



République d'Haïti



UNIVERSITÉ PUBLIQUE DU BAS ARTIBONITE À SAINT-MARC

(UPBAS)

FACULTÉ DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES

(FSAE)

FILIÈRE RESSOURCES NATURELLES ET ENVIRONNEMENT

(F-RNE)

**Caractérisation et valorisation par compostage aérobie des déchets
ménagers dans le centre-ville de Saint-Marc**

Mémoire de fin d'études

Préparé par : Johnson DAVID

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome

Conseiller scientifique : Luxone SAMEDY, Ing. Géologue, M.Sc

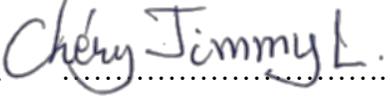
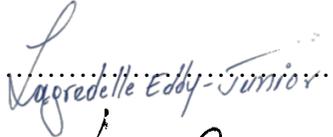
Année académique 2023-2024

Ce travail de mémoire dont le sujet s'intitule :

**« Caractérisation et valorisation par compostage aérobique des déchets ménagers
dans le centre-ville de Saint-Marc »**

Est vu et approuvé par

le jury composé de :

| | | Dates |
|--|---|--------------|
| Elucien JOSEPH, Ing.-Agr, M.Sc. Président |  | 19 juin 2024 |
| Julmé JEAN GARY, Ing.-Agr, M.Sc. Membre |  | |
| Jimmy L. CHERY, Ing.- Géologue, M.Sc. Membre |  | |
| Eddy Junior LAGREDELLE, Ing.-Agr, M.Sc Membre |  | 18 juin 2024 |
| Luxone SAMEDY, Ing. Géologue, M.Sc. Conseiller scientifique |  | 25 Juin 2024 |

DÉDICACES

Ce travail de recherche est dédié à :

- Notre regretté mémoire Darius DAVID ;
- Ma très chère grand-mère, Illiana MICHEL, à qui je manifeste toute ma passion ;
- Ma mère, Rosèlène JACINTH, qui a consenti beaucoup d'efforts dans ma formation ; Mes frères, Luxon DAVID, Gustin MARCELUS, John MARCELUS, Johnny MARCELUS, Emmanuel MARCELUS ;
- Mes sœurs, Elga DAVID et Roseberline MARCELUS ;
- Ma tante, Innocia DAVID, pour sa franche collaboration ;
- Ma nièce, Mitchaina B. ESTINOBLE ;
- Ma très chère amie, Manoucheka PHILISTIN ;
- Mes cousines, Jose-roldine ESTIVERNE et Stéphanie DAVID ;
- Mes amis qui m'ont beaucoup encouragé à réaliser le mémoire ;
- Tous (tes) mes amis (es) de la Faculté des Sciences Agronomiques et Environnementales (FSAE) de l'UPBAS, plus particulièrement ceux de la promotion 2017-2022.

REMERCIEMENTS

Je veux, en tout premier lieu, remercier le Grand Dieu "**Créateur**" de m'avoir donné la vie, la santé, l'intelligence et le courage pour boucler ce cycle d'études et réaliser ce travail. Ensuite, mes mots de remerciement s'adressent :

- Au Ministère de l'Éducation Nationale et de la Formation Professionnelle (MENFP), pour leur appui professionnel grâce à la création des Universités Publiques en Régions (UPR) ;
- À l'Université Publique du Bas-Artibonite à Saint-Marc (UPBAS), pour la formation académique qu'elle m'a donnée ainsi que leur appui financier pour la réalisation de ce travail ;
- Au Recteur de l'UPBAS et au Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques et Environnementales (FSAE) pour leur support académique et leur encouragement qu'ils m'ont donnés ;
- Au Corps Professoral de la Faculté des Sciences Agronomiques et Environnementales (FSAE), particulièrement ceux de la Filière des Ressources Naturelles et Environnement (RNE), pour leur contribution à ma formation durant ces cinq années d'études ainsi qu'au personnel de l'Administration ;
- À mon conseiller scientifique, l'éminent Professeur Luxone SAMEDY, pour ses remarques pertinentes ;
- À l'éminent Professeur Mark-Herby ESTIMABLE, pour leur support technique et académique utile à l'aboutissement de ce travail ;
- Au Professeur Junior CHARLES, Directeur de la filière Ressources Naturelles et Environnement (RNE), pour la documentation mise à ma disposition ;
- À tous les étudiants de la promotion « **Jean Léopold Dominique** », pour l'appui considérable qu'ils m'ont donné. En ce sens, j'aimerais citer quelques-uns dont je ne cessais d'exploiter les idées : Nelson EXUMA, Wilkens DORSAINVIL, G. Gaino DEROSEMA, Rosny CHERILUS, Jephthé EXILUS ;
- À tous (tes) ceux (celles) qui ont contribué à la réalisation de ce travail : Nelson EXUMA, Osma LOUIS, Joselande LOUIS PIERRE ;
- À tous les étudiants (es) de la promotion 2018 - 2023, plus particulièrement ceux de la filière Ressources Naturelles et Environnement (RNE).

RÉSUMÉ

La gestion des déchets ménagers est un problème crucial dans les villes des pays en développement (PED), particulièrement les villes d'Haïti où les municipalités sont parvenues à faire face à de grandes quantités de déchets solides. Dans le but de trouver des stratégies pour une meilleure gestion des déchets ménagers dans le centre-ville de Saint-Marc, une étude a été réalisée dans trois (3) quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc, entre août 2023 et janvier 2024. Cette étude visait à caractériser les déchets ménagers produits dans ces trois (3) quartiers, composter la fraction fermentescible de ces derniers aux fins de réduire les taux d'immondices présents dans les rues, au niveau du centre-ville de Saint-Marc et produire de fertilisant organique pouvant contribuer au développement durable de l'agriculture dans la commune de Saint-Marc.

Pour réaliser cette étude, nous avons adopté une démarche méthodologique qui s'articulait autour de deux (2) grandes étapes : la première étape consistait à caractériser les déchets ménagers, et la deuxième étape consistait à effectuer une valorisation des matières putrescibles retrouvées dans les déchets ménagers en compost. Pour y parvenir, un échantillon de 60 ménages a été sélectionné dans trois (3) quartiers (cité Verna, cité Miami et Bois Coton), à raison de 20 ménages par quartier. Les résultats obtenus lors de la caractérisation des déchets ménagers dans ces trois (3) quartiers, au niveau du centre-ville de Saint-Marc ont permis de dire que ces quartiers produisent presque toutes les treize (13) catégories des déchets solides, hormis la cité Verna qu'on n'a pas trouvé les verres et les déchets dangereux.

Les matières putrescibles eurent été majoritairement présentées dans les trois (3) quartiers susmentionnés avec un pourcentage allant de **52 % à 67 %**, et les déchets biodégradables compostés ont eu un rendement de **59.82 %**. En outre, cette étude permet de mettre en évidence le potentiel de production des déchets ménagers au niveau du centre-ville de Saint-Marc. De plus, la valorisation de ces DM par le compostage pourrait être une alternative à la gestion durable de l'environnement, mais également dans la contribution au développement de l'agriculture périurbaine au niveau du centre-ville de Saint-Marc.

Mots-clés : caractérisation, compostage, déchets ménagers, valorisation, Saint-Marc

ABSTRACT

Household waste management is a crucial problem in the cities of developing countries (DCs), particularly the cities of Haiti where municipalities have managed to deal with large quantities of solid waste. With the aim of finding strategies for better management of household waste in downtown Saint-Marc, a study was carried out in three (3) neighborhoods in downtown Saint-Marc, between August 2023 and January 2024. This study aimed to characterize the household waste produced in these three (3) neighborhoods, compost the fermentable fraction of the latter in order to reduce the levels of garbage present in the streets, in the city center of Saint- Marc and produce organic fertilizer that can contribute to the sustainable development of agriculture in the commune of Saint-Marc.

To carry out this study, we adopted a methodological approach which was structured around two (2) main stages: the first stage consisted of characterizing household waste, and the second stage consisted of carrying out a recovery of putrescible materials found in the waste household compost. To achieve this, a sample of 60 households was selected in three (3) neighborhoods (Verna city, Miami city and Bois Coton), at a rate of 20 households per neighborhood. The results obtained during the characterization of household waste in these three (3) neighborhoods, at the level of downtown Saint-Marc, made it possible to say that these neighborhoods produce almost all thirteen (13) categories of solid waste, apart from Verna said that no glass or hazardous waste was found.

Putrescible materials were mainly presented in the three (3) aforementioned districts with a percentage ranging from 52% to 67%, and composted biodegradable waste had a yield of 59.82%. In addition, this study highlights the potential for household waste production in downtown Saint-Marc. In addition, the valorization of these DM through composting could be an alternative to sustainable environmental management, but also in contributing to the development of peri-urban agriculture in the city center of Saint- Marc.

Keywords: characterization, composting, household waste, recovery, Saint-Marc

LISTE DES SIGLES ET DES ACRONYMES

- ACM : Association des Cadres du Monde
- ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
- BRH : Banque de la République d'Haïti
- CEFREPADE : Centre Francophone de Recherche Partenariale sur l'Assainissement
Déchets et l'Environnement
- CET : Centre d'Enfouissement Technique
- CNIGS : Centre National des Informations Géo-Spéciales
- DGI : Direction Générale des Impôts
- DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement
et de l'Urbanisme
- FSAE : Faculté des Sciences Agronomiques et Environnementales
- IHSI : Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique
- MENFP : Ministère de l'Éducation Nationale et de la Formation Professionnelle
- MDE : Ministère de l'Environnement
- MTPTC : Ministère des Travaux Publics, Transport et Communication
- MODECOM : Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères
- MO : Matière Organique
- OM : Ordures Ménagères
- ONG : Organisme Non- Gouvernemental
- PC : Pouvoir Calorifique
- PED : Pays En Développement
- PH : Potentiel d'Hydrogène
- PI : Pays Industrialisé
- RNE : Ressources Naturelles et Environnementales
- SNGRS : Service National de la Gestion des Résidus Solides
- UPBAS : Université Publique du Bas-Artibonite à Saint-Marc
- UPR : Université Publique en Région

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS DE MESURES

°C : Degré Celsius

CH₄ : Méthane

C : Carbone

Ca : Calcium

CO₂ :Dioxyde de Carbone

C/N : Rapport des teneurs Carbone -Azote

H₂PO₄ : Acide Phosforique

K: Potassium

Kg: Kilogramme

Km: Kilomètre

Km²: Kilomètre Carré

O : Oxygène

% : Pourcentage

MTH/Kg : Millithermie par Kilogramme

m³ : Mètre Cube

Mg : Magnésium

N : Azote

N₂O : Protoxyde d'azote

t/ha:Tonne à l'Hectare

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Valorisation des déchets (ADEGNIKA, 2002) | 17 |
| Figure 2 : Cycle du Recyclage (BEHADADA, 2022) | 18 |
| Figure 3 : Cycle du compostage..... | 20 |
| Figure 4 : Processus de compostage (BADI et ENNANNA, 2023)..... | 21 |
| Figure 5 : Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage d'après Mustin [Source: (ADEME.2008b cité par ALA, 2022)] | 22 |
| Figure 6 : Carte Administrative de la Commune de Saint-Marc..... | 29 |
| Figure 7 : Carte Géologique de la Commune de Saint-Marc | 30 |
| Figure 8 : Température et Pluviométrie de Saint-Marc | 31 |
| Figure 10 : Transports les déchets collectés | 35 |
| Figure 11 : Pesée les déchets | 35 |
| Figure 12 : Tri des déchets ménagers | 36 |
| Figure 13 : Présentation du site | 37 |
| Figure 14 : Répartition des déchets ménagers par catégories à Cité Miami | 41 |
| Figure 15 : Répartition des déchets ménagers par catégories cité Verna..... | 42 |
| Figure 16 : Répartition des déchets ménagers par catégories à Bois Coton | 43 |
| Figure 17 : Quantité de déchets ménagers produits dans le quartier Cité Miami | 44 |
| Figure 18 : Quantité de déchets produits par cité Verna | 45 |
| Figure 19 : Quantité de déchets ménagers produits à Bois Coton | 46 |
| Figure 20 : Comparaison de la fraction fermentescible des déchets produits dans les trois (3) quartiers | 47 |
| Figure 21 : Tri des déchets | 51 |
| Figure 22 : Pesée des matières putrescibles | 51 |
| Figure 23 : Mise en tas du compostage..... | 52 |
| Figure 24 : Phase de maturation du compost | 52 |
| Figure 25 : Retournement et l'arrosage du compost | 53 |
| Figure 26 : Tamisage du compost | 54 |
| Figure 27 : Contrôle de l'humidité..... | 55 |
| Figure 28 : Graphe illustrant la fermentation du compost..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figure 29 : Rendement du compost..... | 58 |
|--|----|

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Production journalière des déchets ménagers (DM) par habitant dans les PED | 13 |
| Tableau 2 : Composition des déchets ménagers (DM) dans certains PED (en %) | 14 |
| Tableau 3 : Rapport C/N et humidité recommandée pour le compostage des déchets..... | 16 |
| Tableau 5 : Vérification du taux d'humidité dans le compost..... | 38 |
| Tableau 6 : Composition moyenne des déchets dans les différents quartiers étudiés..... | 48 |
| Tableau 7 : Résultats du test de la poignée de l'évolution de l'humidité du compost | 55 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----|
| DÉDICACES | I |
| REMERCIEMENTS | II |
| RÉSUMÉ | III |
| ABSTRACT | IV |
| LISTE DES SIGLES ET DES ACRONYMES | V |
| LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS DE MESURES | VI |
| LISTE DES FIGURES | VII |
| TABLE DES MATIÈRES | X |
| CHAPITRE I- INTRODUCTION | 1 |
| 1.1- Généralités | 1 |
| 1.2- Problématique et Justification | 1 |
| 1.3- Objectifs | 4 |
| 1.3.1- Objectif général | 4 |
| 1.3.2- Objectifs spécifiques | 5 |
| 1.4- Hypothèses de recherche | 5 |
| 1.4.1- Hypothèse générale | 5 |
| 1.4.2- Hypothèses spécifiques | 5 |
| 1.5- Intérêts de l'étude | 5 |
| 1.6- Limites | 6 |
| CHAPITRE II - REVUE DE LITTÉRATURE | 7 |
| 2.1- Définitions | 7 |
| 2.1.1- Déchets | 7 |
| 2.1.2- Déchets solides | 7 |
| 2.2- Cadre réglementaire de la gestion des déchets | 7 |
| 2.2.1- Lois régissant la gestion des déchets | 7 |
| 2.2.2- Cadre directif de la gestion des déchets ménagers en Haïti | 8 |
| 2.3- Classification des déchets | 9 |
| 2.3.1- Déchets municipaux | 9 |
| 2.3.2- Déchets Industriels | 10 |

| | | |
|---|---|----|
| 2.3.2- | Déchets agricoles | 11 |
| 2.4- | Production des déchets ménagers dans les pays en développement (PED) | 12 |
| 2.6- | Caractéristiques des déchets..... | 15 |
| 2.7- | Principes de gestion des déchets | 16 |
| 2.8- | Généralités sur les processus du compostage..... | 20 |
| 2.8.1- | Processus du compostage..... | 20 |
| 2.8.2- | Description du processus de compostage..... | 21 |
| 2.8.3- | Types de Compostage | 23 |
| 2.8.4- | Paramètres influençant le compostage | 24 |
| 2.9- | Effet du compost sur le sol et les plantes | 26 |
| 2.10- | Conditions réglementaires de l'utilisation du compost en agriculture | 27 |
| CHAPITRE III- MÉTHODOLOGIE | | 29 |
| 3.1- | Présentation de la zone d'étude..... | 29 |
| 3.1.1- | Géographie..... | 29 |
| 3.1.2- | Démographie..... | 30 |
| 3.1.3- | Géologie..... | 30 |
| 3.1.4- | Hydrologie | 31 |
| 3.1.5- | Climat et précipitation..... | 31 |
| 3.2- | Gestion des déchets à Saint-Marc | 32 |
| 3.3- | Acteurs interviennent dans la gestion des déchets dans le centre-ville de Saint-Marc | 32 |
| 3.4- | Matériels et Méthodes..... | 33 |
| 3.4.1- | Matériels utilisés lors de la caractérisation | 33 |
| 3.4.2- | Méthode de la caractérisation des déchets ménagers | 33 |
| 3.4.3- | Méthode de la réalisation du compost..... | 36 |
| CHAPITRE IV- RÉSULTATS ET DISCUSSIONS | | 40 |
| 4.1- | Caractérisation physique des déchets..... | 40 |
| 4.1.1- | Caractérisation des déchets produits dans les trois quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc..... | 40 |
| 4.1.2- | Répartition des déchets suivant leur mode de traitement | 44 |
| 4.1.3- | Comparaison de la fraction fermentescible dans les trois quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc..... | 46 |
| 4.1.4- | Composition globale des déchets ménagers produits par catégories dans les trois (3) quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc. | 47 |

| | | |
|--|--|----|
| 4.1.5- | Discussions sur la caractérisation des déchets produits dans les trois (3) quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc. | 49 |
| 4.2- | Valorisation des déchets ménagers caractérisés en compost..... | 50 |
| 4.2.1- | Contrôle/tri des déchets..... | 51 |
| 4.2.2- | Pesée des déchets | 51 |
| 4.2.3- | Mise en tas du compostage | 52 |
| 4.2.4- | Phase de fermentation du compost..... | 52 |
| 4.2.5- | Retournement du compost | 53 |
| 4.2.6- | Criblage et tamisage du compost | 54 |
| 4.3- | Études des paramètres physiques | 54 |
| 4.3.1- | Mesure de la température au cours de la phase de fermentation | 54 |
| 4.3.2- | Vérification de l'humidité dans le compost | 55 |
| 4.4- | Mécanismes de biodégradation du compost..... | 56 |
| 4.4.1- | Fermentation aérobie..... | 56 |
| 4.4.2- | Maturation du compost | 57 |
| 4.4.3- | Rendement du Compost..... | 58 |
| 4.5- | Discussion sur le compost..... | 59 |
| CHAPITRE V- CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS | | 60 |
| 5.1- | Conclusion | 60 |
| 5.2- | Suggestions | 61 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | | 62 |

CHAPITRE I- INTRODUCTION

1.1- Généralités

Les déchets solides sont une contrepartie inévitable des activités humaines. Les ménages, comme les industries, les commerçants, les artisans ou les autres activités économiques, en produisent (DREAL, 2011). La production mondiale des déchets solides varie de 2.500 à 4 000 milliards de kilos par an (BANQUE MONDIALE, 2018). Selon la Banque Mondiale (2019), plus de 320 000 tonnes de déchets plastiques sont abandonnées chaque année, ce qui provoque une dégradation des récifs coralliens qui causent ainsi une perte annuelle de revenus de 350 à 870 millions de dollars (BANQUE MONDIALE, 2019). Par ailleurs, la montée puissante et rapide du volume des déchets biodégradables qui prolifèrent dans les pays du tiers-monde est l'un des problèmes de l'environnement parmi les plus alarmants du monde actuel comme : la pollution de l'eau, de l'atmosphère et du sol (MANZEKELE, 2008).

1.2- Problématique et Justification

La gestion des déchets ménagers est un problème crucial dans les villes des pays en développement (PED) où les municipalités sont amenées à faire face à des quantités croissantes de déchets, avec des budgets très limités (NAQUIN et NGNIKAM, 2008). L'accroissement de la production des déchets ménagers est lié à la forte croissance démographique et à l'urbanisation non maîtrisée dans les pays du Sud (DIABATE et al., 2005). De ce fait, les récentes statistiques de la Banque Mondiale en 2018 sur la production et les modes de gestion des déchets solides en Afrique subsaharienne et les pays du Sud montrent que la situation de l'insalubrité urbaine tend à s'aggraver (CYRILE, 2010). D'après Kaza et al., (2016), seulement 44 %, soit moins de la moitié des déchets produits, ont collectés dans les municipalités de ces pays d'Afrique Subsaharienne, et pour la plupart des pays d'Afrique centrale et de l'ouest le taux moyen des DM collectés est de 55 % seulement (ONU, 2019), tandis que dans les pays européens et les pays du nord avoisinent 100 % (AMORCE,2019).

Dans la plupart des pays en développement (PED), les déchets ménagers (DM) présentent à la fois des risques écologiques et sanitaires en raison du manque d'application des règlements en matière de gestion, de collecte des déchets efficaces et en grande partie non traités (MPINDA et al., 2016). Située dans le bassin des Caraïbes, la République d'Haïti partage de nombreuses similitudes avec plusieurs pays africains en matière de gestion des déchets comme Cameroun, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, etc. (PHILIPPE, 2010). Les pratiques de collectes et de traitement des déchets solides à l'extérieur peuvent entraîner une pollution de l'air, de l'eau et du sol, ce qui présente des risques très élevés pour l'environnement et la santé humaine (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993 cité par MPINDA et al., 2016), bien que les DM collectés contiennent très peu de métaux lourds. La collecte de ces métaux dans les déchets ménagers est généralement effectuée par des personnes à faibles revenus vivant en dessous du seuil de pauvreté (PHILIPPE, 2010). La mauvaise gestion des déchets solides est l'un des défis majeurs de l'espace urbain haïtien (MIKENSON et al., 2020).

Cette problématique est devenue de plus en plus préoccupante à mesure qu'augmentent la taille de la population et la superficie des aires urbaines, notamment les dix chefs-lieux départementaux (PNUD, 2020). Selon la Banque mondiale, en 2018, le pays produisait en moyenne 0.58 kg de déchets par personne et par jour. Ce chiffre, rapporté à une population de 11 millions de personnes, donne un total de 6 380 tonnes de déchets produits sur le territoire national en une journée (AMETEL, 2022). Toujours selon Ametel (2022), ces déchets bloquent les systèmes d'évacuation d'eau en provoquant des inondations pendant la saison des pluies, y compris en saison sèche en raison d'une sensibilisation insuffisante aux questions environnementales et de difficultés de financement.

Cependant, la croissance démographique entraîne non seulement une production importante de déchets urbains, mais également une demande de plus en plus forte en denrées alimentaires (USENI et al., 2012). Le secteur agricole haïtien qui avait représenté l'un des principaux maillons dans la création de l'emploi contribuant au développement économique et en absorbant le taux de chômage ne continue pas à le faire en raison de manque d'accompagnement. De plus, il passe d'un taux d'emploi de

40,53 % à 29,22 % de la population active (BANQUE MONDIALE, 2018b) et contribue à 20,35 % du produit intérieur brut (BRH, 2016). En revanche, les autorités centrales comme les autorités locales sont dépassées par les événements. Les grandes villes du pays où il y a de fortes concentrations de population sont les plus touchées par le problème d'insalubrité. Pourtant, l'insalubrité de nos villes est la conséquence d'un ensemble de problèmes que le pays n'a pas su résoudre au cours des dernières décennies (LE NOUVELLISTE, le 21-02-2020).

De ce fait, la commune de Saint-Marc est confrontée par ce même problème. Les habitants de Saint-Marc jettent les déchets dans les endroits non appropriés, dans les rues, le long des cours d'eau, des rivières (REZO LATIBONIT, 2020). Ainsi, on assiste de plus en plus à des créations de décharges sauvages dans cette ville. On en veut pour preuve, la présence de gros tas d'immondices en pleine ville dans les espaces vides et les rues secondaires (ACM, 2021). Ces dépôts d'ordures ont pour corollaire la pollution visuelle, la prolifération des vecteurs de maladies (larves de moustiques, moustiques, mouches et microbes), la pollution atmosphérique due aux émanations nauséabondes et l'émission des gaz à effet de serre (méthane, CO₂) (CYRILLE, 2010).

De plus, la situation est d'autant plus inquiétante que ces dépotoirs sauvages qui s'y trouvent, pour la plupart des cas, dans des points de carrefours, servent de lieux d'aisances aux populations riveraines. Ces carrefours, qui étaient des réceptacles naturels des eaux de ruissellement, sont soumis à un comblement rapide dont les conséquences se manifestent par des inondations des quartiers en période de pluie. Saint-Marc vit cette situation parce qu'elle manque de sites de transfert appropriés pouvant servir de décharges transitoires des déchets solides urbains (ESTERIENS, 2019). Donc, la mairie n'arrive pas à assurer réellement la gestion de ces déchets solides, ce qui entraîne des difficultés d'aménagement et de la pollution de l'environnement. Le manque d'éducation environnementale grandissant pousse une grande partie de la population Saint-Marcoise à développer un mépris au regard de l'environnement, conduisant à une augmentation des taux de déchets dans presque tous les coins de la ville plus, particulièrement au Centre-ville (REZOLATIBONIT, 2020).

En outre, la valorisation des déchets dans les pays en développement (PED) par compostage contribue fort bien au développement durable. De nombreuses études ont montré le rôle bénéfique du compost sur les qualités physiques et chimiques des sols amendés. Il est maintenant bien établi, pour maintenir la fertilité des sols de nos agroécosystèmes, il faut y retourner sous forme de compost ou de fumier les résidus de récoltes (DABRE et al., 2017). Gomgnimbou et al. (2017) ont montré que l'application de la fumure minérale combinée au compost permet d'améliorer les performances de production du niébé, mais les effets significatifs ne seront perceptibles qu'à moyen et long terme. L'effet des apports de fumures organominérales sur le relèvement des taux de carbones et d'azotes du sol est avéré (OUANDOAGO et al., 2016).

FAO a montré que le compost est une source riche de matière organique, une substance vitale pour l'atmosphère, la rétention de l'eau et des éléments nutritifs. La matière organique des sols joue un rôle majeur dans le maintien de la fertilité des sols et, par voie de conséquence, dans la durabilité de la production agricole (FAO, 2015). Les déchets ménagers solides ne sont pas seulement un problème environnemental, mais aussi une perte économique importante qui peut être réduite en mettant en place un plan de gestion pour recycler la partie biodégradable en compost. C'est dans cette démarche que notre étude s'intitule « *Caractérisation et valorisation par compostage aérobie des déchets ménagers dans le centre-ville de Saint-Marc* » s'inscrit dans les perspectives de proposer de solutions pérennes aux différents problèmes liés à la mauvaise gestion des déchets dans la ville de Saint-Marc. Ainsi, la question de départ de ce travail s'articule de la manière suivante : comment la caractérisation et valorisation des déchets ménagers du centre-ville de Saint-Marc par compostage aérobie pourraient contribuer dans l'amélioration de la production agricole du milieu périurbain ?

1.3- Objectifs

1.3.1- Objectif général

L'objectif général de ce travail consiste à caractériser et à valoriser par compostage aérobie les déchets ménagers dans la commune de Saint-Marc en vue d'améliorer le rendement de la production agricole dans le milieu périurbain.

1.3.2- Objectifs spécifiques

D'une manière spécifique, les objectifs se découpent en quatre (4) :

- Catégoriser les déchets ménagers produits dans le centre-ville de Saint-Marc ;
- Valoriser par compostage aérobie les matières putrescibles des déchets ménagers caractérisés ;
- Déterminer le rendement du compost produit.
- Proposer des quelques pistes de solutions pour une bonne gestion des déchets ménagers dans le centre de Saint-Marc.

1.4- Hypothèses de recherche

1.4.1- Hypothèse générale

La valorisation des déchets ménagers par compostage aérobie pourrait contribuer à augmenter la quantité et à améliorer la qualité des produits récoltés dans les agrosystèmes du milieu périurbain.

1.4.2- Hypothèses spécifiques

- La caractérisation des déchets ménagers dans le centre-ville de Saint-Marc permettrait de mieux connaître ses compositions ;
- Une bonne catégorisation de déchets permettrait de particulariser davantage le mode de traitement ;
- Un traitement efficace des déchets ménagers par compostage aérobie pourrait réduire ses nuisances dans le centre-ville de Saint-Marc.

1.5- Intérêts de l'étude

Le présent travail se veut une opportunité pour la population, pour les autorités du pays, plus particulièrement pour la population Saint-Marcoise, dans la réduction des nuisances dans les rues. Ce travail propose d'apporter des pistes de solutions concourant à réduire la dégradation de l'environnement que connaît Haïti et plus particulièrement la commune de Saint-Marc par le biais de la valorisation des déchets ménagers en compost.

1.6- Limites

Le Manque de moyens à ma disposition ne m'a pas permis de déterminer plus de paramètres physico-chimiques et de prendre plus de quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc en considération. En revanche, d'autres études pourraient être menées autour de cette thématique dans les autres quartiers, au niveau du centre-ville, afin de déterminer plus de paramètres chimiques et microbiologiques dans leurs composts.

CHAPITRE II - REVUE DE LITTÉRATURE

2.1- Définitions

2.1.1- Déchets

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet. Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes :

- « Est considéré comme déchet, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ».
- Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être putrescibles ou non putrescibles.
- Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses (PNUD, 2009 cité par RAHMANI et TAYEBI, 2016).

2.1.2- Déchets solides

Les déchets solides sont surtout des déchets domestiques. En plus des déchets domestiques, on trouve aussi les déchets provenant d'activités industrielles, déchets de commerces, de l'artisanat, déchets de bureaux, des marchés, des casernes, des hôpitaux, des écoles, des hôtels, les résidus de jardinage ou agricoles, de l'établissement, détritiques, ordures ménagères, des carcasses de véhicules automobiles, des déchets biomédicaux, des fumiers, des boues et des matières dangereuses, gravats, plâtras et autres rebuts solides. Alors les déchets solides peuvent être classifiés dans différents types selon leurs sources (LOUAI, 2009).

2.2- Cadre réglementaire de la gestion des déchets

2.2.1- Lois régissant la gestion des déchets

Selon l'article 1er de la loi française n° 75-633 du 15 juillet 1975, un déchet est défini comme « tout reliquat de production, de transformation, d'utilisation ou de tout bien meuble abandonné ou que son détenteur a l'intention d'abandonner ».

En se référant aux conventions de Bâle (adoptées le 22 mars 1989) et de Bamako (adoptées le 30 janvier 1991), on entend par déchets des substances ou objets qu'on élimine, qu'on a l'intention d'éliminer ou qu'on est tenu d'éliminer en vertu des dispositions du droit national (HILAIRE, 2016). En ce qui concerne Haïti, le décret du 3 mars 1981, créant la loi-cadre régissant la gestion et l'élimination des déchets considère comme déchets : « Toute substance, quels que soient son état physique, tout matériau, tout résidu d'activités économique qu'elle soit et de manière générale toute chose, ou bien meuble abandonné ou rejeté dans le milieu. » (Décret du 3 mars 1981, créant une loi-cadre régissant la gestion et l'élimination des déchets et prévoyant en même temps les sanctions appropriées, 1981). Pour arriver à une gestion de ces déchets, des institutions étatiques ont été mises en place telle que les voiries des municipalités, un conseil national de gestions, etc. Ainsi, la loi portant à la création, organisation et le fonctionnement du service national de gestion des résidus solides (SNGRS) du 21 septembre 2017 remplace les précédentes lois haïtiennes en matière de gestion de déchets (CORPS LÉGISLATIF DE LA RÉPUBLIQUE D'HAÏTI, 2017 cité par LUXONE et DONALD, 2019).

2.2.2- Cadre directif de la gestion des déchets ménagers en Haïti

En Haïti, la gestion des déchets solides ménagers est confrontée à des problèmes d'ordres matériels, institutionnels et juridiques. Leur gestion durable dans l'environnement n'est pas perçue comme une nécessité par majorité de la population. Dans la plupart des cas, les déchets sont jetés directement dans l'environnement sans aucun tri. Toutefois, il y a de petites entreprises qui tentent de valoriser diverses catégories de déchets, mais leurs actions sont limitées par manque de financement (PNUD, 2022). Le plan gouvernemental relatif à la gestion des déchets, la loi du 21 septembre 2017 créant le Service National de Gestion des Résidus Solides (SNGRS), a remplacé le décret du 03 mars 1981 et constitue un pilier du cadre réglementaire et institutionnel du système de gestion des déchets solides en Haïti. Le SNGRS, sous la tutelle du Ministère de l'Environnement (MDE) travaille de manière à mettre en application les différentes modes de gestion des déchets solides en fonction de sa capacité. D'après l'article 5, le SNGRS a ses prérogatives suivantes.

- Acquérir tous biens mobiliers et immobiliers en vue de collecter des déchets solides, médicaux et à haute toxicité et d'assainir les espaces publics ;
- Sous-traiter avec les entreprises œuvrant dans le domaine ;
- Demander à la Direction Générale des Impôts (DGI) de mettre à sa disposition des espaces pour la collecte et la transformation des déchets solides, médicaux et à haute toxicité (LE MONITEUR, 2017 cité par AMETEL, 2022).

2.3- Classification des déchets

Les déchets peuvent être classés selon leur source : déchets de productions industrielles, déchets municipaux, déchets agricoles (KOLLER, 2004).

2.3.1- Déchets municipaux

Les déchets municipaux sont les déchets collectés par les communes ou pour leur compte. Ils comprennent les déchets produits par les ménages (c'est-à-dire par l'activité domestique des particuliers), ainsi que les déchets assimilés provenant des petits commerces, des bureaux, des établissements tels que les écoles et les administrations et des petites entreprises dont les déchets sont traités ou éliminés dans les mêmes installations (OCDE, 2015). Les déchets municipaux sont, outre les déchets ménagers, les déchets produits par les services municipaux :

- Les déchets de nettoyage (déchets de nettoyage des voiries et des marchés,...) ;
- Les déchets d'entretien des espaces verts (tontes de pelouse, résidus d'égavage, tailles de haies,...) ;
- Les déchets de l'assainissement collectif (boues, graisses, déchets de dégrillage, matières de curage,...).

Caractérisation des déchets ménagers

La caractérisation des déchets qui consiste à déterminer la composition d'un gisement de déchets donné s'est faite à la première évaluation quantitative de la production. Une telle campagne permet :

- De connaître la composition exacte des ordures ménagères produites par les habitants d'une aire géographique donnée ;

- De déterminer la proportion de matières recyclables faisant l'objet de collectes sélectives ;
 - De déterminer les variations dans la composition du gisement notamment en fonction du type d'habitat ou de la saison (il faut réaliser une campagne de caractérisation par saison.) ;
 - D'évaluer la part de déchets industriels banals avec les ordures ménagères. (ADEME, 1999).

2.3.2- Déchets Industriels

Ce sont les déchets qui ne peuvent être ni admis en décharge ni ramassés avec les ordures ménagères (OM) en raison de leur quantité ou de leur toxicité. Les DI se différencient des déchets des ménages par la variation plus rapide de leur composition et des quantités produites et par la grande variation de leur caractère toxique en fonction du type d'activité (KOLLER, 2004 cité par RAHMANI et TAYEBI, 2016).

✚ Les déchets industriels banals (DIB)

Il s'agit des déchets non dangereux issus des activités économiques (industrie, commerce, artisanat, agriculture...). Leur composition est semblable à celle des ordures ménagères (on les appelle aussi "déchets assimilables aux ordures ménagères"), mais leur proportion diffère. Il s'agit du papier et carton, plastique, bois, verre, textile, caoutchouc, des métaux,... (APPRIL, 2006).

✚ Les déchets industriels spéciaux (DIS)

Il s'agit de déchets solides de nature assez contaminée et il est peu probable qu'ils se transforment en particules contenant (comburant, irritantes, nocives, toxiques, infectieuses) pouvant représenter un risque pour la santé de l'homme ou pour l'environnement comme le risque d'incendie ou d'explosion. Cette particularité oblige leur collecte et stockage (choix des matériaux approprié) dans des endroits autres que ceux des déchets municipaux. Leur élimination doit être effectuée par leur producteur et de manière à avoir un moindre impact sur l'environnement en raison de leur dangerosité. Elle concerne notamment les organisations des déchets (hydrocarbures, etc.), les déchets Minéraux solides (réfrigérant cyanurés, etc.) (LOUAI, 2009).

2.3.2- Déchets agricoles

Selon MOLETA, les déchets agricoles sont des déchets produits par le secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire (MOLETA, 2009) ; les activités agricoles génèrent principalement cinq (5) types de déchets (DAMIEN, 2004) :

- Les sacs ou bidons vides d'engrais, d'herbicides, de pesticides ; les produits phytosanitaires non utilisables correspondant au stock de produits périmés ;
- Les résidus liés aux activités d'élevage ;
- Les films agricoles ;
- Les déchets verts (pailles, pelouses,...).

2.3.2.1- Déchets organiques

Les déchets organiques sont produits par tous les êtres vivants : animaux et végétaux morts, excréments. Dans le cycle naturel, ils sont consommés dans une chaîne alimentaire, et finalement dégradés puis transformés en humus stocké dans le sol (ADEME cité par BEHADADA, 2022).

Les déchets organiques, autrement appelés fermentescibles ou biodéchets, ont la caractéristique d'être entièrement biodégradables :

- D'origine animale ou végétale,
- Déchets alimentaires,
- Déchets verts.

2.3.2.2- Déchets verts

Un déchet vert désigne un déchet végétal résultant de l'entretien et du renouvellement des espaces verts publics et privés (parcs et jardins, terrains de sport, etc.), des collectivités territoriales, des organismes publics et parapublics, des sociétés privées et des particuliers (ADEME, 2017). Les déchets verts reprennent : les déchets de tonte, les feuilles, les branches d'arbres, les tailles d'arbustes, les fleurs fanées,... Tous ces déchets sont en fait des éléments qui peuvent, d'une façon d'une autre, servir à un entretien écologique de vos espaces verts. (GD, 2017).

2.4- Production des déchets ménagers dans les pays en développement (PED)

Généralement, dans les pays en voie de développement (PED), la production de déchets solides ménagers constitue véritablement une problématique publique. Celle-ci est une conséquence d'un manque des moyens de gestion et de valorisation. Dans certains pays en voie de développement, la production des déchets est plus élevée généralement dans des villes très plus importantes (tableau 1.). Par exemple, en Haïti, la production journalière par habitant est plus élevée dans les trois plus grandes villes respectives : Port-au-Prince (0,58 - 0,67kg/habitant/jour) ; Cayes (0,52kg/habitant/jour) et Cap-Haïtien (0,21kg/habitant/jour). De ce fait, Charnay (2005) a affirmé que pour mieux aborder les problèmes de la gestion des déchets solides, il est important de faire une projection de leur production dans le temps et en fonction de la démographie à travers les différentes grandes villes pour entreprendre des pistes de valorisations comme le compostage ou la récupération des matériaux recyclables (AMETEL, 2022).

Tableau 1: Production journalière des déchets ménagers (DM) par habitant dans les PED

| Pays | Villes | Ratio (Kg/hab./jr) | Références |
|--------------|----------------|-----------------------|------------------------|
| Nigeria | Oyo | 0,13 | Afon & Okewole, 2007 |
| Haïti | Cap-Haïtien | 0,21 | Philippe, 2010 |
| Bengladesh | Chittagongyo | 0,25 | Sujauddin et al., 2008 |
| Cambodge | Siem Reap | 0,34 | Parizeau et al., 2006 |
| Haïti | Les Cayes | 0,52 | Julien, 2007 |
| Haïti | Port-au-Prince | 0,58 - 0,67 | CEFREPADE, 2015 |
| Congo | Kinshasa | 0,50 | Nzuzi, 2008 |
| Nigeria | Abuja | 0,58 | Imam et al., 2008 |
| Cameroun | Yaoundé | 0,5 - 0,85 | Ngnikam et al., 2017 |
| Benin | Bembéréké | 1,90 | Ngahane et al., 2015 |
| Burundi | Kinama | 0,70 | Ngahane et al., 2015 |
| Burkina Faso | Ouagadougou | 0,54 - 0,85 | Tezanou, 2002 |
| RDC | Gombe | 1,80 | Ngahane et al., 2015 |
| RDC | Kimbanseke | 1,90 | Ngahane et al., 2015 |
| Zimbabwe | Harare | 0,60 - 0,70 | Achankeng, 2003 |
| Cameroun | Bafoussam | 0,37 | Ngnikam, 2000 |

Source: (Charnay, 2005 cité par CEFREPADE, 2015)

2.5- Composition des déchets ménagers dans les pays en développement

Les déchets ménagers sont des résidus collectés dans le cadre du service d'élimination de déchets avec des caractéristiques très variables et hétérogènes au sein des ménages. En effet, la composition des déchets ménagers est fonction des régions de production, de la culture, des emballages, des habitudes de consommation de la population, du niveau de revenu des habitants, du type de climat, du type de collecte et d'agglomération (AINA, 2006 cité par LIEGUI, 2019). Ainsi, les déchets ménagers recyclables ou non recyclables sont triés par matière, puis retournés dans leur filière de production initiale ou utilisés dans les applications qui les génèrent selon le type de déchets (STÉPHANIE, 2009). Des études ont montré que la composition des déchets ménagers (DM) est très variable en fonction des pays (tableau 2.). Par exemple, le Cameroun (76,00 % - 85,00 %) et le Maroc (65,00 % - 70,00 %) ont respectivement les taux de déchets fermentescibles les plus élevés dans la composition des DSM (HAFID et al., 2002 cité par NGNIKAM et al., 2017). La composition des déchets est liée aux habitudes de consommation des ménages.

Tableau 2 : Composition des déchets ménagers (DM) dans certains PED (en %)

| Pays | Déchets | | | Papiers | |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| | fermentescibles | Verres | Plastiques | /Cartons | Métaux |
| Bénin | 40,00 - 45,00 | 1,00 - 3,00 | 2,00 - 11,00 | 5,00 - 10,00 | 2,00 |
| Burkina Faso | 39,00 | 3,00 | 10,00 | 9,00 | 4,00 |
| Cameroun | 76,00 - 85,00 | 0,60 - 1,70 | 2,50 - 9,40 | 3,50 - 4,00 | 0,80 - 0,90 |
| Égypte | 60,00 | 2,50 | 1,50 | 13,00 | 3,00 |
| Guinée | 69,00 | 0,30 | 22,80 | 4,10 | 1,40 |
| Île Maurice | 68,00 | 1,00 | 13,00 | 12,00 | 1,00 |
| Inde | 38,00 | 1,00 | 6,03 | 5,57 | 0,23 |
| Liban | 62,40 | 5,60 | 11,00 | 11,30 | 2,90 |

| | | | | | |
|------------|---------------|-------------|-------------|------------------|-------------|
| Maroc | 65,00 -70,00 | 0,50 - 1,00 | 2,00 -3,00 | 18,00 - 20,00 | 5,60 |
| Mauritanie | 4,40 | 3,80 | 20,00 | 3,60 | 4,20 |
| Mexique | 45,00 | 8,00 | 8,00 | 22,00 | 4,00 |
| RD Congo | 67,30 - 68,40 | - | 1,50 - 3,94 | 1,50 - 1,84 | 1,05 - 1,31 |

Source: (CHARNAY, 2005; IEPF, 2005; LIEGUI, 2019; AMETEL, 2022)

2.6- Caractéristiques des déchets

NIGNIKAM, 1992 cité par SOTAMENOU, 2005, ont caractérisés les composts par quatre (4) paramètres essentiels : la densité, le taux d'humidité, le pouvoir calorifique, le rapport des teneurs en carbone et azote (C/N).

2.6.1- Densité

La connaissance de la densité est d'une grande importance pour le choix des moyens de collecte et de stockage. Toutefois, comme les déchets, sont compressibles, la densité n'a un sens que si on définit les conditions dans lesquelles on la détermine. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc. La densité en poubelle est mesurée en remplissant les ordures fraîches dans un récipient de capacité connue sans tassement.

Proportion de matière organique qui oscille entre 60 % et 85 % (ANONYME, 2014).

2.6.2- Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique d'un déchet est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en millithermie par kilogramme d'ordures (mth/Kg), (BELAIB, 2012).

Le PC ne tient pas compte de la chaleur de vaporisation de l'eau pendant la combustion. Sa détermination permet d'envisager la possibilité d'une éventuelle incinération des déchets solides. Les déchets peuvent être incinérés lorsqu'ils ont un PC supérieur à 1200 kcal/kg (NGNIKAM et al., 2002).

2.6.3- Rapport Carbone et Azote

Les bactéries utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. Le procédé de compostage entraîne une décomposition de la matière organique, donc une consommation du carbone et de l'azote correspondant à la diminution du rapport carbone sur azote (C/N). En outre, ce rapport exprime la proportion entre le carbone et l'azote biodisponible (KOLEDZI, 2011). Pour les ordures ménagères hétérogènes, ce rapport se situe entre 25 et 45 alors que le rapport C/N minimum des déchets verts est proche de 30 (BERNAL et al., 1998 cité par HILAIRE, 2016).

Tableau 3 : Rapport C/N et humidité recommandée pour le compostage des déchets.

| Rapport C/N | Humidité (%) | Référence |
|-------------|--------------|--------------------------------|
| 20-35 | 50-65 | Mohee (2005) |
| 20-30 | - | Mbulingwe et al., (2004) |
| 20-25 | - | Hoornweg et al., (2005) |
| 15-20 | - | Iyengar Srinath et al., (2005) |
| <30 | 40-50 | MBT (2003) |

2.7- Principes de gestion des déchets

Selon Oxfam Québec 2007, il existe plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. Dans les pays développés et dans certains en voie de développement, la gestion des déchets est basée sur une hiérarchie à trois niveaux :

2.7.1- Réduction

Il s'agit d'une réduction de la quantité de déchets ou revalorisation des déchets à l'endroit même où ils sont générés.

2.7.2- Valorisation

Mode d'exploitation des déchets qui vise à les transformer afin de les réintroduire dans le circuit économique. On distingue deux types de valorisation : la valorisation Matière et la valorisation Énergétique (ADEGNIKA, 2002).

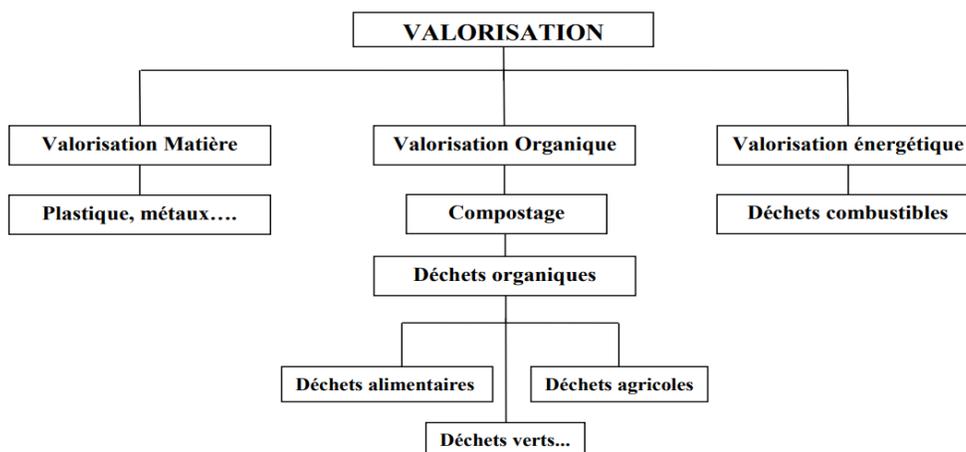


Figure 1 : Valorisation des déchets (ADEGNIKA, 2002)

2.7.2.1- Valorisation Matière

La valorisation matière englobe : le réemploi, la réutilisation, le recyclage, la régénération des déchets et la valorisation organique (ANONYME, 2003).

a) Réemploi

Le réemploi constitue un traitement par lequel un produit de consommation est de valoriser par la donation d'une nouvelle vie. Lors du réemploi, les déchets valorisés sont utilisés sans une transformation ou ils subissent de faible transformation (LUXONE et DONALD, 2019). Nouvel emploi en l'état d'un déchet ou d'un produit pour un usage analogue à celui de son premier emploi (exemple : emballages consignés (palettes, bidons)) ;

b) Réutilisation

Nouvelle utilisation d'un déchet pour un usage différent de son premier emploi (exemples : pneumatiques utilisés pour protéger les coques des bateaux ou en agriculture pour le maintien des bâches d'ensilage).

c) Recyclage

Le recyclage est une technique industrielle de traitement des déchets qui permet de reproduire les déchets aux autres produits équivalents ou différents. Il conduit à la préservation des ressources naturelles en réutilisant des matières premières qui ont subi une extraction préalable. Parmi les matériaux recyclables, on cite les métaux, le plastique, le carton, le verre, les gravats. (BEHADADA, 2022).



Figure 2 : Cycle du Recyclage (BEHADADA, 2022)

d) Régénération

C'est un procédé, en général physique ou chimique, ayant pour but de redonner à un déchet les caractéristiques qui permettent de le réutiliser comme matière première. Exemple : distillation de solvants souillés, filtration et traitement chimique des huiles de vidange.

2.7.2.2- Valorisation Organique

Un procédé mettant en œuvre des fermentations grâce à l'action d'organismes vivants. On distingue deux modes de valorisation organique : la bio méthanisation et le compostage.

- **Bio-méthanisation** : Traitement biologique par voie anaérobie de matières fermentescibles produisant du biogaz et un digeste.
- **Compostage** : Procédé de traitement biologique aérobie de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées. Le compostage permet d'obtenir un amendement

organique relativement riche en composés humiques, le compost (BALDASANO, 2004).

2.7.2.3-Valorisation Énergétique

a) Incinération

L'incinération est une combustion ou un traitement thermique des déchets solides à travers des oxydations chimiques en excès d'air (BENSMAIL et AINOUCHE, 2010). C'est une technique de transformation par l'action du feu. La composition et le pouvoir calorifique des déchets sont les facteurs les plus importants affectant l'efficacité d'un incinérateur (CICR, 2011 cité par LUXONE et DONALD, 2019).

b) Enfouissement (CET)

Les CET se définissent comme un site d'élimination des déchets par dépôt des déchets sur ou dans la terre (sous-sol) (ENCARTA, 2009). Egalement appelée décharge contrôlée qui est un site de qualités géologiques convenables où les déchets sont disposés en couches minces, recouvertes de terres ou compactées par des engins spéciaux pour réaliser les travaux. Cette meilleure utilisation de terrain peut cependant entraîner la production de gaz et d'un liquide, la lixiviation qu'il faut traiter selon des techniques aujourd'hui bien maîtrisées (KOLLER, 2004). Aujourd'hui, les CET restent une nécessité, ne devrait être réservés qu'aux seuls déchets ultimes et ne doivent donc contenir que des matériaux chimiquement stables (BALET, 2005). Selon FAURIE et al., (2006), on distingue 3 types de décharges ou de Centres d'Enfouissement Technique (CET):

- Les CET de classe 1 ou centres de stockage pour résidus ultimes sont capables d'accueillir les déchets les plus toxiques tels que mâchefers, poussières d'épuration des usines d'incinération, déchets industriels spéciaux.
- Les CET de classe 2, un peu moins étanches que les précédents, sont habilités à recevoir les ordures ménagères et assimilés.
- Les CET de classe 3 ne peuvent accueillir que les déchets, gravats et mâchefers non toxiques (BADI et BENNANNA, 2023).

2.8- Généralités sur les processus du compostage

2.8.1- Processus du compostage

Selon la FAO, le compostage est un processus naturel de dégradation ou de décomposition de la matière organique en compost par les micro-organismes, en présence de l'oxygène ou non avec des conditions particulières. Autrement dit le compostage est la décomposition des déchets pour former un produit appelé « compost » qui peut être utilisé comme amendement dans la fertilisation des champs. Le compost à base de déchets ménagers urbains est un mélange des déchets solides ayant subi au cours de sa fabrication un réchauffement naturel de la masse, à une montée de température, suivi de certaines opérations mécaniques comme le triage, le broyage, la dilatation, le tamisage, etc. (FAO, 2005).



Figure 3 : Cycle du compostage (SIDEKOM, 2024)

Cependant, le temps de compostage est variable car il dépend de multiples paramètres biotiques et abiotiques, dont certains ne peuvent pas être entièrement contrôlés. Pour un programme de compostage similaire, le temps de compostage varie selon le climat. Dans le cas du compostage conventionnel, certains auteurs ont constaté que la durée totale varie de 90 jours (MITCHEL, 1996) à 180 jours (SIERRA et al., 2013) en milieu tropical, alors qu'en milieu tempéré, la durée du compostage dépasse 300 jours pour des expérimentations menées au Danemark tout comme en Espagne (EILAND et al., 2001 cité par AMETEL, 2022).

2.8.2- Description du processus de compostage

Le compostage est un processus biologique réalisé dans des conditions aérobies avec une humidité et une température suffisante pour transformer, de manière hygiénique, les déchets organiques en compost. Il est divisé en quatre phases :

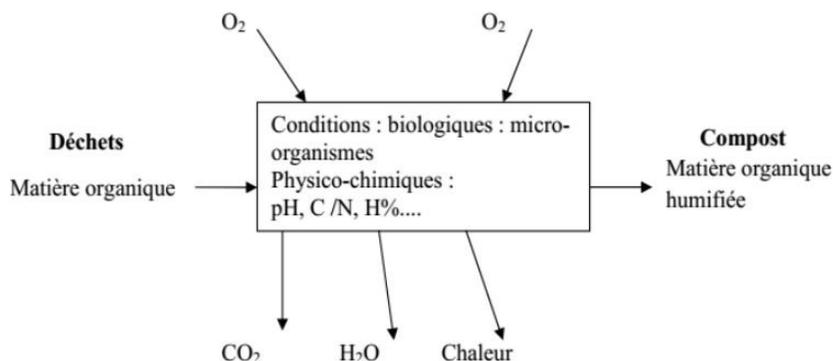


Figure 4 : Processus de compostage (BADI et ENNANNA, 2023).

2.8.2.1- Phase de la mésophile

Au cours de cette étape, les bactéries du compost combinent le carbone avec l'oxygène pour produire du dioxyde de carbone et de l'énergie. Une partie de l'énergie est utilisée par les micro-organismes et le reste est libéré sous forme de chaleur. Lorsqu'un tas de déchets organiques commence à se décomposer, les bactéries mésophiles se multiplient, élevant la température du compost à $45^{\circ}C$ (DEBRIL, 2005). Les constituants des déchets biodégradables se décomposent facilement par rapport à ceux les plus résistants provoquant la pourriture de leur cellulose (GRAVES et HATTEMER, 2000).

2.8.2.2- Phase des thermophiles

Les bactéries thermophiles prennent en charge la plage de transition de $44^{\circ}C$ à $52^{\circ}C$. C'est le début de la deuxième étape du processus. Les températures peuvent atteindre environ $70^{\circ}C$ à $80^{\circ}C$ lorsque les micro-organismes thermophiles sont très actifs et génèrent beaucoup de chaleur (MULAJI et CRISPIN, 2011). Cette phase d'échauffement est rapide et peut ne durer que quelques jours, semaines ou mois. Ils ont tendance à rester dans la partie supérieure du bac à compost domestique ou de la matière fraîche est ajoutée, tandis que dans le compostage en vrac toute la masse de compost peut devenir thermophile en même temps (FAVERIAL, 2016).

2.8.2.3- Phase de refroidissement

Au cours de cette étape, les microbes chassés par les thermophiles migrent à nouveau dans le compost et recommencent à digérer la matière organique plus résistante. Les champignons et les organismes plus gros tels que les vers de terre et les cloportes qui décomposent les éléments plus grossiers en humus retournent également dans le compost. Il s'agit d'une période de ralentissement de l'activité et de baisse progressive des températures pour prendre la température du milieu ambiant (MINDELE, 2016).

2.8.2.4- Phase de maturité

C'est l'étape la plus longue et la plus importante. Elle commence par une température ambiante inférieure à 30°C, correspondant à la transformation du carbone en dioxyde de carbone et en humus, suivie de la transformation de l'azote en nitrate par les micro-organismes (CEFREPARE, 2012). Par ailleurs, les bactéries cèdent largement la place aux champignons, qui stabilisent la matière organique sous forme de composés humiques (ADEME, 2015 cité par AMETEL, 2022).

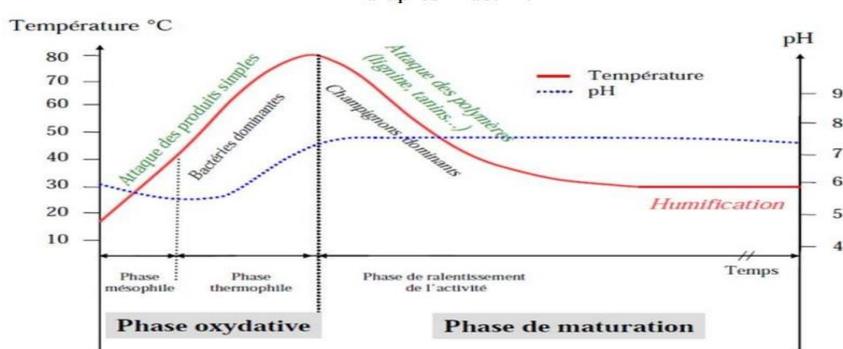


Figure 5 : Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage d'après Mustin [Source: (ADEME.2008b cité par ALA, 2022)]

Selon HANAFI ET BENAOUA (2019), trois caractéristiques nous permettent d'évaluer la maturité d'un compost :

- **La couleur** : Un compost mûr à une couleur brune ou noire, selon les matières organiques utilisées pour sa fabrication. Un compost brun clair ou verdâtre devra être laissé encore quelques temps tranquille avant de l'utiliser.

- **L'odeur** : Un compost mûr doit sentir l'humus forestier. Si l'odeur reconnus est de chou, de pomme de terre ou d'oignon, attendez encore avant de le récolter.
- **L'apparence** : S'il reste des bouts de feuilles dans le compost, c'est que tous n'a pas été dégradé.

2.8.3- Types de Compostage

Le compostage peut être divisé en deux catégories, selon la nature du processus de décomposition (FAO, 2005).

2.8.3.1- Compostage anaérobie

Lors du compostage anaérobie, la décomposition se produit quand l'oxygène (O) est absent ou présent en quantité limitée. Dans ce processus, les microorganismes anaérobies dominant et élaborent des composés intermédiaires comme du méthane, des acides organiques, du sulfure d'hydrogène et d'autres substances. En l'absence d'oxygène, ces composés s'accumulent et ne sont pas métabolisés. Un grand nombre de ces composés ont des odeurs fortes et certains d'entre eux présentent une phytotoxicité¹. Comme le compostage anaérobie est un processus s'effectuant à basse température, les graines d'adventices et les pathogènes ne sont pas affectés. De plus, le processus nécessite souvent plus de temps que le compostage aérobie. Ces inconvénients contrebalancent les avantages de ce processus, à savoir le peu de travail nécessaire et la perte limitée d'éléments nutritifs au cours du processus (FAO, 2005).

2.8.3.2- Compostage aérobie

Le compostage aérobie a lieu en présence d'une grande quantité d'oxygène. Au cours de ce processus, les micro-organismes aérobies décomposent la matière organique et produisent du gaz carbonique (CO₂), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et del'humus, qui est le produit organique final relativement stable. Bien que le compostage aérobie puisse produire des composés organiques intermédiaires comme certains acides organiques, ceux-ci sont ensuite décomposés par des micro-organismes aérobies. Le compost ainsi obtenu, qui a une forme relativement instable de matière organique, ne comporte que très peu de risque de phytotoxicité. La chaleur générée accélère la

¹ Phytotoxicité: Propriété d'une substance ou d'une préparation qui provoque chez une plante des altérations passagères ou durables, (Memento de l'Agronome).

décomposition des protéines, des graisses et des sucres complexes tels que la cellulose et l'hémicellulose et réduit la durée du processus. De plus, ce processus détruit de nombreux micro-organismes, qui sont des pathogènes pour les humains ou les plantes, ainsi que les graines d'adventices, dans la mesure où la température atteinte est suffisamment élevée. Bien que les éléments nutritifs soient perdus en quantité plus importante lors du compostage aérobic, celui-ci est considéré plus efficace et utile que le compostage anaérobic pour la production agricole (FAO, 2005).

2.8.3.3- Processus de Compostage aérobic

Le processus de compostage aérobic débute par la formation du tas. Dans de nombreux cas, la température atteint rapidement 70 à 80°C au cours des deux premiers jours. Tout d'abord, des organismes mésophiles (dont la température de croissance optimale est comprise entre 20 et 45°C) se multiplient rapidement grâce aux sucres et acides aminés facilement disponibles. Ils produisent de la chaleur par leur propre métabolisme et élèvent la température à un point tel que leurs propres activités sont inhibées. Ensuite, quelques champignons ainsi que de nombreuses bactéries thermophiles (dont la température de croissance optimale est comprise entre 50 et 70°C) poursuivent le processus, en augmentant la température du compost à 65°C, voire même plus. Cette hausse de température est cruciale pour la qualité du compost car la chaleur tue les pathogènes et les graines d'adventices (FAO, 2005).

2.8.4- Paramètres influençant le compostage

Durant le compostage, les paramètres considérables qui participent à l'aboutissement du processus sont les suivants :

2.8.4.1- Température

L'activité optimale des micro-organismes qui permettent la décomposition des déchets correspond à une plage de température bien définie. À différentes températures, plusieurs types de micro-organismes sont impliqués dans ce processus (MUSTIN, 1987). De plus, la surveillance de la température est une mesure indirecte pour contrôler le niveau de biodégradation de la matière organique alors que le processus n'est pas terminé. Ainsi, pour créer une hygiène dans le compostage (CHARNAY, 2005), le

retournement permet une aération des déchets avec une baisse de température de 55°C pendant 5 jours.

2.8.4.2- Aération

L'apport d'air est essentiel pour maintenir l'environnement aérobie nécessaire à la décomposition rapide et inodore de la matière organique. La quantité minimale d'oxygène requise dans le compost en décomposition est de 5 à 10 %, éventuellement avec des moyens d'aération et d'homogénéisation utilisés tels que le retournement manuel ou mécanique (BROMET et SOMAROO, 2015).

2.8.4.3- Potentiel d'Hydrogène (pH)

Au cours du processus de compostage, le pH change en fonction de chaque étape en question. Elle commence par une phase acide, une phase de chauffage (pH inférieur à 7), puis passe à une phase alcaline (pH supérieur à 7), au cours de laquelle les bactéries pathogènes sont détruites. Enfin, il se rapproche de la neutralité (pH égal à 7) durant la toute dernière phase qui est la maturation (ZNAÏDI, 2002).

2.8.4.4- Humidité

La teneur en eau ou l'humidité des déchets compostés est essentielle à l'activité des microorganismes. L'humidité optimale pour la dégradation se situe généralement entre 50 et 60 % (FILEMON, 2008). La température et l'humidité étant des paramètres interdépendants, il est nécessaire de contrôler l'humidité et d'arroser régulièrement le compost décomposé après chaque tour (CHARNAY, 2005).

2.8.4.5- Granulométrie

La taille moyenne des différents composants dans les déchets détermine, en grande partie, le taux de biodégradation, qui est étroitement lié à la durée du processus. Cependant, si la surface de contact entre les déchets et les micro-organismes est grande, l'effet de fermentation sera meilleur, d'un part. D'autre part des tailles de particules trop fines peuvent réduire la circulation de l'air tout en provoquant une insuffisance d'oxygène (CHARNAY, 2005). Une taille de particules trop élevée pour les déchets fermentescibles peut conduire à un apport excessif d'oxygène, ce qui réduit les

élevations de température et assèche les températures croissantes du compost (KOLEDZI, 2011).

2.8.4.6- Rapport carbone/azote

Il mesure les proportions relatives en carbone et en azote, nutriments essentiels à la vie des micro-organismes. Le C/N optimal, en début de compostage, que l'on trouve dans la littérature est assez variable et se situe dans l'intervalle (20 - 30). Pour approcher cette valeur optimale, on essaie de mélanger plusieurs types de substrats ayant des C/N différents et qui sont généralement inaptes à être compostés seuls. On peut citer le gazon qui a un C/N très bas (riche en azote) ou le bois dont le C/N est élevé (beaucoup de lignine). Ce rapport décroît constamment au cours du compostage, pour se stabiliser dans un compost fini vers 10 : ceci s'explique par le fait que les micro-organismes consomment plus de carbone (principal constituant des molécules organiques) que d'azote (DEVISSCHER, 1997 cité par MELLE, 2017).

2.9- Effet du compost sur le sol et les plantes

SERRA-WETTLING (1995) et SERRA-WETTLING et al., (1997) ont révélé que l'addition de 10 % en volume de compost de fraction fermentescible d'ordures ménagères, à un sol limoneux permet de diminuer, voire de supprimer le développement de la Fusariose vasculaire du lin (causée par *Fusarium oxysporum*). Par ailleurs, des études menées par TRATCH et BETTIOL, (1997), sur des composts biologiques, ont montré que la pulvérisation d'une solution de jus de compost à 10 % de concentration inhibe la croissance mycélienne de la majorité des pathogènes testés (une dizaine dont *Rhizoctonia solanii*, *Fusarium oxysporium*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria solani*, *Septoria lycopersicii*...). En effet, la germination des spores est inhibée à des concentrations de 20 % pour *Botrytis cinerea* et 10 % pour *Alternaria solanii*. Dans le même contexte, SERRA-WETTLING et al., (1996) rapportent que d'autres exemples d'amélioration de la résistance du sol par apport de compost ont été observés. Selon ZNAIDI, (2002), l'effet bénéfique du compost est dû à l'activité biologique et/ou à une modification physique du milieu. La résistance d'origine biologique est attribuée, soit à l'ensemble des micro-organismes du sol et du compost (c'est la résistance générale), soit à la

présence de micro-organismes antagonistes des agents pathogènes (c'est la résistance spécifique).

En outre, GILLARD (2002) a observé que l'épandage de compost jeune de déchets végétaux, comme apport d'une source carbonée fraîche destinée à améliorer la vie microbiologique des sols, a permis d'atteindre de nombreux objectifs : l'amélioration du pH, la réorganisation d'azote, la séquestration du carbone, l'amélioration de la porosité (meilleure circulation de la phase gazeuse et meilleure rétention d'eau), la hausse de la capacité d'infiltration de l'eau et la présence d'un système à base de mycélium ont été obtenus (GILLARD, 2002). Ainsi, d'une part, l'apport de compost frais de déchets végétaux montre une capacité à favoriser la rétention d'eau à partir de 30 t/ha, et d'autre part, l'ajout de compost frais de déchets végétaux montre une capacité à réorganiser de l'azote dès 20 t/ha, limitant ainsi le risque de lessivage. Pour HOUOT (2009), la valeur amendante (capacité à augmenter le stock de MO du sol) augmente avec la stabilité de la MO. L'utilisation des composts en support de culture exige qu'ils soient bien stabilisés pour éviter tout risque de phytotoxicité. L'évolution de la stabilisation de la MO des composts est étroitement dépendante des déchets compostés. Le choix du compost à utiliser en amendement organique devra donc être réfléchi en fonction des objectifs recherchés avec l'utilisation de ce type de matières fertilisantes (HOUOT 2009 cité par BELAÏB, 2012).

2.10- Conditions réglementaires de l'utilisation du compost en agriculture

Les composts sont essentiellement utilisés en agriculture, mais également pour la végétalisation des sites, ou comme support de culture. Pour pouvoir être utilisés, les composts doivent faire l'objet d'une procédure d'homologation, ou répondre aux critères de spécification définis dans la norme 44-051, normes françaises définissant les amendements organiques. Cette norme est d'application obligatoire pour l'utilisation de ces produits, mais est très peu contraignante en raison notamment de l'absence de critères d'innocuité (polluants et pathogènes). Elle est en cours de révision. Les composts n'entrant pas dans le cadre de cette norme (composts de boues de station d'épuration par exemple) doivent être utilisés dans le cadre d'un plan d'épandage. L'utilisation des composts en agriculture biologique est possible lorsque le besoin est

reconnu par l'organisme de contrôle. Les composts d'effluents d'élevage (sauf l'élevage hors-sol), les composts de déchets verts et les composts de biodéchets peuvent être utilisés en agriculture biologique. Cependant, ces derniers doivent avoir des teneurs très faibles en métaux (LECLERC, 2001 cité par HANAFI et BENAOUA, 2019).

CHAPITRE III- MÉTHODOLOGIE

3.1- Présentation de la zone d'étude

3.1.1- Géographie

La ville de Saint-Marc est située sur le site d'une ancienne bourgade indienne Taino, appelée Amany-i. La ville de Saint-Marc a été fondée par les Français en 1716, durant la période coloniale. Saint-Marc est l'une des communes d'Haïti, elle est la deuxième ville du département de l'Artibonite. L'arrondissement de Saint -Marc porte son nom. Elle est bornée au Nord par la commune de Grande-Saline ; au Sud par la commune de l'Arcahaie ; à l'Est, par la commune des Verrettes ; à l'Ouest par le golfe de la Gonâve (MTPTC, 2021).

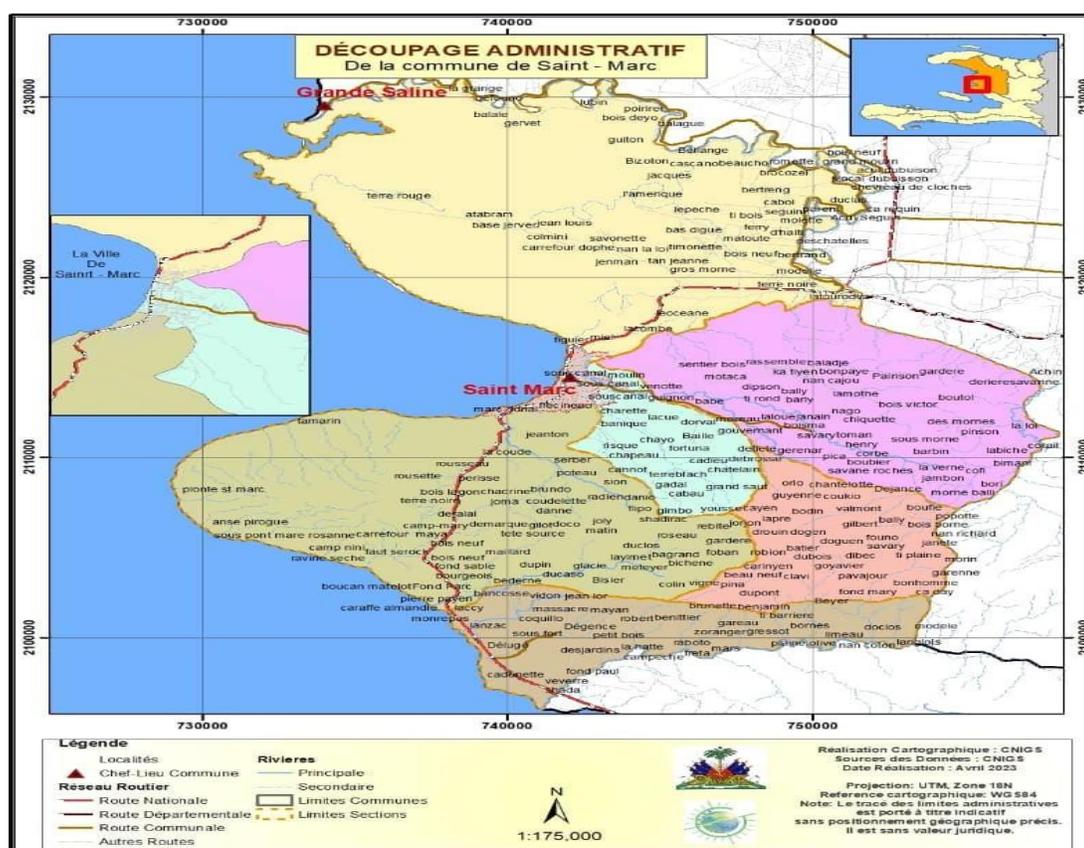


Figure 6 : Carte Administrative de la Commune de Saint-Marc

3.1.2- Démographie

La population de la commune de Saint-Marc est estimée à environ 266,642 habitants dont 40 % de cette population vit en milieu rural, cette population est composée de 129,153 hommes et de 137,489 femmes. Dans la section de Bois neuf (2^{ème} section), la population est estimée à 61,028 habitants, dont 35,088 habitants en milieu urbain et 25,940 habitants en milieu rural). La population de la 6^{ème} section Charrettes est estimée à 95,981 habitants avec 86,539 habitants en milieu urbain et 9,442 habitants en milieu rural (IHSI, 2015 ; MTPTC, 2021, LOUIS PIERRE, 2023).

3.1.3- Géologie

La commune de Saint-Marc repose sur une formation géologique datant du Quaternaire constitué de carbonates de calcium (calcaires massifs et calcaires récifaux) et quelques couches de flysh qui sont réparties à travers les différentes sections communales de la commune (LOUIS PIERRE, 2023).

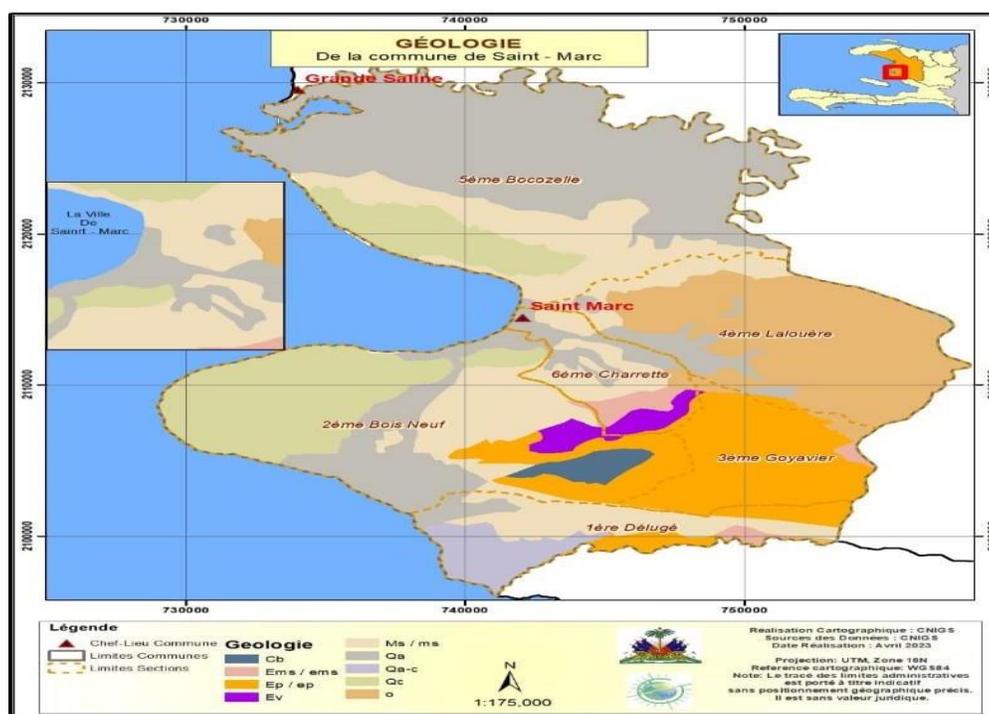


Figure 7 : Carte Géologique de la Commune de Saint-Marc

3.1.4- Hydrologie

La commune de Saint-Marc est traversée par un important réseau de cours d'eau : la grande rivière de Saint-Marc et la petite rivière de Saint-Marc, les rivières de Lanzac et abricot situées dans la première Section Délugé, la rivière de Frecyneau et le fleuve Artibonite prenant sa source en République dominicaine. Il convient de souligner que la Grande Rivière de Saint-Marc reçoit les eaux de deux affluents : la rivière veuve et la rivière Gobe (JEANTIL, G. et THERA, C. 2015).

3.1.5- Climat et précipitation

La commune de Saint-Marc se trouve dans la zone du climat tropical semi-aride. Elle est caractérisée par deux grandes variations climatiques : une saison pluvieuse s'étendant du mois d'avril à octobre (1,300 mm/an) et une période sèche de novembre à mars (220 mm/an). La pluviométrie moyenne mensuelle est de 128 mm La température moyenne annuelle de la commune se situe autour de 27 degrés Celsius.

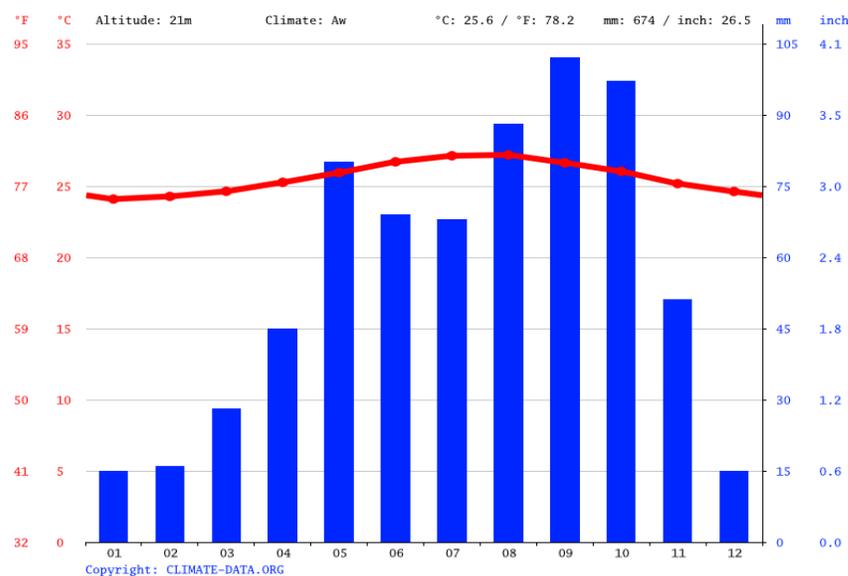


Figure 8 : Température et Pluviométrie de Saint-Marc

3.2- Gestion des déchets à Saint-Marc

La gestion des déchets regroupe la collecte, le transport, la valorisation et l'élimination des déchets et, plus largement, toute activité relative à l'organisation de leur prise en charge depuis leur production jusqu'à leur traitement final. Cependant, lors d'une interview avec l'administrateur de la Mairie de Saint-Marc en 2022, il a dit qu'en 2006, il y avait une firme d'ingénierie qui a réalisé une étude sur un échantillon de 1000 ménages dans la commune de Saint-Marc afin de recueillir des données sur la quantité des déchets produits par les ménages. Après l'étude la production des déchets par ménage est comprise entre 0,03kg/j et 0.05kg/j ce qui représentait un total de 6,3kg de déchets produits par ces ménages par mois. Cependant, la Mairie ne disposait en 2006 que trois (3) camions de capacités respectivement : 10 m³, 14 m³ et 15 m³ ce qui a donné un total de 39 m³ de déchets collectés soit 117 kg/j à raison de trois (3) voyages par jour. En 2010 deux camions de capacités respectifs 14 m³ et 15 m³ venaient s'ajouter avec les autres. Malgré ses efforts en 6 jours par semaine, la Mairie de Saint-Marc ne pouvait pas ramasser la totalité des déchets produits par la population Saint-Marcoise. En effet, moins de 50 % de déchets ont été collectés par la Municipalité en raison d'un manque de moyen financier et de matériels suffisants souligne l'Administrateur de la Mairie (LOUIS PIERRE, 2023).

De 2021-2023, le service de ramassage des déchets solides ménagers dans les quartiers à Saint-Marc se fait d'une manière informelle. Les riverains paient des personnes pour ramasser les déchets et les ramasseurs jettent les déchets soit dans des égouts, des canaux de drainages, dans les rivières soit les incinèrent (pendant la nuit) à ciel ouvert, soit les rassemblés dans des endroits non appropriés (LOUIS PIERRE, 2023).

3.3- Acteurs interviennent dans la gestion des déchets dans le centre-ville de Saint-Marc

Une multitude d'acteurs étatiques et non étatiques interviennent à des niveaux spécifiques du système de gestion des déchets solides en Haïti. Cependant, les déficits en matière de données empêchent de les décrire en profondeur sur la base de leur nombre, leur localisation, leurs objectifs, leurs principales activités, leurs capacités en ressources humaines, financières et matérielles. Parmi les acteurs publics directement concernés par

la problématique des déchets solides en Haïti, on peut retenir le ministère de l'Environnement (MDE), le Service National de Gestion des Résidus Solides (SNGRS) et les municipalités. Depuis la promulgation de la loi du 21 septembre 2017, le MDE est devenu l'institution de tutelle du SNGRS lequel s'impose du même coup en tant qu'institution incontournable du système de gestion des déchets solides en Haïti (MICKENSON et al, 2022). Cependant, à Saint-Marc, plusieurs organismes interviennent dans la gestion des déchets dans la commune de Saint-Marc. La municipalité et plusieurs organismes privés, dont JEDCO, Zanmi la santé, DOSAGE, Mister Clean et enfin DINEPA. La totalité de ces institutions interviennent dans la collecte des déchets qui jusqu'à l'heure est inefficace, mais l'ensemble des déchets collectés sont acheminés vers la décharge en bas gros morne (anba gwomòn) LOUIS PIERRE, 2023).

3.4- Matériels et Méthodes

3.4.1- Matériels utilisés lors de la caractérisation

Dans le cadre de ce travail, certains matériels ont été utilisés.

- ✚ Balance : Pour peser les déchets produits par ménage ainsi que la quantité de compost produit à partir des déchets récoltés ;
- ✚ Table de tri : Pour trier les déchets par lot ;
- ✚ Pelle : Pour faire le retournement et le déplacement des déchets ;
- ✚ Botte : Pour protéger les pieds contre les déchets.
- ✚ Tamis : Pour tamiser le compost
- ✚ Brouettes : Pour transporter les déchets triés dans le bac à composter ;
- ✚ Camionnette : Pour transporter les déchets lors de la collecte dans le centre de tri ;
- ✚ Râteau et Fourche : Pour remuer et d'aérer le compost ;
- ✚ Appareil photographique : Pour prendre des photos des déchets ;
- ✚ Poubelles : Pour collecter les déchets dans les ménages.

3.4.2- Méthode de la caractérisation des déchets ménagers

Dans le cas de notre étude, on a fait le choix de trois (3) quartiers (cité Miami, cité Verna et Bois Coton) au niveau du centre-ville de Saint-Marc parce que celui-ci sont très vulnérables en termes de la gestion des déchets solides. De plus, les déchets

ménagers collectés dans ces trois (3) quartiers ont été transportés dans un site de tri qui se trouvait dans le campus de l'Université Publique du Bas Artibonite à Saint-Marc. De ce fait, pour réaliser la caractérisation de ces déchets ménagers dans les trois (3) quartiers au niveau du centre-ville, nous avons procédé à la précollecte, la collecte, le tri et la pesée de ces déchets. En outre, nous avons utilisé les normes de l'Agence de Développement de Maîtrise et Énergie (ADEME) pour faire la caractérisation des déchets ménagers dans le centre-ville de Saint-Marc (ADEME, 1999).

3.4.2.1- Précollecte

C'est la phase qui consiste à transporter les déchets de leur lieu de production (ménages) au lieu de prise en charge par le service public. Elle est généralement réalisée par l'habitant par un apport volontaire. Chaque ménage a été muni d'un (1) contenant (sachet plastique) de différentes couleurs (blanches: cité Miami, noires : cité Verna et jaunes : Bois coton) afin qu'ils puissent stocker leurs déchets produits. Cette phase nous a permis d'évaluer (qualifier et quantifier) les déchets produits par chaque ménage au cours d'une semaine et permet aussi de différencier leurs productions lors des pesées et des tris.

3.4.2.2- Collecte des déchets

La collecte est très dépendante de la précollecte et notamment du matériel utilisé. Le coût d'acquisition de ce matériel est assez élevé, voire dissuasif dans les pays en développement. En effet, la collecte des déchets dans les ménages au niveau des trois (3) quartiers sélectionnés a duré un (1) mois, à raison d'une semaine par quartier. Cette activité a commencé le 1er octobre 2023 et a pris fin le 31 octobre 2023. Les ménages ont été recommandés de mettre tous les types des déchets produits au cours de la semaine dans les contenants (sachets plastiques). La récupération des contenants a été réalisée une fois par semaine, plus précisément tous les vendredis.

3.4.2.3- Transport des déchets

Tous les déchets collectés dans les trois (3) quartiers au niveau du centre-ville ont été transportés dans une camionnette vers le centre de tri à l'UPBAS.



Figure 9 : Transports les déchets collectés

3.4.2.4- Pesée des déchets

Cette phase consiste à peser les déchets ménagers provenant dans les trois (3) quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc. En effet, tous les contenants ont été pesés en fonction de leurs couleurs afin de mieux organiser le travail et permettre aussi d'avoir une meilleure organisation de cet espace. En outre, deux (2) balances ont été utilisées pour peser les déchets : la première balance est de la marque « BALCO » qui a permis de peser les lots supérieurs à 1 kg et une petite balance de la marque « OHAUS » qui a permis de peser les lots inférieurs à 1 kg.



Figure 10 : Pesée les déchets

3.4.2.5- Tri des déchets

Le tri, c'est l'opération qui consiste à séparer les déchets en fonction de leurs natures. Après la pesée des contenants, les déchets ménagers ont été versés sur une table de tri afin de faciliter le processus. Lors de cette étape, tous les déchets non biodégradables comme les plastiques mous, les bouteilles plastiques, les verres, les textiles, les couches, les déchets dangereux, les minérales, ont été enlevés et les déchets biodégradables ont été mis dans le bac à compostage (figure 12.).



Figure 11 : Tri des déchets ménagers

3.4.2.6- Traitement des données

Les données brutes recueillies lors de la caractérisation et de la catégorisation des déchets ménagers ont été organisées et traitées à partir d'une base de données conçue sur le logiciel Excel, elles ont été utilisées pour certains calculs et de la réalisation des tableaux, ainsi que les représentations graphiques.

3.4.3- Méthode de la réalisation du compost

Après avoir catégorisé les déchets ménagers collectés, la fraction fermentescible obtenue a été compostée. Cette fraction est composée d'éléments, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires ect. Notre présent travail s'agit d'une valorisation par compostage aérobie des déchets ménagers, en vue de la production d'un produit stable qui est le compost. Pour réaliser le compost, nous avons procédé de la manière suivante : la présentation du site, le broyage, la fermentation, la maturation, la température, l'humidité et le criblage.

3.4.3.1- Présentation du site

Le compost a été réalisé au niveau du Campus de l'Université Publique du Bas Artibonite à Saint-Marc, durant la période du 26 octobre 2023 au 6 janvier 2024.

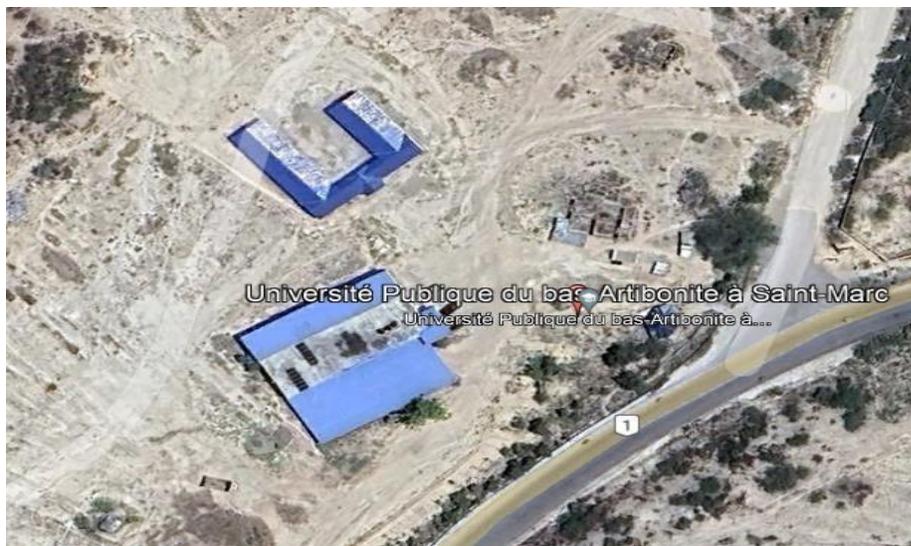


Figure 12 : Présentation du site

3.4.3.2- Broyage

Cette étape consiste à déchiqueter les grosses particules organiques trouvées afin d'homogénéiser les déchets organiques (épluchures de fruits et de légumes) directement sur une bâche en plastique. Nous avons découpé les fragments volumineux à l'aide des couteaux de cuisine. L'homogénéisation a été effectuée à l'aide de fourches à bèches et de râteaux de jardin afin de faciliter l'accélération de la dégradation des matières biodégradables.

3.4.3.3- Fermentation

La fermentation consiste à effectuer une transformation biologique des déchets en compost, sous l'action des micro-organismes présents initialement dans les déchets par contrôle de l'humidité, de la température, de l'apport d'air. Lors de la fermentation, la matière biodégradable diminue de volume pendant cette étape qui se transforme en lixiviat, cette fermentation est considérée comme la première phase du compostage.

3.4.3.4- Maturation

La maturation consiste à faire retourner le compost, les retournements ont été effectués une fois par semaine à partir de la deuxième semaine à l'aide d'une fourche à bèches et une pelle pour assurer une bonne aération du compost et d'accélérer la dégradation des matières biodégradables. Cette étape a été contrôlée régulièrement tout au long du processus du compostage suivi d'un arrosage particulier.

3.4.3.5- Température

La température a été contrôlée chaque semaine, à l'aide d'un dispositif en bois qu'on a introduit directement dans le tas du compost à 30 cm de profondeur. Après quelques minutes, on a enlevé le dispositif pour voir si la température est stable. Elle a été prise sur les différents points : au centre du tas de compost et au niveau de deux extrémités du tas de compost.

3.4.3.6- Humidité

On a procédé au test de la poignée qui consiste à savoir si le compost manque d'eau ou s'il est suffisamment humide. Pour vérifier l'humidité, on a pris une poignée de compost dans la main et on l'a pressé.

Tableau 4 : Vérification du taux d'humidité dans le compost

| Compost très humide excès | Compost à une bonne humidité | Compost sec |
|--|--|---|
| Si un filet d'eau s'en échappe, il est très mouillé. | Si quelques gouttes sortent entre les doigts et que le matériau ne se disperse pas quand vous ouvrez la main, le compost a une bonne humidité. | Si rien ne coule et que le paquet se défait, il est trop sec. |



3.4.3.7- Criblage

À la fin du stade de maturation, la matière organique décomposée a été criblée. Dans le but d'éliminer les résidus (gros morceaux non fragmentés) afin d'obtenir un compost, le compost a été passé à travers d'un tamis à mailles de 50 mm qui permet de séparer les différentes fractions.

3.4.3.8- Détermination du rendement

À la fin du processus de compostage, la quantité de compost a été pesée afin de calculer son rendement. Nous avons divisé la masse du compost obtenue par celle de matières putrescibles compostés. Enfin, le résultat obtenu a été multiplié par 100 et exprimé en pourcentage.

CHAPITRE IV- RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre présente le résultat de la caractérisation et de la catégorisation des déchets ménagers (DM), le compost aérobie réalisé au niveau de la commune de Saint-Marc en rapport à leurs compositions physiques et leurs compositions biologiques, il vise à fournir le maximum d'informations et de données nécessaires sur les déchets produits dans les ménages, ce qui permettra d'optimiser et d'organiser la valorisation par compostage des déchets issus de ces ménages.

4.1- Caractérisation physique des déchets

Selon Naïma (2013), la caractérisation physique vise à distinguer les différents matériaux présents dans les déchets. Cette donnée s'avère particulièrement intéressante dans le cadre d'une gestion globale des DM, pour l'étude des différentes filières de valorisation possibles sur un gisement de déchets. Certains auteurs ont présenté la composition des déchets suivant sept (7) catégories (BUENROSTRO et BOCCO, 2003). THOGERSEN (1999) a classé les déchets en deux (2) catégories : les fermentescibles (refus de cuisine) et les emballages. L'ADEME, en 2004, a actualisé les résultats d'une campagne de caractérisation des ordures ménagères de 1993 en identifiant treize (13) catégories.

4.1.1- Caractérisation des déchets produits dans les trois quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc

L'étude quantitative analyse la composition des déchets ménagers par catégorie. Cette phase consiste à trier les déchets collectés dans les ménages afin d'analyser leur composition par zone pour connaître la composition de chaque quartier concerné par cette étude. Les déchets collectés ont été repartis en treize (13) catégories, selon la classification de l'ADEME. Les figures 14, 15 et 16 présentent les résultats obtenus à travers les campagnes de caractérisation des déchets.

1. Quartier Cité Miami

Le tri des déchets dans le quartier cité Miami montre clairement que les principaux composants des déchets solides ménagers sont constitués en une grande proportion des matières putrescibles soit : putrescibles 67 % de la masse globale, suivi par les verres avec un taux de 6 %, les plastiques mous et textiles 5 %, les bouteilles plastiques avec 4 %, en effet, la fraction des restants des déchets dans le quartier cité Miami comme : métaux, cartons, couches, les bois est représenté par un pourcentage négligeable (Figure14.).

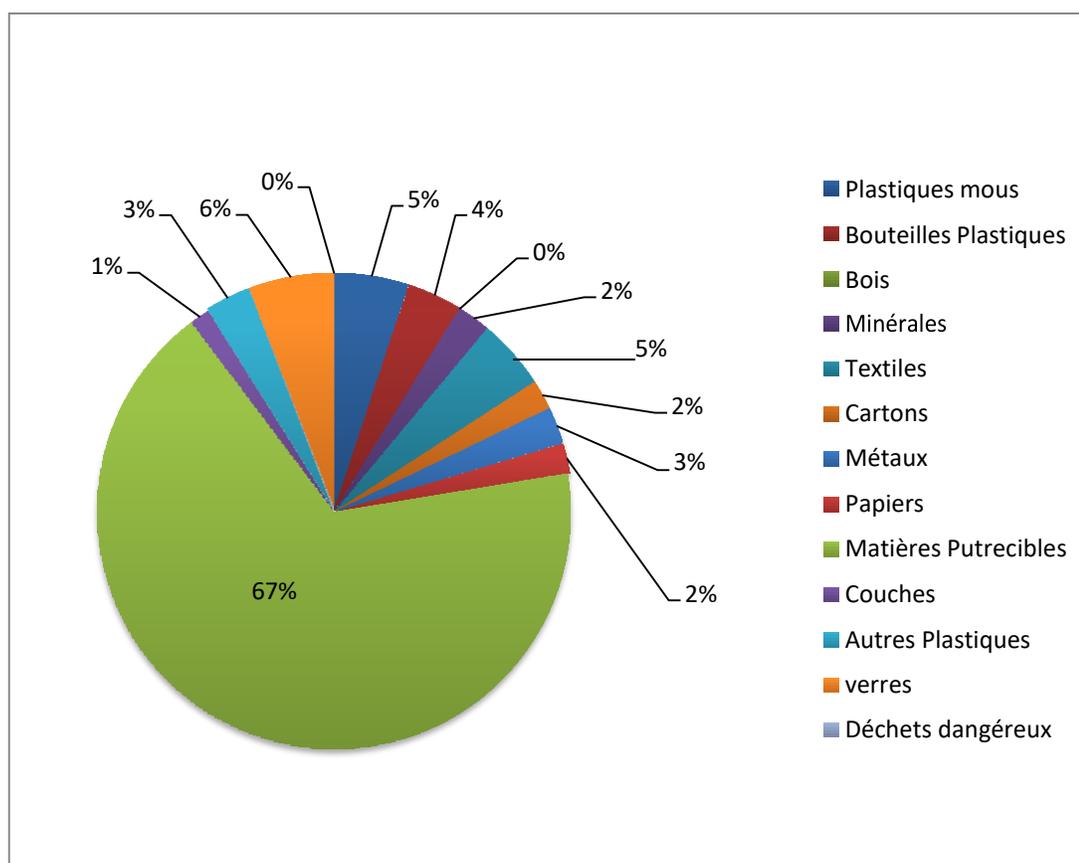


Figure 13 : Répartition des déchets ménagers par catégories à Cité Miami

2. Quartier Cité Verna

Les résultats de cette étude montrent que les déchets ménagers du quartier cité Verna sont composés de 52 % de matières putrescibles, 10 % de déchets dangereux, 6 % de bouteilles plastiques et autres plastiques, 5 % de bois et plastique mouss, 4 % de métaux, 3 % de minéral et verres, 2 % de cartons et couches et 1 % de textiles (figure 15.).

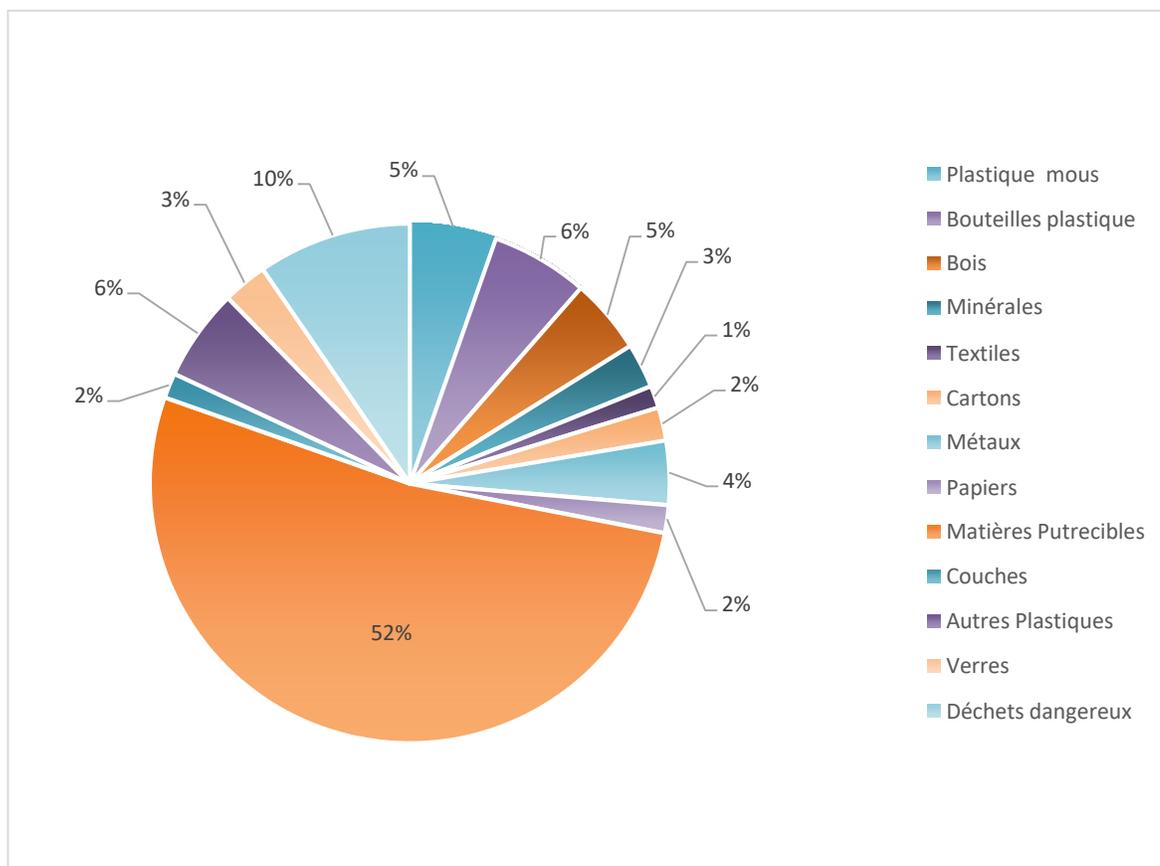


Figure 14 : Répartition des déchets ménagers par catégories cité Verna

3. Quartier Bois Coton

La composition des déchets ménagers (DM) dans le quartier Bois Coton est, par ordre décroissant, de la manière suivante : matières putrescibles, plastiques mous, bouteilles plastiques, métaux et autres plastiques avec des pourcentages respectivement de 55 %, 7%, 6 % et 5 % cependant, les minérales, cartons, bois et les couches ne dépassent pas 4 %, alors que le reste des composants est relativement faible (Figure 15).

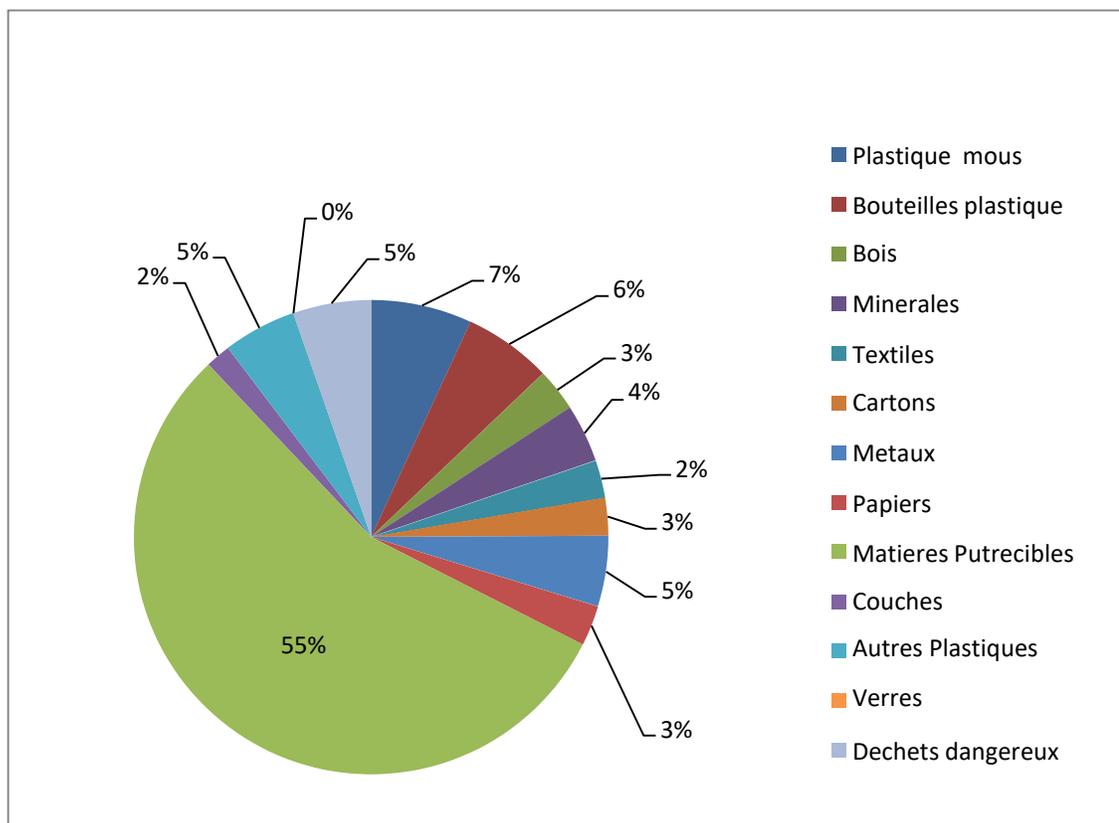


Figure 15 : Répartition des déchets ménagers par catégories à Bois Coton

En effet, à l'issue de cette étude portant sur la caractérisation des déchets ménagers réalisés dans les trois (3) quartiers du centre-ville de Saint-Marc, nous avons pu constater que les ménages produisent presque toutes les catégories des déchets. Les figures 14, 15 et 16 nous ont montré que la fraction fermentescible domine toutes les treize catégories de déchets rencontrés dans les ménages. La fraction putrescible représente plus de 50 % des déchets produits dans les zones étudiées. Cette quantité importante des déchets fermentescibles permet de mettre en place un essai de compostage en vue d'une valorisation de ces déchets.

4.1.2- Répartition des déchets suivant leur mode de traitement

Selon le mode de traitement souhaité, lors de la caractérisation des déchets ménagers au niveau de la commune de Saint-Marc, nous étions repartis les déchets triés en trois (3) grands types de traitements (les déchets qu'il faut mettre dans les décharges, ceux qu'il faut recycler et ceux qu'il faut mettre dans les CET).

1. Quartier cité Miami

Au niveau du quartier de cité Miami, les déchets recyclés représentent un pourcentage très important de 78 %, 20 % sont mis en décharges publique en basgros morne Saint-Marc, et 6 % devraient être enfouis (Figure 17.).

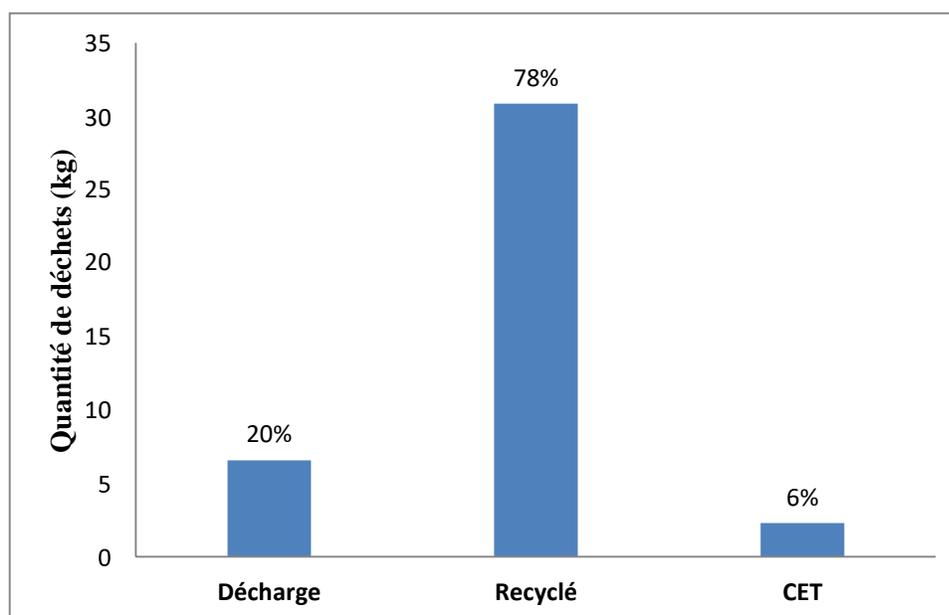


Figure 16 : Quantité de déchets ménagers produits dans le quartier Cité Miami

2. Quartier de cité Verna

D'après la figure ci-après, 66,9 % des déchets du quartier de cité Verna sont des déchets recyclables, 17,3 % sont mis en décharge et 12,7 % devraient être enfouis.

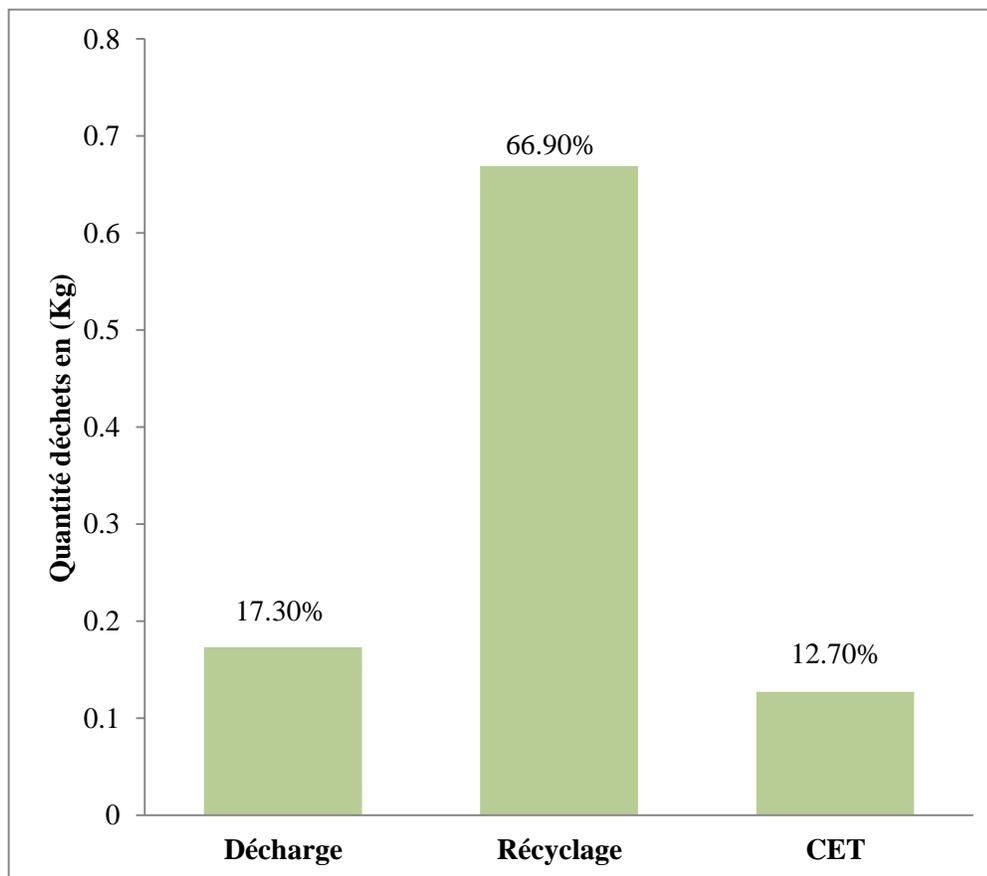


Figure 17 : Quantité de déchets produits par cité Verna

3. Quartier Bois Coton

Les résultats du quartier Bois Coton montrent que 74.50 % des déchets collectés dans le quartier Bois Coton peuvent être recyclés, 20 % sont mis en décharge et seulement 5,3 % sont destinés à l'enfouissement.

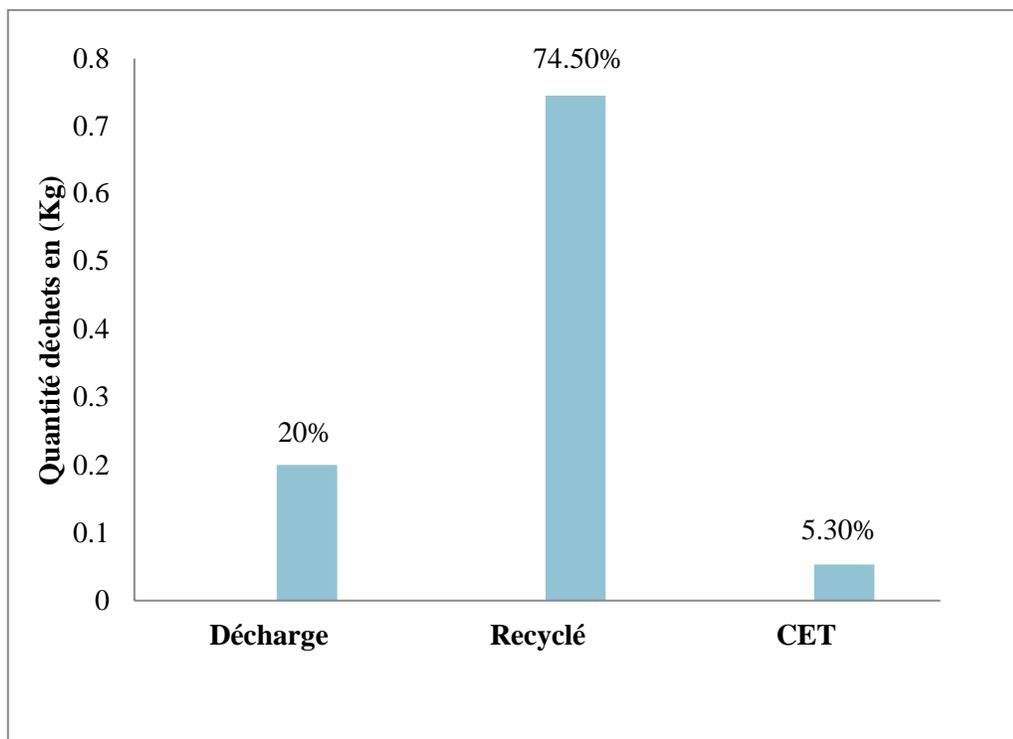


Figure 18 : Quantité de déchets ménagers produits à Bois Coton

4.1.3- Comparaison de la fraction fermentescible dans les trois quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc

Les fractions fermentescibles obtenues dans le cadre de cette étude dans les trois quartiers sont respectivement de 30 %, 34 % et 36 % pour les déchets collectés. En comparant les résultats sur la figure (20) ci-dessous, sur les quantités de déchets collectées dans les trois (3) quartiers. On peut remarquer que la fraction fermentescible est de plus faible quantité dans le quartier de cité Miami que celles des deux (2) autres quartiers. À Bois Coton, la proportion de matières putrescibles est plus élevée de 36 %.

Donc, en moyenne, la quantité de matières putrescibles pour les trois (3) quartiers est de 33,33 %.

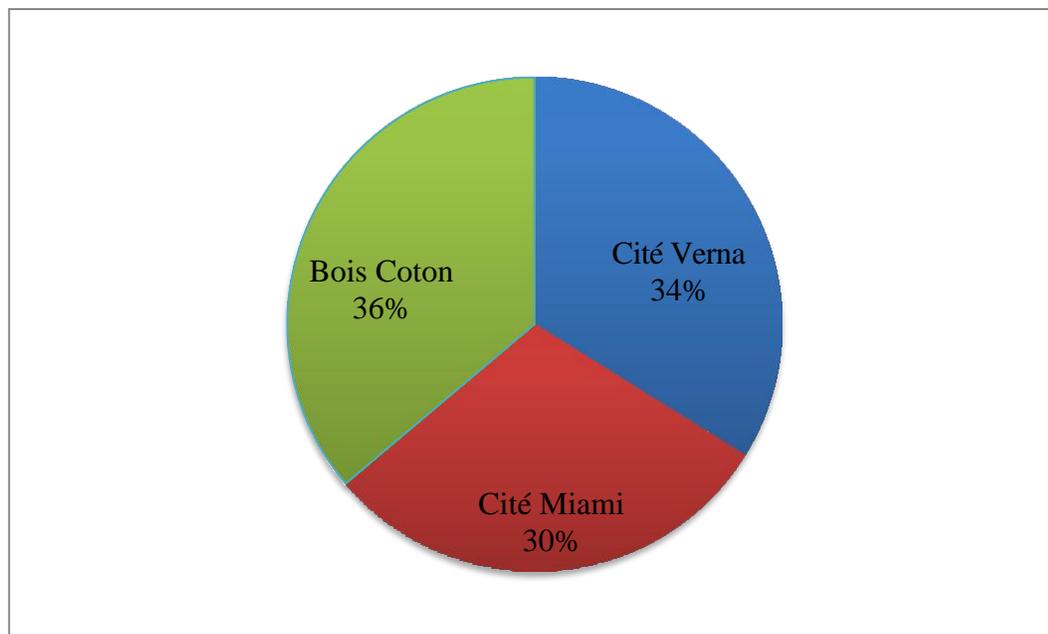


Figure 19 : Comparaison de la fraction fermentescible des déchets produits dans les trois (3) quartiers

4.1.4- Composition globale des déchets ménagers produits par catégories dans les trois (3) quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de la caractérisation détaillée des déchets ménagers dans trois quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc ; nous avons procédé par l'analyse quantitative et l'analyse qualitative des déchets, selon le mode de vie.

Tableau 5 : Composition moyenne des déchets dans les différents quartiers étudiés

| Catégories | Composition en Kg par Quartier | | | Total par catégorie | Pourcentage |
|-----------------------|--------------------------------|--------------|-------------|---------------------|-------------|
| | Cité Miami | Cité Verna | Bois Coton | | |
| Plastiques mous | 2 | 3.1 | 4 | 9.1 | 5.85 |
| Bouteilles plastiques | 1.5 | 3.5 | 3.5 | 8.5 | 5.46 |
| Bois | 0 | 2.7 | 1.7 | 4.4 | 2.82 |
| Minérales | 0.9 | 1.6 | 2.3 | 4.8 | 3.08 |
| Textiles | 1.9 | 0.8 | 1.5 | 4.2 | 2.69 |
| Cartons | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 3.5 | 2.25 |
| Métaux | 1 | 2.3 | 2.8 | 6.1 | 3.91 |
| Papiers | 0.8 | 1 | 1.6 | 3.4 | 2.18 |
| Matières Putrescibles | 26.76 | 30.2 | 32.3 | 89.26 | 57.35 |
| Couches | 0.53 | 0.9 | 1 | 2.43 | 1.56 |
| Autres Plastiques | 1.24 | 3.3 | 2.9 | 7.44 | 4.78 |
| Verres | 2.3 | 1.6 | 0 | 3.9 | 2.5 |
| Déchets dangereux | 0 | 5.52 | 3.1 | 8.62 | 5.54 |
| Total | 39.73 | 57.72 | 58.2 | 155.65 | 100 |

Source : Résultats de l'auteur, octobre 2023

D'une part l'analyse des résultats du tableau 12 montre une génération considérable de matières putrescibles à 57,35 %, ensuite les plastiques mous à 5,85 %, les déchets dangereux à 5,54 %, les bouteilles plastiques représentent une production influente et aussi une production intéressante de la catégorie et les autres plastiques à 4,78 %. D'autre part, la production par quartier la plus importante est observée sur les mêmes catégories de ces déchets. Il s'agit, en effet, du régime alimentaire de certains ménages suivant les données obtenues par rapport aux autres ménages dans la production des

ordures ménagères et particulièrement sur les bouteilles plastiques et les plastiques mous. Les ménages ont consommé beaucoup plus de plats emboîtés (Styrofoam).

4.1.5- Discussions sur la caractérisation des déchets produits dans les trois (3) quartiers au niveau du centre-ville de Saint-Marc.

Dans les trois quartiers, au niveau du centre-ville (cité Miami, cité Verna, Bois Coton), la fraction de matière putrescible est la plus dominante par rapport aux autres catégories. Ce taux important de matière putrescible est expliqué par la consommation régulière des légumes et des fruits dans les ménages dans ces zones urbaines. Les proportions de plastiques mous, les bouteilles plastiques et le carton ont été représentés par les emballages. Les textiles ont été représentés par les vêtements. Les minérales ont été représentées dans les ordures ménagères par des cailloux et des gravillons. Par ailleurs, les couches, les verres ont été inférieurs par rapport aux déchets dangereux dans le centre-ville de Saint-Marc. Les matières putrescibles occupent une portion très large dans les deux premiers quartiers (Bois Coton, cité Verna) tenant compte à ce dernier (cité Miami) les ménages consomment beaucoup plus de plats préparés aux restaurants, ceci conduit à une diminution du pourcentage des matières putrescibles et une augmentation des plastiques mous. Conformément au protocole MODECOM (1993), la caractérisation physique des déchets, les déchets collectés ont été répartis en 13 catégories dont : les matières putrescibles, les papiers, les cartons, les bouteilles en plastique, les textiles, les plastiques mous, les autres plastiques, les verres, les métaux, les bois, les déchets dangereux, les couches et les minérales. Les résultats des tris par catégorie des DMS de ces trois quartiers montrent que les déchets échantillonnés sont constitués essentiellement de matières putrescibles avec un pourcentage limité de 30 % à 36 %. Ces résultats indiquent qu'il n'y a pas de grande variation dans le mode de vie et de comportement de la population dans les différentes zones d'étude. Ceci s'expliquerait également par le comportement nutritionnel des habitants qui favorisent la consommation des légumes et des fruits en raison de leur pouvoir d'achat qui correspond à un revenu plus ou moins moyen.

En effet, dans les trois (3) quartiers, les tris de déchets ont montré que les bouteilles plastiques et les plastiques mous occupent par ordre d'importance, la deuxième catégorie

après les matières putrescibles. Le taux de ces catégories varie de 5 % à 6 %, 4 % pour les métaux, à 2 % pour les bois, les papiers et les cartons. Le pourcentage de textiles varie de 1 % à 3 %. Ce déchet est composé généralement de vêtements des personnes et accessoires utilisés dans les ménages. Ces variations sont dues à l'hétérogénéité des espaces urbains des différents quartiers concernés par cette étude. En outre, la composition des déchets ménagers DM en déchets dangereux varie dans les trois quartiers. Le taux moyen est de 1.87 %. Ils sont faibles, cela nous sous-entend que les ménages ne produisent pas beaucoup de déchets dangereux. En comparant les résultats de Charnay, 2005 et ceux de cette étude, les valeurs obtenues par catégorie n'ont pas de grandes différences.

4.2- Valorisation des déchets ménagers caractérisés en compost

Le deuxième volet de l'étude consiste en la valorisation des déchets ménagers (déchet organiques) par compostage. Pour ce faire, un mini-pilote à l'air libre a été installé au niveau du campus (de l'Université Publique du Bas Artibonite à Saint-Marc). L'expérimentation a duré pendant 70 jours (octobre 2023 à janvier 2024). Nous avons présenté successivement : le plan d'expérience, les différentes étapes du compostage et les paramètres que nous avons suivis.

4.2.1- Contrôle/tri des déchets

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



Figure 20 : Tri des déchets

4.2.2- Pesée des déchets

Avant la mise en tas, les déchets ont été pesés à l'aide d'une balance électronique professionnelle de 20 kg de portée, dans des sacs en plastique.



Figure 21 : Pesée des matières putrescibles

4.2.3- Mise en tas du compostage

Pour cette phase, nous avons utilisé un tas. Le tas avait une hauteur de 0,9 m, longueur de 1 m et 0,6 m de largeur. La mise en tas a mis en évidence l'aptitude au stockage de l'eau en cas de sécheresse, et son aptitude à évacuer l'eau dans le cas de fortes précipitations.



Figure 22 : Mise en tas du compostage

4.2.4- Phase de fermentation du compost

Après 30 jours de suivi réguliers d'aération et d'humidification, nous avons observé les premiers signes de maturité du compost. Nous poursuivons de la même manière pendant un autre mois jusqu'à maturité finale le 05/01/2024.



Figure 23 : Phase de maturation du compost

4.2.5- Retournement du compost

Le processus de retournement a pour but de l'aération du tas, ce qui a permis un apport en oxygène, échauffant à nouveau la matière en dégradation et contribue à une décomposition où la transformation de substance organique est plus rapide. Ainsi, il est essentiel de suivre un programme de retournement. La fréquence des retournements est en fonction du taux de décomposition, du taux d'humidité et de la porosité des matériaux, ainsi que de la durée désirée de compostage (ALBRECHT, 2007). Dans le cas de notre étude, le retournement a été réalisé chaque semaine. Notant enfin, que l'arrosage et le retournement ont été faits, les deux (2), au même temps pour obtenir un compost homogène et de bonne qualité.



a) retournement

b) arrosage

Figure 24 : Retournement et l'arrosage du compost

4.2.6- Criblage et tamisage du compost

Le criblage a été réalisé à la fin du processus de compostage, c'est une étape très importante qui permet de séparer les éléments grossiers obtenus en un compost final très homogène. Le criblage a été fait à l'aide d'un tamis ayant une maille de 50 mm et aussi de maille carré.



Figure 25 : Tamisage du compost

4.3- Études des paramètres physiques

Pendant toute la période du compostage, nous avons suivi les paramètres suivants : la température et l'humidité.

4.3.1- Mesure de la température au cours de la phase de fermentation

Le contrôle de l'évolution de la température au cours du processus du compostage montre que la température de départ est très faible ou la température du compost, la température du compost augmente progressivement pendant les 15 premiers jours pour atteindre un maximum de l'ordre de 70 °C. En effet, MISRA et al., (2005) montrent que la température idéale pour la phase initiale de compostage est de 20 à 45 °C, ce qui était le cas dans notre expérience, ce que l'on ressent à l'aide du dispositif utilisé. À ce moment, une durée de 21 jours débute où les températures augmentent jusqu'à atteindre le maximum pour le tas de compost, tout de suite, c'est la phase de maturation à une température plus ou moins stable.

4.3.2- Vérification de l'humidité dans le compost

Procéder à la vérification de l'humidité dans le compost, nous avons procédé au test de la poignée qui consiste à savoir si le compost manque d'eau ou s'il est suffisamment humide. Les résultats du test de la poignée suivant l'évolution de l'humidité des composts sont représentés dans le tableau 7.



Figure 26 : Contrôle de l'humidité

Tableau 6 : Résultats du test de la poignée de l'évolution de l'humidité du compost

| Dates | Tas | Arrosage |
|------------|-----|----------|
| 26/10/2023 | *** | - |
| 30/10/2023 | *** | - |
| 4/11/2023 | ** | - |
| 11/11/2023 | ** | - |
| 18/11/2023 | ** | - |
| 25/11/2023 | * | + |
| 2/12/2023 | ** | - |
| 9/12/2023 | S | + |
| 16/12/2023 | ** | |
| 23/12/2023 | S | + |
| 30/11/2023 | * | + |

* : Peu humide

** : humide

*** : très humide

S : sec

+ : arrosage

- : pas d'arrosage

L'humidité a été élevée durant les cinq premières semaines pour le tas de compost, ce qui correspond à la phase de fermentation active. Cela est dû aux quantités des déchets azotés (fruits et légumes) contenant une teneur importante en eau, ainsi que les agrumes (oranges). À partir de la sixième semaine, l'humidité demeure néanmoins faible en raison d'une évaporation due à l'augmentation considérable des températures du compost. Un contrôle de la température doit permettre le contrôle de l'humidité du milieu (ADDOU, 2009). Une grande partie de l'eau nécessaire au développement bactérien est perdue par évaporation pendant les retournements. Pour cela, nous avons procédé à l'arrosage des déchets avec un arrosoir pour pouvoir compenser cette perte.

4.4- Mécanismes de biodégradation du compost

Le processus de compostage a été réalisé en deux étapes successives, une étape de fermentation aérobie, et une étape de maturation du compost.

4.4.1- Fermentation aérobie

Dans le cas de notre étude, la fermentation aérobie de la matière organique a été réalisée par une succession de consortiums microbiologiques qui s'accumulent en fonction de la température du taux de composés organiques fermentescibles. Plusieurs phases de transformation ont été observées au cours de la fermentation aérobie en fonction de la température, et du temps. Une première phase latence correspondant à la mise en place de la biomasse est rapidement suivie d'une phase mésophile où la matière organique la plus facilement biodégradable est consommée, cette réaction biologique est exothermique, conduisant donc à une production de chaleur. S'établit alors une phase thermophile où l'activité bactérienne peut assimiler les molécules organiques les moins dégradables comme la cellulose ou la lignine. La stabilité du milieu correspond à un équilibre entre la production interne et la dissipation externe de chaleur. Ainsi, le ralentissement de l'activité microbiologique par épuisement du gisement de nutriments entraîne une diminution de la production de chaleur et se traduit par une phase de refroidissement des andains. L'activité biologique intense, combinée aux températures élevées, permet d'obtenir une stabilisation de la matière organique une absence d'odeurs nauséabondes, caractéristiques des fermentations mal maîtrisées.

Dans cette expérience, nous avons ressenti les différentes phases qui expliquent la fermentation du compost, la phase thermophile de très haute température en suite la phase de refroidissement, on a vu à nouveau la présence de certains micro-organismes qui ont facilité la dégradation des matières biodégradables pour arriver à la maturation du compost.

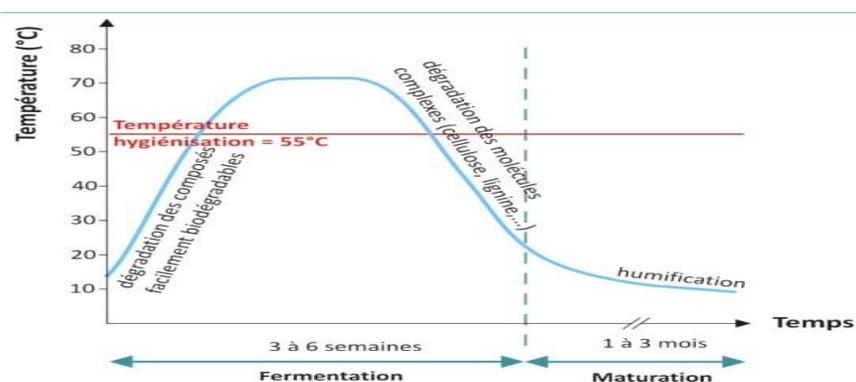


Figure 27 : Graphe illustrant la fermentation du compost

4.4.2- Maturation du compost

La phase de maturation devient prédominante sur la phase de fermentation aérobie suite à l'épuisement du milieu en molécules simples. Les activités enzymatiques produisent des phénomènes de polymérisation et de polycondensation des molécules néoformées au cours de la fermentation aérobie, à des températures comprises entre 20 et 30 °C (BABAAMMI, 2014). Ces processus d'humification sont lents et peuvent durer plusieurs mois. Dans le tas de notre étude, des émissions d'odeurs nauséabondes ont été ressenties lors de la mise en tas des déchets. Cependant, elles ont été dues à la présence des molécules organiques réduites. Ces odeurs ont diminué considérablement au cours du compostage, ce qui justifie la maturation du compost.

4.4.3- Rendement du Compost

Sur les 89.26 kg de déchets fermentescibles, on a obtenu 55.6 kg de compost frais, soit un rendement de 59.82 %. Rapporté à la masse d'ordures collectées, ce rendement donne 35.72 %. Ce taux de transformation des ordures ménagères est très significatif et peut contribuer considérablement à réduire les nuisances si la collecte et le compostage sont régulièrement effectués. Le compost réalisé est morphologiquement homogène avec une couleur brun foncé et illustre les caractéristiques d'un compost mûr comme indique la figure ci-dessous.



Figure 28 : Rendement du compost

4.5- Discussion sur le compost

La diminution du volume des déchets à la fin du cycle de compostage est due à la décomposition des matières organiques qu'on a mis à composter. La perte du poids et la diminution de la taille eurent été dues à l'envahissement des matières premières par les micro-organismes (MUSTIN et al., 2005) ; durant la phase initiale du compostage, les micro-organismes dégradent les molécules simples (sucres simples, acides aminés, alcools...etc.) et transforment une partie des polymères (protéines, acides nucléiques, amidons, pectines, hémicellulose, cellulose...etc.). Tenant compte de la valorisation des déchets biodégradables en compost, le résultat a donné un compost très intéressant. La valeur du rendement a été de 59.82 % avec une quantité de matière à composter de 89.26 Kg. D'après (TAHRAOUI, 2013), cette valeur a respecté la fourchette de la perte en masse de carbone admis dans le cadre du compostage des déchets ménagers de 25 % à 35 %. Ce rendement obtenu est supérieur à celui obtenu par Sereme et al., (2018) (50 %) et le CEFREPADE (2005) (33 %). La raison de cette différence par rapport aux résultats des différents auteurs susmentionnés pourrait s'expliquer par la méthodologie appliquée pour fabriquer leurs composts. En effet, les déchets organiques ont été réduits en de très petites dimensions avant d'être compostés en tas à composts, alors que, Sereme et al., (2018) et CEFREPADE (2005) ont laissé leurs déchets compostés sans réduire leurs tailles. La quantité d'eau que les déchets ont perdue au cours du compostage pourrait la cause de cette différence. En revanche, Ametel (2022) a obtenu en moyenne, pour trois échantillons un rendement de 57.66 % du fait que nous avons utilisé la même méthodologie en réduisant la taille des déchets mis en compostage.

CHAPITRE V- CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS

5.1- Conclusion

La caractérisation des déchets est indispensable pour proposer une filière de valorisation pérenne. La mauvaise gestion des déchets solides et des déchets ménagers est l'un des défis majeurs des milieux urbains. Elle est devenue, de plus en plus, préoccupante à mesure qu'augmentent la taille de la population et la superficie des aires urbaines. La présente étude s'inscrit dans le cadre de la caractérisation et la valorisation par compostage aérobie les déchets ménagers dans le centre-ville de Saint-Marc en vue d'améliorer le rendement de la production agricole dans le milieu Péri-urbain. Les résultats obtenus lors de la caractérisation des ménagers dans le centre-ville de Saint- Marc ont permis de confirmer qu'une bonne partie de ces déchets peut être utilisée pour faire du compostage. De plus, la caractérisation des déchets ménagers dans les trois quartiers (cité Miami, cité Verna et Bois Coton) au niveau du centre-ville montre que la composition moyenne globale des déchets ménagers est de **33,3** % en matières organique, de **5,85** % en plastiques mous, de **6,46** % en bouteilles plastiques, de **2,82** % en bois, de **3,08** % en minérale, de **2,69** % en textiles, de **2,25** % en carton, de **3,91** % en métaux, de 2,18 % en papiers, de **1,56** % en couches jetables, de **4,78** % en autres plastiques, de **2,5** % en verres et de **5,54** % en déchets dangereux. La connaissance de la quantité et de la qualité des déchets produits dans les ménages est indispensable pour proposer une filière de valorisation durable. Ce travail a permis de confirmer qu'une bonne partie des déchets solides ménagers est compostable. Cette proportion importante de matière organique reflète la disponibilité des déchets pour une production optimale de compost. Le pourcentage de matières organiques serait plus élevé si une partie des restes de cuisine n'était pas jetée par certains ménages dans le but d'éviter la propagation des mauvaises odeurs. Les déchets ménagers au niveau du centre-ville de Saint-Marc sont riches en matières organiques susceptibles à réaliser du compost. En définitive, suivant les résultats obtenus au cours de cette étude, on peut conclure que la valorisation des déchets organiques par la technique de compostage aérobie, peut augmenter le statut organique du sol, et de préserver la qualité de l'environnement sur ses triples composantes : sol, air et eau.

5.2- Suggestions

Des suggestions ont été faites au cours de cette étude :

- Organiser des conférences sur la gestion des déchets solides dans tout le centre-ville de Saint-Marc afin d'intégrer les ménages de manière active dans la gestion des déchets ;
- Créer un plan de gestion des déchets ménagers pour le centre-ville de Saint-Marc ;
- Créer un centre de tri sélective et compostage au niveau de la ville de Saint-Marc ;
- Promouvoir le compostage des déchets biodégradables afin de réduire les nuisances causées par les déchets ;
- Aider les ménages à composter leurs déchets afin qu'ils puissent développer chez eux des jardins potagers.
- Appliquer de nouvelles politiques afin d'appuyer ses orientations par des moyens concrets favorisant la mise en œuvre du volet compostage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADDOU, A. (2009) : Traitement des déchets : valorisation, élimination. Ed ellipses. Paris, France, 284 p.
- ADEME, (1999) : Composition des ordures ménagères en France, 60p.
- ADEME, (2001) : Déchets organiques- Essai agronomique de plein champ d'un compost des déchets verts (résultats 8e année d'expérimentation), Paris, France.
- ADEME, 2008. Guide pratique sur le compostage. Ademe édition, Paris, 20p.
- ADEME, (2017) : Guide "Le, compostage au naturel" Dossier "Jardiner autrement.
- ANONYME, (2014) : Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie Agence nationale des déchets, 21 p.
- ALA, A. (2022) : Élaboration d'une méthodologie de gestion des déchets solides urbains (cas de la commune de Tébessa).
- ALBRECHT, R. (2007) : Co compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, France, 189 p.
- ALOUEIMINE, S.O. (2006) : Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision ; 195 p.
- AMETEL, B. (2022) : Valorisation des déchets solides ménagers (DSM) en agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Jérémie (Haïti).
- AMORCE, (2019) : Collectivité locale : agissez pour améliorer la gestion des déchets dans le monde, consulté sur <https://optigede.adme.fr> ; le 15 Sept 2023.
- ARAON, L. (2009) : Quelques données sur les déchets du monde : professeur et Statisticien Américain.
- BABAAMMI, A. (2014) : Caractérisation de la biomasse microbienne développée dans un compost issu des déchets du palmier dattier.
- BADI et BENNANNA, (2022) : Caractérisation et valorisation par compostage des déchets solides ménagers et agricoles de la région d'El Oued ; 59 p.
- BANQUE MONDIALE, (2018 a.) : Rapport de la banque mondiale sur la production des déchets. <https://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urg>

- BANQUE MONDIALE, (2018b) : Taux d'emploi du secteur agricole dans la population active. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SL.AGR.EMPL.ZS?locations-HT>
- BEHADADA, S. (2022) : Étude de faisabilité des processus de transformation de déchets organiques ménagers.
- BELAÏB, A. (2012) : Étude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques générés par le restaurant universitaire aicha Oum elmouminine (willaya de Constantine).
- BELLAL, Z. et ZITOUNI, N. (2019) : Valorisation des biodéchets par compostage dans le Centre d'Aide par le Travail de la commune de Bouzeguène.
- BRH, (2016) : Rapport de la Banque République Haïtienne sur le secteur agricole, Haïti.
- BROMET, H. SOMAROO, G. (2015) : Les techniques de compostage de déchets d'origine naturelle en Afrique et dans les Caraïbes. Plateforme Ressources. Burkina Faso.
- CHARNAY, F. (2005) : Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement. Élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost, Thèse de Doctorat, Université de Limoges.
- CYRILLE, T. (2010) : Caractérisation et valorisation par compostage aérobie des déchets solides ménagers du quartier Fidjrossè à Cotonou, 41 p.
- DALMYR, M. (2018) : Analyse diagnostic des systèmes de conservation de sols en Haïti au cours de ces dix dernières années, application à vingt communes des départements du Centre et de l'Artibonite, 59 p.
- FAO, (2005) : Méthode de compostage au niveau de l'exploitation Agricole, Rome ;
- FAO, (2015) : La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture Protection sociale et agriculture: Briser le cercle vicieux de la pauvreté rurale, 142P.
- 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.
- GILLARD, C. (2005) : Gestion écologique des cultures : essai d'utilisation d'un compost jeune de déchets végétaux pour commencer la lutte intégrée sur le blé. Mémoire de Licence Professionnelle protection de l'environnement Option : gestion et

Traitement des Sols et des Eaux. Institut de Biologie et d'Ecologie Appliquée UCO France, 48p.

- HOUOT, S. (2009) : Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains.
- KOLEDZI, K. E. (2011) : Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo): approche méthodologique pour une production durable de compost. Thèse de doctorat d'état, dissertation, Limoges, 185 p.
- JEANTIL, G., THERA, C. (2015). Problème de déplacement et accident de circulation provoqués par les taxis Motos au regard de l'inadéquation des réseaux routiers et le non-respect des normes de l'urbanisation de 2008 à 2015 : cas de la commune de Saint-Marc.
- LOUIS PIERRE, J. (2023) : Problématique de la gestion des déchets solides dans le centre-ville de Saint-Marc et leur impact sur le milieu naturel, 72 p.
- JULIE, B. (2021) : Étude de l'étape de fermentation d'un procédé de co-compostage de boues en STEU : diagnostic par mesures expérimentales et modélisation numérique, thèse université de Pau et des pays de l'Adour : École doctorale des sciences exactes et de leurs applications, 247 p.
- KOLLER, E. (2004) : Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues, 2ème édition. DUNOD, Paris, 432 p.
- LE MONITEUR. (2017) : Loi portant création, organisation, fonctionnement du Service National de Gestion des Résidus Solides (SNGRS), Etat Haïtien.
<https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/SERIAL/105289/128744/F35783731/HTI105289.pdf>.
- LOUAI, N. (2009) : Évaluation Energétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique. Mémoire de magistère.
- LUXONE, S. et DONALD, L. J. (2019) : Caractérisation de déchets (solides et liquides) produits en milieu hospitalier : cas de l'Hôpital Alma Mater de Gros-Morne (Haïti), 71 p.
- MANZEKELE, A. (2008) : Problématique de la gestion des déchets d'élevage et ménagers biodégradables : cas de la cité de Lubero ;
- MELLE, Y. F. (2017) : Contribution au traitement des déchets ménagers par le compostage.

- MTPTC, 2021. Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES), Projet de développement municipal et de résilience urbaine (MDUR).
- MUSTIN, M. (1987) : Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusc eds, pp. Paris.
- NSHIMIRIMANA, F. (2010). Caractérisation des déchets solides ménagers : cas de l'arrondissement de Sig-Noghin, 65 p ;
- N'GNIKAM, E. (2000) : Évaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux : analyse du cas de Yaoundé au Cameroun. LAEPSI. Lyon, INSA LYON : 314 ;
- OCDE, (2015) : Panorama de l'environnement 2015 : les indicateurs de l'OCDE.
- ONU, (2019)
- OXFAM QUEBEC, (2017) : Guide de gestion des déchets du réseau de la santé et des services sociaux ;
- RAHMANI, A. et TAYEBI, (2016) : Gestion et valorisation énergétique des déchets organiques ; mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master en chimie d'environnement, 55 p.
- TEGLIA, C. (2010) : Valorisation par compostage des résidus solides de digestion anaérobie des déchets organiques, 283 p .
- TICHADOU, L. (2014) : Plateforme de compostage en milieu clos, une approche pluridisciplinaire pour l'évaluation du risque chimique, 57 p.
- GNIKAM, E. (2000) : Évaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux : analyse du cas de Yaoundé au Cameroun". LAEPSI. Lyon, INSA LYON : 314 p.
- REGULUS, S. (2006) : Signification et logique de consommation domestiques des produits locaux, régionaux et importés : une Etude ethnologique mémoire dans la quatrième section de la commune d Saint-Marc du département de l'Artibonite.
- RAHMANI, A. et TAYEBI, H. (2016) : Gestion et valorisation énergétique des déchets organiques, 67p.
- PEINE, (2001) : Compostage et environnement. N°49.
- PNUD, 2009 : Rapport mondial sur le développement humain, Lever les barrières : Mobilité et développement humains, 14p.

- PNUD. (2020) : La gestion des déchets solides en Haïti : une analyse exploratoire, Port-au-Prince. 83P.
- SIDEVOM. (2024) : Le compostage : Un nouveau chapitre pour l'économie circulaire.
- SOTAMENOU, J. (2012) : La gestion des déchets solides à Yaoundé : la pertinence du compostage.ÉditionsUniversitairesEuropéennes.<https://www.researchgate.net/publication/275409862-La-gestion-des-dechets-solide.-S-a-Yaounde-la-pertinence-du-compostage-Editions-Universitaires-Européennes>.
- TINI, A. (2003) : La gestion de déchets solides ménagers à Niamey au Niger. Essai pour une stratégie de gestion durable. Ph.D. Theiss, institut National de Lyon, Lyon.
- YULIPRIYANTO, H. (2001) : Émission effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbologique (nitrification/dénitrification).
- ZNAÏDI, I. (2002) : Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Master of science degree mediterranien organic agriculture.