

Popular Democratic Republic of Algeria  
Ministry Of High Education and Scientific Research  
Abbes Laghrour University, Khenchela  
Faculty of Natural and Life Sciences  
Department Of Ecology and Environment

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم البيئة والمحيط



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée

### Thème

**Production et caractérisation physico-chimique et  
microbiologique de composts domestiques issus de déchets  
ménagers organiques**

**Présenté par : BEDDIAF Bariza      MARIR Chaima      MERGHAD Amel**

### Devant le Jury:

**Président : M<sup>me</sup> DIB D.**

**MCA. Uni. ABBES Laghrour Khenchela**

**Encadrant : M<sup>me</sup> BENSOUICI K.**

**MAA. Univ. ABBES Laghrour Khenchela**

**Examineur : M<sup>me</sup> BERKANI C.**

**MCB. Univ. ABBES Laghrour Khenchela**

**Année Universitaire 2022-2023**

## *Remerciements*

*Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au Dieu*

*Tout-Puissant d'avoir permis la réalisation de cette humble œuvre.*

*Nous souhaitons également adresser nos remerciements spéciaux à notre encadrant : Madame*

*Ben Souici,*

*pour sa confiance et son assistance tout au long de ce travail.*

*Nous tenons à lui exprimer notre gratitude et notre profond respect.*

*Nous remercions chaleureusement tous les enseignants qui ont contribué*

*à notre formation au cours des cinq dernières années.*

*Nous exprimons également notre gratitude envers les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer  
ce travail.*

*Nous ne pouvons pas conclure ces remerciements sans mentionner ceux qui nous sont chers, nos  
parents,*

*nos frères, nos sœurs, nos oncles et cousins,*

*dont le soutien et les encouragements nous ont permis de poursuivre nos études jusqu'à la  
réussite.*

*Merci à tous...*

# *Dédicace*

*Grace à DIEU ce modeste travail est achevé, que je dédie*

*Sincèrement*

*MA chère mère, cher père*

*Aujourd'hui, que Dieu les protèges et les entoure de sa*

*Bénédiction ;*

*A mes chers frères : Zouheir, Ahmed*

*A mes chères sœurs : yassimn , Hassiba, Salima*

*Aux quels qui je souhaite un avenir prometteur*

*A toute ma famille*

*A tous mes amies*

*A tous mes enseignants Officiels et non officiels*

*A mes binômes et ma très chère copine Sihem et à toute sa*

*Famille*

*A la promotion 2022 /2023 de écologie fondamentale et appliquée , département des Sciences  
de la*

*Nature et de la vie*

*A.M.E.L*

## *Dédicace*

*Je dédie principalement ce travail à ma chère maman et à mon cher papa  
 , pour leur amour, leur patience, leur dévouement et autres.  
leur soutien tout au long des 17 années de mon parcours étudiant,  
A ma soeur Aida et son mari Walid d'une part, à ma soeur Sahra et son mari et leurs deux  
jeunes fils,  
Suhail , à mes soeurs Rahma et Mayada, à mon frère Abdel Wahhab,  
à mon cher oncle Boussaada , sa femme, et leurs deux leur enfant ,  
Mohammad et Moamen .Sans oublier ma chère amie Meriem Arabaoui et saradekiche.  
Et à mes collègues Amel et chaima.  
Je n'oublierai jamais mon ami Fouzi. Je veux généralement remercier tout le monde.*

*BARJZA*

## *Dédicace*

*Je remercie DIEU pour m'avoir donné la force d'aller jusqu'au bout dan ce travail.  
Je dédie ce modeste travail: Aux deux êtres le plus chers au monde, ont souffert nuit et jour  
pour me couvrir de leur amour, mes chers parents.*

*A mes très chères sœurs*

*A mes très chers frères*

*A toutes mes amies*

*A Tous ceux que J'aime.*

*A vous ...*

*СНАМА*

## Résumé

La plupart des études sur la gestion des déchets organiques réalisées à ce jour portent sur la réduction, le recyclage et la réutilisation des matières dans une chaîne de production et de consommation. Le présent travail vise à produire un engrais organique (compost) à partir de déchets organiques domestiques. Deux méthodes de compostage ont été utilisées : le compostage aérobie en tas et le vermi-compostage. La caractérisation physico-chimique des produits finis ainsi qu'un test de maturité et de stabilisation a révélé une qualité non satisfaisante par rapport à un compost commercial analysé. Les composts révèlent une activité microbienne vigoureuse par la présence de divers bactéries et champignons. Les résultats obtenus ont montré la période de 60 jours était insuffisante pour que la fraction organique des déchets organiques pourrait être compostée avec succès. Les doses de compost utilisées dans le biotest mené sur des graines de coriandre, montrent que l'incorporation de 25% du compost au support de culture permet un taux de germination de 40% contre 50% pour le témoin.

**Mots clés :** Valorisation - Déchets organiques – Composts

## Summary

Most studies on organic waste management to date have focused on the reduction, recycling and reuse of materials in a production and consumption chain. The aim of the present work is to produce an organic fertilizer (compost) from domestic organic waste. Two composting methods were used: aerobic heap composting and vermi-composting. Physico-chemical characterization of the finished products, as well as a maturity and stabilization test, revealed unsatisfactory quality compared with a commercial compost analyzed. The composts revealed a vigorous microbial biomass with the presence of various bacteria and fungi. The results obtained showed that the 60-day period was insufficient for the organic fraction of organic waste to be successfully composted. The compost doses used in the biotest conducted on coriander seeds showed that incorporating 25% of the compost into the growing medium resulted in a germination rate of 40%, compared with 50% for the control.

**Key words:** Recycling - Organic waste – Composts

## ملخص

تركز معظم الدراسات التي أجريت حتى الآن حول إدارة النفايات العضوية على تقليلها وإعادة تدويرها وإعادة استخدام المواد في سلسلة الإنتاج والاستهلاك. يهدف هذا العمل إلى إنتاج سماد عضوي (سماد عضوي) من النفايات العضوية المنزلية. تم استخدام طريقتين لعملية التسميد: التسميد الهوائي في أكوام والتسميد بالدود. أظهرت التوصيفات الفيزيائية والكيميائية للمنتجات النهائية، بالإضافة إلى اختبار نضج واستقرار، جودة غير مرضية مقارنة بسماد تجاري تم تحليله. تكشف التسميدات عن نشاط ميكروبي قوي من خلال وجود بكتيريا وفطريات مختلفة. أظهرت النتائج المُحصَل عليها أن الفترة الممتدة لمدة 60 يومًا كانت غير كافية لتحقيق تحويل ناجح للكسور العضوية في النفايات العضوية إلى سماد. تُظهر جرعات السماد المستخدمة في التجربة البيولوجية على بذور الكزبرة أن إدخال 25% من السماد في وسط الزراعة يسمح بمعدل إنبات يبلغ 40% مقابل 50% للشاهد.

**كلمات مفتاحية:** تسوية - نفايات عضوية - سماد عضوي

**AH/AF:** Acides Humiques /Acides foliques.

**AND:** Agence national des Déchets.

**C/N:** Rapport Carbone /Azote.

**Ca:** Calcium.

**CC:** Compost Commerciale.

**CD:** Compost des Déchets ménagères.

**CE:** Conductivité Électrique

**CEC:** Capacité d'Echange Cationique.

**CET:** Centre d'Enfouissement Technique

**CH<sub>4</sub>:** Méthane.

**CO:** Carbone Organique.

**CO<sub>2</sub>:**Dioxyde de Carbone

**COT :** Carbone Organique Totale.

**CV:** Vermi Compost

**DA:** Dégitât Anaérobie.

**DBO:** Demande Biologique D'oxygène.

**DMA:** Déchets Ménagers Assimiles.

**DSM:** Déchets Solides Municipaux.

**F/B:** Fongivore /Bactérovore.

**GN :** Gélose nutritive

**H<sub>2</sub>S:** Acide sulfurique.

**K:** Potassium.

**Mg:** Magnésium.

**MO:** Matière organique.

**MOF:** Matière Organique Fraîche.

**MS:** Matière solide.

**N:**Azote.

**N<sub>2</sub>O:** Oxyde nitreux.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:** Ammonium.

**NO<sub>2</sub>:** Dioxyded'azote .

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:** Nitrate/Ammonium.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:** Nitrate.

**NT:** Azotes Total

**OMS:** Organisation Mondiale de Santé.

**P:** Phosphore.

**PDA:** Gélose de Pomme de Terre Dextrose.

**Ph :** Potentiel hydrogène

**S:** Soufre.

**SO<sub>2</sub>:**Dioxyde de soufre.

<b>N de la figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Compost en tas	<b>40</b>
<b>Figure 2</b>	Vermi-compost	<b>40</b>
<b>Figure 3</b>	Mesure de PH des échantillons de compost	<b>41</b>
<b>Figure 4</b>	Mesure de la conductivité électrique après agitation des échantillons	<b>41</b>
<b>Figure 5</b>	Séchage des échantillons de compost à l'étuve	<b>42</b>
<b>Figure 6</b>	Pesée des échantillons après séchage à l'étuve	<b>43</b>
<b>Figure 7</b>	Distillateur semi-automatique	<b>44</b>
<b>Figure 8</b>	Minéralisateur Kjeldahl	<b>44</b>
<b>Figure 9</b>	Titration avec une solution d'acide sulfurique	<b>44</b>
<b>Figure 10</b>	Préparation des dilutions à partir de la solution mère pour chaque compost	<b>45</b>
<b>Figure 11</b>	Compost mûr des déchets ménagers	<b>49</b>
<b>Figure 12</b>	Vermi compost mûr	<b>49</b>
<b>Figure 13</b>	PH des composts mûrs analysés	<b>51</b>
<b>Figure 14</b>	CE des composts mûrs analysés	<b>52</b>
<b>Figure 15</b>	Pourcentage d'humidité pour les composts murs étudiés	<b>53</b>
<b>Figure 16</b>	Pourcentage de MO présente dans les composts murs	<b>54</b>
<b>Figure 17</b>	Pourcentage du COT présent dans les composts mur	<b>54</b>
<b>Figure 18</b>	Pourcentage de NKT présent dans les composts murs	<b>55</b>
<b>Figure 19</b>	Rapport Carbone Azote des composts murs	<b>56</b>
<b>Figure 20</b>	Vue macroscopique et microscopique des bactéries isolées à partir des composts	<b>57</b>
<b>Figure 21</b>	Isolements de la microflore dans les composts	<b>58</b>
<b>Figure 22</b>	Vues macroscopique et microscopique d'Aspergillus sp isolé	<b>58</b>
<b>Figure 23</b>	Vues macroscopique et microscopique de Penicillium sp isolé	<b>59</b>
<b>Figure 24</b>	Biotest de germination de la coriandre	<b>60</b>
<b>Figure 25</b>	Longueur de la plantule de coriandre dans le témoin et le CC	<b>60</b>
<b>Figure 26</b>	Longueur de la plantule de coriandre dans le CD	<b>61</b>

**Tableau 1:** Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des composts mûrs...**50**

<i>Remerciements</i> .....	I
<i>Dédicace</i> .....	II
<i>Dédicace</i> .....	III
<i>Dédicace</i> .....	IV
Résumés .....	V
List des abréviations.....	VI
Liste des figures: .....	VII
Liste des tableaux: .....	IX
Introduction .....	1

## Synthèse bibliographique

### Chapitre 1: Généralités sur les déchets

1 Définition d'un déchet .....	5
2 Classification des déchets.....	5
2.1 Déchets ménagers et assimilés .....	5
2.2 Biodéchets .....	5
2.3 Les déchets verts .....	6
3 Mode de gestion des déchets solides.....	7
3.1 La pré-collecte .....	7
3.2 La collecte .....	7
3.2.1 La collecte en porte-à-porte .....	8
3.2.2 La collecte en apport volontaire .....	8
3.2.3 La collecte sélective.....	8
3.3 Le transport.....	8
3.4 L'élimination .....	9
3.4.1 La valorisation en matière .....	9
3.4.2 La valorisation organique .....	9
3.4.3 La valorisation énergétique .....	10
3.4.4 L'enfouissement ou mise en décharge .....	10
4 Impacts des déchets solides sur les organismes vivants .....	11
5 Impacts environnementaux et risques sanitaires liés aux des déchets solides.....	11
6 Impacts environnementaux et risques sanitaires des déchets organiques des ménages	12
6.1 Le processus de dégradation de la matière organique .....	13
6.2 Contamination de l'eau .....	13
6.3 Contamination du sol.....	14

6.4	Pollution de l'air.....	15
6.5	Lieux de reproduction pour les micro-organismes et attraction des vecteurs et des rongeurs.....	15
<b>Chapitre 2: Généralités sur le compostage</b>		
1	Définitions .....	18
1.1	Le compostage .....	18
1.2	Le compost.....	18
2	Types de compostage .....	18
2.1	Compostage aérobie.....	19
2.2	Compostage anaérobie .....	19
3	Déchets compostables et non compostables pouvant être compostés .....	19
3.1	Déchets pouvant être compostés .....	19
3.2	Déchets verts riches en azote .....	19
3.3	Déchets bruns riches en carbone.....	19
3.4	Déchets à ne pas composter.....	20
3.5	Déchets de jardin.....	20
3.6	Déchets de maison .....	20
3.7	Autres déchets.....	20
4	Processus biologique du compostage .....	21
4.1	Phase mésophile .....	21
4.2	Phase thermophile et d'hygiénisation .....	21
4.3	Phase refroidissement.....	22
4.4	Phase de maturation .....	22
5	Paramètres du compostage .....	22
5.1	Paramètres de démarrage .....	22
5.1.1	Rapport carbone/azote (C/N) .....	23
5.1.2	Teneur en eau .....	23
5.1.3	Porosité.....	23
5.1.4	Densité apparente.....	24
5.1.5	Teneur en oxygène.....	24
5.2	Paramètres de surveillance .....	25
5.2.1	Température .....	25
5.2.2	pH.....	25

5.2.3. Carbone organique.....	26
5.2.4 Azote .....	26
5.3 Paramètres de qualité .....	27
6 Méthodes expérimentales .....	28
7 Caractéristiques physico-chimiques classiques .....	28
8 Activités biologiques.....	30
9 Les technologies de compostage .....	31
9.1 Technologie manuelle .....	32
9.2 Compostage en andains .....	32
9.3 Compostage en andain à aération passive .....	32
9.4 Compostage en bacs .....	33
9.5 Compostage en récipient.....	33
9.6 Le lombricompostage .....	34
10 Technologie de compostage automatique .....	35
10.1 Compostage en andain à aération forcée .....	35
10.2 Compostage en cuve à retournement automatique.....	35
10.3 Composteur domestique électrique .....	36
11 Rôles agronomique et environnemental du compost.....	36
11.1 Effets bénéfiques du compost sur les propriétés physiques du sol .....	36
11.1.1 Réduction de la densité apparente.....	36
11.1.2 Amélioration de la stabilité des agrégats.....	37
11.1.3 Amélioration de la disponibilité et la rétention de l'eau .....	37
11.2 Effets du compost sur les propriétés chimiques du sol.....	38
11.2.1 Amélioration de la matière organique du sol.....	38
11.2.2 Amélioration de la teneur en nutriments .....	38
11.3 Effets des composts sur la biologie des sols .....	38
11.3.1 Biocontrôle des maladies .....	39
11.4 Effets du compost sur la productivité des cultures .....	39
12 Rôle du compost dans la bioremédiation et la gestion des déchets .....	39

### **Partie pratique**

#### **Matériel et méthodes**

1.Récupération des déchets ménagers compostables .....	42
2.Matériaux compostés.....	42

<b>3</b>	<b>Evaluations des principales propriétés physico chimiques des composts .....</b>	<b>43</b>
3.1	Mesure du pH.....	43
3.2	Mesure de la conductivité électrique.....	43
3.3	Détermination de l'humidité résiduel .....	44
3.4	Dosage de la matière organique.....	44
3.5	Dosage du carbone organique total (COT) .....	45
3.6	Dosage de l'azote total .....	45
<b>4</b>	<b>Evaluation de la flore microbienne des échantillons de composts .....</b>	<b>46</b>
4.1	Préparation des dilutions .....	46
4.2	Isolement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM) .....	47
4.2.1	Milieu d'isolement .....	47
4.2.2	Ensemencement et incubation .....	47
4.2.3	Lecture et dénombrement .....	47
4.2.4	Observation microscopique.....	47
4.3	Isolement des champignons.....	48
4.3.1	Milieu d'isolement .....	48
4.3.2	Ensemencement et incubation.....	48
4.3.3	Lecture et dénombrement .....	48
4.3.4	Observation microscopique.....	48
<b>5</b>	<b>Mesure de la stabilité et de la maturité des composts élaborés .....</b>	<b>49</b>
<b>Résultats et discussion</b>		
<b>1</b>	<b>Evaluation sensorielle de la maturation des composts élaborés.....</b>	<b>51</b>
<b>2</b>	<b>Evaluation des caractères physico-chimiques et microbiologiques .....</b>	<b>51</b>
2.1	Mesure du pH.....	52
2.2	Mesure de la conductivité électrique.....	53
2.3	Détermination de l'humidité (Teneur en eau).....	54
2.4	Dosage de la matière organique.....	55
2.5	Dosage du carbone organique total .....	56
2.6	Dosage de l'azote total.....	56
2.7	Détermination du rapport C/N .....	57
<b>3</b>	<b>Dénombrement des microorganismes .....</b>	<b>58</b>
3.1	Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM) .....	58
3.2	Dénombrement des champignons.....	59

<b>4 Evaluation de la stabilité et de la maturité des composts (biotest) .....</b>	<b>61</b>
<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>65</b>
<b>Référence bibliographiques .....</b>	<b>66</b>



# *Introduction*

Dans le monde actuel, l'une des préoccupations majeures est la protection de la civilisation humaine contre les effets menaçants des déchets solides générés par diverses activités anthropiques. L'urbanisation, la modernisation et la croissance démographique sont principalement responsables de la forte augmentation du taux de déchets solides (**Himabindu, et al., 2015**).

En Algérie, la quantité de déchets ménagers et assimilés (DMA), estimée à 13 millions de tonnes en 2018, devra dépasser les 20 millions de tonnes en 2035, selon une étude récente réalisée par le ministère de l'environnement. Une mauvaise gestion des déchets solides est préjudiciable à la santé humaine. Outre leur aspect inesthétique, ils entraînent une pollution de l'air, affectent les masses d'eau lorsqu'ils sont déversés dans l'eau et appauvrissent la couche d'ozone lorsqu'ils sont brûlés, ce qui accroît l'impact du changement climatique (**Aruna et al., 2018 ; Alam et Ahmade, 2013**).

Les déchets organiques proviennent de nombreuses sources telles que les déchets agricoles, les déchets de marché, les déchets de cuisine, les déchets solides urbains et les déchets solides municipaux. Sans une gestion appropriée, ces déchets peuvent créer plusieurs problèmes environnementaux. C'est pourquoi le compostage est la meilleure solution alternative et peu coûteuse pour résoudre ce problème. La méthode de compostage peut dégrader tous les types de déchets organiques tels que les fruits, les légumes, les plantes, les déchets de jardin et autres. Tous ces déchets organiques contiennent généralement tous les nutriments nécessaires à la croissance microbienne sous le contrôle de plusieurs variables afin d'obtenir un produit final stable, le compost (**Suhas et Hemali, 2018**).

Le compostage est un processus aérobie dans lequel des matières complexes dégradables sont dégradées et transformées par des micro-organismes en produits organiques et minéraux (**Toledo et al., 2018**). Les sous-produits contiennent des composés de type humique qui les différencient de ceux que l'on trouve dans le sol, le charbon et la tourbe. Le compostage est un moyen de transformer différents déchets dégradables en produits qui peuvent être utilisés de manière sûre et bénéfique comme biofertilisants et amendements du sol (**Cai et al., 2007 ; Yu et al., 2019**).

L'application agricole des déchets solides municipaux compostés, en tant que source d'éléments nutritifs pour les plantes et en tant qu'amendement du sol, est l'option la plus rentable de la gestion des déchets solides municipaux. Le compostage est considéré comme le plus efficace, le plus écologique et le plus agronomique possible, le compost pouvant être

utilisé comme amendement du sol et comme engrais organique, car il contient beaucoup d'éléments nutritifs pour le sol. La communauté microbienne du compost, composée de bactéries, de champignons et de vers, peut également stabiliser les matières organiques dégradables. Les performances du processus de compostage dépendent également des caractéristiques des déchets, car le compostage ne convient qu'aux déchets biodégradables. L'application de compost peut améliorer les propriétés du sol qui ont grand besoin d'être renouvelées, car il peut augmenter la teneur en carbone organique du sol. Dans le même temps, le compost agit également comme une intervention sur le sol pour en améliorer la structure, le taux d'infiltration de l'eau, la capacité de rétention de l'eau et l'ameublissement **(Suhās et al., 2018)**.

Le compostage est également une méthode respectueuse de l'environnement. Les partisans de cette pratique considèrent qu'il s'agit d'un outil de recyclage important, puisque les déchets solides municipaux seraient autrement mis en décharge. Le compostage présente de nombreux avantages tels que la réduction de l'espace des décharges, la réduction de la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines, la réduction des émissions de méthane, la réduction des coûts de transport, la réduction de la pollution atmosphérique due à l'incinération des déchets, une gestion globale des déchets plus souple, l'amélioration du recyclage des matériaux et des coûts d'investissement et d'exploitation peu élevés **(Kaushal et Bharti, 2015)**.

Le présent travail a pour objectif la valorisation des déchets ménagers biodégradables par compostage aérobie en vue de leur recyclage ainsi que leur utilisation comme produit de substitution aux engrais chimiques de synthèse. Une caractérisation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques a été effectuée sur le compost produit.

Ce mémoire est composé de trois parties :

La première partie est une synthèse bibliographique qui se compose de deux chapitres : Le premier fait état de la problématique des déchets ménagers et assimilés ainsi que les différents modes de leur élimination, en insistant plus particulièrement sur les impacts environnementaux et risques sanitaires liés aux déchets solides. Le deuxième chapitre évoque le processus du compostage, les paramètres du compostage, les différentes technologies ainsi que l'intérêt agronomique et environnemental du compost.

La seconde partie est une partie expérimentale qui décrit d'abord les différents déchets organiques utilisés pour produire le compost, puis présente les différents paramètres

physico-chimiques (température, pH, conductivité électrique, ..... ) et microbiologiques (FTAM et champignons) analysés, ainsi que leur protocole expérimental.

La troisième partie de ce mémoire est consacré aux résultats issus des analyses physico-chimiques et microbiologiques des paramètres analysés et à leur discussion.



*Chapitre I :  
Généralités sur  
les déchets*

### **1 Définition d'un déchet**

Les déchets ont été définis comme tout produit ou matériau inutile pour le producteur (**Basu, 2009**). Ce sont des matériaux dont les gens veulent se débarrasser même lorsque des paiements sont exigés pour leur élimination (**Dijkema et al.2000**). Les déchets sont considérés comme le résultat de processus de production inefficaces dont la production continue constitue une perte de ressources vitales (**Cheremisinoff, 2003**). Une substance qui est qualifiée de déchet pour une personne peut avoir une valeur pour une autre. Par conséquent, un matériau ne peut être perçu comme un déchet que si son propriétaire le désigne comme tel (**Dijkema et al., 2000**).

Selon la loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 de l'article 3 du journal officiel de la république algérienne n°77, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, un déchet est défini comme : « 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 ».

### **2 Classification des déchets**

La classification d'une matière en tant que déchet constitue la base des réglementations nécessaires pour protéger la population et l'environnement où les déchets sont traités ou éliminés (**Amasuomo et Baird, 2016**). Certaines caractéristiques communes utilisées dans la classification des déchets comprennent les états physiques, les propriétés physiques, les potentiels de réutilisation, les potentiels de biodégradation, la source de production et le degré d'impact sur l'environnement (**Dixon et Jones, 2005**). Selon **White et al. (1995)**, plusieurs classifications existent dans différents pays. Les classifications les plus couramment utilisées sont les suivantes:

- Selon l'état physique: déchets solides, déchets liquides, déchets gazeux
- Selon l'origine des déchets: déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles, déchets commerciaux, déchets de démolition et de construction, déchets miniers
- Selon l'impact sur l'environnement: déchets dangereux et déchets non dangereux

### **3 Déchets ménagers et assimilés**

L'Union européenne a établi, à des fins législatives, sa définition juridique des déchets municipaux dans la directive sur la mise en décharge des déchets 1999/31/EC, les déchets ménagers et assimilés sont les déchets provenant des ménages, ainsi que tout autre déchet qui, en raison de sa nature ou de sa composition, est similaire aux déchets provenant des ménages

comme les déchets provenant de locaux commerciaux. Les DSM sont difficiles à gérer à cause de leurs différentes natures (**White et al., 1995**). Dans certains pays, comme l'Algérie, plus de la moitié de tous les déchets solides municipaux sont des matières putrescibles (déchets alimentaires qui comprennent les déchets de repas : fanes et épluchures de légumes, résidus de café, certains produits laitiers, graisses, etc.), déchets de jardin : feuilles mortes, mauvaises herbes, mouchoirs (papier), cendres, sciure de bois, etc. Par ailleurs les autres matériaux recyclables tels que le carton, le verre et les plastiques représentent un pourcentage important de l'ensemble des déchets solides municipaux (**AND, 2014**). Une étude (**Berkun et al., 2011**) a montré que les propriétés des déchets solides municipaux dépendent largement de leur source. En Algérie, les DMA proviennent des commerciaux, des industriels des administratifs, des jardins publics, des restaurants, des écoles, des casernes, des résidences, des prisons, des hôpitaux et de la voirie (**AND, 2014**).

#### **4 Biodéchets**

Les biodéchets représentent une part importante des DSM. En général, les biodéchets peuvent être considérés comme un mélange de proportions similaires de déchets de cuisine et de jardin provenant des ménages. Selon la définition de la directive-cadre sur les déchets de l'UE (2008), les biodéchets sont les "déchets biodégradables de jardin et de parc, les déchets alimentaires et de cuisine provenant des ménages, des restaurants, des traiteurs et des magasins de vente au détail, ainsi que les déchets comparables provenant des usines de transformation des aliments". Grâce à leurs propriétés, ils sont considérés comme une source renouvelable et durable de production d'énergie (**Pavlas et al., 2020**).

##### **4.1 Les déchets alimentaires**

Ils sont également appelés "déchets de cuisine et de table", ils représentent l'essentiel des biodéchets produits par les ménages ou les professionnels de la restauration. Il s'agit de déchets de cuisine tels que des restes de repas ou des produits périmés non consommés. Ils proviennent principalement des foyers, des restaurants, des traiteurs ou des commerces de détail ainsi que des établissements de production ou de transformation alimentaire (**ADEME, 2018**).

##### **4.2 Les déchets verts**

Les déchets « verts » appartiennent à la catégorie des déchets ménagers et assimilés. Mais leur nature diffère quelque peu des détritiques banals. Ils sont constitués de tous les débris végétaux : résidus de tontes de pelouse, feuilles, branchages issus de tailles, déchets floraux.

Ils proviennent d'espaces verts publics, des alignements d'arbres dans les rues, de jardins privés, d'établissements publics (écoles, universités par exemple)... (ADEME, 1998).

## **5 Mode de gestion des déchets solides**

La gestion des déchets solides désigne l'ensemble des opérations et moyens mis en œuvre pour confiner, valoriser, ou éliminer les déchets, c'est-à-dire les opérations de pré-collecte, de collecte et de transport et tout tri, traitement, jusqu'à au stockage (Chenane, 2007 et Djemaci, 2012).

### **5.1 La pré-collecte**

La pré-collecte représente la première étape dans la gestion des déchets en Algérie. Dans cette phase, les déchets sont ramassés et évacués par l'habitant ou parfois par l'éboueur depuis leur lieu de production jusqu'au lieu de prise en charge par les services concernés (NkituahangaYenamau, 2010). La pré-collecte se pratique par diverses manières selon le type d'habitation et l'accessibilité des équipements. Les différents contenants utilisés sont: les caissons métalliques, les sacs en plastique, les conteneurs roulants ainsi que les poubelles individuelles (Zemmouri et Nafai-boutouchent, 2021).

### **5.2 La collecte**

La collecte désigne toutes les opérations de regroupement et d'évacuation des déchets pour qu'ils soient transférés vers une destination appropriée (décharge, centre de tri, station de transfert, etc.). C'est une opération d'ordre public qui est assurée par les services de municipalités afin de protéger la santé des populations et leur assurer une meilleure qualité de vie (Djemaci, 2012). Le choix du système de collecte et d'enlèvement des déchets dépend de la catégorie des déchets à ramasser, de l'utilisation ultérieure qu'on veut en faire et de différents points de vue (économique, hygiénique, propres aux exploitations,). La mise en place d'un système de collecte des ordures ménagères est fonction des besoins à satisfaire et des divers impératifs à observer, les données de base sont :

- La population à desservir et la quantité des déchets produites ;
- Le caractère urbain, rural ou semi-rural de la localité à desservir ;
- La concentration de la population qui conditionne la densité linéaire des déchets à ramasser le long des rues ;
- Les voies à desservir (Cheniti, 2014).

### **5.2.1 La collecte en porte-à-porte**

C'est la collecte la plus ancienne qui consiste à déposer des récipients individuels par les habitants sur le trottoir. Ces récipients sont vidés par les éboueurs dans une benne (**Zemmouri et Nafai-boutouchent, 2021**).

### **5.2.2 La collecte en apport volontaire**

Dans le système de collecte par apport volontaire, les habitants sont tenus de déposer volontairement leurs déchets dans des points de dépôt déterminés. Le véhicule de collecte passe vider ces bacs sans avoir à faire une tournée en porte à porte (**Zemmouri et Nafai-boutouchent, 2021**).

### **5.2.3 La collecte sélective**

La collecte sélective consiste à trier les déchets recyclables directement à la source, c'est-à-dire que le processus de tri des déchets est effectué directement par la personne qui les produit, tandis que le transport des deux fractions (déchets recyclables et déchets biodégradables) est effectué par les opérateurs d'assainissement. La collecte sélective des déchets implique la séparation des deux fractions par le producteur de déchets, en précisant que la fraction sèche (verre, papier, plastique, métal) doit être stockée correctement. Par conséquent, il est donc obligatoire que les déchets collectés soient secs et propres, car le stockage de déchets humides ou de traces de restes alimentaires peut contaminer des lots entiers (**Jigani et al., 2020**).

## **5.3 Le transport**

C'est l'étape où les déchets solides sont transportés vers une destination appropriée (décharge, centre de tri, station de transfert, etc.). Différents modes de transport peuvent être adoptés et la méthode choisie dépend de la disponibilité locale et du volume de déchets à transporter. Les types de moyens de transport des ordures ménagères peuvent être divisés en trois catégories :

- Les moyens de transport à propulsion humaine : charrette à bras ouverte, charrette à bras avec bacs, brouette, tricycle.
- Les animaux : charrette tirée par un âne.
- Les véhicules motorisés : tracteur et remorque, camion standard, camion benne (**Zurbruegg, 2003**).

## **5.4 L'élimination**

L'étape finale de la gestion des déchets solides est l'élimination en toute sécurité, en

minimisant les risques associés. Il existe quatre méthodes principales pour l'élimination des déchets solides :

- la valorisation en matière par le réemploi, la réutilisation ou le recyclage.
- la valorisation organique par le compostage ou la méthanisation.
- la valorisation énergétique par incinération.
- l'enfouissement ou mise en décharge.

#### **5.4.1 La valorisation en matière**

##### **a. Le réemploi**

Le réemploi consiste à utiliser une nouvelle fois un produit ou objet usagé, pour un usage analogue à celui de sa première utilisation ou pour une autre utilité, sans qu'il y ait de traitement intermédiaire. Exemple: la consignation des bouteilles qui sont à nouveau remplies après leur nettoyage (**Gouilliard et al., 2003**).

##### **b. La réutilisation**

Elle consiste à réutiliser les déchets à nouveau sans changer leur forme d'origine. Exemple: l'utilisation de pneus usagers pour protéger la coque des bateaux (**Balet, 2008**).

##### **c. Le recyclage**

Le recyclage est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Par exemple, prendre des bouteilles cassées, les refondre, et en faire des bouteilles neuves. Il est également défini comme la récupération de matériaux utiles, tels que le papier, le verre, le plastique et les métaux, à partir des déchets pour fabriquer de nouveaux produits, ce qui permet de réduire la quantité de matières premières nécessaires à la fabrication de nouveaux produits. Nouvelles matières premières nécessaires (**Balet, 2008**).

#### **5.4.2 La valorisation organique**

##### **a) Le compostage**

Le compostage est une alternative pour recycler les déchets organiques biodégradables, en les transformant en engrais organiques qui peuvent être utilisés comme nutriments agricoles, évitant ainsi leur mise en décharge (**Ana Kaline da Costa Ferreira et al., 2018**). Le compostage est un processus de décomposition biologique aérobie où le pH, le rapport C/N et l'humidité sont contrôlés dans le mélange initial à composter. Ces facteurs clés déterminent le développement microbien et la stabilisation de la matière organique. Les

micro-organismes qui se développent lors du compostage reflètent l'évolution et la performance du procédé. Les différentes communautés présentes lors du compostage sont : les bactéries, les actinomycètes, les champignons, les protozoaires ou encore les algues (**Hassen et al., 2001**)

### **b) La bio méthanisation**

La technologie de biométhanisation est un processus de digestion anaérobie (DA) qui implique la décomposition de la matière organique avec l'aide de micro-organismes dans un environnement sans oxygène et deux sous-produits principaux peuvent être obtenus, l'un est le biogaz contenant 60-65% de méthane et l'autre est une boue organique digérée avec une teneur élevée en nutriments, utilisée comme engrais. Les DSM, dont les principales fractions de déchets organiques sont les déchets alimentaires, les déchets verts, les déchets végétaux, les déchets de marché, les déchets de cuisine, les déchets de cantine, les déchets agricoles, etc. sont des matières premières potentielles pour l'AD en vue de la production de biogaz (**AnayaGhosh et al., 2017**).

### **5.4.3 La valorisation énergétique**

L'incinération également connue sous le nom de combustion directe, a été conçue à l'origine pour réduire le volume des déchets par combustion, mais a ensuite été utilisée pour récupérer de l'énergie (électricité et chaleur). Dans ce procédé, les déchets sont acheminés dans des fours d'incinération pour être brûlés à plus de 1000°C. L'énergie de la combustion est récupérée sous forme de fumées, puis est transformée en vapeurs d'eau (en chaudière) ou en électricité (en turbine, puis alternateur) pour être revendue. Les résidus de la combustion (mâchefers et ferrailles) sont récupérés puis réutilisés dans les travaux publics pour les soubassements des infrastructures de transport (**Stehlík, 2009**).

### **5.4.4 L'enfouissement ou mise en décharge**

L'enfouissement est la stratégie de gestion la plus courante pour les déchets solides municipaux. Les déchets peuvent être déposés en toute sécurité dans une décharge sanitaire appelée également centre d'enfouissement technique. Un CET est un site d'élimination soigneusement sélectionné, conçu, construit et exploité avec soin pour protéger l'environnement et la santé publique. L'un des facteurs les plus importants l'enfouissement est que les déchets enfouis n'entrent jamais en contact avec les eaux de surface ou les eaux souterraines. Les exigences en matière de conception technique comprennent une distance minimale entre le fond de la décharge et la nappe phréatique saisonnièrement élevée. La

plupart des nouvelles décharges doivent être dotées d'un revêtement ou d'une barrière imperméable au fond du CET, ainsi que d'un système de surveillance des eaux souterraines. Les sections de décharges achevées doivent être recouvertes d'une couverture imperméable afin d'empêcher les précipitations de s'accumuler ou les eaux de ruissellement d'atteindre les déchets enfouis (Swati Srivastava et RituSinghvi, 2015). On parle de CET classe II, quand on y reçoit des déchets domestiques ou industriels banals, d'un CET de classe I, quand on y reçoit des déchets industriels dangereux ou classe III quand on y reçoit des déchets inertes.

La mise en décharge reste une pratique courante dans la plupart des pays. Elle consiste à enterrer les ordures ménagères dans des carrières abandonnées ou inutilisées, des vides miniers ou des fosses d'emprunt. Les décharges et les dépotoirs à ciel ouvert anciens, mal conçus ou mal gérés nombre d'effets négatifs sur l'environnement (Swati Srivastava et Ritu Singhvi, 2015).

### **6 Impacts des déchets solides sur les organismes vivants**

La mauvaise gestion ou l'élimination non scientifique des déchets solides peut menacer les populations des zones où il n'existe pas de méthode appropriée d'élimination des déchets, en particulier les enfants d'âge préscolaire, les travailleurs du secteur des déchets, les travailleurs dans des installations produisant des matières toxiques et infectieuses. Les autres groupes à haut risque sont les populations vivant à proximité d'une décharge et celles dont l'eau a été contaminée par des déchets ou de fuites provenant de sites de décharge. Les déchets solides non collectés augmentent également le risque de blessure et d'infection. Les organismes vivants entrent en contact avec ces déchets ménagers à travers l'adsorption, le stockage et la biodégradation dans le sol, l'absorption par les plantes, la ventilation, le lessivage, les insectes, les oiseaux, les rats, les mouches, le déversement direct de déchets non traités dans les mers, les rivières et les lacs, les plantes et les animaux qui s'en nourrissent s'en trouvent affectés (Pervez et Kafeel, 2013).

### **7 Impacts environnementaux et risques sanitaires liés aux des déchets solides**

Très peu de décharges existantes dans les pays les plus pauvres du monde répondraient aux normes environnementales en vigueur dans les pays industrialisés. Les décharges et les dépotoirs à ciel ouvert anciens, mal conçus ou mal gérés peuvent avoir un certain nombre d'effets négatifs sur l'environnement, tels que les débris emportés par le vent, l'attraction de la vermine et la production de lixiviat liquide. Un autre produit courant des décharges est le gaz (composé principalement de méthane et de dioxyde de carbone) qui est produit lors de la décomposition anaérobie des déchets organiques. Ce gaz peut causer des problèmes d'odeur,

tuer la végétation de surface et c'est un gaz à effet de serre (**Pervez et Kafeel, 2013**).

Les déchets dangereux non contrôlés provenant des industries qui se mélangent aux déchets municipaux créent des risques potentiels pour la santé humaine. Les accidents de la circulation peuvent résulter des déchets toxiques déversés. Il existe un danger spécifique de concentration de métaux lourds dans la chaîne alimentaire, c'est un problème qui illustre la relation entre les déchets solides municipaux et les effluents industriels liquides contenant des métaux lourds déversés dans un système de drainage ou d'égouts et/ou dans des décharges à ciel ouvert. Le fait que les déchets solides municipaux soient rejetés entraîne un cercle vicieux qui comprend les problèmes suivants: empoisonnement chimique par inhalation de produits chimiques, faible poids à la naissance, cancer, malformations congénitales, maladie neurologique, nausées et vomissements, toxicité au mercure due à la consommation de poissons de mercure (**Britain et Southwood, 1984**).

### **8 Impacts environnementaux et risques sanitaires des déchets organiques ménagers**

La mauvaise gestion des déchets solides dans la plupart des pays en développement entraîne des problèmes qui nuisent à la santé humaine et animale et, en fin de compte, des pertes économiques, environnementales et biologiques. L'impact des déchets dépend de leur composition et des pratiques d'élimination illégales. La pollution de l'environnement due à la mise en décharge des déchets s'affecte la santé par des effets à court et à long terme (**Kumar et Prakash, 2020**).

### **8.1 Le processus de dégradation de la matière organique**

La biodégradation des matières organiques est un processus environnemental crucial et naturel qui se produit dans les environnements terrestres et aquatiques. Ce processus fait intervenir un certain nombre de réactions microbiennes catalysées telles que l'oxydation, l'hydroxylation, l'hydrolyse, la réduction, la déhalogénéation et la désalkylation. Le processus d'oxydation de la matière organique peut être réalisé par différents agents oxydants, tels que l'oxygène, les nitrates et les sulfates. Tant que l'oxygène est présent, l'oxygène est l'agent oxydant privilégié et la biodégradation de la matière organique ; cependant, si l'oxygène s'épuise, la décomposition se poursuit par la réduction d'autres agents oxydants, tels que le sulfate ( $\text{SO}_4$ ), qui entraîne la production de sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ), un gaz toxique. La dégradation de la matière organique entraîne la formation de dioxyde de carbone et de méthane, tandis que la décomposition anaérobie entraîne une production importante de méthane (**Manahan, 2005**).

### **8.2 Contamination de l'eau**

Lorsque les déchets organiques se décomposent dans les décharges à ciel ouvert et sont infiltrés par la pluie, un lixiviat contenant des extraits de déchets organiques dissous est produit. Le contenu organique du lixiviat entraîne une demande biochimique (ou biologique) en oxygène (DBO), qui est une mesure de la quantité d'oxygène dissous consommée lors de l'oxydation microbienne du contenu organique. Les lixiviats ayant un niveau élevé de DBO peuvent appauvrir en oxygène les eaux souterraines réceptrices, les eaux de surface ou d'autres masses d'eaux avec lesquelles les lixiviats entrent en contact (**Cointreau, 2006**).

Les particules organiques en suspension dans le lixiviat peuvent également contribuer au transport de métaux lourds et d'autres polluants. Les contaminants se fixent à la surface des particules en suspension par adsorption et peuvent ainsi être transportés sur de longues distances, tout en étant plus accessibles aux organismes. La dégradation anaérobie de la matière organique produit également des acides organiques qui donnent au lixiviat une tendance à dissoudre les solutés solubles dans l'acide tels que les métaux lourds. La pollution des eaux souterraines peut persister pendant des années, des décennies et parfois même des siècles, et les méthodes d'assainissement sont souvent difficiles, longues et coûteuses (**Manahan, 2005**).

Si les lixiviats atteignent une masse d'eau qui n'est pas traitée efficacement, le niveau d'oxygène finira par s'épuiser, ce qui entraînera un environnement aquatique qui ne pourra plus supporter les formes supérieures de la vie aquatique, qui dépendent de l'oxygène. Ce phénomène peut également se produire si de grandes quantités de déchets organiques sont déversées directement dans les masses d'eau ou y sont transférées par les eaux de pluie, car la dégradation de la matière organique dans les milieux aquatiques entraîne une consommation excessive d'oxygène. Si le niveau d'oxygène atteint zéro, un gaz toxique, le sulfure d'hydrogène, peut se former, entraînant la mort de tous les organismes supérieurs qui ne peuvent échapper à l'environnement toxique. Cet environnement aquatique est finalement limité à une croissance bactérienne anaérobie excessive (**Bernes, 2005**).

Les déchets solides non collectés peuvent également entraver l'écoulement des eaux pluviales, d'eau stagnante qui deviennent le terreau de maladies telles que le paludisme, les douleurs thoraciques, la diarrhée et le choléra (**Sankoh et al., 2013**).

La dégradation de la matière organique entraîne également la formation de dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone est un élément essentiel de l'eau ; cependant, à des concentrations élevées, il peut influencer la respiration et les échanges gazeux des animaux aquatiques, ce qui peut parfois être une cause de décès (**Manahan, 2005**).

### **8.3 Contamination du sol**

La matière organique est une source de minéraux essentiels et non essentiels. Des recherches ont montré qu'il existe une grande différence dans la teneur en matière organique des sols des décharges par rapport à ceux des autres sites. Les niveaux élevés de matière organique entraînent une augmentation de la teneur en nutriments, ce qui peut conduire à une augmentation de la productivité du sol et de la croissance des plantes (**Anikwe et Nwobodo 2002**). La biodégradation des déchets organiques dans les décharges entraîne également une augmentation des niveaux d'azote organique dans le sol. L'azote est principalement disponible sous forme de nitrate,  $\text{NO}_3$ , et certaines plantes peuvent absorber une quantité excessive de nitrate provenant de sols riches en azote. Les plantes contenant des quantités excessives de nitrates peuvent empoisonner les ruminants tels que le bétail et mettre en danger les personnes si les plantes sont utilisées pour l'ensilage. L'ensilage est de l'herbe ou d'autres fourrages verts fermentés dans une structure appelée silo. Au cours de la fermentation, la réduction du nitrate peut produire un gaz toxique, le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), qui peut s'accumuler à des niveaux élevés dans les silos fermés et être la cause de la mort des personnes qui entrent en contact avec ces silos (**Manahan, 2005**).

#### **8.4 Pollution de l'air**

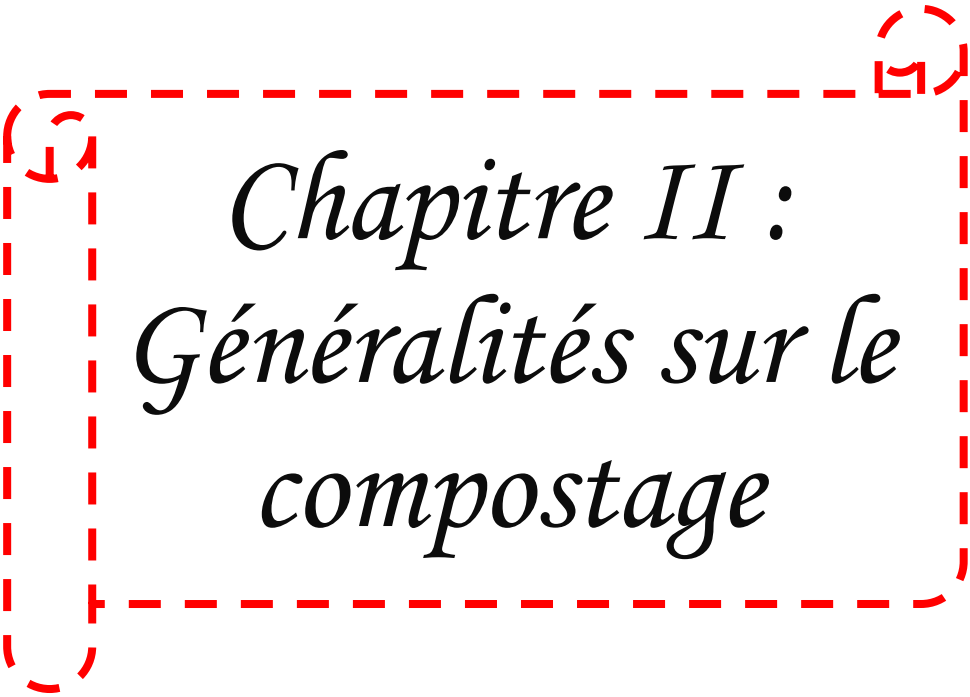
Les émissions atmosphériques provenant de la dégradation des matières organiques dans les décharges se composent principalement de méthane, CH<sub>4</sub>, et de dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub>, mais aussi de dioxyde d'azote, NO<sub>2</sub>, de sulfure d'hydrogène, H<sub>2</sub>S, et d'autres gaz à l'état de traces (Jha et al. 2008). Le dioxyde de carbone et le méthane sont tous deux des gaz à effet de serre qui peuvent contribuer au réchauffement de la planète s'ils sont libérés en grandes quantités. En outre, le méthane produit du monoxyde de carbone en tant que produit d'oxydation intermédiaire. Le monoxyde de carbone est un gaz toxique qui peut entraîner une perception visuelle, des maux de tête, une perte de conscience ou la mort s'il est inhalé en grandes quantités. En fortes concentrations, le monoxyde de carbone peut entraîner une pollution locale de l'air en raison de sa toxicité (Manahan, 2005).

La décomposition anaérobie peut également produire du dioxyde d'azote, NO<sub>2</sub>, qui peut provoquer une inflammation des tissus pulmonaires et, à des niveaux plus élevés, entraîner la mort. Les plantes ont également été endommagées par une exposition prolongée au NO<sub>2</sub>. Dans des conditions favorables, le dioxyde d'azote participe également à la formation du smog photochimique, à la production de pluies acides et à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique (Manahan, 2005). En outre, la dégradation anaérobie dans les décharges à ciel ouvert entraîne également la production de sulfure d'hydrogène, H<sub>2</sub>S, qui peut provoquer une irritation des voies respiratoires supérieures et des nausées chez les personnes environnantes (Cointreau, 2006). La production de sulfure d'hydrogène est également à l'origine d'odeurs désagréables, qui ont été reconnues comme une nuisance environnementale (Boadi, 2005). Dans l'atmosphère, le sulfure d'hydrogène se transforme rapidement en dioxyde de soufre, SO<sub>2</sub>, qui est nocif pour les plantes. Le dioxyde de soufre peut également se transformer en acide sulfurique, qui peut contribuer aux pluies acides (Manahan, 2005).

#### **8.5 Lieux de reproduction pour les micro-organismes et attraction des vecteurs et des rongeurs**

Le déversement de déchets organiques dans les égouts et les décharges à ciel ouvert constitue une source d'alimentation pour les agents pathogènes porteurs de maladies et attire les vecteurs et les rongeurs porteurs de maladies. Le moustique anophèle, par exemple, est l'un des types de moustiques qui transmettent le paludisme. Selon les estimations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la contamination de l'eau et le manque d'hygiène sont à l'origine de 80 % des maladies dans les pays en développement (Deboosere et al. 1988).

Un autre problème dans les pays en développement est le stockage inadéquat des déchets ménagers organiques, par exemple dans des conteneurs ouverts. Les conteneurs ouverts attirent par exemple des vecteurs comme les mouches, qui peuvent être porteurs de maladies par contamination des aliments, soit par contact direct avec les aliments, soit par leurs excréments (**Boadi 2005**). En outre, le fait que les animaux domestiques se nourrissent souvent de déchets organiques dans les pays en développement contribue à la propagation des maladies. En outre, dans certains pays, les animaux domestiques sont également consommés par les humains, ce qui augmente le risque de transmission des maladies (**Cointreau 2006**).



*Chapitre II :  
Généralités sur le  
compostage*

### **1 Définitions**

#### **1.1 Le compostage**

Le compostage est un processus biologique qui se produit dans des conditions aérobies (présence d'oxygène) avec une humidité et une température adéquates, permettant la transformation hygiénique des déchets organiques en un matériau homogène et assimilable par les plantes. Le compostage consiste en un processus de biodégradation aérobie de la matière organique sous l'action d'une très grande diversité de micro-organismes qui préexistent dans les substrats concernés (FAO, 1980 et 2002).

#### **1.2 Le compost**

Le compost, produit final du compostage, est de la matière humique stable, assainie, riche en matière organique et non nauséabonde, qui résulte du compostage des biodéchets. Il est composé pour l'essentiel d'une fraction organique stabilisée et de composés minéraux. L'action de composter est donc de produire de la matière organique de type humique stable (Mustin, 1987).

Dans les systèmes de culture biologique, le compost constitue une source primaire d'éléments nutritifs pour les cultures. Dans les systèmes de culture conventionnels, le compost constitue une source d'azote supplémentaire qui complète l'azote des engrais et permet de mettre en place un système agricole plus durable. Le compost permet aux producteurs laitiers et aux éleveurs de réduire le volume de fumier quittant leur exploitation et constitue une source de nutriments et de matières organiques pour les exploitations agricoles environnantes (Seyedbagheri, 2010). Le compost peut assurer la fertilité et l'équilibre des sols tout en favorisant la biodiversité de la faune du sol. Grâce à l'activité biologique des micro-organismes, il joue également un rôle important dans la dépollution naturelle des sols. Il aide à lutter contre l'érosion et la lixiviation des éléments fertilisants en restructurant la terre grâce à sa teneur en humus, ce qui en fait à la fois un amendement organique et un engrais minéral (Magdi et al., 2004 ; Zorpas et al., 2003). Le compost contribue également à réguler l'humidité, le pH et la disponibilité en substances nutritives (Cegarra et al., 1996 ; Wong et al., 1999 ; Ouédraogo et al., 2001).

### **2 Types de compostage**

Il existe deux types principaux de compostage :

### **2.1 Compostage aérobie**

Le compostage est la dégradation des déchets organiques en milieu oxygéné (air) ; le processus contient du CO<sub>2</sub>, du NH<sub>3</sub>, de l'eau et de la chaleur. Ce processus permet de traiter n'importe quel type de déchets organiques, mais pour que le compostage soit efficace, il est indispensable de réunir la bonne combinaison de composants et de créer les conditions favorables à sa mise en application. Il s'agit notamment d'un taux d'humidité d'environ 60 à 70 % et un rapport carbone/azote (C/N) de 30/1. Tout écart significatif freine le processus de dégradation. En général, le bois et le papier fournissent une source importante de carbone, alors que les boues d'épuration et les déchets alimentaires apportent de l'azote afin de fournir en permanence une quantité suffisante d'oxygène. La ventilation des déchets, forcée ou passive, est indispensable (**Gonawala et Jardosh, 2018**).

### **2.2 Compostage anaérobie**

Le compostage anaérobie est la dégradation des déchets organiques en l'absence d'O<sub>2</sub>. Les produits résultant de cette dégradation étant le méthane (CH<sub>4</sub>), le CO<sub>2</sub>, le NH<sub>3</sub> et des quantités négligeables d'autres gaz et d'acides organiques. Le compostage anaérobie était auparavant utilisé pour composter le fumier animal et les boues d'épuration humaines, mais il est récemment devenu plus courant de traiter certains déchets solides municipaux (DSM) et déchets verts de cette manière (**Gonawala et Jardosh, 2018**).

## **3 Déchets compostables et non compostables pouvant être compostés**

### **3.1 Déchets pouvant être compostés**

Les matières organiques, y compris celles contenues dans les déchets municipaux, peuvent être compostées. Selon l'AND (2021), ces déchets sont séparés en déchets verts (frais) et en déchets bruns (secs) en fonction de leur lieu d'origine et de leur teneur en eau.

#### **3.1.1 Déchets verts riches en azote**

Il s'agit de résidus de fruits et de légumes, épiluchures et pelures de fruits et de légumes, marc de café, feuilles de thé, herbe coupée, mauvaises herbes, déchets organiques, etc., plantes de jardin, fleurs fanées, déchets d'herbe, déchets de jardin, déchets animaux, nouilles, pain. Les matières vertes fournissent de l'azote, de l'humidité et de la nourriture aux organismes qui transforment la matière organique dans le compost.

#### **3.1.2 Déchets bruns riches en carbone**

Il s'agit de feuilles, copeaux secs de bois non transformé, paille, foin, résidus de taille des vergers et des vignobles, sciure de bois, aiguilles de conifères, serviettes en papier, essuie-tout, boîtes à œufs. Les matériaux bruns fournissent la quantité de carbone nécessaire aux organismes, adsorbent l'humidité et contribuent à augmenter la quantité d'air dans le tas.

### **3.2 Déchets à ne pas composter**

Les matériaux non biodégradables, toxiques ou représentant une quelconque menace pour la qualité physique et chimique du compost sont interdits au compostage. D'après **AND (2021)**, on cite :

#### **3.2.1 Déchets de jardin**

- \* Les fruits et légumes traités, car les pesticides contenus sur leur enveloppe nuit à la prolifération d'insectes et de bactéries nécessaires à la décomposition du compost.
- \* La viande et le poisson ont besoin d'une température élevée, que l'on ne rencontre pas dans un compost individuel, pour se décomposer.
- \* Les coquilles de fruits de mer se décomposent difficilement.
- \* Les produits laitiers attirent les animaux et parasites, mais peuvent également étouffer le compost. \* La graisse, les huiles, la mayonnaise ne peuvent pas se décomposer facilement à des températures basses.
- \* Les arêtes de poisson et les os.
- \* Les mauvaises herbes montées en graines et les tontes contenant des plantes grainées, car ces graines résisteront au compostage et se retrouveront dans le jardin l'année suivante.
- \* Les plantes récemment traités chimiquement.
- \* Les plantes malades dont les parasites ne seront pas détruites par un compost individuel.

#### **3.2.2 Déchets de maison**

- \* Les excréments des animaux dont les parasites ne seront pas détruits par un compost domestique. \* Les déchets de toilettes sèches ne sont pas conseillés pour le compost domestique dont la température ne monte pas suffisamment.
- \* Le papier glacé et les papiers imprimés en couleur ne sont pas à composter.
- \* Les plastiques, le verre, les métaux.
- \* Les tissus synthétiques.
- \* Le bois de menuiserie qui est généralement traité, y compris la sciure de bois de menuiserie
- \* Les couches culottes
- \* Les sacs d'aspirateur dont les poussières sont souvent synthétiques ou contiennent des métaux lourds.
- \* Les cendres de briquette de barbecue contiennent des produits synthétiques et des traces de métaux lourds cancérigènes.

#### **3.2.3 Autres déchets**

- \* Les fumiers d'animaux, mais pas en provenance d'élevage industriel car trop pollués par différents additifs à l'alimentation. Le fumier d'herbivores est le plus adéquat ; le fumier de

cheval peut contenir des graines non digérées de mauvaises herbes. Le fumier est un activateur du compost.

\* La paille et le foin permettent de garder un compost aéré.

\* Les plumes doivent être humidifiées avant de les incorporer afin de faciliter leur compostage.

### **4 Processus biologique du compostage**

Les trois phases fondamentales du compostage ont été identifiées sur la base des variations de température, en plus d'une phase de maturation. Ces différentes phases de compostage ont été classées comme suit :

1. Phase mésophile
2. Phase thermophile et d'hygiénisation.
3. Phase de refroidissement
4. Phase de maturation.

#### **4.1 Phase mésophile**

Le processus de compostage commence à la température ambiante et en quelques jours (ou même quelques heures), la température augmente jusqu'à 45°C. L'activité métabolique de divers groupes hétérogènes de micro-organismes entraîne une augmentation de la température, car ces microbes utilisent l'azote et le carbone de la matière organique pour leur assimilation corporelle. La décomposition des composés solubles, tels que les sucres, produit des acides organiques et, par conséquent, le pH peut baisser (jusqu'à environ 4,0 ou 4,5). La phase chaude dure de deux à huit jours (**AmritLalMeena et al., 2021**).

#### **4.2 Phase thermophile et d'hygiénisation**

Pendant cette deuxième phase, le processus de décomposition progresse rapidement, ce qui entraîne la production d'énergie thermique supplémentaire (**Van der Wurff et al., 2016**). Lorsque la température de la matière organique atteint une température supérieure à 45 °C, arrive une communauté microbienne thermophile composée principalement de bactéries thermophile qui facilitent la dégradation de la matière organique complexe comme la cellulose et la lignine. La conversion de l'azote en ammoniac par les microbes thermophiles entraîne une augmentation du pH du tas de compost au cours de cette étape (**FAO, 1980 et 2002**). Lorsque la température dépasse 60°C, les bactéries produisant des spores et les actinobactéries qui sont responsables de la décomposition des cires, de l'hémicellulose et d'autres composés du complexe C, commencent à se développer. Parallèlement, cette phase est très bénéfique car la température élevée contribue à la destruction des contaminants et les bactéries d'origine fécale, c'est-à-dire *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, les kystes et les œufs

d'helminthes, les spores de champignons phytopathogènes et les graines de mauvaises herbes, etc. Cette phase est donc également appelée phase d'hygiénisation (**AmritLalMeena et al., 2021**).

### **4.3 Phase refroidissement**

Appelée également phase mésophile II, cette connaît un ralentissement de l'activité microbienne à cause de l'épuisement des sources de carbone et d'azote du matériau de compostage. La chaleur devient insuffisante pour compenser les pertes dues aux échanges de chaleur avec l'environnement et à l'évaporation, ce qui entraîne une diminution de la température du tas jusqu'à environ 40-45 °C. (**Francou, 2003**). Pendant la phase mésophile, la dégradation des polymères comme la cellulose se poursuit et certains champignons visibles à l'œil nu apparaissent. Lorsque la température descend en dessous de 40 °C, l'activité des organismes mésophiles reprend et le pH du tas de compost diminue légèrement, alors qu'en général, le pH du tas de compost reste légèrement alcalin (**Acharya, 1950**). Certains champignons peuvent se développer et même produire des structures visibles. Cette phase de refroidissement dure plusieurs semaines et peut être confondue avec la phase de maturation (**AmritLalMeena et al., 2021**).

### **4.4 Phase de maturation**

La phase de maturation marque la fin du processus du compostage. La température du tas de compost chute au niveau de la température ambiante (20-30 °C) (**Debertoldiet al.,1983**). Le compostage continue à un rythme très lent, où la formation de composés carbonés et la polymérisation se produisent, ce qui contribue à la formulation des acides fulviques et humiques (**AmritLalMeena et al., 2021**).

## **5 Paramètres du compostage**

### **5.1 Paramètres de démarrage**

Un compostage réussi peut être obtenu en fournissant des conditions optimales de démarrage aux organismes décomposeurs. Il s'agit notamment d'un équilibre adéquat des nutriments, de la teneur en humidité et de l'aération. Parmi ces paramètres, l'équilibre des nutriments est exprimé par le rapport carbone/azote (rapport C/N). Une certaine quantité d'humidité est également essentielle pour le compostage, étant donné que le site principal de l'activité microbienne se trouve dans la fine pellicule d'eau à la surface des particules (**Choi, 1999**).

### **5.1.1 Rapport carbone/azote (C/N)**

Les micro-organismes, tels que les bactéries ou les champignons, sont connus pour utiliser environ 30 parties de cellulose pour chaque partie d'azote dans le processus de décomposition (**Choi, 1999**). Les proportions de C et de N dans les matériaux de compostage revêtent une importance particulière. Le carbone sert à la fois de source d'énergie et de composant élémentaire pour les micro-organismes et l'azote est essentiel pour la synthèse des acides aminés, des protéines et des acides nucléiques. Pendant les phases actives de la fermentation aérobie, les micro-organismes consomment 15 à 30 fois plus de carbone que d'azote. En raison du carbone récalcitrant, qui est difficile à dégrader, le compost d'arbustes et de bois prend plus de temps pour arriver à maturité (18 mois) qu'un compost d'arbustes et de bois qu'un compost d'ordures ménagères (avec un rapport C/N initial de 30) qui mûrit en 7 mois (**Mustin, 1987**). Lorsque le rapport C:N est trop élevé, la présence d'un faible niveau d'azote ralentit le taux de décomposition. En revanche, lorsque le rapport C/N est trop faible, il y a trop d'azote et celui-ci sera probablement perdu dans l'atmosphère sous forme de gaz ammoniacal. Cela peut entraîner des problèmes d'odeur. La plupart des matériaux disponibles pour le compostage ne correspondent pas à ce rapport idéal de 30:1, de sorte que différents matériaux doivent être mélangés pour respecter ce rapport (**MAF, 1996**). Il a été suggéré que le compost final ayant un rapport C:N inférieur à 15 indique la maturité et est acceptable (**Morais et Queda, 2003**). Le rapport carbone/azote (C/N) est l'un des facteurs importants affectant le processus de compostage ainsi que les propriétés du produit final (**Kumar et al., 2010**). En général, les rapports C/N optimaux dans le compostage de la plupart des matériaux ont été rapportés comme variant de 25 à 30 (**Choi, 1999**). Dans la littérature, le rapport C/N idéal se situe autour de 30 pour assurer l'apport énergétique en carbone tout en permettant une croissance rapide des micro-organismes (**Golouke, 1991**). Lors d'expériences de compostage sur des déchets municipaux

### **5.1.2 Teneur en eau**

L'activité microbienne et le niveau d'humidité dans le matériau de compostage sont étroitement liés car l'eau présente dans le matériau brut est utilisée par les micro-organismes pour le transport des nutriments et de l'énergie à travers leurs membranes cellulaires. Le niveau d'humidité dans la matière à composter varie en fonction de la taille des particules, l'état physique de la matière et du système de compostage (**AmritLalMeena, 2021**). Le taux d'humidité idéal dans le matériau de compostage doit être d'environ 55 %. Si la teneur en eau est inférieure à 20 %, l'activité microbienne est inhibée et devient dormante. Si le taux

d'humidité dépasse 70 %, l'eau commence à remplir l'atmosphère vide du substrat et empêche l'échange d'oxygène, la décomposition de la matière organique ralentit et une odeur de décomposition anaérobie est émise (**Mustin, 1987**).

### **5.1.3 Porosité**

La porosité (espace poreux) du tas dans le compostage doit permettre la dégradation dans des conditions aérobies. Ainsi, la porosité est positivement corrélée au flux d'air. Afin de maintenir la condition aérobie à l'intérieur du tas de compost, un taux minimum de 5% d'O<sub>2</sub> dans l'espace poral est nécessaire, tandis que la condition anaérobie se produit avec moins de 1% d'O<sub>2</sub> (**Mustin, 1987**). Des compartiments anaérobies peuvent également apparaître au cours du compostage dans certaines parties moins aérées du tas (**Finstein et al., 1999**). Ces caractéristiques physiques du mélange de compost peuvent interagir avec des niveaux d'humidité élevés pour réduire le transport de l'oxygène. Les particules de petite taille réduisent le nombre des grands pores et augmentent la probabilité que l'oxygène doive se diffuser sur une longue distance à travers les petits pores. La forme, la taille et la structure des particules influent sur la manière dont elles se déposent, les agencements serrés augmentant la densité apparente et réduisant la porosité remplie d'air (espace d'air libre). Le compactage (causé mécaniquement ou par le poids des morts-terrains dans les tas de grande taille) favorise également un tassement serré (**Papendick and Campbell, 1981**).

### **5.1.4 Densité apparente**

La densité apparente du compost est une mesure de la masse de matière dans un volume donné. La densité du compost influence également ses propriétés mécaniques telles que la résistance, la porosité et la facilité de compactage. Les densités apparentes sèches typiques se situent entre 100 et 400 kg.m<sup>-3</sup>, tandis que les densités apparentes humides sont généralement comprises entre 500 et 900 kg.m<sup>-3</sup> (**Agnew et Leonard, 2003**). Des valeurs plus élevées de densité apparente impliquent une augmentation de la masse et une diminution de la porosité et du volume d'air. Au contraire, une densité apparente humide très faible peut indiquer une aération excessive du substrat et, indirectement, une baisse de la fraction d'eau disponible (**Nappi et Barberis, 1993**).

### **5.1.5 Teneur en oxygène**

La teneur en oxygène dépend de la porosité du tas de compost ; il faut donc faire attention à la taille, à la forme des particules organiques et à la quantité d'eau présente dans les

pores (et donc à l'humidité du tas). De plus, la concentration en CO<sub>2</sub> ne doit pas dépasser 15% cette concentration correspond à environ 6% d'oxygène. La demande en oxygène est très élevée pendant la phase initiale de décomposition (15-20%) en raison du développement rapide des micro-organismes. Ensuite, la demande en oxygène diminue pendant la stabilisation du compost (5 à 10%) et encore plus pendant la phase de maturation (**Mustin, 1987**). Les besoins en oxygène varient au cours du processus, atteignant le taux de consommation le plus élevé au cours de la phase thermophile. Le niveau de saturation en oxygène du tas de compost ne doit pas être inférieur à 5 % (niveau optimal 10 %) (**Raabe, 2001**). Un niveau d'aération excessif entraîne une baisse de la température et une perte d'humidité par évaporation, et le faible niveau d'humidité entrave le processus de décomposition. L'excès d'aération provoque également la déshydratation des cellules des micro-organismes, ce qui entrave la production de spores et d'enzymes qui favorisent la dégradation des divers composés de la matière organique ajoutée (**NRAES, 1992**). À l'inverse, un faible niveau d'aération (généralement inférieur à 5 %) entraîne un excès d'humidité qui génère à son tour environnement anaérobie. Les odeurs et l'acidité sont alors produites par la présence de composés tels que l'acide acétique, le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) ou le méthane (CH<sub>4</sub>) en excès.

### **5.2 Paramètres de surveillance**

Le compostage étant un processus biologique réalisé par des micro-organismes, les paramètres affectant leur croissance et leur reproduction doivent être pris en compte. Ces facteurs comprennent la température, le pH, le rapport C/N, l'oxygène ou l'aération et l'humidité du substrat. D'un point de vue externe, le processus de compostage dépend largement des conditions environnementales, de la méthode utilisée, des matières premières et d'autres éléments, de sorte que certains paramètres peuvent varier. Cependant, ils doivent faire l'objet d'une surveillance constante afin de toujours se situer dans une fourchette optimale (**Roman et al., 2015**). Les principaux paramètres et leurs plages optimales sont énumérés ci-dessous :

#### **5.2.1 Température**

Une température minimale est essentielle à l'activité des micro-organismes et à la dégradation de la matière organique. Selon **Stentford (1996)**, la plage de température idéale dans le compost varie entre 45 et 55°C pour une bonne biodégradation et entre 35 et 40°C pour l'amélioration de la diversité microbienne. Une température supérieure à 55°C permet l'hygiénisation du compost et par conséquent l'élimination des mauvaises herbes, les

microbes malades et les maladies, y compris les Shigella et les Salmonella, ce qui contribue à réduire le risque de transmission de maladies à partir de matériaux infectés et contaminés. Si la température se situe en dehors de cette fourchette, l'activité des micro-organismes ralentit ou risque d'être détruite. D'après **Liang et al. (2003)**, l'activité microbienne est inhibée voire arrêtée lorsque la température du substrat est inférieure à 20°C ou supérieure à 82°. Le suivi de la température sert à mesurer indirectement le degré de la dégradation. Il permet de caractériser la qualité du mélange au début du processus. Les fluctuations de l'élévation de température sont fonction de l'aération et de la nature du matériau.

### **5.2.2 pH**

Le pH est un paramètre déterminant pour la survie des micro-organismes et les différents groupes de micro-organismes ont leur plage de pH optimale pour la croissance et la multiplication. La majeure partie de l'activité bactérienne se produit à un pH compris entre 6,0 et 7,5, tandis que la majeure partie de l'activité fongique se produit à un pH compris entre 5,5 et 8,0. La plage idéale se situe entre 5,8 et 7,2 (**AmritLalMeena, 2021**). Au cours des premières phases du compostage (phase acidogène), le pH du tas de compost s'acidifie en raison de la libération de divers acides organiques et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par les bactéries acidogènes, décomposeurs du matériel carbone complexe. Dans la phase thermophile qui correspond à une alcalinisation: hydrolyse bactérienne de l'azote avec production d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) associée à la dégradation de protéines et à la décomposition d'acides organiques, le pH augmente, le milieu s'alcalinise (**Haug, 1993**), pour finalement se stabiliser à des valeurs proches de la neutralité en fonction de la nature du substrat (**Damien, 2004**). Le contrôle du pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique.

### **5.2.3 Carbone organique**

Le carbone organique est l'un des constituants essentiels des déchets organiques compostés. Le carbone total se compose du carbone organique total (COT) et du carbone inorganique sous forme de carbonates et de bicarbonates. Le COT représente généralement plus de 90% du carbone total dans les composts (**Navarro et al., 1993**). Les déchets verts bruts contiennent 20 à 30% de COT (**Riffaldi et al., 1986 ; Vallini et al., 1993**), 25 à 50% pour les déchets ménagers (**Avnimelech et al., 1996**) et 30 à 40% dans les boues (**Diaz-Burgos et al., 1993 ; Ayuso et al., 1996 ; Bernal et al., 1998**). La teneur en COT diminue au cours du compostage en raison de la dégradation par les micro-organismes des substances organiques nécessaires à leur métabolisme, ce qui entraîne leur minéralisation sous forme de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). La présence éventuelle de sites anaérobies dans le tas de compost

peut entraîner des émissions de méthane ( $\text{CH}_4$ ) associées au métabolisme fermentaire (**He et al., 2000**). Selon **Beck-Friis et al., (2003)**, l'émission de méthane, ne se produit que pendant la phase thermophile, représentant moins de 2% du COT initial dans le cas d'un tas de compost mal ventilé. Les acides gras volatils, présents dans les composts jeunes, peuvent également être libérés au cours du compostage. Ils apparaissent dans le cas d'une oxydation incomplète du carbone organique et reflètent donc un métabolisme anaérobie. Ils ne sont présents que dans la phase mésophile du compostage, représentent moins de 10% du COT et contribuent à diminuer le pH.

### **5.2.4 Azote**

Au cours du compostage et lorsque la nitrification est réalisée, l'azote organique des déchets est minéralisé principalement en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Une partie de cet azote minéral est réincorporé dans le métabolisme microbien actif pendant le compostage, une autre est incorporée dans la matière organique du compost lors de son humification, et une autre est libérée sous forme de matrice d'azote inorganique (**Larsen et McCartney, 2000**). A la fin du compostage, le processus de minéralisation devient prédominant, et une augmentation de la teneur en  $\text{NO}_3^-$  est fréquemment observée (**Sanchez-Monedero et al., 2001**). Par conséquent, une augmentation de la concentration en azote total est généralement observée dans le compost mûr. Cependant, des pertes d'azote sont possibles, soit par lixiviation des nitrates dans le cas de tas de composts non protégés en saison des pluies, soit par volatilisation de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et de l'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Les émissions de  $\text{NH}_3$  qui représentent les principales pertes sont étroitement corrélées au pH et à la présence d'acides gras volatils. Elles ont lieu pendant la phase intensive de dégradation. Dans des conditions optimales d'aération, l'augmentation du pH provoque une transformation du  $\text{NH}_4^+$  en azote volatil  $\text{NH}_3$ . Par contre, l'aération limitée provoque une augmentation de la teneur en acides gras volatils, entraînant une diminution du pH, et une immobilisation de l'azote sous forme de  $\text{NH}_4^+$  (**Michel et Reddy, 1998**). L'azote total représente généralement 1 à 4% du poids sec total du compost, et est composé d'au moins 10% d'azote minéral (**Bernal et al., 1998, Brinton et Evans, 2000**).

### **5.3 Paramètres de qualité**

La stabilité et la maturité du compost sont des éléments fondamentaux pour une meilleure utilisation en tant qu'amendement et source de nutriments pour les plantes (Amir 2005). Malgré que le terme de maturité soit fréquemment cité dans la littérature, il est souvent ambigu selon **Francou (2003)**. IL existe deux manières différentes pour décrire la

qualité du compost:

\* La première est basée sur la notion de transformation d'une matière organique initiale instable en une matière organique stable en fin de compostage. Le degré de stabilité du compost est estimé par la biodégradabilité des matières organiques et leur état d'humification (**Castaldi et al., 2005 ; Adani et al., 2006**)

\* La seconde approche considère les effets du compost sur les plantes. Le degré de maturité, dans ce cas, est lié à l'absence de dommages causés aux plantes par l'utilisation du compost. En effet, **Tiquia et al., (1997)** expliquent que l'amendement d'un compost immature dans un sol a des effets négatifs sur la germination, la croissance et le développement des plantes. Dans ce contexte, le meilleur indicateur de la maturité du compost reste sa phytotoxicité. **Tiquia et Tam, (1998)** et **Albuquerque et al., (2006)** confirment dans plusieurs études sur cette question que la stabilité du compost ne signifie pas nécessairement qu'il est mûr, car il peut encore avoir un effet inhibiteur ou phytotoxique sur la croissance des plantes.

### 5.3.1 Méthodes expérimentales

De nombreuses méthodes empiriques ont permis de déterminer la maturité des composts bien avant l'avènement de la science moderne. L'approche sensorielle permet, par exemple, de juger de la maturité (**Mbuligwe et al., 2002**). Un compost mûr présente les caractéristiques suivantes :

- Il ne dégage pas d'odeur d'ammoniac ;
- La température est basse même si le compost est humide et retourné ;
- Il est Granuleux, bois foncé et odeur agréable ;
- Il est reconnaissable par rapport à la matière première.

Ces méthodes simples et rapides doivent cependant être complétées par des analyses de laboratoire plus précises (**Charnay, 2005**).

### 5.3.2 Caractéristiques physico-chimiques classiques

La plupart des études sur la maturité des composts 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) (**Albrecht, 2007**).

#### 5.3.2.1 PH

Le pH a été l'un des premiers indicateurs chimiques de la maturité du compost et a été utilisé dans de nombreuses études (**Albrecht, 2007**). Selon **Avnimelech et al. (1996)**, les niveaux de pH acides sont caractéristiques des composts immatures tandis que les composts matures ont un pH compris entre 7 et 9.

### 5.3.2.2 Capacité d'échange cationique (CEC)

Les composés humiques ont une aptitude élevée à adsorber les ions chargés positivement, qui sont par la suite facilement échangés avec d'autres cations sur les mêmes sites d'adsorption. Cette caractéristique, appelée capacité d'échange cationique (CEC), a tendance à augmenter au cours du compostage, à mesure que les matières organiques sont humifiées et que les groupes fonctionnels carboxyliques et phénoliques sont formés (**Wichuk et McCartney, 2013**). **Iglesias-Jiménez et Pérez-García (1991)** indiquent qu'une CEC supérieure à 60 meq.100 g<sup>-1</sup> de matière organique est nécessaire pour considérer le compost comme mature.

### 5.3.2.3 Rapport C/N

Le rapport C/N (carbone organique/azote organique) diminue au cours du compostage. Ce paramètre est généralement mesuré pour estimer la maturité du compost (**Albrecht, 2007**). **Iglesias-Jiménez et Pérez-García (1991)** considèrent qu'un ratio au-dessous de 20 voire 15 correspond à des composts matures. **Chafetz et al., (1996)** et **Namkoong et al., (1999)** affirment qu'un compost caractérisé par un rapport de 10 à 15 peut être considéré comme stable, bien que le rapport final dépende fortement des matériaux initiaux utilisés. Le rapport C/N du compost est comparable au rapport C/N d'un sol humique qui est proche de 10 (**Charnay, 2005**).

### 5.3.2.4 Rapport $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$

La présence de nitrates dans le compost peut être un indicateur de maturité. Les micro-organismes nitrifiants entraînent une diminution de la teneur en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et une augmentation de la production de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Certains auteurs utilisent donc le ratio  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  comme indicateur de maturité du compost (**Albrecht, 2007**). Cependant, selon **Francou (2003)**, ce ratio est peu utilisé et les résultats sont contradictoires.

### **5.3.2.5 Rapport d'humification (AH/AF)**

Le fractionnement chimique de la matière organique en humine, acides humiques et fulviques a conduit certains auteurs à développer des indicateurs de maturité. Plusieurs études ont montré une augmentation significative du rapport entre les acides humiques (AH) et les acides fulviques (AF) (AH/AF) au cours du compostage (**Veeken et al., 2000 ; Jouraiphy et al., 2005 ; Huang et al., 2006**). En fait, le processus de compostage implique la formation d'acides fulviques (AF) en tant qu'étape intermédiaire dans la formation d'acides humiques (AH) et, finalement, de substances humiques insolubles et non phytotoxiques. En conséquence, la fraction de composés humiques composant la matière sèche totale ou la MO totale devrait augmenter jusqu'à une valeur presque constante au fur et à mesure que le compost mûrit (**Wichuk et McCartney, 2013**). Les résultats trouvés dans la littérature sont assez cohérents avec des valeurs inférieures à 1 pour les composts immatures, et supérieures à 1 ou 3 pour les composts matures.

### **5.3.3 Activités biologiques**

#### **5.3.3.1 Mesures de la respiration (DBO = demande biologique en oxygène)**

Les mesures de la respiration sont basées sur l'activité respiratoire des micro-organismes qui se trouvent dans le compost. Le compost immature se présente sous la forme d'un taux élevé de demande d'O<sub>2</sub> et de production de CO<sub>2</sub>. L'activité microbienne intense engendre une biodégradabilité élevée des substrats et donc une demande en oxygène importante par rapport à un compost mature, plus stable et moins actif (**Bernal et al., 1998**). Selon **Grigatti et al., (2011)**, la mesure de l'OUR (oxygenuptake rate) au moyen d'un test standardisé s'est avérée être un bon moyen pour décrire la variation du niveau de stabilisation au cours du processus de compostage.

### **5.3.3.2 Activité enzymatique**

Les enzymes importantes qui interviennent dans le processus de compostage incluent la cellulase, l'hémicellulase, la phénoloxydase, les protéases, les lipases, les phosphatases, et leurs activités varient en fonction du degré de décomposition de la matière organique. Ainsi, des niveaux élevés d'activité protéase, lipase et cellulase ont été mesurés pendant la phase active du compostage (**Mondini et al., 2004 ; Goyal et al., 2005**). Cependant, le compostage se fait à partir de substrats organiques très différents et de nombreux processus ; **Mondini et al., (2004)** considèrent que l'établissement de valeurs seuils d'activités enzymatiques comme indice de maturité est extrêmement difficile.

### **5.3.3.3 Succession des populations de nématodes**

Au début du processus de compostage (phase thermophile), immédiatement après le pic de chaleur, la population de nématodes est principalement constituée d'opportunistes d'enrichissement se nourrissant de bactéries (Rhabditidae, Panagrolaimidae, Diplogastridae), suivis par les opportunistes généraux se nourrissant de bactéries (Cephalobidae) et les opportunistes généraux se nourrissant de champignons (Aphelenchoididae). Par la suite, au cours de la phase de refroidissement et de maturation, les nématodes opportunistes prédateurs se nourrissant de bactéries (Mononchoidessp.) sont devenus dominants. Enfin, au stade le plus mature, les Anguinidaefongivores (principalement *Ditylenchus filimus*) étaient présents. Le rapport fongivore/bactériovore (rapport f/b) augmente au fur et à mesure que le compost devient plus mature (de zéro à 11,90). Sur la base de ces résultats, le rapport f/b pourrait être suggéré comme outil potentiel pour évaluer la maturité du compost (**Steel et al., 2010**).

## **6 Les technologies de compostage**

Le compostage peut être effectué manuellement ou automatiquement. La technologie du compostage manuel est avant tout un processus naturel et nécessite généralement un temps relativement long pour se décomposer complètement et produire le produit final [16]. En outre, elle nécessite la disponibilité d'espaces extérieurs relativement isolés pour éviter les odeurs, et doit être surveillée régulièrement pour garantir des conditions de compostage optimales. D'autre part, un composteur automatique tente d'automatiser certaines des phases du processus de compostage naturel. En général, il nécessite moins de surveillance et occupe moins d'espace, ce qui le rend plus adapté au milieu urbain. Cependant, il a généralement besoin d'électricité pour accélérer le processus de compostage.

### **6.1 Technologie manuelle**

Dans le cas du compostage manuel, le processus est géré par les mains et par des moyens mécaniques sans automatisation. Cinq types courants de méthodes de compostage manuel sont décrits : l'andain, l'andain à aération passive, le bac, l'in-vessel et le lombricompostage.

#### **6.1.1 Compostage en andains**

Le compostage en andain est la méthode de compostage la plus couramment utilisée pour le compostage des déchets de jardin ainsi que les déchets municipaux solides. Cette méthode n'utilise pas de machines ou de réacteurs pendant le processus de compostage. Elle consiste à placer un mélange de matières premières pré-triées dans de longues piles étroites appelées andains, qui sont retournées et remélangées manuellement et régulièrement à l'aide de grattoirs ou de pelles et est aéré naturellement (**NurFatinbinti Mat Saad et al.,2014**). Selon **NorHabsah (2008)**, cette méthode de compostage est simple et peut être modifiée en fonction du lieu et des circonstances. Dans cette méthode, les déchets organiques sont formés en un grand tas et allongés. Un tas d'andain statique peut être réalisé sous la forme d'un triangle, appelé andain delta, pour atteindre 2 mètres de hauteur avec une largeur comprise entre 2,5 et 3 mètres. En outre, un tas rectangulaire allongé, appelé andain trapézoïdal, peut atteindre une hauteur de 3 mètres et une largeur comprise entre 10 et 12 mètres. Le compostage en andains est le processus de compostage le plus économique et le plus largement accepté. Les saisons pluvieuses nécessitent parfois d'ajuster la forme du tas pour que l'eau s'écoule sur le dessus du tas au lieu d'être absorbée par celui-ci. Dans les climats froids, le tas peut geler à l'extérieur, mais reste chaud à l'intérieur

#### **6.1.2 9.3. Compostage en andain à aération passive**

Le compostage en andain à aération passive est une avancée par rapport au compostage en andain simple. Il consiste à introduire des tuyaux perforés pour permettre la circulation de l'air par convection dans les tas de compost organique, en particulier au centre des tas (**Veeken et Wilde, .2002**). Différentes configurations de tuyaux peuvent être adoptées pour apporter de l'oxygène aux micro-organismes, l'utilisation du tuyau éliminant la nécessité de retourner fréquemment le tas. Cependant, il est important d'introduire la bonne porosité remplie d'air avant de mettre les déchets organiques dans le tas de compost en réduisant de manière appropriée les particules de compost ainsi qu'en effectuant un pré-mélange minutieux. L'isolation du tas de compost avec du compost fini peut également être réalisée pour s'assurer que les températures thermophiles atteignent la couche extérieure du tas de

compost. Le principal avantage de cette technologie est qu'elle ne nécessite aucun retournement (**Lim et al., 2017**), ce qui permet au tas de compost de conserver efficacement sa chaleur tout en étant capable de fournir aux micro-organismes l'oxygène dont ils ont tant besoin grâce au système d'aération passif. Par conséquent, la méthode peut aboutir à une période de compostage légèrement plus courte que le compostage en andains conventionnel. Toutefois, l'absence de retournement au cours du processus de compostage nécessite une préparation plus minutieuse des déchets organiques avant de les placer dans les tas de compost.

### **6.1.3 Compostage en bacs**

Cette technologie est principalement pratiquée au niveau des ménages domestiques disposant d'un espace limité, Elle ne peut traiter qu'une quantité limitée de déchets et ne produit que du compost destiné à l'autoconsommation. Les déchets organiques sont généralement insérés par le haut d'un conteneur spécialement conçu avec une paroi perforée pour permettre un flux d'air de convection vers le tas de compost. Le matériau de compostage organique se dégrade et se compacte lentement au fur et à mesure qu'il descend dans le conteneur, le compost final prêt à l'emploi étant collecté au fond du conteneur. Certains conteneurs peuvent également comporter un mécanisme d'agitation permettant de mélanger facilement le tas de compost et d'améliorer ainsi la porosité du tas rempli d'air. L'utilisation d'un système autonome avec des parois perforées permet de conserver la chaleur tout en permettant à l'air de circuler dans le tas de compost. Pour les opérations de compostage plus importantes, les composteurs en bacs peuvent également être utilisés à grande échelle en combinant la méthode d'aération passive et le compostage en bacs (**Karnchanawong et Suriyanon, 2011**). Cette technologie nécessite un financement moyen et un minimum d'entretien. En outre, elle nécessite moins d'espace que les composteurs en andains, car les déchets sont empilés verticalement dans le bac. Aucun retournement n'est nécessaire, à l'exception du brassage, qui peut être effectué occasionnellement (**Arrigoni et al., 2018**). Toutefois, le processus de compostage peut prendre plus de temps que le compostage en andain, car les déchets sont contenus dans un bac et il n'y a pas de retournement.

### **6.1.4 Compostage en récipient**

Le compostage en cuve est une méthode qui consiste à enfermer les matières à composter dans un conteneur ou une cuve (**Manyapuetal., 2017**). Les installations varient, allant d'options de très haute technologie, avec différents paramètres contrôlés, à des alternatives de très faible technicité. Dans toutes les configurations, le flux d'air et la

température peuvent être plus facilement contrôlés grâce à cette technologie, via les portails d'air des trous situés autour et sur les côtés du récipient, permettant à l'air de passer, ce qui accélère le processus de compostage. Le retournement se fait manuellement et doit être plus fréquent au cours des deux premières semaines du processus de compostage afin de favoriser le processus d'aération et de contrôler la température et l'humidité. Cette technologie permet d'ajouter et de composter de grandes quantités de déchets organiques, ce qui a pour principal avantage de nécessiter moins d'espace que les technologies précédentes. Le volume des déchets organiques est réduit et, en général, après trois semaines ou mois, le compost est traité dans un espace ouvert pour l'étape de maturation. En outre, le mélange ou le retournement s'effectue à l'intérieur de la cuve, ce qui nécessite moins de main-d'œuvre. Cependant, il s'agit d'un système à forte intensité de capital qui nécessite un entretien important, des contrôles réguliers à l'intérieur de la cuve pour garantir un environnement de compostage favorable (**El Zein, 2015**) et une rotation mécanique manuelle.

### **6.1.5 Le lombricompostage**

Le lombricompostage est un type de compostage dans lequel les micro-organismes et certains macro-organismes, tels que les vers de terre, sont utilisés à température ambiante pour améliorer le processus de décomposition des déchets organiques et obtenir un meilleur compost final (**Ganti, 2018**). La méthode est différente du compostage aérobique conventionnel, avec des vers rouges spécialement choisis, généralement *Eisenia Foetida*, ajoutés au tas de compost. Ces vers ont un appétit et une capacité de reproduction élevés, peuvent digérer les déchets organiques et les faire passer par leur tube digestif pour produire du lombricompost sous forme de granulés (**Kaur, 2020**). Le lombricompost est essentiellement constitué des excréments des vers, également connus sous le nom de turricules, qui sont riches en nutriments. Ces excréments sont remplis de microbes qui aident à poursuivre le processus de décomposition pour produire le compost final. Cependant, les vers ont besoin d'un espace confortable pour vivre et travailler. Des matériaux de litière, du papier ou du carton déchiqueté, doivent être préparés à l'intérieur du bac à vers pour que les vers puissent y vivre et y travailler. Ils ont également besoin d'humidité et de déchets organiques. La durée de l'ensemble du processus varie en fonction de la quantité de vers, de la température et de la quantité de déchets ajoutée au bac. En outre, les vers peuvent se reproduire (**Munroe et al., 2007**) ce qui finit par inonder le bac de vers au bout d'un certain temps, ce qui peut nécessiter des transferts vers un bac de vers supplémentaire pour maintenir l'efficacité. Le lombricompostage peut réduire les agents pathogènes dans le processus, mais pas aussi

efficacement que le compostage traditionnel, car les agents pathogènes sont généralement éliminés plus rapidement dans des conditions chaudes. Cependant, les vers ne peuvent pas survivre à des températures très élevées, ce qui permet à certains agents pathogènes et à certaines mauvaises herbes de survivre. Cette méthode nécessite des coûts, un entretien et un espace relativement faibles (**Lalander et al., 2015**).

### **6.2 Technologie de compostage automatique**

#### **6.2.1 Compostage en andain à aération forcée**

Lors d'un compostage en andain à aération forcée, des souffleurs sont installés à l'extrémité de tuyaux perforés pour forcer les flux d'air vers les tas de compost (**Larney et Olson, 2006**). Les soufflantes injectent de l'air dans les tas de compost, en particulier pendant la phase active, pour fournir l'oxygène dont les micro-organismes ont tant besoin et permettre ainsi la décomposition des déchets organiques. Afin d'assurer une température thermophile dans l'ensemble des tas de compost, les tas de compost sont généralement isolés. En raison de la rétention efficace de la chaleur et de la capacité à fournir de l'oxygène sans retournement, le processus de compostage est généralement plus court. Les tas de compost n'ayant pas besoin d'être retournés, la main d'œuvre est réduite (**Zealand, 2007**).

#### **6.2.2 Compostage en cuve à retournement automatique**

La technologie est proche du compostage manuel en cuve ; elle peut cependant varier en termes de conception, de taille et d'équipement. L'un des procédés de compostage automatique en cuve est le composteur en cuve à retournement motorisé. Ce dernier utilise un moteur pour faire tourner les récipients afin d'aérer les tas de compost et peut être programmé pour tourner à la fréquence et au moment voulus (**Mishra, 2021**). Certains procédés de compostage en cuve utilisent également un moteur pour faire tourner la cuve et sont équipés de capteurs de température et d'humidité pour surveiller automatiquement les paramètres importants, remplaçant ainsi la majeure partie de la main-d'œuvre nécessaire au compostage manuel en cuve. Comme il faut un moteur à couple élevé pour faire tourner les lourds récipients remplis de déchets, la méthode nécessite des investissements et une maintenance très importants pour s'assurer que chaque pièce d'équipement fonctionne bien pour effectuer le travail (**Azis et al., 2022**).

### 6.2.3 Composteur domestique électrique

Un composteur électrique est un bac à compost intérieur qui utilise l'aération, la chaleur et la pulvérisation pour minimiser le volume, les émissions et l'odeur des déchets alimentaires. Un composteur domestique courant peut être assez petit pour tenir sur un comptoir, mais pour d'autres types, de grandes quantités de déchets existent également et peuvent être utilisées à l'intérieur ou à l'extérieur. Un composteur électrique domestique, également connu sous le nom de recycleur d'aliments, utilise des cycles triphasés pour décomposer les déchets alimentaires (**Fakharulrazi et Yakub, 2020**). La plupart des composteurs prenant en moyenne de 24 heures à quelques jours pour décomposer les déchets en compositions plus simples.

Dans la plupart des composteurs domestiques électriques, les phases mésophiles et thermophiles sont raccourcies par l'application de chaleur, ce qui permet de réduire rapidement l'excès d'humidité dans les matières organiques. Les matières organiques sont généralement broyées automatiquement afin d'augmenter leur surface et d'accélérer le processus de compostage avant d'être mélangées à des sols ou à des additifs pour peupler les micro-organismes. Après avoir traversé les phases mésophiles et thermophiles accélérées, les produits finis sont finalement refroidis à température ambiante pour donner des produits entièrement secs et stériles, au lieu de la texture habituelle du compost mûr. Ces produits finaux peuvent être traités en dehors du système pour garantir que le compost obtenu est suffisamment mûr (**Azis et al., 2022**).

## 7 Rôles agronomique et environnemental du compost

### 7.1 Effets bénéfiques du compost sur les propriétés physiques du sol

#### 7.1.1 Réduction de la densité apparente

L'application de compost influence généralement la structure du sol de manière bénéfique en réduisant la densité du sol grâce au mélange de matières organiques de faible densité dans la fraction minérale du sol (**Brown et Cotton, 2011**). Cet effet positif a été détecté dans la plupart des cas et il est généralement associé à une augmentation de la porosité en raison des interactions entre les fractions organiques et inorganiques (**Amlinger et al., 2007**). **Brown et Cotton (2011)** ont observé que la densité apparente du sol suivait un schéma prévisible avec une diminution de la densité apparente à mesure que le taux de compost augmente. Une faible densité apparente révèle une augmentation de la porosité et montre que le sol est mieux ameubli. À cet effet, le compost augmente la proportion de méso- et macropores en raison d'une plus grande agrégation et d'une meilleure stabilisation du sol initiées de

manière significative par divers organismes du sol (**Liu et al., 2007**). En outre, la partie organique est beaucoup plus légère que la partie minérale dans les sols. Par conséquent, les augmentations de la fraction organique diminuent le poids total et la densité apparente du sol (**Brown et Cotton, 2011**).

### **7.1.2 Amélioration de la stabilité des agrégats**

En général, la structure du sol est définie par la taille et la distribution spatiale des particules, des agrégats et des pores dans les sols. L'incorporation de compost dans le sol permet d'augmenter la stabilité des agrégats de manière plus efficace dans les sols argileux et sableux (**Tejada et al., 2009**). Des effets positifs peuvent être attendus d'un sol bien humifié (favorisant les micro-agrégats), ainsi que d'une MO fraîche et de faible poids moléculaire (favorisant les macro-agrégats). Les macro-agrégats sont principalement stabilisés par des hyphes fongiques, des racines fines, des poils de racines et des micro-organismes avec une forte proportion de polysaccharides facilement dégradables (**Amlinger et al., 2007**).

Selon **Bouajila et Sanaa (2011)**, l'application de fumier et de compost de déchets ménagers a entraîné une augmentation significative de la stabilité structurale, le traitement au compost étant le plus efficace. Leurs résultats indiquent également que l'application de 120 t/ha de déchets ménagers et de fumier a amélioré la stabilité structurale par rapport au contrôle. Ce comportement pourrait être le résultat d'une teneur accrue en matière organique et d'activités microbiennes importantes (**Amlinger et al., 2007**).

### **7.1.3 Amélioration de la disponibilité et la rétention de l'eau**

Les composts sont utilisés en agriculture pour améliorer la fertilité et la qualité des sols car ils peuvent augmenter la teneur en matière organique, en particulier dans les sols sableux, qui ont une faible capacité de rétention de l'eau et des nutriments (**Laila, 2011**). La capacité au champ et la capacité de rétention de l'eau disponible sont généralement influencées par la taille des particules, la structure et la teneur en MO. Cependant, les sols argileux, en raison de leur potentiel matriciel plus élevé et de la taille plus petite de leurs pores, retiennent généralement beaucoup plus d'eau en poids que les sols sableux. **Brown et Cotton (2011)** ont montré que si, dans l'ensemble, la texture est le principal facteur affectant la capacité de rétention d'eau, l'augmentation du carbone organique est un facteur significatif pour améliorer la capacité de rétention d'eau du sol. Les auteurs ont confirmé que l'application de compost avait le plus grand effet sur la capacité de rétention d'eau du sol sur les sols à texture plus grossière, avec un changement moindre ou nul de la capacité de rétention d'eau sur les sols à texture plus fine. Ils ont également observé l'effet de l'ajout de compost sur le

taux d'infiltration du sol. Dans tous les sols, l'ajout de compost a augmenté le taux d'infiltration de l'eau par rapport au contrôle.

### **7.2 Effets du compost sur les propriétés chimiques du sol**

#### **7.2.1 Amélioration de la matière organique du sol**

La plupart des nutriments essentiels contenus dans le compost sont forme organique et sont libérés lentement et moins sujets au lessivage que les engrais inorganiques (**Larney et al., 2008**). L'incorporation de compost dérivé de déchets ménagers et de jardin biogènes dans les sols augmente les concentrations de carbone et d'azote total dans le sol (**Mylavarapu et Zinati, 2009**). **Whalen et al., (2008)** ont rapporté qu'après 5 ans d'ajout annuel de compost dérivé de fumier de bovins, les concentrations de carbone organique et d'azote total ont augmenté jusqu'à 2,02 tonnes ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> et 0,24 tonne ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> respectivement. Comparé au fumier ou aux résidus végétaux frais, le carbone du compost est peu décomposable.

Par rapport au fumier ou aux résidus végétaux frais, le carbone du compost est peu décomposable ; le compost peut donc être utile pour augmenter la séquestration du carbone dans les sols. **Lynch (2006)** a montré que deux ans après la dernière application de compost de fumier de vaches laitières et de boues d'épuration, 37 à 67 % du carbone appliqué était encore retenu dans le sol, 19 à 34 % du carbone du sol provenant du compost est principalement stocké dans les macro-agrégats (**Lee et al., 2009**).

#### **7.2.2 Amélioration de la teneur en nutriments**

Le compost renferme des quantités considérables d'éléments nutritifs utiles aux plantes, notamment N, P, K, Ca, Mg et S, ainsi que divers oligo-éléments essentiels (**Agegehu et al., 2014**). Le compost peut donc être défini comme un engrais organique multi-nutriments. Sa teneur en nutriments ainsi que d'autres propriétés chimiques importantes telles que le rapport C/N, le pH et la conductivité électrique (CE) dépendent des matières premières organiques utilisées et des conditions de traitement du compost. Un mélange approprié de ces matières premières organiques, d'humus et de substrats de compost riches en nutriments peut être produit et servir de substitut aux engrais minéraux commerciaux en agriculture (**Amlinger et al., 2007**).

### **7.3 Effets des composts sur la biologie des sols**

Le compost livre aux microorganismes telluriques du substrat sur lesquels certains peuvent se développer. Plus le compost est jeune, plus cet effet est important, les substances

facilement dégradables y étant en plus grandes quantités. En outre, l'activité et l'équilibre microbien du sol peut être influencés par les microorganismes apportés par le compost. Si le compost a été produit selon les règles de l'art, sa microflore est bénéfique, Les agents pathogènes sont en effet dégradés pendant la phase thermophile du processus tandis que des agents antagonistes se développent pendant la phase de maturation (**Fuchs et Jacques, 2009**).

### **7.4 Biocontrôle des maladies**

Le compost sert de moyen de lutte biologique contre les maladies des plantes. Les micro-organismes présents dans le compost utilisent différents mécanismes pour combattre leurs homologues pathogènes. Ces mécanismes comprennent la compétition pour les nutriments, le parasitisme, la prédation, la production d'antibiotiques, la production d'enzymes lytiques et d'autres enzymes ou composés extracellulaires (**Olanrewaju, 2017**). Par exemple, la lutte contre le flétrissement des plantes et les maladies de la fonte des semis a été contrecarrée par *Bacillus* sp. dans le compost (**Lin et al., 2014**).

### **7.5 Effets du compost sur la productivité des cultures**

En raison de ses multiples effets positifs sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, le compost contribue à la stabilisation et à l'augmentation de la productivité et de la qualité des cultures (**Tayebbeh et al., 2010**). Des essais à long terme sur le terrain ont prouvé que le compost a un effet égalisateur des fluctuations saisonnières en ce qui concerne l'eau, l'air et l'équilibre thermique des sols, la disponibilité des nutriments végétaux et donc le rendement final des cultures. C'est pourquoi on peut s'attendre à un rendement plus élevé que dans le cas d'une fertilisation minérale pure. De meilleurs résultats ont souvent été obtenus si, au cours des premières années, des quantités plus importantes de compost ont été appliquées tous les 2 ou 3 ans, plutôt qu'en appliquant chaque année des quantités plus faibles de compost (< 10 Mg (MS) ha<sup>-1</sup>). Cependant, les rendements des cultures après l'application de compost pur étaient généralement inférieurs à ceux de la fertilisation minérale (**Amlinger et al., 2007**), du moins au cours des premières années. Cela peut s'expliquer par la lenteur de la libération des nutriments (en particulier de l'azote) pendant la minéralisation du compost.

### **7.6 Rôle du compost dans la bioremédiation et la gestion des déchets**

Les sols contaminés par des métaux lourds peuvent être dépollués à l'aide de compost. Le compost s'est montré efficace pour dégrader les hydrocarbures chlorés et non chlorés, les produits chimiques de préservation du bois, les solvants, les métaux lourds, les pesticides, les

produits pétroliers et les explosifs présents dans le sol. Le compost peut réduire la toxicité de certains polluants chimiques en absorbant ou en dégradant ces éléments (**Huangetal., 2017**). Les métaux lourds peuvent être rendus indisponibles par précipitation (**Katoh, et al., 2014**), adsorption (**Soares et al.,2016**), complexation (**Tsang et al., 2014**) et réactions d'oxydoréduction (**Zhang et al., 2013**). Le compostage est un moyen sûr de gérer les déchets organiques dégradables. Les déchets qui pourraient être déversés dans les cours d'eau, sur les bords de route ou même brûlés peuvent être compostés. Les produits issus de ces déchets compostés sont utilisés à différentes fins bénéfiques (**Khater , 2015**).



*Partie Pratique :  
Matériel et  
Méthodes*

## 1 Récupération des déchets ménagers compostables

Il s'agit d'un compostage aérobie en tas. La récupération des déchets compostables est effectuée au sein des ménages. La mise en tas des bio-déchets récupérés est réalisée en suivant les règles du compostage suivantes (Mustin, 1987).

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

Les déchets sont déposés directement sous forme de tas sur le sol sans compactage ou dans un récipient perforé, ceci évite la saturation des espaces lacunaires des parties basses du tas de déchets et favorise ainsi une bonne aération (Kulcu et Yaldiz, 2004). Le compostage est réalisé dans un endroit couvert afin de protéger les composts contre les pluies et l'excès de soleil. Au cours du compostage, des retournements manuels ont été effectués pour favoriser l'aération des substrats en décomposition. Après chaque retournement, l'humidité est contrôlée et en cas de dessèchement des mélanges, une quantité d'eau est ajoutée.

## 2 Matériaux compostés

Deux types de compostage d'une durée de 12 semaines sont réalisés.

- **Compost 1** : Il s'agit d'un compostage en tas constitué de déchets de cuisine composés de pelures de légumes et de fruits, de coquilles d'œufs, de coquilles d'arachides, de foin et de marc de café (fig.1).
- **Compost 2** : Il s'agit d'un vermicompost composé de pelures de de pommes de terre, de carottes et de banane, déchets de végétaux, de paille, fumiers de moutons et de méso faune constituée de lombrics (fig.2).



Figure 1 : Compost en tas (05/02/2023)



Figure2 : Vermicompostage (10/03/2023)

### 3 Evaluations des principales propriétés physico chimiques des composts

Trois échantillons de chaque compost ont été prélevés et leur analyse a aidé pour la détermination de différents paramètres physico-chimiques. Une comparaison a été effectuée avec un compost commercial.

#### 3.1 Mesure du pH

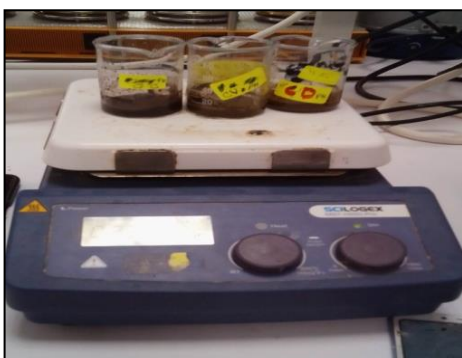
La détermination du potentiel hydrogène, pH est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme AFNOR NF X31-103 (1992). Une suspension de sol est préparée dans cinq fois son volume.  $10 \pm 0,005$  g de sol sont mis en suspension dans  $50 \pm 0,1$  ml d'eau distillée, agités pendant 1 heure sur une plaque d'agitation. Puis laisser au repos pendant 2 heures. Le pH est ensuite mesuré à l'aide d'un pH-mètre de type (HANNA instrument) (**fig. 6**).



**Figure 3:** Mesure du pH des échantillons de composts (27/04/2023)

#### 3.2 Mesure de la conductivité électrique

**3.3** La conductivité électrique C.E a été mesurée selon la norme NF X 31-113, à l'aide d'un conductimètre sur extrait obtenu à partir d'un échantillon sec de 10g puis dilué dans 50 ml de l'eau distillée (**fig. 7**).



**Figure 4 :** Mesure de la conductivité électrique après agitation des échantillons (27/04/2023)

### 3.4 Détermination de l'humidité résiduelle (AFNOR NF X 31-102, 1992)

Sécher (passer dans une étuve à 105 °C) un échantillon de compost (**fig. 8**) et connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon. L'humidité des composts est déterminée selon la formule suivante :

$$H = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

Où : H est la teneur en eau en pourcentage du poids de l'échantillon de compost ;

M<sub>0</sub>: étant la masse initiale d'échantillon séché à 40°C et ;

M<sub>1</sub>: sa masse finale, après séchage à 105°C pendant 24 heures et refroidissement.



**Figure 5** : Séchage des échantillons de composts à l'étuve (27/04/2023)

### 3.5 Dosage de la matière organique

5 g de chaque échantillon humide ont été pesés pour être séchés dans une étuve à 105°C pendant 24 heures puis repesés après séchage (**fig. 9**). Les échantillons ont ensuite été calcinés dans un four à moufle pendant 6 h. La perte de poids correspond à la quantité de matière organique contenue dans le compost. Les résultats sont exprimés en pourcentage déterminant le poids de MO par rapport au poids total de l'échantillon. Les résultats de la matière organique de chaque échantillon sont calculés à partir de l'équation suivante :

$$M.O. \% = \frac{\text{poids sol sec (g)} - \text{poids sol incinéré (g)}}{\text{poids sol sec (g)}} \times 100$$



**Figure 6** : Pesée des échantillons après séchage à l'étuve (14/05/2023)

### 3.5.1 Dosage du carbone organique total (COT)

Le COT est déduite à partir de la matière organique par la formule suivante:  $COT = MO / 1,74$

### 3.6 Dosage de l'azote total

L'azote total a été dosé par la méthode Kjeldahl.

- Trois échantillons de masses différentes (0,25g; 0,35g; 0,55g) préalablement séchés à l'air libre ont été introduits dans trois tubes de minéralisation (**fig.10**).
- Après ajout de 4 ml d'acide salicylique/acide sulfurique et agitation, les échantillons ont été laissés au repos toute la nuit. Ensuite 0,5 g de thiosulfate penta hydraté a été ajouté et les échantillons chauffés jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de mousse.
- Après refroidissement, 1,1 g de catalyseur de minéralisation ont été ajoutés et les échantillons chauffés de nouveau pendant 7 h jusqu'à ce qu'ils deviennent clairs. Une fois les échantillons refroidis après la minéralisation, la distillation commence (**fig.11**).
- Dans un erlenmeyer placé à la sortie du distillateur et contenant préalablement 5 ml d'acide borique et 20 ml d'hydroxyde de sodium, on récupère 40 ml de distillat puis on procède au titrage avec une solution d'acide sulfurique préalablement préparée jusqu'au virage de vert au rose, noter le volume utilisé (V1), puis titrer 20 ml de H3BO4 contenant l'indicateur mixte avec H2SO4 0.05N jusqu'au virage de vert au rose, noter le volume utilisé (V2) pour le témoin(**fig.12**). La teneur en azote Kjeldahl (N) est exprimée en grammes par kilogramme de matières sèches et est donnée pour le titrage de la totalité du distillat par l'équation :

$$N = \frac{(V1 - V2) \times C \times 14.01}{m \times W_{dr}} \times 100$$

Où : c : est la concentration de l'acide chlorhydrique en moles par litre ;

V1 : est le volume de titrage en millilitres ;

V2 est le volume de titrage de l'essai à blanc, en millilitres ;

$m$  est la masse de l'échantillon humide prélevé pour la minéralisation, en grammes ;

WDR est la teneur en matière sèche de l'échantillon exprimée en pour cent ;

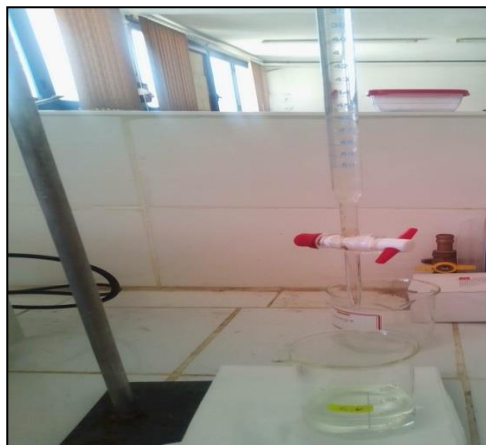
14,01 est la masse atomique de l'azote.



**Figure 7:**Minéralisateur Kjeldahl  
(4 /05/2023)



**Figure8:** Distillateur semi- automatique  
(4/05/2023)



**Figure 9:**Titrage avec une solution d'acide sulfurique

(4 /05/2023)

#### **4 Evaluation de la flore microbienne des échantillons de composts**

La densité de la microflore est estimée par la méthode classique de suspension-dilution suivie par l'ensemencement sur milieux gélosés répartis en boites de Pétri stériles.

##### **4.1 Préparation des dilutions**

1gramme de chaque compost est dilué dans 10 ml d'eau physiologique stérile (9‰ d'NaCl). Agiter manuellement pendant 5 minutes ou en utilisant un vortex, pour dissoudre toutes les particules du sol dans l'eau. Cela constitue la solution mère.

Prélever 1ml de la solution mère et le transférer dans 9 ml d'eau physiologique stérile, ceci

représente la dilution  $10^{-1}$ . Prélever 1ml de la dilution  $10^{-1}$  et la transférer dans 9 ml d'eau physiologique stérile cela constitue la dilution  $10^{-2}$ . De la même manière, préparer des dilutions jusqu'à la dilution  $10^{-6}$  pour les différents composts.



**Figure 10** : Préparation des dilutions à partir de la solution mère pour chaque compost  
(8 /05/2023)

## **4.2 Isolement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM)**

### **4.2.1 Milieu d'isolement**

Un seul milieu est utilisé pour l'isolement de la FTAM, il s'agit de la gélose nutritive préparée au laboratoire (1 litre d'eau distillée avec 23g de gélose nutritive en poudre).

### **4.3 Ensemencement et incubation**

Chaque volume de 0.1ml des dilutions ( $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ) est ensemencé en surface sur une boîte de Pétri contenant le milieu GN. Les boîtes sont incubées à une température de  $28^{\circ}\text{C}$  pendant 24h à 48h.

#### **4.3.1 Lecture et dénombrement**

Après 24h d'incubation, les colonies bactériennes isolées sont dénombrées à l'aide d'un compteur à colonies.

#### **4.3.2 Observation microscopique**

L'observation microscopique est effectuée après une coloration de Gram. Cette coloration permet de mettre en évidence une organisation structurale de la paroi bactérienne, qui partage les bactéries en deux groupes distincts: les Gram + et les Gram -.

##### **- Protocole technique**

La coloration de Gram passe par les étapes suivantes :

-Etalement et fixation du frottis de la suspension bactérienne par séchage à la chaleur sur une

- lame porte objet en verre, à l'aide de la boucle d'une anse de platine;
- Coloration au violet de gentiane par la couverture totale de la lame pendant 1min;
- Ajout du lugol par la couverture totale de la lame pendant 1min;
- Décoloration à l'alcool 95° à avec une légère agitation, jusqu'à l'élimination du colorant (environ 30 s);
- Lavage à l'eau, sans éponger ;
- Contre coloration pendant 1min par couverture totale de la lame avec une solution de fuschine diluée à 10%;
- Lavage à l'eau

Après séchage, la lame peut être observée au microscope avec un objectif à immersion. Les bactéries à Gram positif apparaissent en violet (couleur donnée par les complexes colorants initiaux, formés par le violet de gentiane et le lugol) et les bactéries à Gram négatif en rose (couleur donnée par la fuschine utilisée comme contre colorant) (**Bousseboua, 2003**).

#### **4.4 Isolement des champignons**

##### **4.4.1 Milieu d'isolement**

Le milieu est utilisé pour l'isolement des champignons est le milieu PDA préparé au laboratoire (1litre d'eau distillée avec 39g de la poudre de PDA).

##### **4.4.2 Ensemencement et incubation**

Pour chaque échantillon de compost, 0.1 ml de chaque dilution (de  $10^{-1}$  à  $10^{-5}$ ) sont ensemencés en surface sur le milieu d'isolement. Les boites sont mises à incubation pendant 8 jours, dans une étuve réglée à 30° C.

##### **4.4.3 Lecture et dénombrement**

Après 8 jours d'incubation, les colonies fongiques isolées sont dénombrées.

##### **4.4.4 Observation microscopique**

Pour chaque colonie isolée, un petit fragment est déposé sur une lame, puis recouvert par une lamelle propre. Cette préparation est ensuite observée sous microscope optique aux grossissements 10 X et 40 X.

## **5 Mesure de la stabilité et de la maturité des composts élaborés**

La stabilité et la maturité du compost sont essentielles pour une utilisation optimale comme amendement et source de nutriments pour les plantes. Le degré de maturité du compost est estimé par un biotest de germination qui consiste à faire germer des espèces végétales en utilisant le compost (**Ammari et al., 2006**). Dans la pratique, on réalise, dans des petits pots de végétation, des tests simples et rapides de germination des plantes à cycle végétatif relativement court (**Albuquerque et al., 2006**). On peut citer les tests de laitue, de maïs, de tomate et de coriandre. Les graines sont semées dans des pots, sur le substrat humidifié en bocal. La maturité des substrats est évaluée, après sept jours, à partir de la détermination du pourcentage de germination.



*Partie Pratique :  
Résultats et  
Discussion*

## 1 Evaluation sensorielle de la maturation des composts élaborés

La durée du compostage a été de 120 jours. L'approche sensorielle notamment l'odeur et la couleur ont permis d'estimer la maturité des composts. En effet, la couleur et l'odeur représentent le premier test qui permet de savoir si le compost est incomplet ou n'est pas en assez bon état pour être utilisé. L'odeur caractéristique d'un compost bien fait rappelle celle du terreau des litières de forêt et de la terre humide. Il ne doit pas s'agir d'une odeur désagréable. Si c'est le cas (odeurs nauséabondes, acides, ammoniac, putréfaction), il y a eu un souci. Il peut s'agir d'une fermentation anaérobie, d'un excès d'humidité, d'un manque d'aération, d'un déséquilibre entre les composants primaire, etc. La couleur doit être un brun foncé, dans lequel on ne voit pas ou difficilement des traces reconnaissables des déchets initialement incorporés (Znaidi, 2002).

Les composts mûrs élaborés dans cette étude présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ ils ne dégagent pas d'odeur d'ammoniac.
- ✓ leur température est similaire à la température ambiante.
- ✓ Ils sont granuleux, foncé et sentent bon (fig. 13 et 14).
- ✓ on y trouve au moins trois types d'arthropodes : des cloportes, des millepattes et des carabes.
- ✓ on ne distingue plus à l'œil nu les composés d'origine.



**Figure 11** : Compost mûr de déchets ménagers    **Figure 12** : Vermi compost mûr  
(29/04/2023)

## 2 Evaluation des caractères physico-chimiques et microbiologiques

Selon Bernal et al., (2009), il existe d'autres critères de qualité indépendamment de la maturité déterminant la qualité d'un compost qui devraient être également pris en considération pour définir l'utilisation des composts. Le substrat a pour rôle de maintenir un

environnement propice pour la germination et la croissance des jeunes plantules. Il doit répondre à certains critères tels que une qualité physico-chimique favorable à retenir les engrais et à les restituer (Zuhang et al., 1984).

Les résultats des analyses de trois échantillons de composts mûrs sont résumés dans le tableau ci-dessous. Il s'agit de deux composts domestiques élaborés par nos soins, un compost ménager et un vermi-compost et d'un compost commercial qui servira pour faire une comparaison.

**Tableau 1:** Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des composts mûrs

Paramètres	CD	VC	CC
<b>pH</b>	<b>7,84</b>	<b>8,35</b>	<b>7,80</b>
<b>Humidité (%)</b>	<b>3,4</b>	<b>0,6</b>	<b>3,2</b>
<b>Conductivité (ms/cm)</b>	<b>5,48</b>	<b>9,73</b>	<b>2,59</b>
<b>Matière organique (%)</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>35</b>
<b>Carbone organique total (%)</b>	<b>21,83</b>	<b>21,26</b>	<b>20,11</b>
<b>Azote total NTK (%)</b>	<b>0,75</b>	<b>1,23</b>	<b>0,86</b>
<b>Rapport C/N</b>	<b>29</b>	<b>17</b>	<b>23</b>
<b>FTAM (UFC)</b>	<b>206×10<sup>4</sup></b>	<b>118×10<sup>5</sup></b>	<b>-</b>
<b>Champignons (UFC)/g MS</b>	<b>11. 10<sup>5</sup></b>	<b>8. 10<sup>4</sup></b>	<b>6.10<sup>5</sup></b>

CD : compost ménager, VC : vermi-compostage, CC : compost commercial

## 2.1 Mesure du pH

La croissance des micro-organismes et la perte gazeuse d'ammoniac sont influencées par les variations du pH au cours du compostage ; par conséquent, le pH optimal pour les microbes impliqués dans la décomposition se situe entre 6,5 et 7,5 (Rynk, et al., 1992). Le pH est une mesure de l'acidité active de la matière première ou du compost et la plupart des composts finis auront des valeurs de pH comprises entre 6 et 8 ; ces plages peuvent être substantiellement différentes en fonction des types de matières premières utilisées. Un pH inférieur est préférable pour certaines plantes, tandis qu'un pH neutre convient à la plupart des applications. Le pH n'est pas une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité totale et ne peut être

utilisé pour prédire l'effet du compost sur le pH du sol. La valeur du pH du compost est importante, car l'application du compost au sol peut modifier le pH du sol, ce qui, à son tour, peut affecter la disponibilité des nutriments pour la plante (CIWM.,2007 ; USCC.,2001).

La figure 15 montre que les composts étudiés présentent des pH légèrement alcalin, ils oscillent entre 7.84 pour le CD, 8.35 pour le VC et 7.80 pour le CC. On remarque par ailleurs que la valeur du vermi-compost est supérieure aux deux autres.

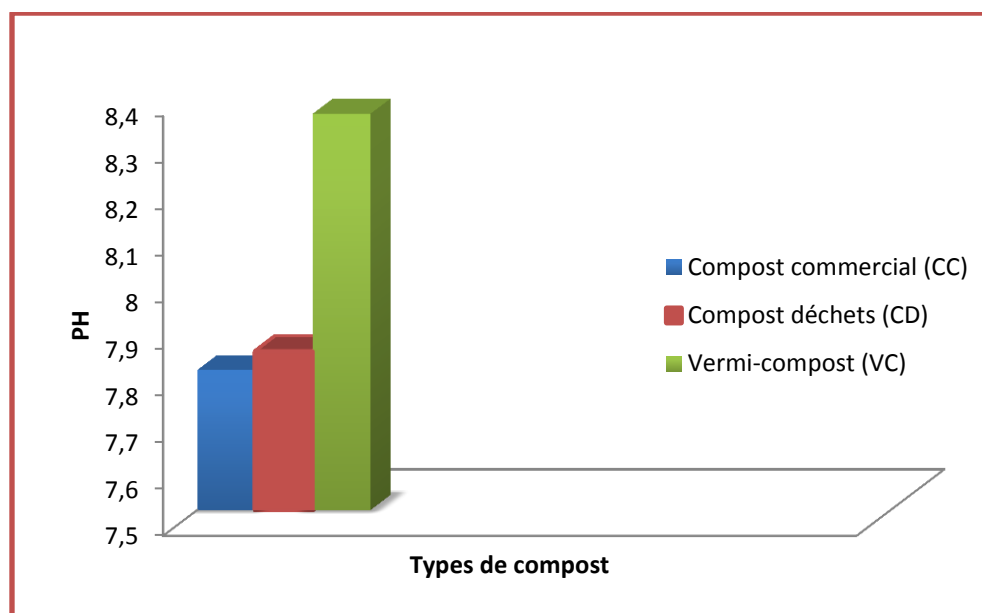


Figure 13 : pH des composts mûrs analysés

## 2.2 Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique reflète le degré de salinité du compost produit et indique ses possibles effets phytotoxiques/inhibiteurs sur la croissance des plantes utilisées comme engrais (par exemple faible taux de germination, flétrissement, etc...)(Lin, 2008). Une valeur élevée représente une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption d'eau et d'éléments nutritifs par la plante et peut même brûler les racines et aux feuillages. . Il est à noter que les plantes s'enracinent mieux dans un substrat contenant peu d'éléments nutritifs (Comtois et Légaré, 2004).Le compost avec une CE faible peut être utilisé directement alors que le compost de haute CE doit être bien mélangé avec de la terre ou d'autres matériaux à faible CE avant qu'il puisse être utilisé pour les cultures (Chen, 1999). Il n'existe pas de normes unifiées pour la CE car cela dépend du type de matériaux utilisés et du type de cultures auxquelles il est destiné. Certaines études ont rapporté que les valeurs entre (0-2 ms/cm) convient à toutes les cultures, en revanche pour des valeurs comprises entre (2-4

ms/cm), les cultures sensibles en sont affectées, mais s'il dépasse ces valeurs, il s'oriente vers les cultures résistantes à la salinité (Richards,1954).

La figure 16représente les résultats de la mesure de la conductivité électrique des trois types de compost après maturation. On constate une augmentation significative de la conductivité électrique du vermi-compost (VC) et du compost de déchets (CD) avec respectivement 9.73ms/cm et 5.48ms/cm. Cela montre des teneurs élevées de salinité. Quant au compost commercial(CC) il est considéré comme modérément salin car sa conductivité électrique est estimée à 2.59 ms/cm.

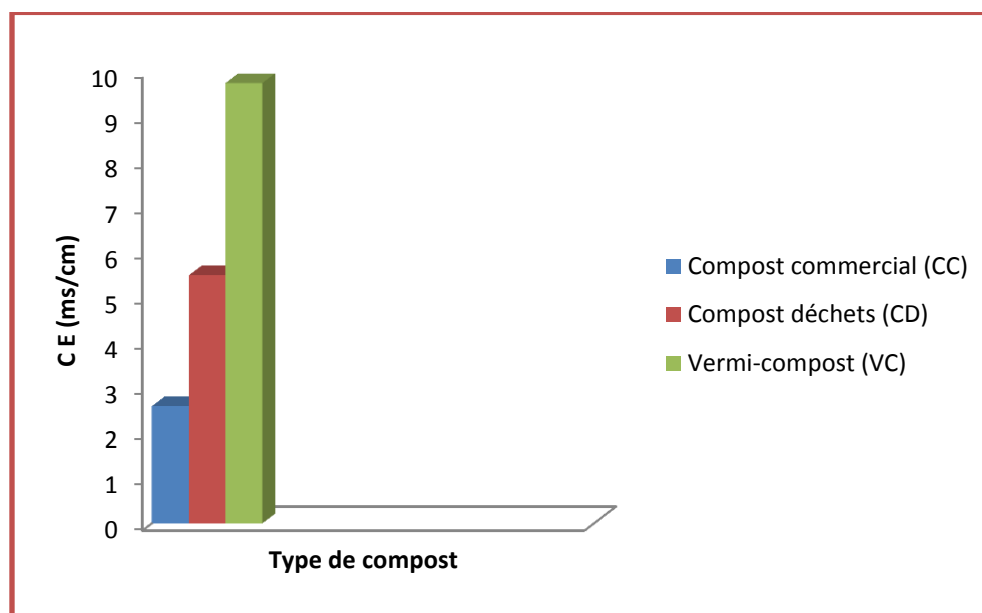


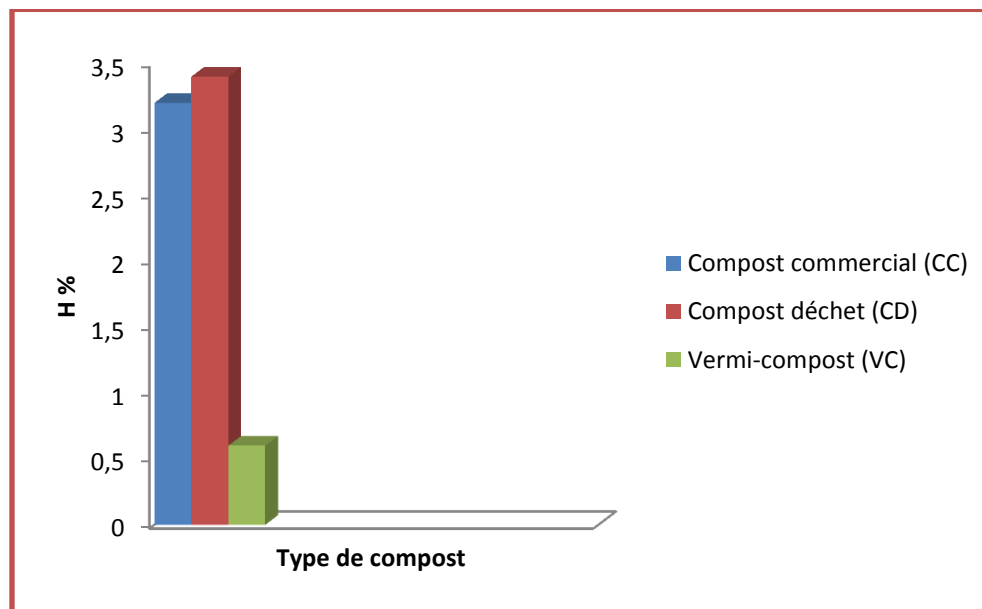
Figure 14 : CE des composts mûrs analysés

### 2.3 Détermination de l'humidité (Teneur en eau)

Une bonne humidité est primordiale pour que l'activité des micro-organismes soit plus importante, ce qui accélère le processus de compostage. Le taux d'humidité diminue significativement au cours du temps, environ 70% dans le compost jeune, il n'est plus que de 10% dans le compost mûr. Il est attribué cette perte d'eau à la lixiviation et à l'évaporation due à l'élévation de la température due à l'activité microbienne intense lors du compostage (Jemali et al., 1996). La teneur en eau généralement acceptée afin de produire un bon compost se situe entre 40 et 65 %, la teneur optimale étant de 50 à 60 %. Le manque d'eau provoque la sécheresse des matières compostables, la mort des décomposeurs donc l'arrestation de la dégradation.

La figure 17 illustre le taux d'humidité enregistré pour les trois composts. On observe une faible teneur en humidité avec 3,4 % pour le CC et 3,2 % pour le CD. Par ailleurs, le VC

contient un pourcentage négligeable en eau avec 0,6 % seulement. Ces résultats très inférieurs aux normes peuvent être expliqués par le manque d'eau lors de l'arrosage au cours du compostage.



**Figure 15:** Pourcentage d'humidité pour les composts mûrs étudiés

#### 2.4 Dosage de la matière organique

La teneur en MO est un des premiers critères sur lesquels on se base pour juger de la compostabilité d'un produit donné. L'activité microbienne est constatée suite à une diminution de la teneur en MO dans le produit. Elle est considérée par certains auteurs tels que **Larbi (2006)** comme un paramètre de qualité et de maturité des composts. De même, **Mustin (1987)** voit que, dans le cas des composts, la teneur en MO dépend essentiellement de son degré de maturité. Plus cette teneur est élevée plus le phénomène de minéralisation est fort. D'après **Fuchs et al., (2001)**, le compost mûr doit avoir une teneur en MO < 50% de % MS. Plus précisément **Kerkeni (2008)** rapporte que pour un compost de qualité (du point de vue stabilité et maturité), la teneur en MO devrait être comprise entre 35 et 45% de % MS.

**La figure 18** montre la variation de la teneur en matière organique total pour les trois types de composts. On observe que le CC présente la valeur la plus faible par rapport aux deux autres avec de 35 % de MOT. Par ailleurs le CD est considéré comme le plus riche en MO avec un pourcentage de 38 % suivi de très près du VC avec 37 %. Ces résultats sont légèrement inférieurs aux normes de l'AFNOR (> 30 % MO).

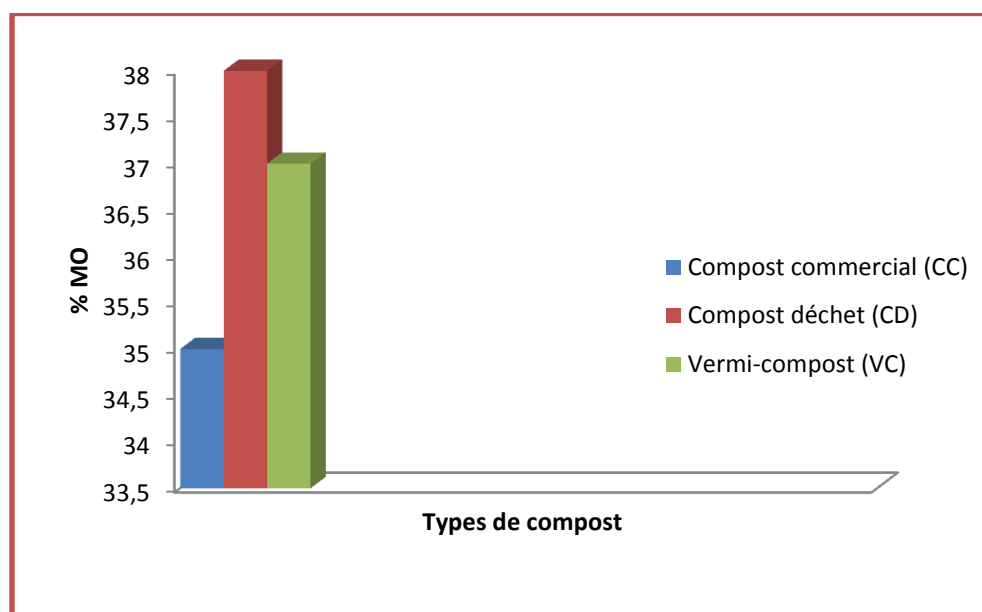


Figure 16 : Pourcentage de MO présente dans les composts mûrs

## 2.5 Dosage du carbone organique total

Le pourcentage de carbone organique total dans le compost provenant des déchets ménagers se situe entre 23 et 35% (Tcheguenielal., 2012). Les teneurs en COT calculées à partir de la matière organique corroborent avec ceux de la MO. Ces pourcentages sont au-dessous des normes décrites par la littérature (fig. 19).

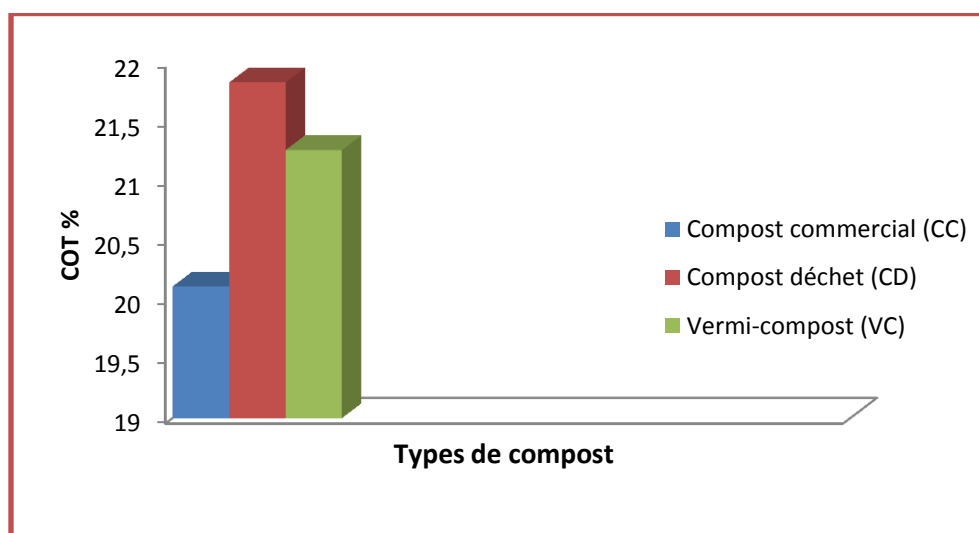


Figure 17 : Pourcentage du COT présent dans les composts mûrs

## 2.6 Dosage de l'azote total

La valeur minimale en azote imposée par la Directive de la Communauté Européenne est de l'ordre de 0,6% alors que la valeur maximale imposée par la norme NF U 44-051 est d'environ 2% sur les supports de culture. Au-delà d'une valeur de 2%, le compost devrait être

considéré comme un engrais organique (Vanai, 1995). Cette teneur dépend du degré de maturité qui est apprécié par le rapport C/N. Selon FAC (1995), la teneur en azote doit être comprise entre 0,92 et 2,76%.

La figure 20 présente les variations du contenu en azote total pour trois types de compost. Les échantillons provenant de différents composts indiquent que le vermi-compost a la plus forte teneur en azote total, avec un taux de 1,23 %, suivi du compost commercial avec 0,86 %. Le plus faible pourcentage en azote total a été enregistré chez le compost de déchets 0,75 %.

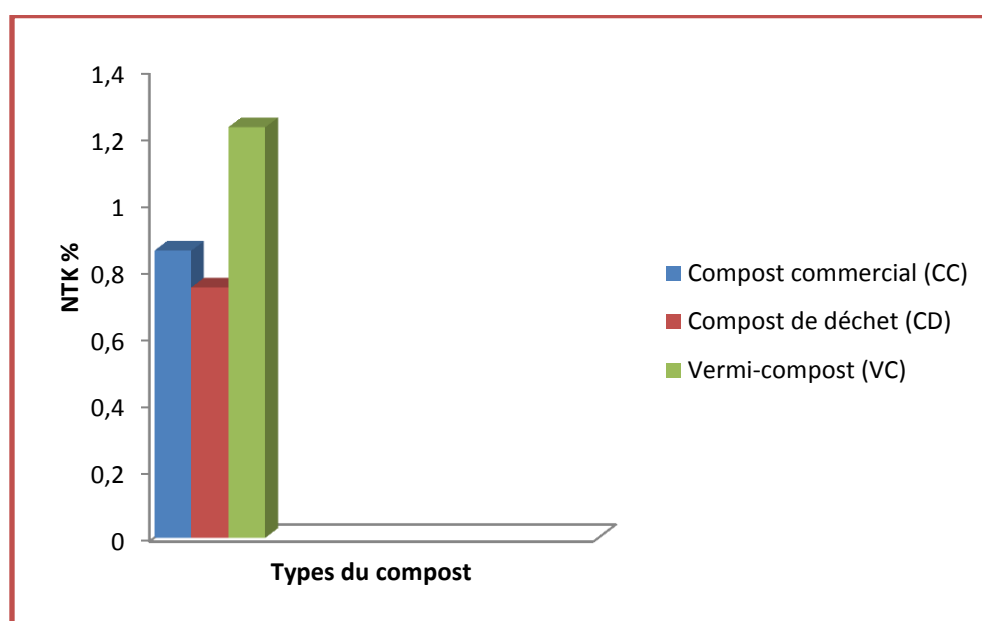


Figure 18 : Pourcentage du NTK présent dans les composts mûrs

## 2.7 Détermination du rapport C/N

Le rapport C/N est fréquemment utilisé pour évaluer le processus de minéralisation de la MO et comme indicateur de maturité des composts. Selon Vanai (1995), le rapport C/N varie largement selon l'origine des déchets compostés. Hirai et al., (1983) ont proposé un rapport C/N égal ou inférieur à 20 en tant que norme pour le compost mûr. Si ce rapport est supérieur à 35, la dégradation de la matière est ralentie par manque d'azote. Au contraire s'il est inférieur à 15, l'excès d'azote est perdu par volatilisation sous forme d'ammoniac entraînant ainsi une diminution du pH.

Selon la figure 21, le rapport C/N du compost commercial (CC) et du compost déchet (CD) est inférieur aux normes (< 20) contrairement au vermi-compostage qui montre un ratio

C/N de 23. Donc les composts obtenus sont de qualité prometteuse mais nécessite encore un temps suffisant pour une dégradation complète afin d'obtenir un compost similaire ou meilleur que le compost commercial et par conséquent une application dans les terres agricoles.

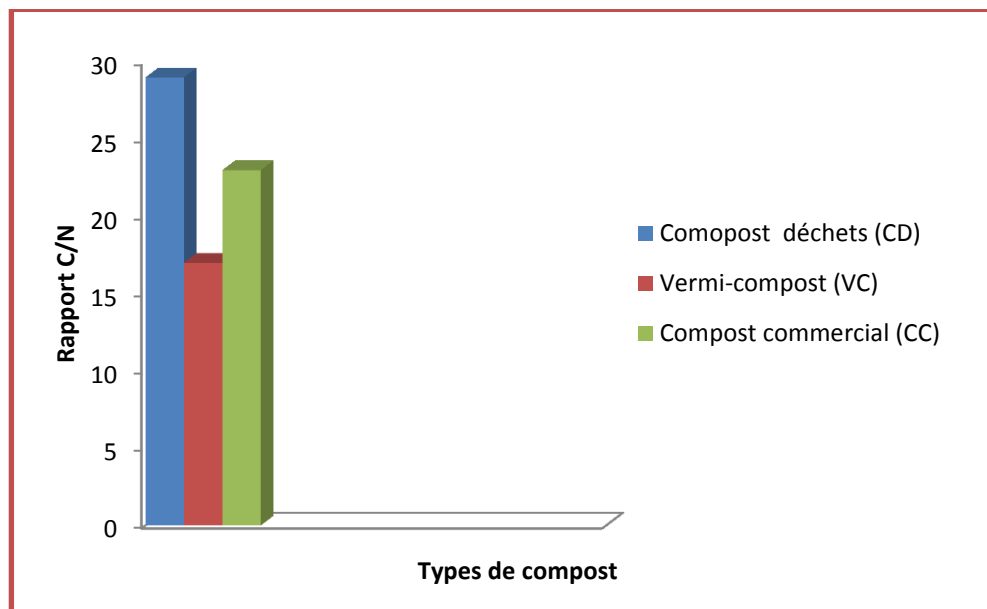


Figure 19 : Rapport Carbone/Azote des composts mûrs

### 3 Dénombrement des microorganismes

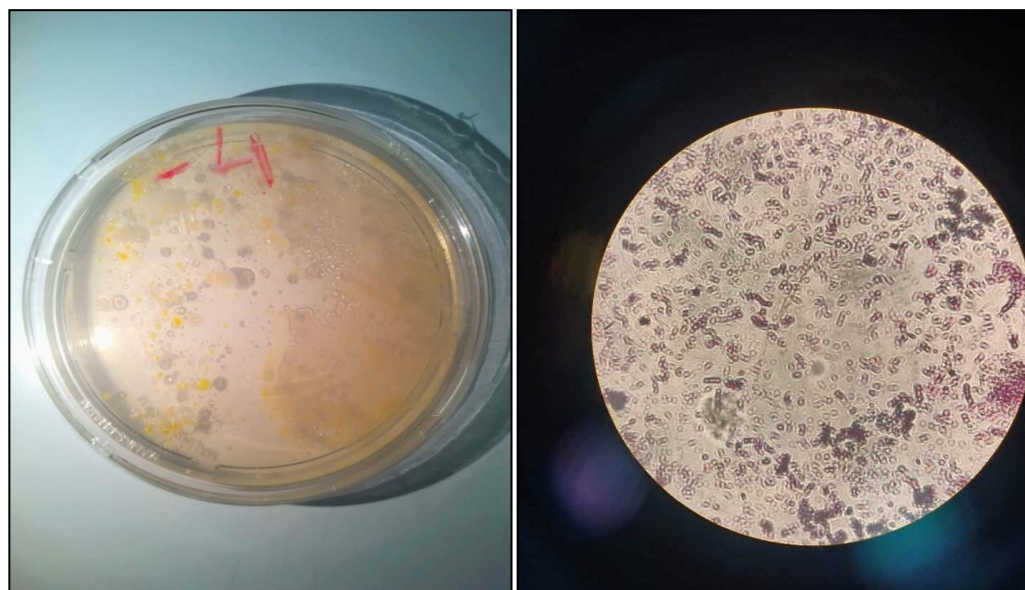
Deux principaux groupes de micro-organismes ont été dénombrés au cours de l'analyse microbiologique des composts, les bactéries et les champignons.

#### 3.1 Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM)

L'étude de la composition bactérienne des composts est très importante, car elle nous informe sur l'état de fertilité du produit composté. Un compost riche en bactéries est considéré comme étant un compost vivant pouvant participer à la biodégradation des composés organiques et inorganiques. En effet, d'après **Gobat et al., 2003**, à la fin du processus de compostage, les composts mûrs renferment une communauté importante et diversifiée de bactéries mésophiles. Ainsi, l'amendement d'un sol par un compost ne signifie pas uniquement un apport en matières humifères contenant des composés minéraux, mais aussi un apport de bactéries vivantes.

Les résultats obtenus dans notre étude, montrent que le nombre de la flore totale aérobie mésophile est de  $206 \times 10^4$  pour le compost de déchet et de  $118 \times 10^5$  pour le vermi-compost (**fig. 22**). Ce résultat montre clairement que ce compost est riche en bactéries. En plus, la biodiversité relevée parmi ces isolats de bactéries est dominée par les Gram +. Ces

bactéries sont réputées d'être présentes en quantité importante dans les sols. Elles sont représentées par les actinobactéries mésophiles et les Bacillus.



**Figure 20:** Vues macroscopique et microscopique des bactéries isolées à partir des composts  
(11 /05/2023)

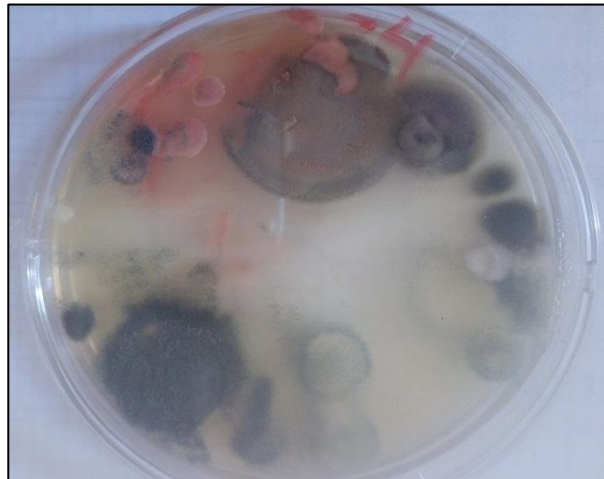
### 3.2 Dénombrement des champignons

La richesse du compost en champignons permet d'améliorer la biodiversité des sols surexploités. En effet, l'amendement des sols avec du compost induit une augmentation des populations de microorganismes du sol par un facteur de 1000 (**Lazarovits, 2001**), ce qui montre clairement les bénéfices du compost par rapport à la tourbe qui, dans plusieurs études, s'est révélée beaucoup moins riche en microorganismes que les composts (**Larbi, 2006**).

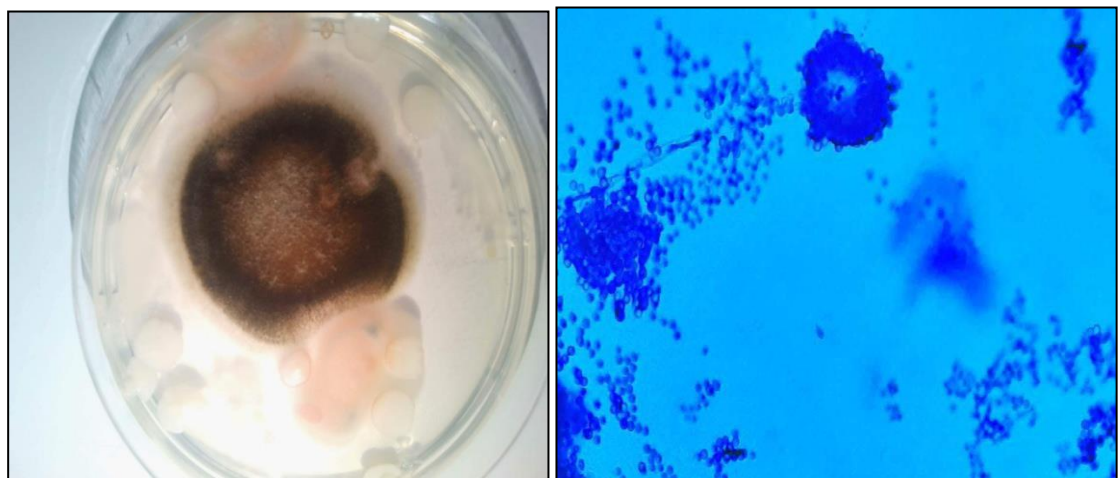
L'évaluation de la flore fongique totale des composts a montré que le compost de déchets, le vermi-compost et le compost commercial contiennent approximativement respectivement  $11 \cdot 10^5$  UFC/g MS,  $8 \cdot 10^4$  UFC/g MS et  $6 \cdot 10^5$  UFC/g MS (**fig. 23**). La population de la mycoflore totale observée concorde avec celles rapportées par **Riachi(1998)** dans un compost d'ordures ménagères et un autre de déchets verts et qui fluctuent entre  $10^5$  à  $10^6$  UFC/g MS. **Anastasi et al.,(2005)** ont également rapporté des valeurs de charge fongique totale fluctuant entre  $5 \cdot 10^4$  et  $8,2 \cdot 10^5$  UFC/g MS dans un compost et entre  $5,3 \cdot 10^4$  et  $4 \cdot 10^5$  UFC/g MS dans un vermi-compost, selon les conditions de culture et/ou d'incubation.

L'analyse de la mycoflore des composts a révélé la présence de quelques genres (**fig. 24**) dont les plus dominants sont *Aspergillus* sp (fig. X) et *Penicillium* sp (**fig. 25**). L'isolement d'un nombre assez important d'espèces fongiques témoigne de la diversité des populations

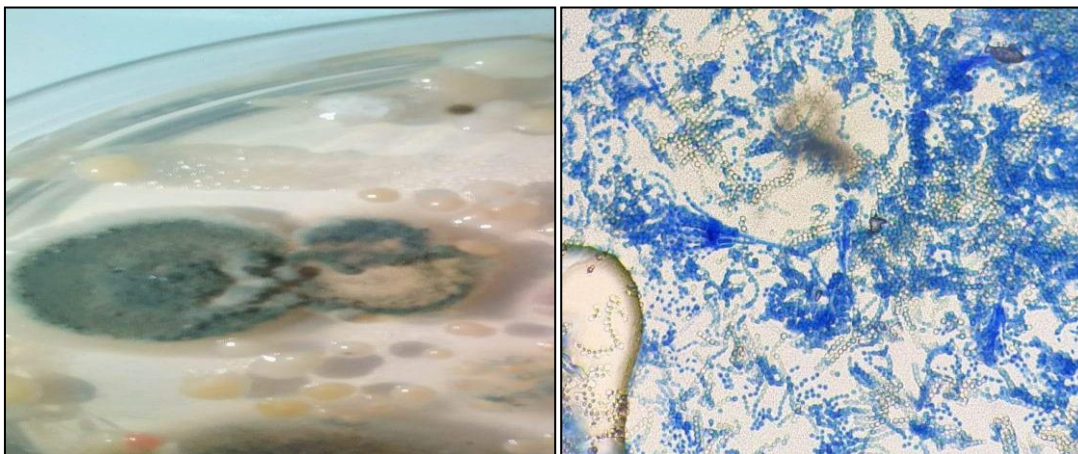
fongiques des composts étudiés. L'analyse de la mycoflore a montré également que les genres *Aspergillus* et *Penicillium* s'alternent dans les échantillons mais en terme de nombre de sacs et de concentrations, c'est le genre *Aspergillus* qui l'emporte. Il semble alors que ces deux genres sont incompatibles, cette remarque a été déjà soulevée par **Khatabi (2004)**.



**Figure 21** : Isolement de la mycoflore dans les composts (18/05/2023)



**Figure 22**: Vues macroscopique et microscopique d'*Aspergillus spisolé*(18/05/2023)

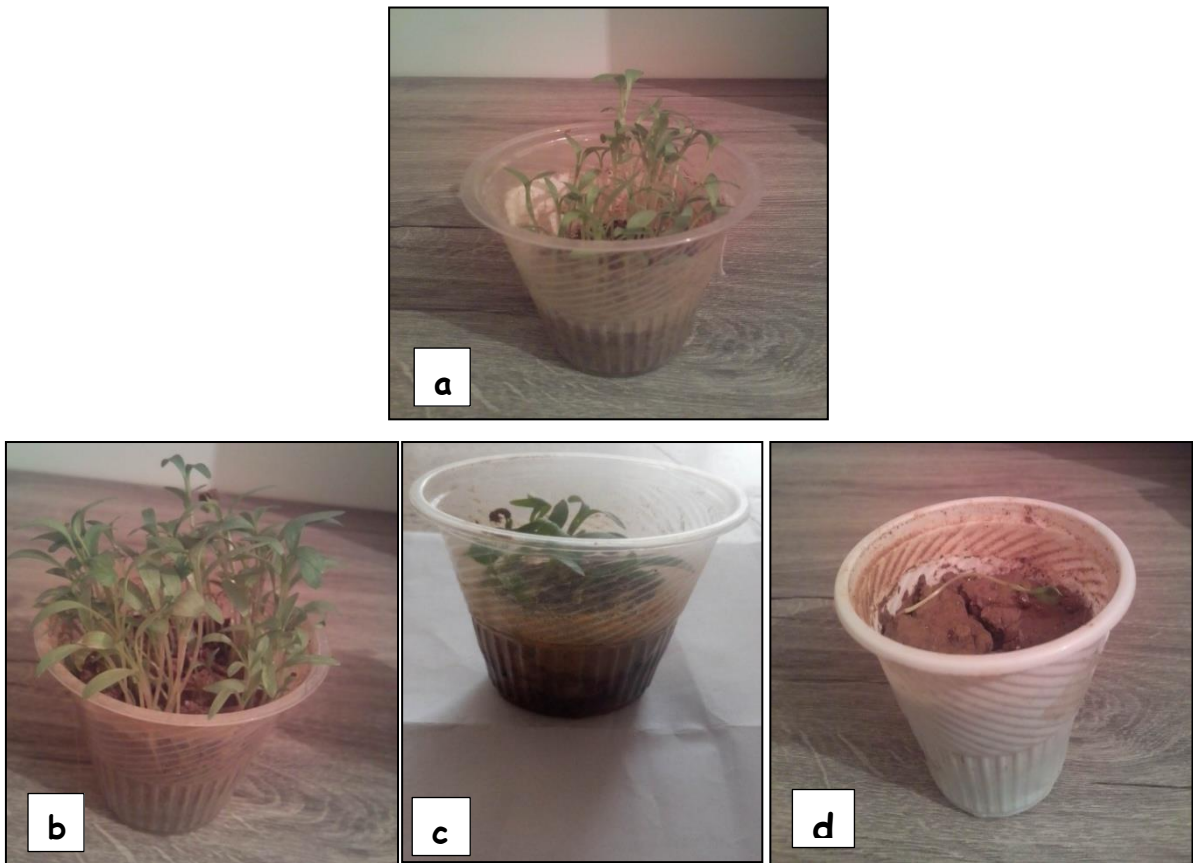


**Figure 23:** Vues macroscopique et microscopique de *Penicillium spisolé* (18/05/2023)

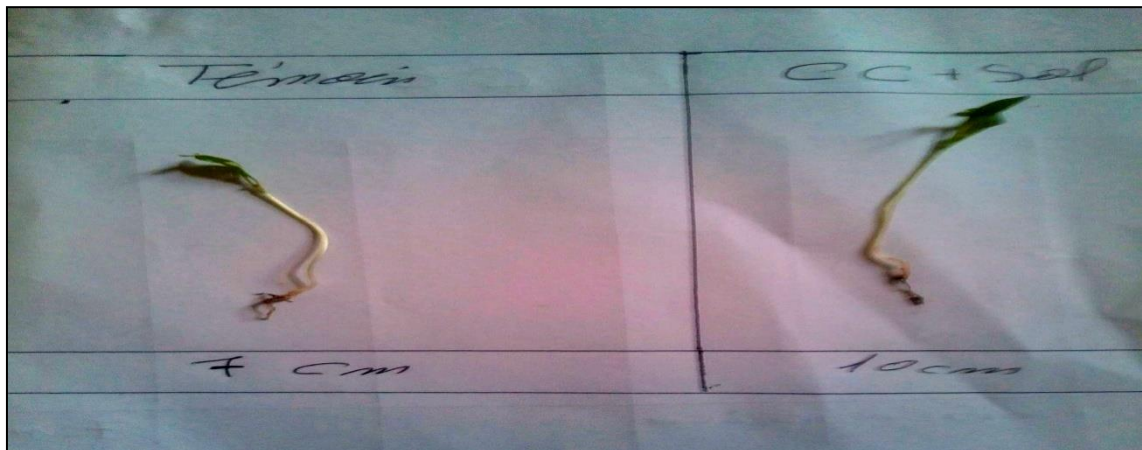
#### 4 Evaluation de la stabilité et de la maturité des composts (biotest)

Les résultats du biotest des différents composts, montrent que les graines de coriandre ont un taux de germination de l'ordre de 60 % dans le mélange sol-compost commercial par rapport au sol témoin qui est de 40 % (**fig. 26**). En plus, la longueur de la plantule est supérieure dans le CC que dans le témoin, avec respectivement 10 cm et 7 cm (**fig. 27**). Concernant le composte de déchet (CD), le taux de germination est d'environ 40%. La longueur totale de la tige et de la racine est de l'ordre de 5 cm. La germination de la coriandre dans le vermi-compost mélangé au sol était presque absente.

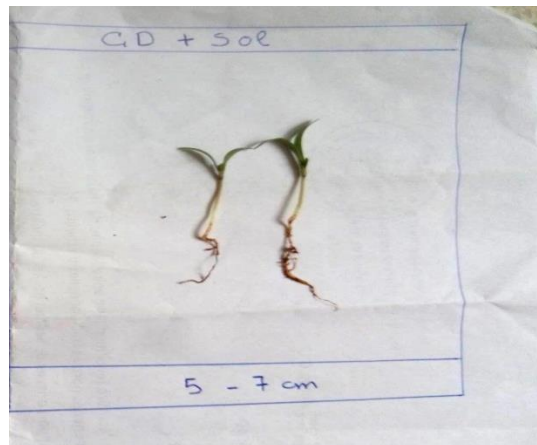
Ces résultats ne sont pas très concluants cela est dû probablement à plusieurs raisons. Notamment le degré de maturité du compost, qui nécessite d'après nous une période de compostage plus longue. La seconde raison concerne les doses du compost appliqué dans nos investigations, qui sont de 25% de compost et 75% de sol. Le choix arbitraire de ces deux concentrations n'est peut-être pas le meilleur. D'ailleurs les travaux de **Compaoré et al., (2010)**, assurent que le pourcentage de mélange entre le sol et le compost a une influence sur la croissance des plantes et varie selon la dose du compost apporté. Il serait nécessaire dans des travaux avenir, de réaliser des travaux supplémentaires afin de déterminer la bonne dose. En outre, le haut degré de salinité du sol, expliqué par son degré élevé de conductivité électrique, est un deuxième facteur qui inhibe la croissance des plantes. Ce constat est très bien remarqué dans le vermi-compost, qui est totalement négatif. Il serait probablement nécessaire de mélanger notre compost avec un sol à salinité faible ou d'ajouter de la chaux. Selon certaines recherches, la salinité affecte l'état d'humidité du sol. Elle réduit la teneur en humidité du sol, qui devient très rapidement rugueux et sec à nouveau.



**Figure 24 :** Biotest de germination de la coriandre (31 /05/2023)  
(a : Témoin    b :Sol + CC    c : Sol + CD    d : Sol + VC)



**Figure 25 :** Longueur de la plantule de coriandre dans le témoin et le CC (3 /06/2023)



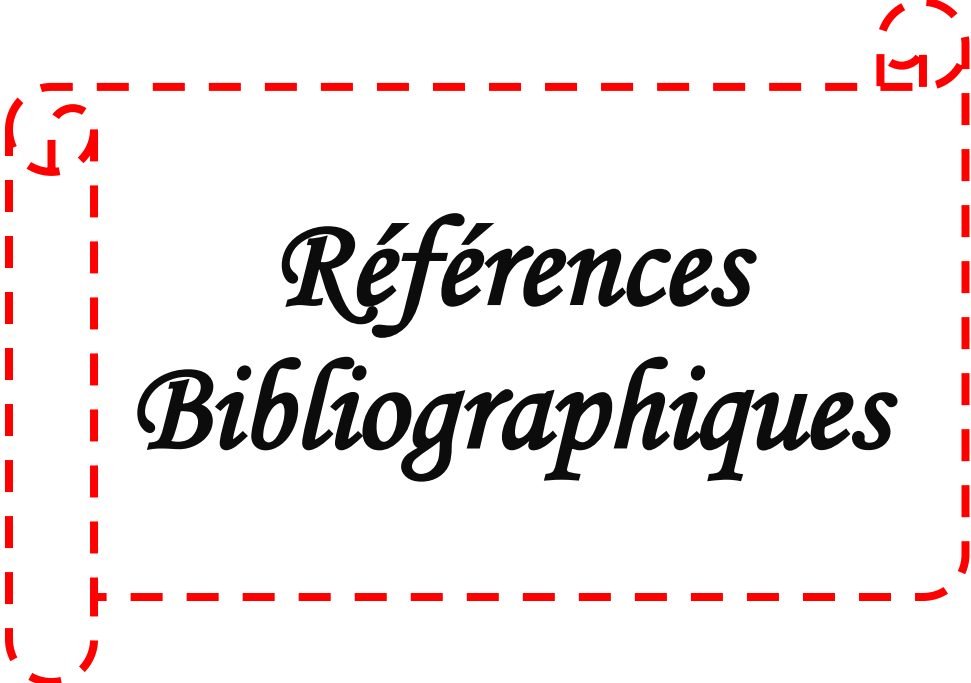
**Figure 26 :** Longueur de la plantule de coriandre dans le CD (3/06/2023)



*Conclusion et  
perspectives*

Cette étude a pour objectif la valorisation des déchets ménagers organiques par deux méthodes de compostage domestique aérobie, le compostage en tas et le vermicompostage. Une caractérisation physico-chimique et microbiologique a été réalisée sur les composts finis. Une comparaison avec les deux produits et un compost commerciale a été également effectuée. La maturité et la stabilité des composts a été testée avec un biotest de germination de la coriandre.

A travers les résultats de cette étude, nous concluons la nécessité de contrôler la salinité des sols, et de trouver les doses adéquates entre sol et compost pour assurer une bonne croissance des plantes. Il est recommandé de prolonger la période de compostage pour assurer une bonne humification des déchets. Il est également préférable de varier les proportions de matériaux utilisés afin d'avoir un bon rapport C/N favorable au développement des microorganismes et par conséquent un compost de bonne qualité. Nous espérons adopter cette méthode de compostage comme un moyen de réduire la quantité de déchets organiques et utiliser le compost comme substitut aux engrais chimique qui apportent atteinte à la qualité des sols et des eaux souterraines.



*Références  
Bibliographiques*

Azis FA, Rijal M, Suhaimi H, Abas PE. (2022). Patent Landscape of Composting Technology: A Review. *Inventions*; 7(2):38. <https://doi.org/10.3390/inventions7020038>

Amrit Lal Meena, Minakshi Karwal , Debashis Dutta, Mishra R.P., (2021). Composting: ases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *Agriculture and food*, (3) 1: 10.13140/RG.2.2.13546.95689.

Ayilara, M.S.; Olanrewaju, O.S.; Babalola, O.O.; Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. *Sustainability* , 12, 4456.

ADEME., (2018). Agence de l'Environnement de Maitrise de l'Energie « Guide méthodologiques pour le suivi des tassements des centres de stockage des déchets classe 2 (déchets ménagers et assimilés), Ademe édition, Angerst, page 2.

Ana Kaline da Costa Ferreira, Nildo da Silva, DiasFrancisco Souto de Sousa Junior, Daianni Ariane da Costa Ferreira, Cleyton dos Santos Fernandes, Tiago de Sousa Leite. (2018). Composting of household organic waste and its effects on growth and mineral composition of cherry tomato. *Rev. Ambient. Água* 13 (3). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2141>

Arrigoni, J.P.; Paladino, G.; Garibaldi, L.A.; Laos, F. (2018). Inside the small-scale composting of kitchen and garden wastes: Thermal performance and stratification effect in vertical compost bins. *Waste Manag*; 76, 284–293.

Anaya Ghosh, Bimal Das, Jyoti Prakas Sarkar (2017). Biomethanation Technology of Municipal Solid Waste Practices in India: An Approach Towards Waste to Energy, Conference: Chemcon. At: Haldia Institute of Technology, Haldia

Amasuomo, E et Baird, J (2016), 'The concept of waste and waste management', *Journal of Management and Sustainability*, vol. 6, no. 4, pp. 88-96. <https://doi.org/10.5539/jms.v6n4p88>

Agegnehu G., vanBeek C. and Bird M. (2014). Influence of integrated soil fertility management in wheat and tef productivity and soil chemical properties in the highland tropical environment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14

Agence nationale des déchets (AND), (2014). Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie.

Amlinger F., Peyr S., Geszti J., Dreher P., Karlheinz W. & Nortcliff S. (2007). Beneficial effects of compost application on fertility and productivity of soils. Literature Study, Federal Ministry for Agriculture and Forestry, Envi. and Water Management, Austria. Available: [www.umwelt.net.at/filemanager/download/20558/](http://www.umwelt.net.at/filemanager/download/20558/)

Adani F., Ubbiali C., Generini P., (2006). The determination of biological stability of composts using the dynamic respiration index: the results of experience after two years. *Waste Manag* 26(1):41–48

Albuquerque J., González J., García D., Cegarra J., (2006). Measuring detoxification and maturity in compost made from BAperujo<sup>^</sup>, the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* 64(3):470–477.

Ammari I Y., Lamhamedi M.S., Akrimi N., El Abidine A.Z. (2006). Qualités physiologiques de jeunes plants de Pin d'Alep élevés en pépinière moderne sur différents substrats à base de compost, *Rev. Geo-Eco-Trop*, Vol.30, N°1, 11-24.

Anastasi A., Varese G. C. et Marchisio V. F. (2005). Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost. *Mycol.*, 97 (1), 33–44

Agnew J., Leonard J., (2003). The physical properties of compost. *Compost Sci Util* 11(3):238–264

Anikwe M. A. N. and Nwobodo K. C. A., (2002). Long term effect of municipal waste disposal properties and productivity of sites used for urban agriculture in Abakaliki, Nigeria. *Bioresource Technology*, 83, 241-250. Available from: <http://www.sciencedirect.com>

ADEME., (1998). Agence de l'Environnement de Maitrise de l'Energie « Environnement : Gestion des déchets en Île-de-France », *Guide de l'entreprise*, Paris, Connaître pour agir, p. 112-121

Avnimelech Y., Bruner M., Ezrony I., Sela R., Kochba M., (1996). Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Sci Util* 4(2):13–20

Ayuso M., Pascual J., García C., Hernández T., (1996). Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Sci Plant Nutr* 42(1): 105–111

Acharya C N. (1950). Preparation of compost manure from town wastes, Calcutta. Indian Council of Agricultural Research, Ministry of Agriculture, Bulletin No. 60.

Berkun, M., Aras, E., et Anılan, T. (2011). Solid waste management practices in Turkey. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13(4), 305-313. <https://doi.org/10.1007/s10163-011-0028-7>

Bouajila K. and Sanaa M. (2011). Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. *J. Mater. Environ. Sci.* 2 (S1) : 485-490.

Brown S. and Cotton M., (2011). Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Results of On-farm Sampling. *Compost Science and Utilization*, Vol. 19, No. 1, 88-97.

Basu, R. (2009). Solid Waste Management-A Model Study. *Sies Journal of Management*, 6, 20-24.

Balet J-M., (2008). « Aide-mémoire de la gestion des déchets. Etat de lieux (2ed) », Paris : Dunod, 240 pages

Bernes C., (2005). Förändringar under ytan, Sveriges havsmiljö granskad på djupet. Värnamo: Fälth & Hässler.

Boadi K. O., (2005). Environmental and health impacts of household solid waste handling and disposal practices in Third World cities: the case of the Accra Metropolitan Area, Ghana.

Bousseboua H. (2004). Cours de microbiologie générale, édition de l'université Mentouri Constantine, 276 p.

Beck-Friis B., Smars S., Jönsson H., Eklind Y., Kirchmann H., (2003). Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: gaining an understanding of the emission dynamics. *Compost Sci Util* 11(1):41–50

Brinton WF., and Evans E., (2000). Plant Performance in Relation to Oxygen Depletion, CO<sub>2</sub>-Rate and Volatile Fatty Acids in Container Media Composts of Varying Maturity. In: Insam H, Riddech N and Klammer S (eds) *Microbiology of Composting*, XII edn. Springer, pp 335–343.

Bernal M., Navarro A., Sánchez-Monedero M., Roig A., Cegarra J., (1998). Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol Biochem* 30(3):305–313

Britain Great et Southwood R., (1984). Tenth report of the Royal Commission on Environmental Pollution: tackling pollution - experience and prospects, edition: HMSO, London, 232 pages

Cheniti H., (2014). La gestion des déchets urbains solides: cas de la ville d'Annaba. Thèse de doctrat en Sciences et Technologies, Université Bordj Badji Mokhtar, Annaba, 135p.

Compaoré E., Nanema L. S., Bonkougou S., Sedogo M. P. (2010). Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficace en agriculture. *Journal of applied biosciences*33: 2076-2083.

Chenane A. (2007). Analyse des coûts de la gestion des déchets ménagers en Algérie à travers la problématique des décharges publiques : Cas des communes de la wilaya de Tizi-Ouzou, faculté des sciences économiques et de gestion, revue Campus, Numéro 10, pages, 29-42.

CIWM. California Integrated Waste Management Board, (2007). Compost use for landscape and environmental enhancement, California Environmental Protection Agency, the California Integrated Waste Management Board, USA.

Cointreau S., (2006). Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management, Special Emphasis on Middle- and Lower-Income Countries. Available from: [http://www.wiego.org/occupational\\_groups/pdfs/waste\\_collectors/Urban\\_Paper\\_Health\\_Solid\\_Waster\\_Mgt.pdf](http://www.wiego.org/occupational_groups/pdfs/waste_collectors/Urban_Paper_Health_Solid_Waster_Mgt.pdf)

Castaldi P., Alberti G., Merella R., Melis P., (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Manag* 25(2):209– 213

Charnay F., (2005). Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement. Elaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Dissertation, University of Limoges, p. 277

Comtois M., Légaré M. (2004). La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant. Programme Horti-2002, Direction de l'Innovation Scientifique et Technologique, Canada, 57 p

Cheremisinoff, N.P. (2003) Handbook of solid waste management and waste minimisation technology. Elsevier Science, New York, 477.

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. 568 pp.

Chen, J., (1999). Characteristic and applications of domestic animal wastes. In *Animal Waste Products Quality and Treatment Alternatives Manual*, Soil Survey and Testing Center. National Chung Hsing University, Taiwan, Pp. 15-22.

Choi K. (1999). Optimal operating parameters in the composting of swine manure with wastepaper. *J Environ Sci Health* 34(6): 975–987. doi:10.1080/03601239909373240

Cegarra J.; Paredes C.; Roig A.; Bernal M.P.; García D., (1996). *Use of olive mill wastewater compost for crop production.* , 38(3-4), 193–203. doi:10.1016/s0964-8305(96)00051-0

Chefetz B., Hatcher P., Hadar Y., Chen Y., (1996). Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *J Environ Qual* 25(4): 776

Djemaci B. (2012). La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité. *Sciences de l'environnement*. Université de Rouen, 380 p.

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November (2008). on Waste and Repealing Certain Directives. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>

Dixon, N., et Jones, D. R. V. (2005). Engineering properties of municipal solid waste. *Geotextiles et Geomembranes*, 23(3), 205-233. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2004.11.002>

Damien, A., (2004), Guide du traitement des déchets, 3ème édition, Dunod. Paris, France, 431p.

Dijkema, G. P. J., Reuter, M. A., & Verhoef, E. V. (2000). A new paradigm for waste management. *Waste Management*, 20(8), 633-638. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00052-0)

Diaz-Burgos M., Ceccanti B., Polo A., (1993). Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting. *Biol Fertil Soils* 16(2):145–150

Deboosere S., Van Meenen P., Boetin D., Sudrajat R., (1988). Solid waste fermentation with particular emphasis on potentials for developing countries. *MIRCEN Journal*, 4, 29-36. Available from: <http://www.springerlink.com>.

Debertoldi M; Vallini, G; Pera, A (1983). The biology of composting: A review. *Waste Management & Research*, 1(2), 157–176. doi:10.1016/0734-242X(83)90055-1

El Zein, A. (2015). Moisture Content and Thermal Balance During Composting of Fish, Banana Mulch & Municipal Solid Wastes. *Eur. Sci. J.* 11, 169–187.

FAC. (1995). Compost and sewage sludge: Guidelines and Recommendations of the Research Center for Agricultural Chemistry and Environmental

Fakharulrazi, A.N.; Yakub, F. (2020). Designing an Automated Composter for Food Waste Management with the Implementation of Internet of Things. *J. Sustain. Nat. Resour.* 1, 9–14.

FAO. (1980). A manual of rural composting. FAO/UNDP Regional Project RAS/75/004 Field Document No. 15. Rome. 5.

FAO. (2002). Biofertilizer production plant, Myanmar (FAO/UNDP Project), by H. Hiraoka. Back to Office Report. Bangkok, FAO-RAP

Finstein MS., Strom PF., Hogan JA., Cowan RM., (1999). Composting on Mars or the moon: I. Comparative evaluation of process design alternatives. *Life Support Biosph Sci* 6(3): 169–179.

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, 289 p.

Fuchs, Jacques G.. (2009) FERTILITE ET PATHOGENES TELLURIQUES : EFFETS DU COMPOST. In: Sinoir, Nicolas and Coulombel, Aude (Eds.) *Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques*, pp. 105-110.

Fuchs J.G., GALLI U., SCHLEISS K., WELLINGER A. (2001). Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Association Suisse des Installations de Compostage (ASIC) & Forum Biogaz Suisse, 26 p.

Ganti, S. (2018). Vermicomposting. *Int. J. Waste Resour:* 8, 8–11.

Golouke CG (1991) Principles of composting. In: Biocycle Guide to the Art and Science of Composting, pp. 14–37

Gonawala, S.S., et Jardosh, H. (2018). Organic Waste in Composting: A brief review. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8. 1584–1591. DOI:[10.14741/IJCET.V8I01.10884](https://doi.org/10.14741/IJCET.V8I01.10884)

Gouilliard, Sylvain; Legendre Amélie.; Maguin, Dominique, (2003).. *Déchets ménagers*. Paris: Economica, 1 volume, 246 p.

Goyal S, Dhull S, Kapoor K (2005) Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresour Technol* 96(14): 1584–1591

Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M. and Boudabous, A. (2001) Microbial Characterization during Composting of Municipal Solid Waste. *Bioresource Technology*, 80, 217-225. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00065-7)

HAUG R.T. (1993). "The practical handbook of compost engineering." Boca Raton, Florida. 717.

He Y., Inamori Y., Mizuochi M., Kong H., Iwami N., Sun T., (2000). Measurements of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from aerated composting of food waste. *Sci. Total Environ* 254:65–74

Hirai M., Chanyasak V. et Kubota H. , (1983). A standard measurement for compost maturity. *Biocycl.*, 24 : 54-56.

Huang G., Wu Q., Wong J., Nagar B., (2006). Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresour Technol* 97(15):1834–1842

Huang, J.; Yu, Z.; Gao, H.; Yan, X.; Chang, J.; Wang, C.; Hu, J.; Zhang, L. (2017). Chemical structures and characteristics of animal manures and composts during composting and assessment of maturity indices. *PLoS ONE*, 12, e0178110.

Iglesias-Jimenez E., Perez-Garcia V., (1991). Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation exchange capacity. *Resour Conserv Recy* 6(1):45–60

Jemali B., Soudi B., Lhadi E. K., (1996). Contrôle des paramètres du compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de RabatSalé. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 16 (2):.43-50.

Jigani Adina-Iuliana, Delcea Camelia, and Ioană Corina, (2020) Consumers' Behavior in Selective Waste Collection: A Case Study Regarding the Determinants from Romania. *Sustainability*, 12, 6527; doi:10.3390/su12166527

Jha A. K., Sharma C., Singh N., Ramesh R., Purvaja R., Gupta P. K.,(2008). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Indian mega-cities: A case study of Chennai landfills sites. *Chemosphere*, 71, 750-758. Available from: <http://www.sciencedirect.com>

Jouraihy A., Amir S., El Gharous M., Revel J., Hafidi M0, (2005). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *Int Biodeterior Biodegradation* 56(2):101–108

Karnchanawong, S.; Suriyanon, N. (2011). Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration. *Resour. Conserv. Recycl.*:55, 548–553.

Katoh, M.; Kitahara, W.; Sato, T. (2014). Sorption of lead in animal manure compost: Contributions of inorganic and organic fractions. *Water Air Soil Pollut.* 225, 1828.

Kaur, T. (2020). Vermicomposting: An Effective Option for Recycling Organic Wastes. In *Organic Agriculture*; IntechOpen: Hampshire, UK; pp. 1–17.

Kerkeni A. (2008). Contribution à la valorisation des composts et des jus de composts : Incidence sur la fertilisation et la protection phytosanitaire de quelques espèces légumières. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques de l'Institut Supérieur Agronomique de Chott

Mariem (ISA-CM), Tunisie, 158 p.

Khattabi N., (2004). Aptitude antagoniste de *Trichoderma* vis-à-vis de *Sclerotium rolfsii*, agent responsable de la pourriture racinaire de la betterave à sucre dans les Doukkala, et perspectives de son utilisation pratique en lutte biologique. Thèse de Doctorat d'Etat EsSciences. Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. 106 pp

Khater, E. (2015). Some physical and chemical properties of compost. *Int. J. Waste Resour.* 5, 1–5.

Kulcu R., & Yaldiz O., (2004). Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Bioresources Technology*, 93, pp: 49–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.007>

Kumar M, Ou Y, Lin J (2010) Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Manag* 30(4):602–609.

Kumar M, Prakash V., (2020). A Review on Solid Waste: Its Impact on Air and Water Quality. *J Pollut Eff Cont* 8:252. doi: 10.35248/2375-4397.20.8.252.

Laila K. M. Ali (2011). Significance of Applied Cellulose Polymer and Organic Manure for Ameliorating Hydrophysico-chemical Properties of Sandy Soil and Maize Yield. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5: 23-35.

Lalander, C.H.; Komakech, A.J.; Vinnerås, B. (2015). Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms—Kampala case study. *Waste Manag*, 39, 96–103.

Larbi M. (2006). Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse de Doctorat Es-Sciences, Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel, Institut de Botanique, 140 pp.

Larney, F., Olson, A., Miller, J., DeMaere, P., Zvomuya, F., McAllister, T. (2008). Physical and Chemical changes during composting of wood chip- bedded and straw –bedded beef cattle feedlot manure. *Journal of Environmental Quality* 37: 725-735.

Larney, F.J.; Olson, A.F. (2006). Windrow temperatures and chemical properties during active and passive aeration composting of beef cattle feedlot manure. *Can. J. Soil Sci.* 86, 783–797

Larsen K., McCartney D., (2000). Effect of C/N ratio on microbial activity and N retention: bench-scale study using pulp and paper Biosolids. *Compost Sci Util* 8(2):147–159

Lazarovits G. (2001). Management of soil-borne plant pathogens with organic soil amendment: a disease control strategy salvaged from the past. *Can. J. Plant Pathol.*, 23, 1-7.

Lee, S., Lee, C., Jung, K.Y., Do Park, K., Lee, D., Kim, P. (2009). Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long term fertilized paddy. *Soil and Tillage Research* 104:227-232.

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.

Lim, L.Y.; Bong, C.P.C.; Lee, C.T.; Klemeš, J.J.; Sarmidi, M.R.; Lim, J.S. (2017). Review on the current composting practices and the potential of improvement using two-stage composting. *Chem. Eng. Trans: 61*, 1051–1056.

Lin C., (2008). A negative-pressure aeration system for composting food wastes. *Biores. Technol.*, 99: 7651–7656.

Lin, Y.; Du, D.; Si, C.; Zhao, Q.; Li, Z.; Li, P. (2014). Potential biocontrol *Bacillus* sp. strains isolated by an improved method from vinegar waste compost exhibit antibiosis against fungal pathogens and promote growth of cucumbers. *Biol. Control* 2014, 71, 7–15.

Liu B., Gumpertz M. L0, Hu S. & Ristaino J. B. (2007). Longterm effects of organic and synthetic soil fertility amendments on soil microbial communities and the development of southern blight. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 2302-2316.

Lynch, D., Voroney, R., Warman, P., (2006). Use of <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N Natural Abundance techniques to characterize Carbon and Nitrogen Dynamics in Composting and in Compost-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38:103-114.

Magdi T Abdelhamid; Takatsugu Horiuchi; Shinya Oba, (2004). Composting of rice straw with oilseed rape cake and poultry manure and its effects on faba bean (*Vicia faba* L.) growth and soil properties. , 93(2), 183–189. doi:10.1016/j.biortech.2003.10.012.

Manahan S. E., (2005). *Environmental chemistry*. 8th edition. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.

Manyapu, V.; Shukla, S.; Kumar, S.; Rajendra, K. (2017). In-vessel composting: A rapid technology for conversion of biowaste into compost. *Open Access Int. J. Sci. Eng.* 2, 58–63.

Mbuligwe S., Kassenga G., Kaseva M., Chaggu E., (2002). Potential and constraints of composting domestic solid waste in developing countries: findings from a pilot study in Dar Es-salaam, Tanzania. *Resour Conserv Recy* 36(1):45–59

Michel F., Reddy C., (1998). Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production, and compost quality in bench-scale reactors. *Compost Sci Util* 6(4):6–14.

Ministry of Agriculture and Food. (1996). *Composting factsheet: The composting process*. British Columbia, pp1-6. [www2.gov.bc.ca.gov/farm-management](http://www2.gov.bc.ca.gov/farm-management)

Mishra S, Yadav KD. (2021). Assessment of rotary drum and aerated in-vessel for composting of garden waste. *Research Square*. DOI: 10.21203/rs.3.rs-302722/v1.

Mondini C., Fornasier F., Sinicco T., (2004). Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. *Soil Biol Biochem* 36(10):1587–1594

Morais, F.M.C. and Queda, C.A.C., (2003). Study of storage influence on evolution of stability and maturity properties of MSW composts. In proceedings of the fourth International Conference of ORBIT association on Biological processing of organics: Advances for a sustainable society. Part II, Perth, Australia.

Munroe, G.; Scott, J.; Burlington, C.; Scotia, N.; Holsteins, K.; Pre, G. (2007). *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture* Organic Agriculture Centre of Canada Acknowledgements EcoAction Program of Environment Canada and New Ground Vermicomposting, Halifax, Nova Scotia; Organic Agriculture Centre of Canada: Truro, NS, Canada; p. 56.

Mustin, M. (1987). *Le Compost, gestion de la matière organique*, Ed. François Dubusc Paris, 1987, 954 p.

Mylavarapu, R., Zinati, G. (2009). Improvement of Soil Properties using Compost for Optimum Parley Production in Sandy Soils. *Scientia Horticulture* 120:426-430

Namkoong WE., Hwang Y., Cheong JG., Choi JY., (1999). A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting. *Compost Sci Util* 7:55–62 Nappi P, Barberis R (1993) Compost as growi

Nappi P., Barberis R., (1993). Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Hort* 342:249– 256.

Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES). (1992). *On-farm composting*, edited by R. Rynk. Ithaca, USA, NRAES Cooperative Extension.

Navarro A., Cegarra J., Roig A., Garcia D., (1993). Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. *Bioresour Technol* 44(3):203–207

Nkituahanga Yenamau A. (2010). *Problématique de la gestion des ordures ménagères dans la ville de Kinshasa, cas de la commune de Masina*, Université de Kinshasa.

Nor Habsah Md Sabiani, Prof. Madya Dr. Faridah A.H. Asaari, (2006). *Kajian Perbandingan Kualiti Kompos Daripada Sisa Taman Menggunakan Pelbagai Kaedah Pengkomposan*. Tesis Sarjana Muda. Universiti Sains Malaysia

Nur Fatin binti Mat Saad, Nursyahida Baharin and Shahrom Md Zain., (2014). *Windrow*

- Composting of Yard Wastes and Food Waste . Aust. J. Basic & Appl. Sci., 8(19): 64-68.
- Olanrewaju, O.S.; Glick, B.R.; Babalola, O.O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. World J. Microbiol. Biotechnol. 33, 197.
- Ouédraogo E., Mando A., Zombré N.P., (2001). Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. , 84(3), 259–266. doi:10.1016/s0167-8809(00)00246-2
- Pavlas M, Dvořáček J, Pitschke T, Peche R., (2020). Biowaste Treatment and Waste-To-Energy-Environmental Benefits. *Energie*; 13(8):1994. <https://doi.org/10.3390/en13081994>
- Pervez Alam et Kafeel Ahmade (2013). Impact Of Solid Waste On Health And The Environment. Special Issue of International Journal of Sustainable Development and Green Economics (IJS DGE), ISSN No.: 2315-4721, V-2, I-1, 2.
- Papendick RI., and Campbell GS., (1981). Theory and measurement of water potential. In: Parr JF, Gardner WR and Elliott LF (eds.) Water Potential Relations in Soil Microbiology, SSSA special publication. Wis. U.S.A. Soil Sci Soc Am J: Madison, 9:1–22
- Raabe, R.D. (2001). The rapid composting method. University of California, US, Co-operative Extension, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Riachi K. (1998). Compostage d'ordures ménagères et de déchets verts. Flore fongique et risques sanitaires potentiels. Thèse de doctorat. Grenoble, 200 pp.
- Richards, L.A. (1954) Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, Agriculture, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC.
- Riffaldi R., Levi-Minzi R., Pera A., de Bertoidi M., (1986). Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. Waste Manag Res 4(1):387–396
- Roman P., Martinez MM. and Pantoja A., (2015). Farmer's Compost Handbook: Experiences in Latin America. FAO Rome. ISBN: 978–92–5–107845-7. <http://www.fao.org/3/a-i3388e>.

Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G., Singley, M., Richard, T., Kolega, J., Gouin, F., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D., Hoitink, H., Brinton, W.: (1992). On-Farm Composting Handbook, Ithaca: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES).

Sanchez-Monedero M., Roig A., Paredes C., Bernal M., (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresour Technol* 78(3):301– 308

Sankoh FP, Yan X, Tran Q. (2013). Environmental and health impact of solid waste disposal in developing cities: A case study of granville brook dumpsite, freetown, sierra leone. *J Environ Prot*;4:665-670.

Seyedbagheri, Mir-M. (2010). Compost: Production, Quality, and Use in Commercial Agriculture. University of Idaho, University of Idaho Extension: Moscow, Idaho. CIS 1175.

Soares, M.A.; Marto, S.; Quina, M.J.; Gando-Ferreira, L.; Quinta-Ferreira, R. (2016,). Evaluation of eggshell-rich compost as biosorbent for removal of Pb (II) from aqueous solutions. *Water Air Soil Pollut.* 227, 150.

Steel H., De La Peña E., Fonderie P., Willekens K., Borgonie G., Bert W., (2010). Nematode succession during composting and the potential of the nematode community as an indicator of compost maturity. *Pedobiologia (Jena)* 53(3):181–190

Stehlík Petr, (2009). Contribution to advances in waste-to-energy technologies. *Journal of Cleaner Production*, Volume 17, Issue 10, Pages 919-931. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.02.011>

Stentiford, E.I. (1996) Composting Control: Principles and Practice. In: De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. and Papi, T., Eds., *The Science of Composting*, Blackie Academic and Professional, London, 49-59. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-1569-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-009-1569-5_6)

Swati Srivastava et Ritu Singhvi, (2015). Impact of Solid Waste on Health and the

Environment . International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 9.

Tayebeh A., Abass A., and Seyed A. K. (2010). Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. Australian Journal of Crop Science (AJCS) 4(6):384-389.

Tejada, M., Hernandez, M., Garcia, C. (2009). Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. Soil and Tillage Research, 102:109-117.

Tchegue Sanonka , Koffi A. KILI , Magnoudéwa BODJONA , Moursalou KORIKO , Mohamed HAFIDI , Gnon BABA et Gado TCHANGBEDJI, (2012). Effets des composts à base de déchets d'agrumes et du tourteau de karité sur la disponibilité du phosphore du sol : une étude en conditions contrôlées Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(3): 1381-1389.

Tiquia S., Tam N., (1998). Elimination of phytotoxicity during cocomposting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. Bioresour Technol 65(1-2):43-49

Tiquia S., Tam N., Hodgkiss I., (1997). Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter. Bioresour Technol 62(1-2):37-42

Tsang, D.C.; Yip, A.C.; Olds, W.E.; Weber, P.A. (2014). Arsenic and copper stabilisation in a contaminated soil by coal fly ash and green waste compost. Environ. Sci. Pollut. Res. 21, 10194-10204.

USCC. United States Composting Council, (2001). Field guide to compost use, the US composting council, E&A environmental Consultants, Inc., USA.

Vallini G., Pera A., Vadrighi M. and Cecchi F., (1993). Process constraints in source-collected vegetable waste composting. Water Sci Technol, 28, 2:229-236.

Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen, A.J. (Editors) 2016. Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture BioGreenhouse COST Action FA 1105, [www.biogreenhouse.org](http://www.biogreenhouse.org).

Vanai P. (1995). Valorisation agronomique d'un compost urbain produit par méthanisation : Étude en milieu tropical, Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Sciences de l'Université Française du Pacifique (UFP), Spécialité Chimie, 172 p.

Veeken A., Nie rop K., Wilde V., Hamele rs B., (2000). Characterisation of NaOH-extracted humic acids during composting of a biowaste. *Bioresour Technol* 72(1):33–41.

Whalen, J., Benslim, H., Jiao, Y., Sey, B. (2008). Soil Organic Carbon and Nitrogen Pools as Affected by Compost Application to a Sandy-loam Soil in Quebec. *Canadian Journal of Soil Science*, 88:443-450.

White, P. R., Franke, M., & Hindle, P. (1995). *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. Berlin: Springer.

Wichuk K., McCartney D., (2013). Compost stability and maturity evaluation—a literature review. *J Environ Eng Sci* 8(5):601– 620.

Wong, J.W., Ma, K.K., Fang, K., & Cheung, C.L. (1999). Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. *Bioresource Technology*, 67, 43-46.

Zemmouri Nee Ghachi, N. et Nafaï-boutouchent, D. (2021). Agent De Collecte Des Dechets Menagers Et Assimilesde La Wilaya D'alger: Etatdes Lieux Et Correctionsergonomiques. Thèse de Doctorat, Université Benyoucef Benkhedda - Alger 1

Zhang, X.; Wang, H.; He, L.; Lu, K.; Sarmah, A.; Li, J.; Bolan, N.S.; Pei, J.; Huang, H.J.E.S.; Research, P. (2013). Using biocharforremediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2013, 20, 8472–8483.

Zealand, C.N. (2007). *Introduction to Composting Science and Management for Industry Training*; UNSW: Sydney, Australia

Zorpas AA, Arapoglou D, Panagiotis K., (2003). Waste paper and clinoptilolite as a bulking

material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. *Waste Manag*; 23(1):27-35. doi: 10.1016/S0956-053X(02)00042-9. PMID: 12623099.

Zurbrugg, C. (2003). *Solid Waste Management in Developing Countries: A Sourcebook for Policy Makers and Practitioners*: EAWAG/SANDEC.

Znaidi Ibrahim El Akram, (2002). Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. MASTER OF SCIENCE DEGREE MEDITERRANIEN ORGANIC AGRICULTURE. C.I.H.E.A.M MEDITERRANIEN AGRONOMIC INSTITUTE OF BARI

ZUHANG H., MUSARD M., DUMOULIN J., THICOIPE J.P., LETARD M., VAYSSE P., ADAM D. (1984). Cultures légumières sur substrats : Installations et conduite, Publication du Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL), Paris, France, 215 p.