement les analyses chimiques de différents substrats testés dans cette expérimentation, sont réalisées au niveau du laboratoire de science en biochimie .

Par ailleurs, les analyses microbiologiques sont effectuées au niveau du laboratoire de Département de Biologie

II.10.1 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre à 25 °C, avec un rapport matière/eau (1/5).



Figure 9: Mesure de conductivité électrique.

II.10.2 Rapport Carbone/Azote

Ce rapport est calculé après détermination des teneurs en carbone et en azote, les micro-organismes (bactéries) utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. Le procédé de compostage entraîne une décomposition de la matière organique, donc une consommation de l'azote et du carbone, correspondant à la diminution du rapport C/N. Il est important de connaître le rapport C /N initial des déchets afin de constituer un mélange optimal en ajoutant la quantité d'éléments déficitaires pour assurer une dégradation idéale et homogène sur l'ensemble du processus. (Amir ,2005);(Elfels ,2014).

II.10.3 Dosage du carbone organique total (COT)

✓ Matériels utilisés :

- Creusets
- Balance de précision
- Four à moufle 1000°C
- Etuve 70°C

✓ Mode opératoire :

- Peser environ une quantité de 5g de chaque échantillon de compost préalablement séchée dans une étuve à 70°C pendant 24 heures
- Peser les creusets (P0)
- Introduire 5 g de compost sec dans un creuset vide
- Peser à nouveau le creuset avec l'échantillon (P1)
- Déposer les creusets contenant notre échantillon dans un four à moufle à 1000°C pendant 1 heure

Après refroidissement, nous prenons le nouveau poids de l'échantillon (P2) puis nous calculons COT comme suit :

$$\text{Taux MO (\%)} = (P1 - P2) / (P1 - P0) \times 100$$

A partir de taux de MO nous pouvons déterminer le pourcentage de COT ainsi en appliquant la relation suivante :

$$COT(\%) = \frac{MO (\%)}{1,724}$$



Figure 10: dosage du carbone .

II.11 Analyses biologiques

Plusieurs travaux de recherche ont été focalisés sur la microbiologie du compost mais jusqu'à présent les analyses systématiques des produits de compostage restent insuffisantes (Hassen et al., 2001).

II.11.1 Champignons

Un relevé de la microflore est également effectué pour identifier les germes fongiques. Concernant les champignons, l'ensemencement est réalisé sur un milieu de culture PDA à une température d'incubation d'environ 27 °c (Champion, 1997).

Dans notre essai expérimental, les analyses microbiologiques sont réalisées à partir d'une suspension de 1 g de compost (chaque échantillon) dans 9 ml d'eau physiologique stérile. La suspension est par la suite agitée manuellement dans le but de libérer le maximum de la charge microbienne.

Des dilutions en série sont ensuite réalisées à partir d'eau physiologique stérile. Pour le dénombrement de la microflore fongique, sur des milieux gélosés les dilutions 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} sont utilisées pour ensemercer des milieux sur boîte de Pétri, en Utilisant le milieu de culture PDA .



Figure 11:Préparation de dilutions.

II.11.2 Bactéries

Dénombrement de la flore mésophile totale : Pour dénombrer la flore mésophile totale, il faut d'abord préparer le milieu de culture PCA. Ensuite, après stérilisation, préparer la solution mère en diluant 1g de compost dans 9 ml d'eau physiologique stérile pour les 7 échantillons. Réaliser une série de dilutions décimales de 10^{-1} à 10^{-6} . À partir des dilutions 10^{-3} à 10^{-7} , ensemercer 1 ml de chaque dilution dans le milieu PCA. Enfin, incuber à 37°C pendant 24 heures.

II.12 Test de phytotoxicité

Pour réaliser le test de phytotoxicité, commencer par stériliser les graines de cresson à l'alcool et au NaCl, puis les rincer à l'eau. Déposer ensuite 20 graines sur du papier filtre dans une boîte de pétri et ajouter 10 ml d'extrait aqueux de compost. Incuber pendant 72 heures à 27°C à l'obscurité. Après l'incubation, calculer le taux de germination en faisant le rapport entre le nombre de graines germées dans l'extrait et le nombre de graines germées dans le témoin, multiplié par 100. Ce test permet d'évaluer le degré de toxicité du compost pour les plantes.

Taux germination% = $(\text{Nb germées extrait} / \text{Nb germées témoin}) \times 100$



Figure 12:tests de germination

III Résultats et discussion

Dans ce chapitre, nous analysons et discutons les résultats des paramètres physico-chimiques (T °C ,ph ,H % ,MO % ,COT ,CEetc.) obtenus durant le suivi expérimental de processus de compost .

III.1 Propriétés physico-chimiques des matières premières et du mélange final

Les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des compost sont représentés dans le tableau :

Tableau 3 : résultats des analyses de composte final

Paramètres physico-chimiques	Unité	Compost 1	Compost 2	Compost 3	Compost 4	Compost 5
Température	°C	33,1	35,6	38,3	40	39,5
PH	-	7,1	7,3	7,4	7,5	7,4
Humidité	%	72,771	55,13	69,862	61,403	63,942
Conductivité électrique (CE)	ms/cm	2,7	2,1	2,67	2,48	1,872
Matière organique (MO)	%	62,18	54,68	41,92	50,08	49,62
Carbone organique%	%	36,15	31,68	24,37	29,11	28,76

III.2 Évolution des paramètres physicochimiques du compost

III.2.1 Evolution de la température

on peut observer que toutes les courbes suivent une tendance générale similaire avec trois phases distinctes :

Phase mésophile initiale On note des températures assez basses, autour de 20-25°C, durant les premiers jours du compostage. Cette phase correspond à l'installation progressive des populations microbiennes qui vont initier la dégradation de la matière organique., bactéries et champignons mésophiles. (Dalzell et al.,1988).

Phase thermophile Après environ 20 jours, on assiste à une augmentation rapide des températures jusqu'à atteindre un pic maximum situé entre 40 et 60°C selon les mélanges. Cette élévation marque l'activité intense des microorganismes responsables de la décomposition des composés facilement dégradables.

On remarque des différences notables dans l'amplitude de ces pics thermophiles, directement liées aux compositions initiales. Les mélanges riches en fumier (source d'azote) comme M2 et M3 affichent des températures maximales plus élevées, alors que M4, avec moins de fumier, a un pic plus modéré, La durée de cette phase thermophile varie également, s'étalant de 15 à 20 jours environ. Une phase plus longue suggère une disponibilité prolongée des nutriments facilement métabolisables. Ne renferment pas un composé très riche en carbone et peuvent donc

présenter un manque de porosité et d'aération nécessaire pour le bon développement des microorganismes. (Itab 2001)

Phase de refroidissement/maturation Après le pic, on observe une décroissance plus ou moins rapide des températures, signe de l'épuisement progressif des substrats et du ralentissement de l'activité microbienne. La vitesse de cette décroissance peut refléter le degré de maturité finale atteint. Résultat d'un ralentissement de l'activité des microorganismes responsables à l'épuisement des matières organiques facilement dégradables et la présence des macro organismes. (Fitzpatrick G.E., et al 2001) (Soudi B. 2001).

On distingue également deux phases d'arrosage, marquées par des chutes brutales de température. Ces apports d'eau permettent de réguler l'humidité du compost, paramètre essentiel à l'activité des microorganismes. Les écarts de baisse selon les mélanges pourraient provenir de différences de rétention en eau.

Dans l'ensemble, ce suivi thermique révèle l'importance primordiale de la composition initiale des mélanges, notamment le ratio entre sources de carbone et d'azote, pour favoriser un compostage efficace avec une élévation optimale des températures pendant la phase de dégradation active.

Les résultats du température obtenus sont représentés dans le graphe de la figure suivante :

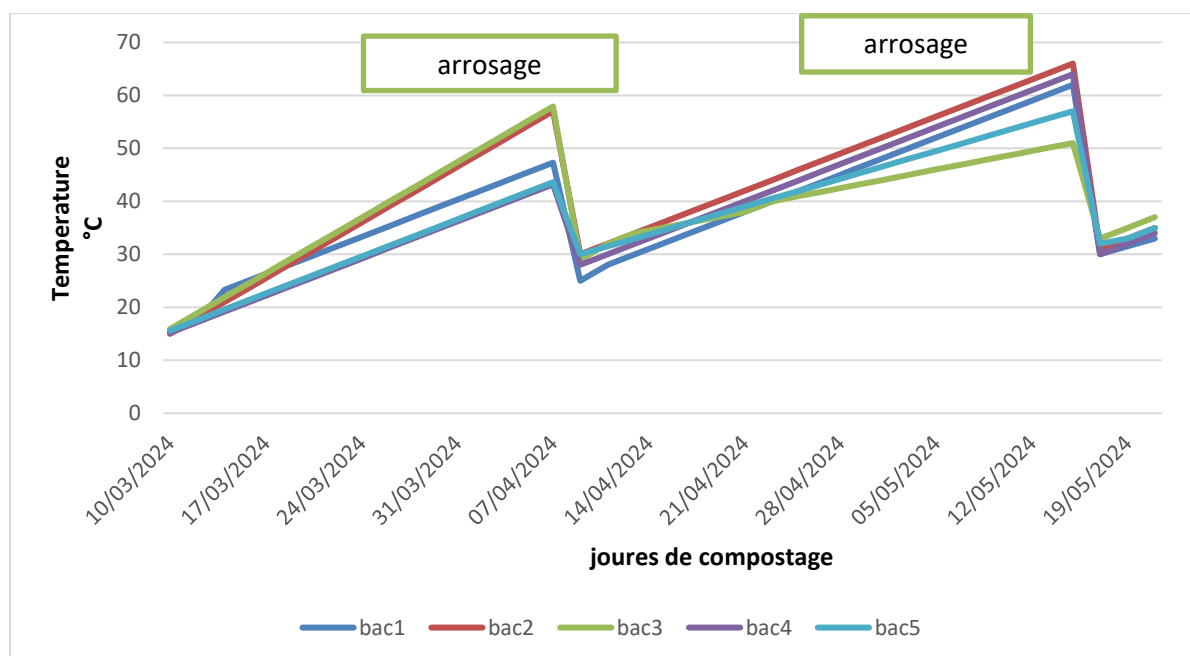


Figure 13: Evolution de la température pendant du compostage.

III.2.2 Evolution du pH

On remarque que toutes les courbes suivent une allure similaire, avec un pH initial plutôt acide (autour de 6), puis une augmentation progressive jusqu'à atteindre un palier autour de 7-8 (pH neutre à basique) avant de se stabiliser.

Phase initiale légèrement acide Cette acidité au départ est liée à la production d'acides organiques par les premières populations microbiennes qui décomposent les sucres et composés solubles. C'est une phase transitoire classique du compostage. Le départ est avec un pH légèrement acide qui est due à la libération et l'accumulation des molécules d'acides organiques produites par les premiers colonisateurs dans des conditions d'anaérobiose instaurées au début du processus du compostage, puis augmente progressivement où il devient proche de la neutralité 6,45 pour devenir basique à la fin du compostage. (Fitzpatrick G.E., et al 2001)

L'augmentation du pH qui suit est due à la dégradation des composés organiques produisant de l'ammoniac qui, combiné à l'eau, forme de l'ammoniaque basique faisant monter le pH. d'autre part d'une libération des bases auparavant intégrées à la matière organique (Peters S., et al 2000) Le palier atteint entre 7 et 8 correspond à la plage de pH optimale pour l'activité des microorganismes de compostage. Un pH trop acide ou trop basique inhiberait leur développement.

On note de légères différences dans les cinétiques et les niveaux atteints, probablement liées aux compositions initiales variables en nutriments azotés et carbonés qui influencent la production d'ammoniaque.

Après le pic, le pH tend à se stabiliser, signe d'un certain équilibre atteint lorsque le compost approche de la maturité, Ceci est aussi la conséquence de la présence d'ions

Ca²⁺ qui augmente au cours du compostage suite à l'humification et qui joue un rôle de tampon dans le milieu. (Morel J. L., et al 1986)

Le suivi du pH est un excellent indicateur de l'avancement du processus de compostage. Son évolution reflète les activités successives des populations microbiennes dégradant les différents composés organiques. Maintenir un pH idéal proche de la neutralité est crucial pour favoriser un compostage efficace, Plusieurs travaux ont observé des variations du pH au cours du processus de compostage

des déchets ménagers, le pH devient légèrement acide puis augmente progressivement pour devenir neutre puis basique (Attrassi. B., et al 2007) , (Adediran J. A., et al 2003) .

Les résultats du pH obtenus sont représentés dans le graphe de la figure suivante :

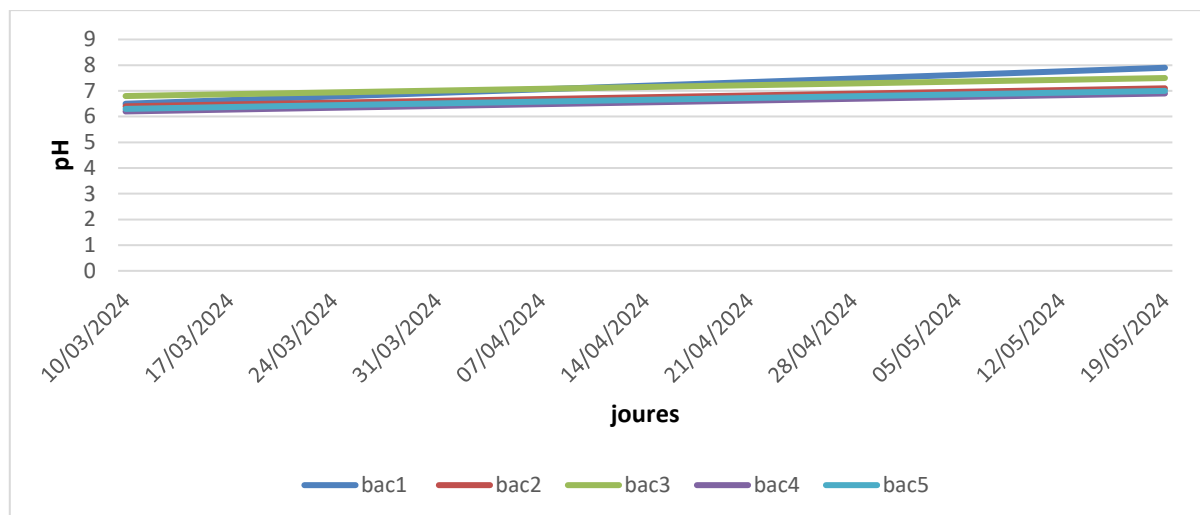


Figure 14: Evolution du pH pendant du compostage .

III.2.3 Évolution d'humidité

Tout d'abord, on note des taux d'humidité initiaux assez disparates, allant d'environ 50% pour le compost 3 à près de 80% pour le compost 2. Ces écarts s'expliquent principalement par les proportions variables de matières humides (fumier, épluchures) et sèches (paille, sciure) dans chaque mélange. Le compost 2, riche en déchets verts (2,97 kg) et boues (3,3 kg) mais pauvre en matières sèches, affiche logiquement le taux d'humidité le plus élevé au départ. A l'inverse, le compost 3 contenant davantage de fumier (3,96 kg) et de paille (1,32 kg) semble plus sec initialement.

On observe ensuite une phase de déshydratation plus ou moins rapide selon les mélanges, probablement liée à l'activité microbienne consommant l'eau disponible durant la phase thermophile de dégradation intense. Les composts les plus humides initialement, comme le 2 et le 5, semblent perdre leur excès d'eau plus vite. Des pics d'humidification marqués apparaissent aussi, correspondant vraisemblablement aux phases d'arrosage. On distingue bien deux arrosages selon les mélanges, permettant de réhumecter les bacs lorsque l'assèchement devient trop prononcé à cause d'une perte d'eau "par l'évaporation. (Chennaoui M., et al 2016 (b)) .

Après ces phases de réhydratation, on note de nouvelles baisses d'humidité, plus ou moins rapides selon la composition des mélanges et leur capacité de rétention en eau. Les composts riches en matières organiques facilement dégradables comme le fumier (cas des M1 et M3) semblent se déshydrater à nouveau assez vite, probablement en raison d'une activité microbienne soutenue.

Enfin, on atteint un certain palier de stabilisation de l'humidité en fin de processus, aux alentours de 50-60% selon les mélanges. Ce niveau résiduel peut refléter la maturité et la biodégradation

avancée du compost, en comparant à la règle générale où l'humidité doit être comprise entre 50% et 70 %. (Sghairoun M et Ferchichi A., 2011) .

Dans l'ensemble, le contrôle de l'humidité par des arrosages réguliers apparaît indispensable pour maintenir des conditions favorables à l'activité des microorganismes impliqués. La composition en matières sèches/humides impacte grandement les cinétiques de déshydratation. Ce résultat est accordé avec les résultats de (Chennaoui et al.,(2016b)).

Les résultats d'humidité obtenus sont représentés dans le graphe de la figure suivante :

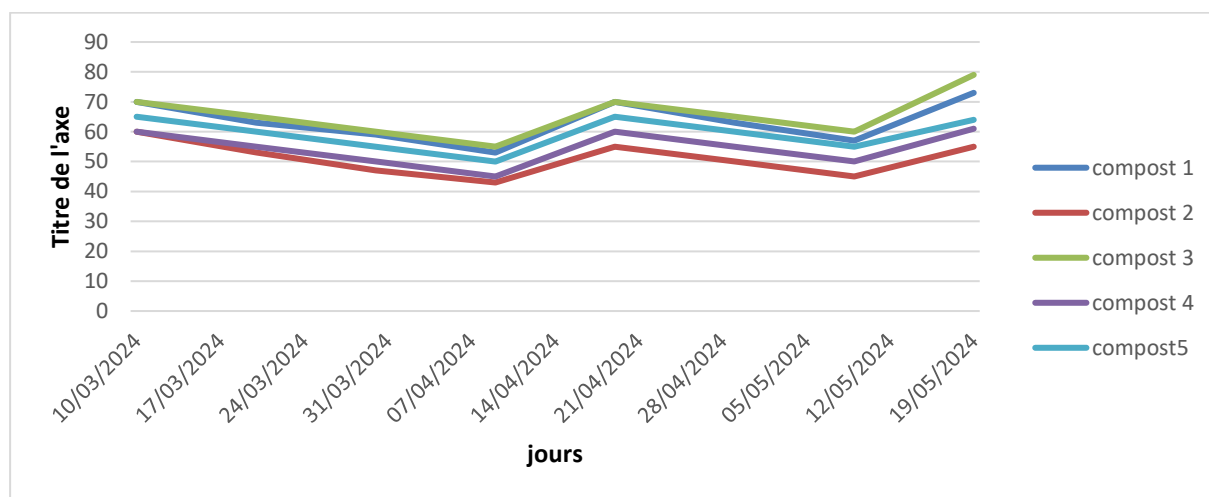


Figure 15: Evolution d'humidité pendant du compostage .

III.2.4 Conductivité électrique (CE)

On constate des différences notables de conductivité électrique entre les 5 mélanges de compost étudiés. Le compost M5 affiche la CE la plus basse avec 1,872 mS/cm, tandis que le M1 a la CE la plus élevée à 2,7 mS/cm, Ces écarts de CE peuvent s'expliquer par les compositions initiales variables des mélanges, notamment les teneurs en matières ioniques comme les sels minéraux, certains nutriments, etc. Un mélange riche en fumier et boues comme le M1 apportera logiquement davantage d'ions dissous augmentant la conductivité Gómez-brandon et al., (2008) ont montré que l'augmentation de la conductivité électrique pourrait être causée par la libération de sels minéraux tels que les phosphates et les ions ammonium par la décomposition des substances organiques.

De manière générale, une CE élevée en fin de compostage est considérée comme un signe de bonne maturation et de stabilisation de la matière organique. Les charges organiques complexes sont dégradées en molécules plus simples et ions assimilables, bien que dépendante des intrants de départ, on estime qu'une CE comprise entre 2 et 3 mS/cm est satisfaisante pour un compost mature de qualité. Au-delà, un excès de salinité pourrait être préjudiciable. En-deçà, cela refléterait une décomposition insuffisante. (Znaïdi 2002)

Dans cette optique, les mélanges M1 (2,7 mS/cm), M3 (2,67 mS/cm) et M4 (2,48 mS/cm) semblent les plus adaptés, leur CE finale se situant dans la fourchette idéale. Le M5 pourrait être manquant de maturation.

Le suivi de la conductivité électrique apporte ainsi un éclairage complémentaire précieux sur l'état d'avancement et la qualité du compostage, en complément des paramètres physico-chimiques comme la température, le pH ou l'humidité. Son interprétation doit cependant tenir compte de la composition de départ du mélange.

Les résultats de conductivité électrique obtenus sont représentés dans le graphe de la figure suivante :

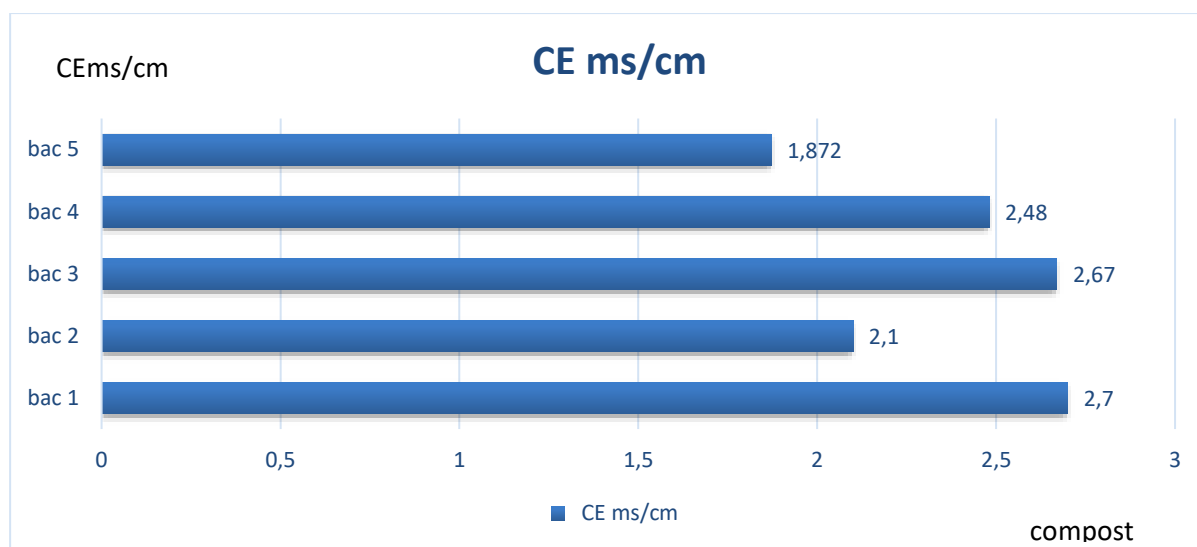


Figure 16: Evolution de la conductivité électrique (EC) pendant du compostage .

III.2.5 Évolution de la matière organique (MO) , carbone organique total (COT) et de l'azote total

La circulation biologique des nutriments est nécessaire à la vie, et les principaux médiateurs dans ce processus sont les microorganismes. La biotransformation est une modification biologique qui change la structure chimique de la matière (Insam et de Bertoldi, 2007). La biotransformation peut synthétiser des atomes ou convertir des molécules simples en composés plus complexes (biosynthèse) ou vice versa (biodégradation et minéralisation). (Michel et al., 2002).

III.2.5.1 Évolution de la matière organique (MO)

Dans le processus de compostage, la décomposition de matière organique joue un rôle crucial, notamment à travers ses composants essentiels que sont le carbone et l'azote. Ces deux éléments sont fondamentaux pour l'activité des microorganismes qui orchestrent la décomposition :

Le carbone sert de carburant énergétique, alimentant les processus métaboliques des microbes.

L'azote, quant à lui, est le matériau de construction, permettant aux microorganismes d'édifier leurs structures cellulaires et de produire les protéines nécessaires à leur fonctionnement.

Cette symbiose entre le carbone et l'azote dans le compost a été mise en lumière par les travaux d'Iqbal et ses collègues en 2015. Pour optimiser ce partenariat, il est essentiel de maintenir un équilibre spécifique entre ces deux éléments. Selon Guo et al. (2012), le ratio idéal de carbone à azote (C/N) dans un compost se situe entre 25 pour 1 et 35 pour 1. Cette proportion assure une décomposition efficace et harmonieuse, offrant aux microbes la juste quantité de chaque élément pour leurs besoins énergétiques et structurels. Si le rapport C/N est supérieur à l'optimal, le processus de compostage est ralenti car l'activité des microorganismes est réduite, et à un rapport C/N inférieur, l'ammoniac et des odeurs désagréables sont générés. Mais Il existe une possibilité de réussir le processus de compostage même avec des valeurs de rapports C/N inférieures à l'optimal. (Neugebauer et *al.*, 2017).

La réduction des rapports C/N peut être réalisée en ajoutant des matériaux riches en azote tels que des résidus de fruits et légumes. L'augmentation du rapport C/N est obtenue en ajoutant des matières premières à plus forte teneur en carbone telles que le carton et le papier. (Makan et Mountadar, 2012).

Au début de l'opération de compostage, le taux de matière organique est élevé, atteignant environ 89,84 % pour les déchets de pomme de terre, 50% pour le fumier de bovin, 84,3 % pour la paille et 81,84 % pour la boue. Après deux mois de compostage, l'analyse de la teneur en matière organique (MO) révèle des différences significatives entre les cinq composts, mettant en lumière l'impact des matières premières sur le processus de décomposition. (Chakroune, 2005) (Dieng et *al.*, 2019) (Messaoudi et *al.*, 2023)

Le compost M1, avec un impressionnant 62,18% de MO, se distingue comme le plus riche. Cette abondance s'explique par sa composition initiale judicieuse : 3,3 kg de fumier, source précieuse de MO facilement dégradable, associés à 2 kg de paille. Le fumier, de par sa nature, fournit des composés organiques rapidement assimilables par les microbes. En parallèle, la paille, riche en lignine et en cellulose, joue un double rôle. Bien qu'elle se décompose lentement, elle maintient un taux élevé de MO, même après deux mois. Cette résistance à la dégradation n'est pas un défaut mais un atout, car elle assure une libération progressive des nutriments, bénéfique à long terme pour le sol.

À l'opposé, le compost M3 affiche le taux le plus bas avec 41,92% de MO, et ce, malgré sa forte proportion de fumier (3,96 kg). Cette apparente contradiction s'explique par une décomposition particulièrement efficace. Contrairement à M1, M3 contient moins de déchets verts (0,99 kg)

et de sciure, matériaux connus pour leur résistance à la dégradation. Cette composition favorise une attaque microbienne rapide et intense, transformant plus rapidement la matière organique. Les composts M2, M4 et M5 présentent des taux de matière organique (MO) intermédiaires, oscillant entre 49,62% et 54,68%. Cette gamme modérée reflète un équilibre intéressant dans leur composition initiale, notamment en termes de déchets verts et de paille.

Le compost M2, avec 54,68% de MO, se positionne en tête de ce trio. Sa richesse s'explique par une proportion généreuse de déchets verts (2,97 kg), compensant largement sa moindre quantité de paille (0,66 kg). Les déchets verts, souvent sous-estimés, sont en réalité un trésor de lignine. Cette molécule, composante majeure des parois cellulaires végétales, est réputée pour sa résistance à la dégradation. Ainsi, malgré moins de paille, M2 maintient un niveau élevé de MO grâce à la stabilité structurelle de ses déchets verts.

M4 suit de près avec 50,08% de MO. Sa composition miroir celle de M2 en termes de déchets verts, mais il se distingue par une plus grande quantité de paille (1,32 kg). Cette augmentation de paille, elle-même riche en lignine et en cellulose, ne se traduit pourtant pas par un taux de MO plus élevé. Cela suggère que, dans ce cas, les déchets verts de M2 ont une teneur en lignine supérieure ou une structure plus résistante que la paille additionnelle de M4.

M5, avec 49,62% de MO, ferme ce groupe. Paradoxalement, il contient la plus grande quantité de paille (1,98 kg) mais affiche le taux de MO le plus bas. Ce compost équilibre sa forte teneur en paille avec une quantité intermédiaire de déchets verts (1,65 kg). La paille, connue pour sa lente dégradation due à sa richesse en cellulose et lignine, n'a pas élevé le taux de MO autant qu'on pourrait le penser. Cela pourrait indiquer que dans M5, soit la paille se décompose plus rapidement, soit d'autres facteurs (comme une activité microbienne plus intense) accélèrent la transformation de la MO.

III.2.5.2 Evolution du Carbone organique total (COT)

L'analyse du carbone organique total dans nos cinq composts après deux mois de compostage offre un éclairage fascinant sur la dynamique de décomposition et l'influence des matières premières sur la disponibilité du carbone. La diminution du taux de carbone organique total du mélange au cours de notre essai, ça peut-être due à la minéralisation de la matière organique en CO₂ résultat de l'activité des microorganismes aérobies. (Gobat, J.M et *al.*, 2003)

Les taux du carbone à la fin du compostage situé entre 25,03 % et 48,07% pour des composts de déchets verts, ce qui est similaire à nos résultats . (Znaïdi I., 2002)

Le compost M1 avec 36,15% de carbone. Ce taux élevé est l'œuvre d'un trio de matériaux riches en carbone : 2 kg de paille, 0,66 kg de sciure, et 3,3 kg de fumier. La paille et la sciure, véritables

forteresses de lignine et de cellulose, résistent à la décomposition microbienne. Leur structure moléculaire complexe, riche en liaisons croisées. Le fumier, quant à lui, offre du carbone plus accessible, mais une partie reste intacte, peut-être piégée dans des zones moins aérées. M1 incarne ainsi une stratégie de "libération contrôlée", idéale pour nourrir le sol sur le long terme. À l'opposé, M3 présente le taux le plus bas avec 24,37% de carbone, et ce, malgré sa générosité en fumier (3,96 kg). Ce paradoxe s'explique par un subtil jeu de chimie. Le fumier, riche en azote, abaisse le rapport C/N, créant un environnement propice aux bactéries. Ces dernières, dopées à l'azote, s'attaquent au carbone avec une voracité accrue. De plus, avec moins de paille (1,32 kg) et de sciure (0,33 kg) que M1, M3 offre moins de carbone "résistant". Ce compost illustre une décomposition accélérée, où le carbone est rapidement converti en biomasse microbienne et en CO₂, enrichissant le sol en nutriments immédiats.

Entre ces deux pôles, les composts M2, M4 et M5 naviguent dans une zone médiane (28,76% à 31,68% de carbone). M2 (31,68% C) mise sur les déchets verts (2,97 kg) avec peu de paille (0,66 kg). Les déchets verts, souvent sous-estimés, rivalisent avec la paille en termes de carbone récalcitrant. Leurs structures ligneuses, héritées des arbres et arbustes, sont un défi pour les microbes.

M4 (29,11% C) augmente la paille (1,32 kg) mais réduit le fumier (1,98 kg) par rapport à M2. Ce compromis équilibre la libération du carbone : plus de carbone stable de la paille, moins de carbone rapide du fumier.

M5 (28,76% C) surprend avec le plus de paille (1,98 kg) mais moins de carbone que M2. Cette énigme suggère une décomposition plus efficace. Peut-être que la paille de M5, plus tendre ou plus fragmentée, offre une meilleure surface d'attaque aux microbes.

Cette étude du carbone total révèle la complexité du compostage. Chaque matériau apporte sa signature carbonée :

- Paille & sciure : Carbone "lent", pour un enrichissement durable.
- Fumier : Carbone "rapide", plus un catalyseur azoté.
- Déchets verts : Joker carboné, entre robustesse et accessibilité.

Le choix du compost dépend de la stratégie nutritive :

- M1 : Pour un sol nécessitant un soutien carboné à long terme.
- M3 : Pour une injection rapide de nutriments.
- M2, M4, M5 : Pour un équilibre entre disponibilité immédiate et réserve future.

En conclusion, la composition initiale a un impact majeur sur les taux de MO et de carbone après deux mois. Le compost 1 (M1), riche en paille et sciure, conserve les taux les plus élevés, indiquant une décomposition lente. Le compost 3 (M3), avec le plus de fumier, montre la

décomposition la plus avancée. Les autres composts, avec un équilibre de déchets verts et de paille, offrent une décomposition modérée. Adapter les mélanges initiaux et les conditions de compostage peut optimiser la vitesse de maturation et les caractéristiques finales du compost. Les résultats du carbone organique total (COT) obtenus sont représentés dans le graphe de la figure 4 suivante :

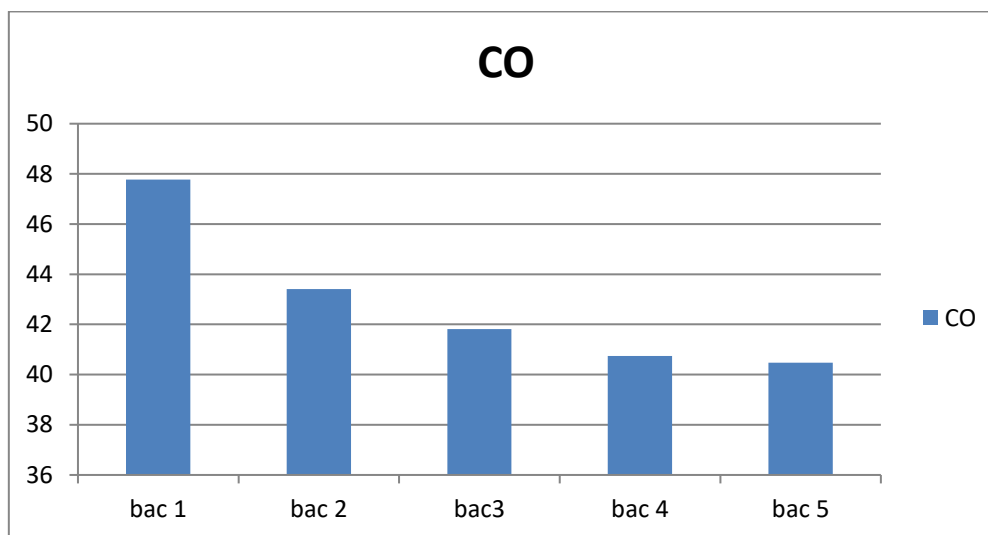


Figure 17: Evolution du carbone organique total (COT) à la fin du compostages .

III.2.5.3 Évolution de l'azote total :

ce test n'a pas pu être réalisé dans le cadre de notre étude. Néanmoins, une extrapolation raisonnable peut être faite à partir des travaux de Jie Wei et *al.*, (2016). En effet, leurs résultats pour le carbone organique étant analogues aux nôtres, il est légitime de présumer que nos données concernant l'azote auraient présenté une similarité comparable. Cette hypothèse se fonde sur la corrélation généralement observée entre ces deux paramètres dans des conditions expérimentales semblables.

III.3 Tests biologiques

III.3.1 Analyse microbiologique

Les résultats de l'analyse microbiologique des cinq composts, effectuée après deux mois de maturation, révèlent une dynamique microbienne caractéristique de la phase thermophile du processus de compostage. L'utilisation du milieu PCA a mis en évidence une prolifération bactérienne telle que même les dilutions à 10^{-6} se sont avérées insuffisantes pour un dénombrement précis, corroborant les observations de Chennaoui et *al.*, (2016) sur la prédominance des bactéries mésophiles. Inversement, l'absence quasi totale de colonies sur milieu PDA suggère une population fongique négligeable, un phénomène attribué par

Greenberg et *al.*, (1986) et Guene (2002) aux conditions thermiques défavorables. Ce déséquilibre prononcé entre bactéries et champignons, bien qu'atypique dans un contexte général, est conforme au modèle de succession microbienne en compostage décrit par Tuomela et *al.*, (2000), Veeken et *al.*, (2001), et Bolta et *al.*, (2003). La composition initiale des composts, notamment le compost M1 riche en paille (2 kg) et le compost M3 abondant en fumier (3,96 kg), influence significativement cette dynamique. Les taux élevés de matière organique (41,92% à 62,18%) et de carbone (24,37% à 36,15%) après deux mois reflètent cette transition microbiologique, où la dégradation rapide des composés simples par les bactéries précède la phase de maturation dominée par les champignons lignolytiques. Cette étude souligne l'importance d'interpréter les analyses microbiennes dans le contexte spécifique du stade de compostage et de la composition des matières premières.

III.4 Test de germination

Le test de germination est en effet un outil précieux pour évaluer la maturité et la qualité d'un compost. Ce test simple mais puissant nous permet de détecter la présence de substances phytotoxiques qui peuvent inhiber la germination des graines et la croissance des jeunes plantules. Dans notre étude, nous avons utilisé le cresson, une plante bioindicatrice sensible, pour tester nos cinq mélanges de compost après deux mois de maturation. Les résultats sont révélateurs :

- Compost 1 (M1) : 10/20 graines germées (50%)

Un résultat mitigé. La moitié des graines ont germé, suggérant une toxicité modérée. Le taux élevé de MO (62,18%) et de carbone (36,15%) indique une décomposition incomplète. Des acides organiques, de l'ammoniac ou des composés phénoliques issus de la paille et du fumier en décomposition peuvent inhiber la germination.

- Compost 2 (M2) : 9/20 graines germées (45%)

Légèrement inférieur à M1. Avec beaucoup de déchets verts (2,97 kg), M2 peut contenir des composés allélopathiques (tannins, flavonoïdes) naturellement présents dans les feuilles et les écorces, qui découragent la germination.

- Compost 3 (M3) : 6/20 graines germées (30%)

Le résultat le plus faible, indiquant une phytotoxicité élevée. Paradoxalement, M3 a la décomposition la plus avancée (moins de MO et C). L'explication ? Son taux élevé de fumier (3,96 kg) pourrait générer un excès d'ammoniac et de sels, nuisibles aux graines sensibles comme le cresson.

- Compost 4 (M4) : 14/20 graines germées (70%)

Le champion ! Avec 70% de germination, M4 montre une phytotoxicité nettement plus faible. Son équilibre entre déchets verts et paille (1,32 kg chacun) a probablement favorisé une décomposition harmonieuse, réduisant les composés toxiques. Sa température élevée (40°C) a pu accélérer la dégradation des phytotoxines.

- Compost 5 (M5) : 9/20 graines germées (45%)

Identique à M2. Malgré plus de paille (1,98 kg), la performance est similaire. La paille, riche en lignine, peut libérer des composés phénoliques lors de sa décomposition, affectant la germination.

En résumé, après deux mois :

- M4 émerge comme le compost le plus mature, avec 70% de germination. Son équilibre en matières premières et sa température élevée ont favorisé une décomposition efficace.
- M3, malgré sa décomposition avancée, est le plus phytotoxique (30%). Un rappel que la maturité n'est pas seulement une question de dégradation, mais aussi d'équilibre chimique.
- M1, M2, M5 (45-50%) montrent une maturité intermédiaire. La paille et les déchets verts contribuent à une phytotoxicité modérée.

Implications pratiques :

Prolonger le compostage : Deux mois ne suffisent pas pour tous les mélanges. M1, M2, M3, M5 bénéficieraient d'une maturation prolongée.

Équilibrer les intrants : M4 montre qu'un bon équilibre déchets verts/paille favorise la maturité.

Surveiller le fumier : En excès (M3), il peut générer trop d'ammoniac. Le mélanger avec plus de carbone.

Adapter l'application :

M4 : Sûr pour le semis direct.

M1, M2, M5 : Mieux pour le paillage ou mélangé au sol avant plantation.

M3 : À composter plus longtemps ou à diluer fortement.

Test avant utilisation : Ce simple test de germination a révélé des différences cruciales. Il est sage de le réaliser avant toute application, surtout pour les cultures sensibles.

En conclusion, après deux mois, seul M4 approche la maturité selon le test de germination. Les autres composts, bien qu'en voie de stabilisation, contiennent encore des phytotoxines. Ce test souligne l'importance de la patience dans le compostage. La décomposition de la matière organique ne garantit pas à elle seule la maturité ; c'est l'équilibre biochimique qui dicte la convivialité du compost pour les plantes. Ces résultats nous guident vers des pratiques de compostage plus affinées, assurant que notre "or noir" nourrit la vie du sol sans entraver son début le plus fragile : la germination.

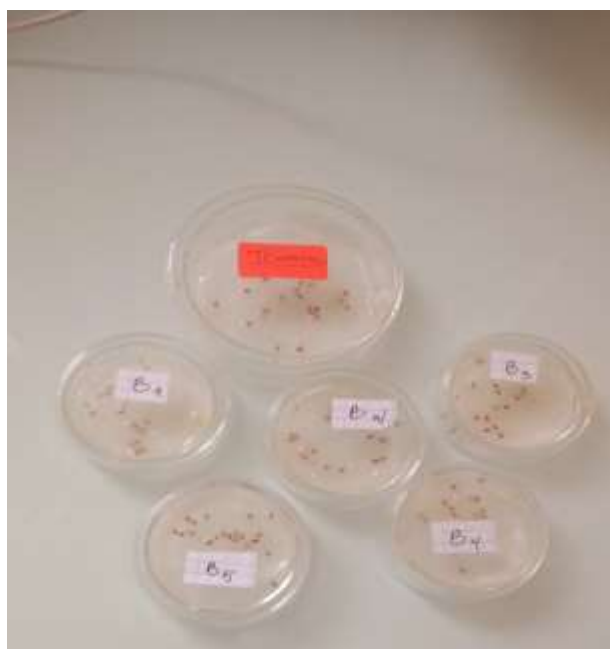


Figure 18 : Graines de cresson germées après 4 jours de la mise en marche du processus germination

Conclusion
et
Perspectives

Au terme de ce modeste travail. Il convenu de récapituler les principaux résultats obtenus l'objectif général de cette étude était d'évaluer les paramètres physico-chimiques de compost : résidus épluchures ,coquilles ,sciure ,fumier bovin ,la boue à différentes proportions par le compostage en vue de contribuer à une meilleure valorisation de ces résidus . Notre travail a été réalisé pendant la période de Maras à Avril 2024, et les analyses de l'évaluation de maturité a été faite en mai 2024.

Ainsi ,il s'est avéré que le traitement compost 4 qui comporte essentiellement de la résidus épluchures ,coquilles ,sciure ,fumier bovin ,la boue à différentes proportion est celui qui monté le plus en température favorisant ainsi l'hygiénisation du mélange pour les autres traitements ,minimum a été atteint à savoir une température aux alentours de 31°C , il est préférable d'augmenter le pourcentage de carbone dans les mélanges des traitements compost 1,compost 2 et compost3 ,compost 4 ,compost5 afin d'avoir des températures plus hautes .

Pour le pH le point de départ est un pH doux, puis il augmente progressivement jusqu'à devenir proche du neutre 7. Le contrôle de l'humidité par des arrosages régulier apparait indispensable favorables à l'activité des microorganismes impliqués, le test de germination est un moyen d'évaluer la toxicité d'un compost mature.

Notre étude s'est focalisée sur la valorisation biologique des sous-produits agricoles et les déchets pour la production de matière organique mature et stable.

La méthode traditionnelle confirme d'abord la présence des deux phases au sein du compostage :la première étape de bio-oxydations suivie de l'étape d'affinage.

Au vu de l'ensemble des résultats, la maturité de l'engrais apparait clairement orientée vers le développement de matière organique hydratante. Cependant, obtenez un produit adapté à une utilisation en agriculture, sans aucun risque pour la santé ou l'environnement.

Les déchets organiques sont facilement dégradables par les micro- organismes, pour cela nous avons choisi la meilleure façon et la moins couteuse pour traiter ce type de déchet qui est le compostage.

Le composte est un engrais naturel de grande qualité, il apporte l'humus nécessaire au sol, il est utile et écologique, c'est aussi une manière de recycler les déchets et certaine reste de nos cuisine.

Il serait intéressé d'effectuer d'autre études concernant ce thème de recherche et essayer de toucher :

- 1.Une quantité très élevée
2. qualité de la matière carbonée utilisée.

3. Le liquide d'arrosage utilisé.

Références bibliographiques

1. **Adediran J.A., Taiwo L.B., Sobulo R.A. 2003.** Effect of Organic Wastes and Method of Composting on Compost Maturity, Nutrient Composition of Compost and Yields of Two Vegetable Crops. *Journal of Sustainable Agriculture*, Vol. 22(4).
2. **Alburquerque, J. A., Gonzalez, J., Garcia, D. & Cegarra, J. 2006.** Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* 64, 470-477.
3. **Amir S., 2005.** Contribution à la valorisation de boues de station d'épuration par compostage: Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
4. **Amir, S., Jouraiphy, A., Meddich, A., El Gharous, M., Winterton, P., Hafidi, M., 2010.** Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR. *J. Hazard. Mater.* 177, 524-529.
5. **AMIR. S., 2005.** Contribution a la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage: devenir des micropolluants métalliques et organique et bilan humique du compost. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse, 312p.
6. **Asnour M. 2017.** Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest algérien. Thèse de doctorat. 12p
7. **Attrassi. B, Krimou.D et Mrabet. L., 2007.** Etude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers, *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*. N°1, p : 23-30
8. **Azouma O.Y., Seme K., 2011.** Eco-exploitation d'une industrie de transformation de produits agricoles. Communication scientifique, Colloque Scientifique sur la Gestion et la Valorisation des Déchets Solides des villes Africaines du 30 mai au 1er juin 2011 à Lomé (Togo).
9. **Badi,O . ; Benana,S. 2020** Caractérisation et valorisation par compostage des
10. **BASALO C, (1974).** Les ordures ménagères en agriculture. *T.S.M. Eau*, 69, 15-23.
11. **Beck-Friis B., Jonsson S., Eklind H., Kirchman Y. and Smars H. 2003 .** Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: gaining and understanding of the emission dynamics. *Compost Science & Utilization*. Publisher: Taylor et Francis V : 11: P : 41-50 .
12. **Beffa T., Blanc M., Lyon P.F., Vogt G., Marchina M., Fisher J.L., Aragno M., 1996.** Isolation of thermophilic strains from hot composts (60-80°C). *JAEM*, 62: 1723-1727.

13. **Cekmecelioglu, D., Demirci, A., Graves, R.E., Davitt, N.H., 2005.** Applicability of Optimised In-vessel Food Waste Composting for Windrow Systems. *Biosystems Engineering*. 91, 479-486.
14. **Charnay F., 2005.** Compostage des déchets urbains dans les PED : Elaboration d'une Démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat N°56. Université de Limoges P5-181.
15. **Chennaoui M., Salama Y., Mekan A., Mountadar M. 2016 (b).** compostage en cuvedes dechets menagers et valorisation agricole du compost obtenu . *algerian journal of arid environment* . p : 54-66 .
16. **Chennaoui M., Salama Y., Mekan A., Mountadar M. 2016 (b).** compostage en cuve des dechets menagers et valorisation agricole du compost obtenu . *algerian journal of arid environment* . p : 54-66 .
17. **Compaore. E, L. Nanema. S., 2010.** Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Revue TROPICULTURA*, 28, 4, 232-237.
18. **Dalzell H.W., A.J. Biddellestone, K.R. Gray et K. Thurairajan 1988.** Soil management: compost production and use in tropical and subtropical environments. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Soils Bulletin, 56, 186 p.
19. **Deportes, I., Benoit-Guyod, J. L., Zmirou, D. & Bouvier, M. C. 1998.** Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting. *Journal of Applied Microbiology* 85, 238-246.
20. **FAO, 2005.** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, in: R. V.; Roy Misra, R. N.; Hiraoka, H. (Eds.), Documents de travail sur la Terre et les Eaux. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 36
21. **Finstein M. S., Morris M. L., 1975.** Microbiology of municipal solid waste. *Adv. Appl. Microbiol.*, 19: 113-151.
22. **Fitzpatrick G.E., P.J. Stoffella et B.A. Kahn 2001.** Compost utilization in ornamental and nursery crop production systems. Dans : *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. P.J. STOFFELLA et A.K. BRIAN (Éditeurs), Lewis Publishers, New York, États-Unis, Chap. 6, pp.135-150.
23. **Franco C., 2004.** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage: influence de la nature du déchet et du procédé de compostage, recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de l'Institut national Agronomique de Paris-Grignon.

24. **Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. 1998.** Le sol vivant. Bases de la pédologie. Biologie des sol. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Gérer l'Environnement N°14. Lausanne, Suisse. 519 pages.
25. **Gobat, J.M., Aragno, M. et Matthey, W. 2003 .** Le Sol vivant Bases de pédologie Biologie des sols. Deuxième édition, Presse polytechniques et universitaires romandes pp568.
26. **Godden B., 1992.** La gestion des effluents d'élevage. Techniques et aspect du compostage dans une ferme biologique. *Revue de l'Ecologie*, 13: 37. Golueke C. G., 1977. The biological approach to solid waste management. *Compost Sci.*, 18: 4-9.
27. **Golueke C. G., 1979.** Composting: an review of rationale, principles and public health. *Compost Sci.*, 17, 11-15
28. **Golueke, 1977.** The biological approach to solid Waste management. *Compost Sci.*, 18,P 4-9.
29. **Golueke, C.G., 1991.** Principles of composting, in: The JG Press Inc. (Eds.), The Staff of BioCycle Journal of Waste Recycling. The Art and Science of Composting. Pennsylvania, USA, pp. 14-27.
30. **Gómez-brandon M., Lazcano C., Domínguez J., 2008 .** The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, 70: 436-444.
31. **Hafidi M., 2011:** Biodégradation des déchets organiques par la filière du compostage; atouts et limites. Communication scientifique, Colloque scientifique sur la gestion et la valorisation des déchets solides des villes Africaines, Lomé (Togo), 30 mai au 1er juin 2011.
32. **Hafidou S, 2017.** Utilisation d'un compost à base d'organes de palmier dattier pour la production des plants dans une pépinière, diplôme de Master, , Université KASDI MERBAH, Ouargla p.3.
33. **He, L., Huang, G.H., Lu, H., 2011.** Greenhouse gas emissions control in integrated municipal solid waste management through mixed integer bilevel decision-making. *Journal of Hazardous Materials*. 193, 112-119.
34. **Inbar, Y., Chen, Y., Hadar, Y., 1989.** Solid-state Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance and Infrared Spectroscopy of Composted Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal*. 53, 1695- 1701.
35. **Ishii, K., Takii, S., 2003.** Comparison of microbial communities in four different composting processes as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Journal of Applied Microbiology*. 95, 109-119.
36. **Itab 2001.** Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001p 105-106

37. **Jouraiphy, A., Meddich, A., El Gharous, M., Winterton, P., Hafidi, M., 2010.** Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR. *J. Hazard. Mater.* 177, 524-529.
38. **Khorief o et Mahimoud A, 2019.** Evaluation de la qualité du service de la gestion des déchets. Volume:7/ Issue N°11(Rep), P528-545.
39. **Koledzi K. E., 2011.** Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo): Approche méthodologique pour une production durable de compost. Mémoire de Thèse de Doctorat, 224p.
40. **Morel J. L., Guckert A., Nicolardot B., Benistant D., Catroux G. and Germon, J.C. , 1986.** Étude de l'évolution des caractéristiques physico -chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage. *Agronomie*, 6 : 693-701.
41. **Morel, J.L.G., A.; Nicolardot B.; Benistant, D.; Catroux, G.; Germon, J. C., 1986.** Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage. *Agronomie*. 6, 693-701.
42. **Mustin M., 1987 .** Le compostage, gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc. Paris . 954 p.
43. **Paredes, C., Roig, A., Bernal, M.P., Sánchez-Monedero, M.A. et Cegarra, J. 2000.** Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. *Biol. Fertil. Soils*. 32, 222–227.
44. **Peters S., Schwieger S. K. F., Tebbe C. C., 2000 .** Succession of microbial communities during hot composting as detected by pcr-single-stran-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rna genes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66: 930-936.
45. **Poincelot, R.P., 1975.** Biochemistry and methodolgy of composting. Connecticut Experiment Station Bull. 727, 1 - 38.
46. **Rabia A., Faiza S., Tasneem A. A., 2007.** Association of fungi, bacteria and actinomycetes with different composts. *Pak. J. Bot.*, 39 (6): 2141-2151.
47. **Rigane H. 2014.** Valorisation des rejets organiques par le processus de compostage pour l'amendement des sols : intérêts agronomique et environnemental. Dans : Valorisation des déchets par compostage - Synthèse des travaux réalisés. Univ. Sfax, Unité de recherche : Environnement côtier et urbain, Tunisie, pp. 12-57 .
48. **Roig, A., Paredes. C, Bernal, M.P., Sánchez-Monedero, M.A. et Cegarra, J., 2000** .Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. *Biol. Fertil. Soils*. 32, 222–227

49. **Sghairoun M, Ferchichi A., 2011.** Composting Heap Palm Tree's Products in Southern Tunisia. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5 :886-889 .
50. **Sierra, J., Desfontaines, L., Faverial, J., Loranger-Merciris, G., Boval, M., 2013.** Composting and vermicomposting of cattle manure and green wastes under tropical conditions: carbon and nutrient balances and end product quality. *Soil Res.* 51, 142-151.
51. **Soudi B. (2001).** Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost - cas de petites et moyennes communes au Maroc. *Revue H.T.E.*, 121, 32-56
52. **Soudi B., 2009.** Le compostage des déchets de culture sous serre et du fumier, (MADRPM/DERD Eds), 89p.
53. **Steger, I., 2007.** Development of compost maturity and Actinobacteria populations during full-scale composting of organic household waste. *Journal of Applied Microbiology*. 103.
54. **Strom, P.F., 1985.** Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Applied and Environmental Microbiology*. 50, 899 - 905.
55. **Tiejen C, 1975.** The potential of composting in developing countries. *Compost Sci.*, 16, P6-7.
56. **Yulipriyanto, H., 2001.** Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbiologique (nitrification/dénitrification). Université de Rennes, Rennes, pp. 210.
57. **Zbytniewski, R.A., Buszewski, B., 2005.** Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 2: multivariate techniques in the study of compost maturation. *Bioresource Technology*. 96, 479-484.
58. **Znaïdi I., 2002.** Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Thèse de magistères. Tunisie, 85p.

Annexes

GELOSE PCA

PRINCIPE

La gélose PCA (Plate Count Agar) est un milieu recommandé pour le dénombrement standardisé des bactéries dans l'eau, les produits laitiers et les aliments, les produits cosmétiques ou pharmaceutiques.

FORMULE Ingrédients en grammes pour un litre d'eau distillée ou déminéralisée.

Peptone de caséine 5,00	Extrait
de levure 2,50	Glucose
1,00	Agar
15,00	pH
final à 25°C : $7,0 \pm 0,2$	

CONSERVATION

Le milieu en tubes ou flacons se conserve entre 2 et 25°C. Le milieu en boîtes se conserve entre 2 et 8°C.

EQUIVALENCE

Ce milieu est également appelé « PCA », « Standard Method Agar » ou « Gélose de dénombrement ».

PREPARATION

1. Mettre en suspension 23 grammes dans 1 litre d'eau pure. Porter le milieu à ébullition sous agitation constante pendant au moins 1 minute.
2. Répartir en tubes ou flacons.
3. Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.

UTILISATION

Se conformer aux protocoles en vigueur. D'une façon générale, le protocole suivant peut être appliqué :

1. Introduire dans des boîtes de Pétri stérile, 1 ml du produit à examiner ou de ces dilutions décimales.
2. Ajouter dans les 15 minutes, dans chaque boîte, 15 ml de gélose PCA pour dénombrement liquéfiée à 45°C, mélanger soigneusement et laisser solidifier.
3. Incuber 72 ± 3 heures à $30 \pm 1^\circ\text{C}$ (aliments), ou 48 ± 3 heures à $32 \pm 1^\circ\text{C}$ (produits laitiers), ou 48 ± 3 heures à $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ (eaux) ou $55 \pm 1^\circ\text{C}$ (flore thermophile) ou $6,5 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 10 jours (flore psychrophile)
4. Compter les colonies sur les boîtes comportant entre 10 et 300 colonies.

GELOSE GLUCOSEE à l'EXTRAIT de POMME de TERRE

PRINCIPE

La gélose glucosée à l'extrait de pomme de terre est recommandée pour le dénombrement des levures et moisissures dans denrées alimentaires ainsi que les produits cosmétiques et pharmaceutiques.

FORMULE Ingrédients en grammes pour un litre d'eau distillée ou déminéralisée.

Extrait de pomme de terre 4,00

Glucose 20,00

Agar 15,00

pH final à 25°C : $5,6 \pm 0,2$

CONSERVATION

Flacons : 15 et 25°C jusqu'à la date d'expiration indiquée sur l'emballage. Boîtes : 2 et 8°C jusqu'à la date d'expiration indiquée sur l'emballage. Milieu déshydraté : 2 et 30°C jusqu'à la date d'expiration indiquée sur l'emballage.

PREPARATION

1. Mettre en suspension 39 grammes dans 1 litre d'eau pure. Porter le milieu à ébullition sous agitation constante pendant au moins 1 minute.
2. Répartir en tubes ou flacons.
3. Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.

UTILISATION

Se conformer aux protocoles en vigueur. D'une façon générale, le protocole suivant peut être appliqué :

1. Bien homogénéiser et couler en boîtes de Pétri stériles.
2. Selon le protocole, transférer 0,1 ml du produit à tester ou de ses dilutions décimales à la surface de la gélose et étaler avec un étaleur stérile ou transférer 0,1 ml du produit à tester ou de ses dilutions décimales et ajouter dans les 15 minutes, dans chaque boîte, 15 ml de gélose liquéfiée à 45°C, mélanger soigneusement et laisser solidifier
3. Incuber 3 à 5 jours à 20-25°C. Ne pas retourner les boîtes pendant l'incubation pour éviter la dissémination des spores.
4. Compter les colonies sur les boîtes comportant de 10 à 100 colonies.