Titre :

GESTION ET VALORISATION DES DÉCHETS ORGANIQUES EN BIO-COMPOST : CAS D'ÉTUDE DU CAMPUS UNIVERSITAIRE DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB)

RÉSUMÉ

La gestion durable des déchets organiques constitue aujourd'hui une priorité environnementale majeure en raison de l'augmentation constante de la production de déchets solides à l'échelle mondiale. En Côte d'Ivoire, la forte proportion de déchets biodégradables présente un potentiel important de valorisation, encore insuffisamment exploité dans plusieurs institutions. Le présent travail porte sur la gestion et la valorisation des déchets organiques en bio-compost, avec pour cas d'étude le campus universitaire de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny. L'objectif principal de cette étude est de proposer une stratégie efficace de valorisation des biodéchets produits au sein des résidences universitaires afin de réduire leur impact environnemental et de produire un compost à valeur agronomique. La méthodologie adoptée a consisté à sensibiliser les résidents à la pratique du tri sélectif, à organiser la collecte des déchets biodégradables et à mettre en place un dispositif expérimental de compostage adapté aux conditions locales. Le processus de compostage a été suivi à travers l'évolution de paramètres physico-chimiques tels que la température, le pH, le taux d'humidité et la vitesse de dégradation de la matière organique. Le compost obtenu a ensuite été caractérisé afin d'évaluer sa stabilité, sa maturité et son potentiel agronomique. Les résultats obtenus montrent que le tri sélectif a permis une collecte efficace des déchets organiques et que le compostage s'est déroulé dans des conditions favorables. Le compost final présente des propriétés physico-chimiques satisfaisantes, traduisant un bon degré de maturation et une aptitude à être utilisé comme amendement organique. Cette étude démontre ainsi que la valorisation locale des déchets organiques constitue une solution pertinente pour améliorer la gestion environnementale des campus universitaires. Elle ouvre des perspectives intéressantes pour l'implémentation de systèmes intégrés de gestion durable des biodéchets dans les établissements d'enseignement supérieur.

Mots-clés : Déchets organiques, bio-compost, valorisation, tri sélectif, compostage, développement durable.

ABSTRACT

Sustainable management of organic waste has become a major environmental concern due to the continuous increase in solid waste generation worldwide. In Côte d'Ivoire, the high proportion of biodegradable waste represents significant recovery potential that remains insufficiently exploited in many institutions. This study focuses on the management and valorization of organic waste into bio-compost, using the campus of the Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny as a case study. The main objective was to develop an efficient strategy for the recovery of biodegradable waste generated in university residences in order to reduce environmental impacts and produce compost with agronomic value. The methodology involved raising awareness among residents about selective sorting practices, organizing the collection of biodegradable waste, and implementing an experimental composting system adapted to local conditions. The composting process was monitored through physicochemical parameters including temperature, pH, moisture content, and organic matter degradation rate. The final compost was characterized to assess its stability, maturity, and agronomic potential. The results showed that selective sorting significantly improved the collection efficiency of organic waste and that the composting process occurred under favorable conditions. The final compost exhibited satisfactory physicochemical properties, indicating a good degree of maturity and suitability for use as an organic soil amendment. This study demonstrates that local organic waste valorization is a relevant solution for improving environmental management on university campuses. It also offers promising prospects for the implementation of integrated sustainable biodegradable waste management systems in higher education institutions.

Keywords: Organic waste, bio-compost, valorization, selective sorting, composting, sustainable development.

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES ..... **Erreur ! Signet non défini.**
REMERCIEMENTS ..... **Erreur ! Signet non défini.**
ABSTRACT iii
SIGLES, ABREVIATIONS ET ACCRONYMES vii
LISTE DES FIGURES viii
LISTE DES TABLEAUX ix
INTRODUCTION 1
I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE 3
I-1. Généralités sur les déchets 3
I-2. Classification des déchets 3
I-2-1. Selon leur provenance 4
I-2-2. Selon leur toxicité 4
I-2-3. Selon leur nature 4
I-2-3-1. Classification basée sur l'état physique 4
I-2-3-2. Classification des déchets selon leur biodégradabilité 4
I-4. Impact des déchets sur l'environnement et sur la santé humaine 5
I-5. Gestion des déchets 6
I-5-1. Pré- collecte 6
I-5-2. Collecte des déchets 6
I-5-2-1. Méthodes de collecte 7
I-5-2-2. Modes de collecte 8
I-5-3. Tri 9
I-5-4. Transport 9
I-5-6. Traitement et valorisation 9
I-5-6-1. Méthanisation ou fermentation anaérobie 10
I-5-6-2. Recyclage 11
I-5-6-3. Incinération 11

I-5-6-5. Compostage 13
I-6. Généralités sur le compostage 13
I-6-1. Définition 13
I-6-2. Déchets compostables 13
I-6-3. Techniques de compostage 14
I-6-4. Paramètres influençant le processus de compostage et la qualité du compost ... 16
I-6-4-1. Diversité des déchets 16
I-6-4-2. Broyage des déchets 16
I-6-4-3. Humidification du substrat organique 16
I-6-4-4. Aération et le retournement régulier du compost 16
I-6-4-5. Température 17
I-6-4-6. Potentiel Hydrogène (pH) 17
I-6-4-7. Rapport C/N 18
I-6-5. Compost 19
I-6-5. Intérêt économique et social du compostage 20
I-6-5-1. Environnemental 20
I-6-5-2. Agricole 20
I-6-5-3. Effets sur le sol 20
II- MATERIEL ET METHODES EXPERIMENTALES 22
II-1. MATERIEL 22
II-1-1. Présentation de la zone d'étude 22
II-1-2. Localisation géographique de la cité universitaire et du site d'expérience 22
II-1-3. Matériel de collecte 22
II-2. METHODES 25
III- RESULTATS ET DISCUSSION 28
III-1. Résultats de la Sensibilisation 28
III-2. Résultats de l'enquête 28
III-2-1. Composition des participants 28

III-2-2. Mini-poubelle 30

III-2-3. Tri 30

III-2-4. Facteurs de motivation à l'égard du tri sélectif 32

III-2-5. Evaluation de l'accessibilité logistique et de la clarté des consignes de tri 35

III-2-5. Résultats de la collecte des déchets 36

III-3. Paramètres physico-chimiques des substrats de compostage 37

III-4. Résultats de la caractérisation du produit final 41

III-5. Résultats de l'analyse du lixiviat 42

CONCLUSION 44

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 46

ACV	:	Analyse du Cycle de Vie
AFNOR	:	Association Française de Normalisation
C/N	:	Rapport Carbone sur Azote
CET	:	Centre d'Enfouissement Technique
CH_4	:	Méthane
CO_2	:	Dioxyde de Carbone
DMA	:	Déchets Ménagers et Assimilés
ENSA	:	École Nationale Supérieure d'Agronomie
ENSTP	:	École Nationale Supérieure des Travaux Publics
ETM	:	Éléments Traces Métalliques
GIZ	:	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agence allemande de coopération internationale)
H_2O	:	Eau
H_2S	:	Sulfure d'Hydrogène
IAB	:	Institut Agricole de Bouaké
ICP-OES	:	Spectrométrie d'Émission Optique à Plasma à Couplage Inductif
INP-HB	:	Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny
INSET	:	Institut National Supérieur de l'Enseignement Technique
MO	:	Matière Organique
MSN	:	Mouche Soldat Noire *(Hermetia illucens*)
NF U 44-051	:	Norme française AFNOR relative aux amendements organiques
NH_3	:	Ammoniac
O_2	:	Dioxygène
PAV	:	Point d'Apport Volontaire
pH	:	Potentiel Hydrogène
RDC	:	République Démocratique du Congo

Figure I. 1: Différentes catégories de déchets solides municipaux en fonction de leur niveau de dégradation 5
Figure I. 2: Bacs de collecte séparée 7
Figure I. 3 : Orientations et procédés de valorisation des déchets organiques 10
Figure I. 4 : Schéma globale de la cinétique biologique de la méthanisation 11
Figure I. 5 : Représentation schématique de processus de compostage 13
Figure I. 6 : Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage 15
Figure I. 7 : Courbe du pH idéalisée pour un compostage par phase 18
Figure I. 8 : Rapport C/N selon la durée de la dégradation 19
Figure II. 1 : Localisation de la zone d'étude et du site d'expérience 22
Figure II.2: Poubelles de tri sélectifs 23
Figure II. 3: Balance électronique (Henze) 23
Figure II. 4: Illustration des différentes phases du compostage des déchets alimentaires et des opérations de suivi analytique 24
Figure II. 5. Campagne de Sensibilisation : (A) des enseignants bivalents et (B) Affiche de sensibilisation 25
Figure III.1: Illustration des disparités de tri : (**A**) Tri respecté à la résidence F et (**B**) Tri non respecté à la résidence P 28
Figure III. 2 : Composition des participants selon leurs fonctions 29
Figure III. 3 : Répartition des répondants par tranche d'âge 29
Figure III. 4: Taux de possession de mini-poubelle. 30
Figure III. 5: Répartition des résidents selon la fréquence du tri sélectif en amont du dépôt. 31
Figure III. 6 : Distribution de la pratique du tri sélectif par les résidents aux points d'apport volontaire. 32
Figure III. 7: Répartition des sources de motivation des résidents 33
Figure III. 8: Freins et obstacles à l'adoption du tri sélectif 34
Figure III. 9: Proportions sur l'accessibilité logistique 35
Figure III.10 : Proportions sur la clarté des consignes de tri 36
Figure III. 11: Quantités estimative des déchets sur les résidences A, F, K, R et P. 37
Figure III. 12 : Courbe de l'évolution de la température dans les deux composteurs 37
Figure III. 13 : Courbes d'évolution du pH dans les deux composteurs 39
Figure III. 14: Courbes d'évolution du taux d'humidité des substrats dans les deux composteurs 41

Tableau I. 1 : Classification des matières selon leur potentiel de comptabilité 14
Tableau I.2: Rapports carbone/azote de divers résidus organiques. 18
Tableau II. 1. Composition des biodéchets utilisés dans les composteurs expérimentaux 26
Tableau III. 1: Caractéristiques des composts 41
Tableau III. 2: Teneurs en éléments traces métalliques 43

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, en raison de la croissance démographique rapide, une grande quantité de déchets solides a été générée atteignant plus de 2 milliards de tonnes par an selon la banque mondiale ; avec une projection de 3,4 milliards de tonnes d'ici 2050 **(Kaza et *al*., 2018)**, devenant ainsi une préoccupation mondiale. En effet, selon des données de Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) publiées en 2018, la production individuelle moyenne de déchets en Côte d'ivoire était estimée à 0,64 kilogramme (kg) par habitant par jour, largement supérieur à la moyenne de l'Afrique sub-saharienne qui était de 0,46 kg par jour. A ce sujet **Yin et *al*., 2024** ont souligné qu'environ 46% de ces déchets produits dans le monde sont des déchets organiques. Les déchets organiques, également appelés déchets biodégradables, comprennent les résidus animaux et végétaux, le fumier de bétail, les déchets alimentaires et les boues d'épuration **(Misslin et *al*., 2022)**. Cependant, les composants des déchets organiques solides sont plus élevés en raison d'une consommation accrue de déchets alimentaires et commerciaux des ménages **(Amin et *al*., 2023)**. Ils sont composés de matières riches en sucres, minéraux et protéines qui pourraient être utilisées pour d'autres procédés comme substrats ou matières premières (**Abu Yazid et *al*., 2017**). Historiquement, la gestion de ces déchets reposait sur leur éloignement des zones urbaines (**Chavan et Kumar, 2022**). Par ailleurs, la mise en décharge des déchets organiques biodégradables génère des quantités importantes de méthane (CH_4) et d'ammoniac (NH_3) qui sont de puissants gaz à effet de serre contribuant au changement climatique (**Manea et *al*., 2024**). Cette gestion partielle et inadéquate de ces déchets dans les décharges présente des risques pour l'environnement (pollution de l'air, l'eau et des sols) et par ricochet sur la santé humaine, nécessitant ainsi des mesures de gestion durable (**Chavan et Kumar, 2022**). Comme tout lieu d'activité humaine est susceptible de générer des déchets, l'Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT BOIGNY (INP-HB) de Yamoussoukro doté de résidences universitaires n'échappe pas à ce phénomène. Ainsi pour une meilleure gestion de ses déchets, l'institut a mis en place des poubelles de tri sélectifs afin de faciliter leur collecte. Au sortir de cette collecte, plusieurs types de déchets sont observés, tels que les déchets biodégradables et les déchets non biodégradables. Ces dernières cités ayant déjà une voie de valorisation au sein de l'institut, les déchets biodégradables restent encore une source potentielle de valorisation non exploitée. Pour faire face à cette problématique nous avons orienté nos travaux sur la valorisation de ces déchets biodégradables en compost. C'est ainsi que notre thème de stage s'intitule : « Gestion et valorisation des déchets organiques en bio-compost : cas d'étude du campus universitaire de

l'Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT BOIGNY (INP-HB) ». L'objectif général de ce travail est de valoriser les déchets organiques des résidences de l'INP-HB centre en bio-compost.

Spécifiquement il s'agira de :

- Sensibiliser les étudiants des résidences à la pratique du tri sélectif ;
- Mettre en place un système de compostage adapté ;
- Caractériser le produit final ;

Ce mémoire s'articulera autour de trois (03) chapitres principaux dont le premier chapitre fera l'objet d'une synthèse bibliographique sur les déchets en général et leur gestion. Le deuxième chapitre quant à lui présentera le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail. Le troisième chapitre sera consacré aux résultats et discussion.

Enfin une conclusion et des perspectives mettront fin à ce manuscrit.

Chapitre I : REVUE BIBLIGRAPHIQUE

I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1. Généralités sur les déchets

Le terme déchet désigne toute substance ou tout objet abandonné, destiné à être éliminé ou n'ayant plus d'utilité immédiate pour son détenteur. Sa définition varie selon les approches disciplinaires. Sur le plan juridique, il englobe les produits solides, liquides ou gazeux issus des activités humaines ou industrielles. D'un point de vue environnemental, il représente une menace potentielle lorsqu'il entre en contact avec le milieu naturel. Sur le plan économique, il correspond à un bien ayant perdu sa valeur d'usage ou marchande. L'approche sociologique considère le déchet comme un indicateur des modes de vie et du niveau de développement d'une société. Enfin, son sens étymologique renvoie à l'idée de rejet, de perte ou d'abandon. Ainsi, le déchet apparaît comme une notion multidimensionnelle dont la perception dépend du contexte d'analyse.

I-2. Classification des déchets

La notion de déchet recouvre une réalité complexe dont la définition varie selon les contextes juridiques, environnementaux, économiques et sociologiques. De manière générale, un déchet désigne toute substance, matière ou objet abandonné, destiné à être éliminé ou ayant perdu son utilité pour son détenteur (**Islam et al., 2024**). Selon le Code de l'Environnement ivoirien, il s'agit de produits solides, liquides ou gazeux issus des activités humaines ou des processus de fabrication, ainsi que tout bien abandonné ou menaçant ruine (Loi n°96-766, 1996). Cette définition est élargie par la réglementation internationale qui considère également comme déchets toute substance dont le détenteur se défait ou a l'obligation de se défaire (**USEPA, 2016**). Du point de vue environnemental, le déchet constitue une menace potentielle lorsqu'il entre en interaction avec les milieux naturels, pouvant générer diverses formes de pollution et perturber les équilibres écologiques (**Bennama, 2016**). Sur le plan économique, il représente un bien ayant perdu sa valeur d'usage ou marchande et constitue une externalité négative du processus de production et de consommation (**Fontaine, 2022**). D'un point de vue sociologique, les déchets traduisent les habitudes de consommation, le niveau de développement ainsi que les dynamiques sociales d'une population (**Fekik and Djaroum, 2024**). La classification des déchets repose sur plusieurs critères permettant d'orienter les stratégies de gestion, de traitement et de valorisation (**Halliche and Selmane, 2020**).

I-2-1. Selon leur provenance

Selon leur provenance, ils se subdivisent en déchets ménagers, industriels, hospitaliers, agricoles, inertes et ultimes.

- Les déchets industriels peuvent être dangereux ou non dangereux selon leurs caractéristiques physicochimiques (**Cayumil, 2021**).
- Les déchets hospitaliers, quant à eux, présentent des risques sanitaires particuliers en raison de leur caractère infectieux ou toxique (**Singh et al., 2022**).
- Les déchets agricoles constituent une biomasse valorisable pouvant être utilisée dans la production de biofertilisants et de biogaz (**Adetunji et al., 2023**).

I-2-2. Selon leur toxicité

Selon leur toxicité, les déchets sont classés en déchets dangereux et non dangereux. Les déchets dangereux, du fait de leurs propriétés corrosives, inflammables, toxiques ou infectieuses, nécessitent une gestion spécifique (**Shukla et al., 2020**).

I-2-3. Selon leur nature

Les déchets peuvent être classés selon leur nature, notamment en fonction de leurs caractéristiques physiques et de leur degré de biodégradabilité, permettant ainsi une meilleure orientation des stratégies de gestion, de traitement et de valorisation.

I-2-3-1. Classification basée sur l'état physique

La classification des déchets peut être établie selon leur état physique et leur nature chimique. Selon leur état physique, on distingue les déchets solides, incluant les déchets ménagers, industriels et les boues ; les boues, riches en matière organique et valorisables ; les déchets liquides ou pâteux, constitués principalement des eaux usées, solvants et effluents industriels ; ainsi que les déchets gazeux, composés de gaz toxiques ou à effet de serre issus des activités industrielles. Sur le plan chimique, les déchets se répartissent en déchets acides, basiques, sels résiduaires, déchets organiques, polymériques, minéraux, métalliques et radioactifs, chacun présentant des caractéristiques spécifiques nécessitant des modes de gestion adaptés. Cette classification facilite leur identification, leur traitement et leur valorisation dans une logique de gestion durable.

I-2-3-2. Classification des déchets selon leur biodégradabilité

Sur la base de la biodégradabilité, les déchets peuvent être classés en biodégradables, modérément dégradables et non biodégradables (**figure I.1**). Les organismes aérobies et

anaérobies agissent sur les déchets biodégradables en accélérant leur taux de dégradabilité. Certains déchets agricoles tels que les bouses de vache, les fientes de volaille, etc. sont des exemples de déchets biodégradables. Alors que les déchets modérément dégradables sont des déchets à dégradation lente. Ils ont des composants à texture dure. Des exemples de tels déchets sont le bois et le carton. Les déchets non biodégradables, d'autre part, ne peuvent pas être décomposés biologiquement. Des exemples de déchets non biodégradables sont les déchets des mines, les matières minérales, les sacs en polyéthylène, les cuirs, les plastiques **(Ayilara et *al.*, 2020).**

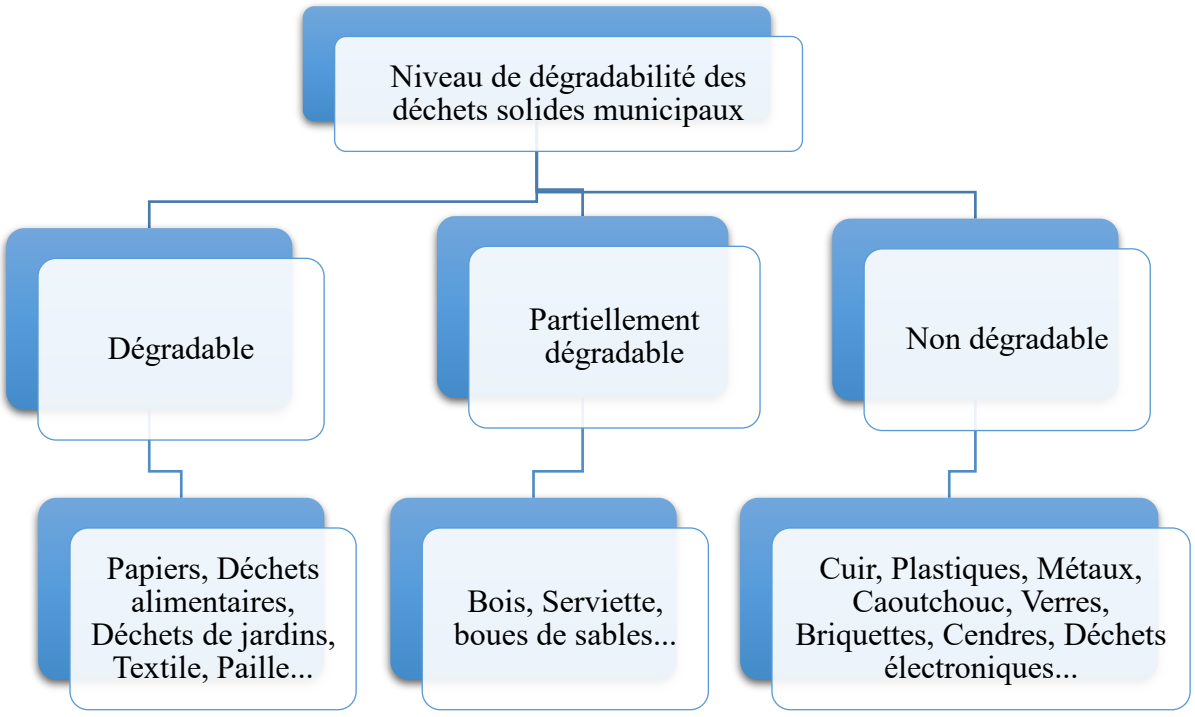


Figure I. 1: Différentes catégories de déchets solides municipaux en fonction de leur niveau de dégradation **(Kumari, 2023)**

Ainsi, le déchet ne doit plus être perçu uniquement comme un résidu à éliminer, mais comme une ressource potentielle susceptible d'être valorisée dans une logique d'économie circulaire et de développement durable (**Ndiribe, 2023**).

Une gestion rationnelle des déchets constitue dès lors un levier essentiel pour la protection de l'environnement et l'optimisation des ressources.

I-4. Impact des déchets sur l'environnement et sur la santé humaine

Une mauvaise gestion des déchets constitue une menace majeure pour l'environnement, la santé humaine et l'économie. Sur le plan environnemental, elle provoque la pollution de l'eau, de l'air et des sols. Les déchets solides favorisent l'obstruction des canalisations, les inondations

et la prolifération de vecteurs pathogènes, tandis que les lixiviats contaminent les eaux souterraines et superficielles par des substances toxiques telles que les métaux lourds et composés chimiques dangereux. La décomposition ou l'incinération des déchets génère également des gaz nocifs et à effet de serre (CH_4, CO_2, NOx, SO_2), contribuant à la pollution atmosphérique et au changement climatique. Au niveau des sols, l'accumulation incontrôlée de déchets altère leur fertilité, réduit la productivité agricole et entraîne une contamination durable par des substances toxiques. Ces impacts environnementaux ont des répercussions directes sur la santé humaine, notamment à travers la recrudescence de maladies telles que le paludisme, la diarrhée, la fièvre typhoïde, les affections respiratoires et dermatologiques, particulièrement dans les zones à forte insalubrité. Sur le plan économique, une gestion inadéquate des déchets engendre des coûts élevés liés à l'assainissement, à la santé publique et à la dégradation des infrastructures.

I-5. Gestion des déchets

La gestion des déchets concerne toutes les opérations relatives à la production, au stockage, à la pré-collecte, à la collecte, au tri, au transport, à la décharge, au traitement, à la valorisation et à l'élimination des déchets y compris le contrôle de ces opérations ainsi que la surveillance des sites de décharges et les unités de traitement pendant la période de leur exploitation et après leur fermeture **(Driss, 2020).**

I-5-1. Pré- collecte

La pré-collette des ordures désigne l'ensemble des opérations d'évacuation des déchets depuis leur lieu de production jusqu'au lieu de prise en charge par le service de collecte. Le concept de pré-collecte sous-entend toutes les opérations qui précèdent la collecte effective des déchets. Elle vise le recueil, le rassemblement et le stockage des déchets par les habitants d'un foyer, d'un immeuble, d'une cité ou par les personnels d'un organisme ou d'une entreprise, puis les déposer dans des lieux dédiés aux déchets **(Zoubeida, 2022 ; Messaoud-Boureghda, 2022).**

I-5-2. Collecte des déchets

La collecte est l'ensemble des opérations qui consistent en l'enlèvement des déchets des points de regroupements pour les acheminer vers un lieu de tri, de regroupement, de valorisation, de traitement ou de stockage. Elle consiste en le ramassage et le regroupement des déchets en vue de leur transport **(Zoubeida, 2022 ; Messaoud-Boureghda, 2022).** Selon les travaux de **Kore** publiés en 2020, il apparaît que la collecte correspond à l'enlèvement des déchets pré-collectés et déposés dans les bacs et coffres communautaires. Ce service est assuré par des sociétés de

collecte ou par les services Techniques municipaux. Les équipements nécessaires à ce type de service sont les coffres de diverses capacités, les abris à poubelle, les véhicules pour le transport des déchets.

I-5-2-1. Méthodes de collecte

Une recherche conduite par **Halis, (2020)** met en évidence les méthodes de collecte :

- **Collecte séparée**

La collecte séparée désigne « une collecte dans laquelle un flux de déchets est conservé séparément selon son type et sa nature afin de faciliter un traitement spécifique » comme l'indique la **figure I.2**.



Figure I. 2: Bacs de collecte séparée (Fatima, 2024)

- **Le porte à porte**

Le "porte à porte" est un système de gestion des déchets dans lequel un service de collecte se déplace à intervalles réguliers, directement devant les habitations, pour évacuer les déchets ménagers et assimilés (DMA) **(Furniss et Tastevin, 2017)**. C'est l'une des méthodes les plus courantes et les plus organisées pour la collecte des ordures dans les zones urbaines et semi-urbaines. Le système de collecte "porte à porte" permet aux résidents de déposer leurs déchets triés, selon un calendrier précis, pour qu'ils soient ramassés par une équipe dédiée **(Monebene, 2024).** Cette méthode, en plus d'être très pratique et hygiénique pour les habitants, encourage fortement le tri à la source et contribue à la propreté des rues. Néanmoins, ce modèle présente des inconvénients il peut être coûteux pour les municipalités en raison de la complexité logistique et de l'infrastructure requise. De plus, il s'avère moins flexible et moins rentable dans

les zones rurales à faible densité de population, et il peut être contraignant pour les résidents qui ne peuvent pas respecter les horaires de ramassage.

- **L'apport volontaire**

L'apport volontaire est un système de collecte des déchets où la responsabilité de transporter les ordures jusqu'à un point de regroupement désigné incombe au producteur des déchets (résident ou entreprise). Ce mode de collecte se distingue du "porte à porte" par l'absence d'un passage régulier du service de ramassage directement devant le domicile.

Selon **BIBOUM et *al*., (2021)** l'apport volontaire consiste pour les ménages à acheminer eux-mêmes leurs déchets à l'aide de paniers, de seaux de peinture de récupération, d'une brouette ou d'un autre contenant vers un conteneur ou un espace de regroupement situé à une distance pas trop éloignée, des habitations. Il faut noter que contrairement au tri qui consiste à séparer, chez soi, les déchets selon les matériaux qui les composent (verre, papier, reste de nourriture, matériaux d'emballage) et à déposer ces déchets triés dans les conteneurs adéquats. La pré-collecte consiste pour les ménages à se débarrasser des déchets de façon globale sans tri préalable.

I-5-2-2. Modes de collecte

Dans une perspective d'optimisation de la gestion des déchets, diverses modalités de collecte ont été instaurées, parmi lesquelles figurent les approches suivantes **(Haouchi et *al*., 2020 ; Zoubeida, 2022) :**

- **Collecte ordinaire :** Ce mode consiste en la récupération des déchets ménagers déposés dans les poubelles classiques. Elle est généralement assurée selon une fréquence régulière par les services municipaux ou les opérateurs agréés. Bien qu'efficace pour l'évacuation des ordures courantes, cette méthode ne permet pas le tri des matières valorisables et peut engendrer des nuisances si les déchets sont mal emballés ou entreposés.
- **Collecte hermétique :** Elle repose sur l'utilisation de contenants fermés et étanches, souvent accompagnés de véhicules adaptés à la manutention sécurisée des déchets. Il offre une meilleure protection contre les risques de contamination, limite les odeurs et empêche la dispersion des déchets dans l'environnement. Ce mode est particulièrement recommandé dans les zones à forte densité ou à proximité des établissements sensibles (centres de santé, écoles, marchés)**.**

- **Collecte sélective** : Cette approche vise à séparer les déchets selon leur nature (plastiques, papiers, métaux, organiques, etc.) dès leur production. Elle repose sur la participation active des citoyens, appelés à trier leurs déchets à la source. Ce mode favorise la valorisation des matières recyclables, réduit la quantité de déchets destinés à l'enfouissement ou à l'incinération, et contribue à une économie circulaire plus durable. Des bacs ou sacs spécifiques sont généralement mis à disposition pour faciliter cette opération.

I-5-3. Tri

Le tri des déchets est la première étape, fondamentale, du procédé de recyclage. Cette opération consiste à séparer les déchets en fonction de leur nature (papier, verre, carton, etc.) dans le but de simplifier leur traitement. Le " tri sélectif ", comme on l'appelle également, peut être réalisé par les producteurs de déchets (on parle alors de " tri à la source "), par les consommateurs qui utilisent les conteneurs mis à disposition sur la voie publique (" tri par apport volontaire ") ou encore au sein des déchetteries (" tri en déchetterie ") **(Bourouis et Derrag, 2023)**.

I-5-4. Transport

Le transport est la phase au cours de laquelle les déchets sont acheminés vers une destination appropriée : décharge, usine de traitement…etc. Les différents types de collecte urbaine font intervenir des modes de transport différents. Il est à citer, la brouette ou la charrette à traction animale. Aussi, nous avons les différents types de camions à benne basculante, à caissons, à couvercles coulissante…etc., pour arriver à la benne tasseuse moderne dans son état le plus sophistiqué **(Ouali et Mahiout, 2019)**

I-5-5. Stockage

Lors de cette étape de stockage, il est important de faire attention au conditionnement du déchet. Dans certains cas, il apparait nécessaire, souvent pour des raisons économiques de regrouper les déchets avant leur transport vers le centre de valorisation ou de traitement. Ce stockage temporaire peut se faire en déchetteries, en centre de regroupement, en centre de transit ou en plateforme commune **(Fekik et Djaroum, 2024).**

I-5-6. Traitement et valorisation

Selon **Darmey et *al*., (2023)** Chaque pays du monde adopte des pratiques de gestion des déchets pour faire face à la production croissante de déchets solides municipaux (DSM) due à la croissance démographique. Ces techniques permettent de générer des produits valorisables à partir des déchets, en plus de leur objectif principal d'élimination des déchets. Les méthodes

efficaces de gestion des déchets couramment utilisées peuvent être classées en technologies de conversion thermique et biologique. Les technologies de conversion thermique comprennent l'incinération, la combustion, la gazéification et la pyrolyse. Les technologies de conversion biologique comprennent la digestion anaérobie, l'enfouissement et le compostage. Ces différentes technologies sont présentées à la **figure I.3**.

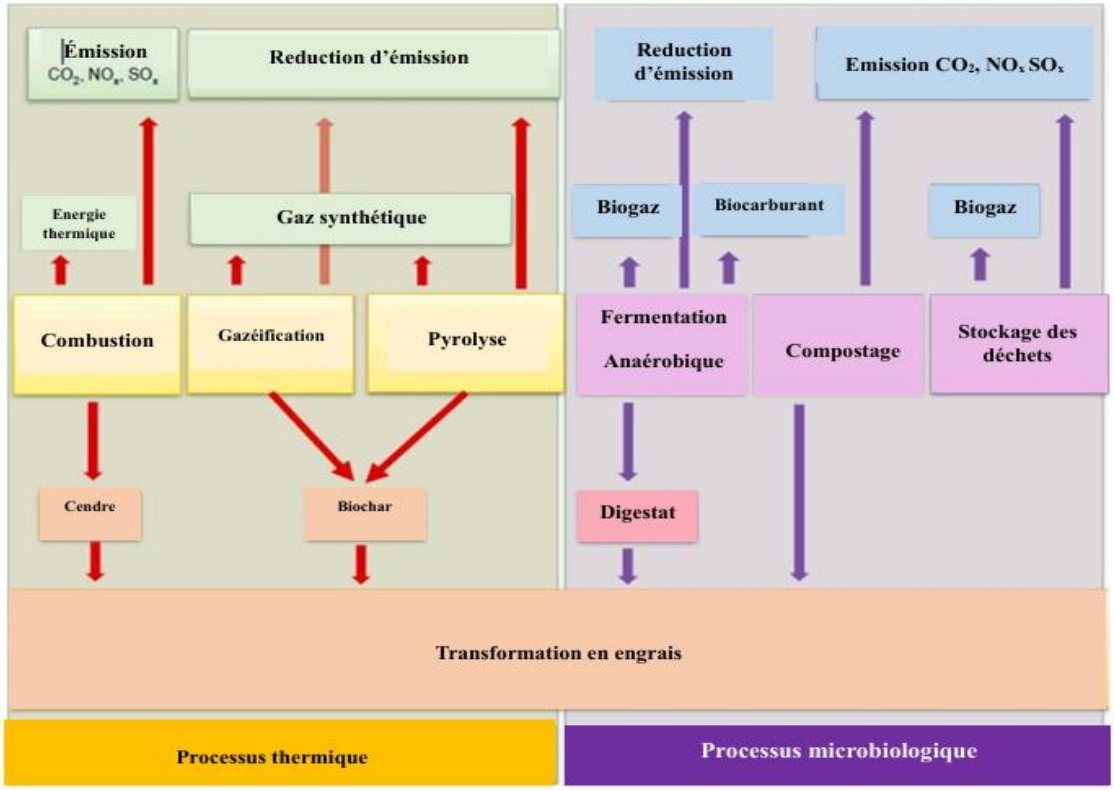


Figure I. 3 *:* Orientations et procédés de valorisation des déchets organiques

Notre étude portera spécifiquement sur les procédés microbiologiques, en particulier le compostage, avec une analyse approfondie de la fermentation anaérobique, du recyclage, de l'incinération et de l'enfouissement, ces derniers étant abordés de manière complémentaire.

I-5-6-1. Méthanisation ou fermentation anaérobie

La méthanisation ou digestion anaérobique (en absence d'oxygène) est un procédé biologique par lequel la matière organique (MO) est transformée en biogaz **(Chidikofan et *al*., 2022).** Elle est aujourd'hui mise en œuvre dans des procédés de traitement de déchets organiques issues d'eaux usées, de déchets alimentaires, de déchets de collectivités ou d'industries agro-alimentaires et des résidus d'exploitations agricoles (élevages et cultures). La dégradation de ces matières organiques s'opère dans des digesteurs et génère un produit humide riche en composés azotés et en matière organique partiellement stabilisée, appelé digestat et un mélange

gazeux, appelé biogaz, saturé en eau et composé d'environ 50% à 70% de méthane (CH4), de 30% à 50% de gaz carbonique (CO_2) et de quelques traces de différents gaz (NH_3, N_2, H_2S) **(Boutoute, 2022).** Le digestat est une source riche d'azote (N), de phosphore (P), de potassium (K) et de soufre (S), de divers micronutriments et de matière organique, dont l'apport au sol peut contribuer à stimuler la biomasse microbienne et les activités métaboliques en améliorant le fonctionnement de l'écosystème du sol. Par ailleurs les caractéristiques du digestat dépendent de la nature et de la composition de la matière ingérée, du type d'installation de méthanisation ainsi que des paramètres de fonctionnement du procédé notamment la température et le temps de rétention hydraulique **(Chidikofan et *al*., 2022).** Cette méthode est généralement divisée en quatre phases (**figure I.4**) : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse présentés dans la figure suivante **(Ducasse, 2023).**

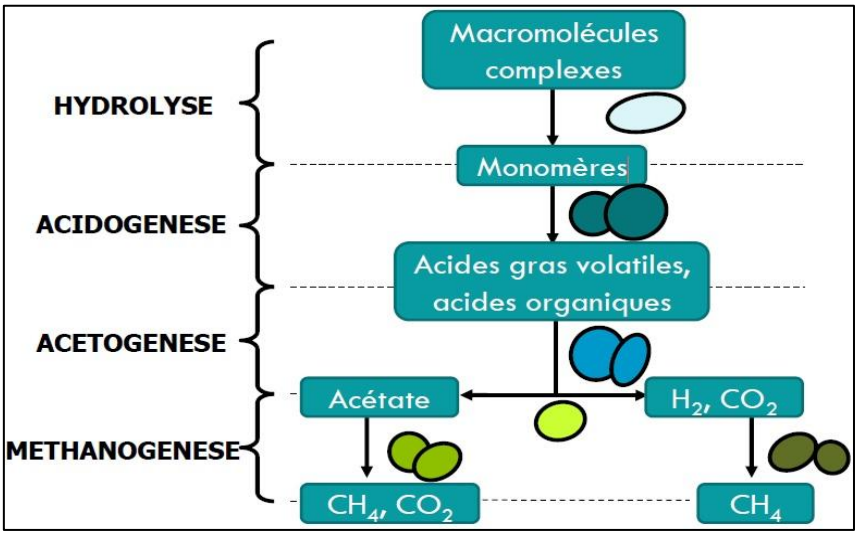


Figure I. 4 : Schéma globale de la cinétique biologique de la méthanisation

I-5-6-2. Recyclage

Le recyclage des déchets consiste à réintroduire les matières premières issues de leur composition dans un nouveau cycle de production, permettant ainsi une réduction de l'extraction des ressources naturelles et une optimisation de la consommation énergétique. Parmi les matériaux les plus couramment recyclés figurent : les matières plastiques, les verres, les papiers, les cartons … **(Fekik et Djaroum, 2024)**.

I-5-6-3. Incinération

L'incinération des déchets peut être envisagée selon deux approches distinctes : sans récupération d'énergie, où les déchets sont simplement brûlés avec émission de chaleur résiduelle, ou avec récupération d'énergie, permettant de transformer la chaleur dégagée en

électricité ou en chauffage, réduisant ainsi l'impact environnemental et valorisant le potentiel énergétique des déchets.

- **Incinération sans récupération d'énergie**

Il s'agit du procédé de combustion de déchets combustibles à haute température. Cette méthode réduit le volume de ces déchets de 90 %. Les résidus de la combustion de matériaux tels que les cendres, le verre et les métaux sont ensuite éliminés dans une décharge contrôlée. Cette méthode ne fait que réduire la taille des déchets, elle ne constitue pas un moyen complet d'élimination des déchets et elle est également associée à des incendies et au rejet de gaz à effet de serre **(Ayilara et *al*., 2020).**

- **Incinération avec récupération d'énergie**

L'incinération/combustion des déchets est une technologie de valorisation énergétique des déchets où, généralement, des déchets solides municipaux mixtes sont brûlés en présence d'air ou d'oxygène en excès à des températures comprises entre 800 °C et 1 200 °C. Contrairement aux anciennes installations d'incinération, dont l'unique objectif était de réduire la masse et le volume des déchets solides municipaux destinés à être mis en décharge, les installations récentes intègrent des systèmes de production de vapeur et, par la suite, d'électricité. Les installations d'incinération avec récupération d'énergie sont, en principe, similaires à une centrale électrique alimentée par des combustibles fossiles. Une installation d'incinération avec récupération d'énergie se compose généralement d'un stockage de déchets, d'une chaudière ou d'un incinérateur, d'une turbine à vapeur et d'un système de traitement des fumées **(Yakah et *al*., 2023).**

I-5-6-4. Enfouissement

Fekik et Djaroum, (2024) rapporte que l'enfouissement consiste à stocker les déchets sous terre, dans des centres d'enfouissement techniques (CET) où les déchets sont répandus en couches successives sur un terrain dont les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques, ainsi que l'aménagement permettent de limiter au maximum les risques de nuisances et de pollution des milieux environnants. En effet en fonction de la classification des déchets trois types de centres d'enfouissement sont requises **(Bentarzi et Ramdane, 2018) :**

- CET de classe I : conçu pour recevoir les déchets spéciaux dangereux.
- CET de classe II : pour les déchets ménagers et assimilés et les déchets spéciaux non dangereux.
- CET de classe III : Cette classe est réservé pour les déchets inertes.

I-5-6-5. Compostage

Le compostage est la conversion biologique de déchets solides de matières organiques végétales et animales en une matrice fertile grâce à de nombreux micro-organismes, dont des actinomycètes, des bactéries et des champignons, en présence d'oxygène. L'ajout de divers micro-organismes à un déchet solide peut le transformer en compost ou en de nombreux sous-produits, tels que la chaleur, l'eau et le CO_2. L'humus est la matrice solide et stable issue du processus microbiologique qui peut être utilement appliquée aux terres comme engrais organique pour améliorer la fertilité et la structure du sol **(Waqas et *al*.,2023).**

I-6. Généralités sur le compostage

I-6-1. Définition

Le compostage est une décomposition biologique autothermique et thermophile de biodéchets collectés sélectivement par des micro-organismes et des macro-organismes, en présence d'oxygène et dans des conditions contrôlées, en vue de la production de compost **(Szulc et *al*., 2021) (Figure I.5).** Il s'agit d'une technique biologique de décomposition des composants de la matière organique des déchets solides en forme stable (humus) en présence de microbes (actinomycètes, champignons et bactéries) dans des conditions contrôlées **(Adetunji et *al*., 2023).**

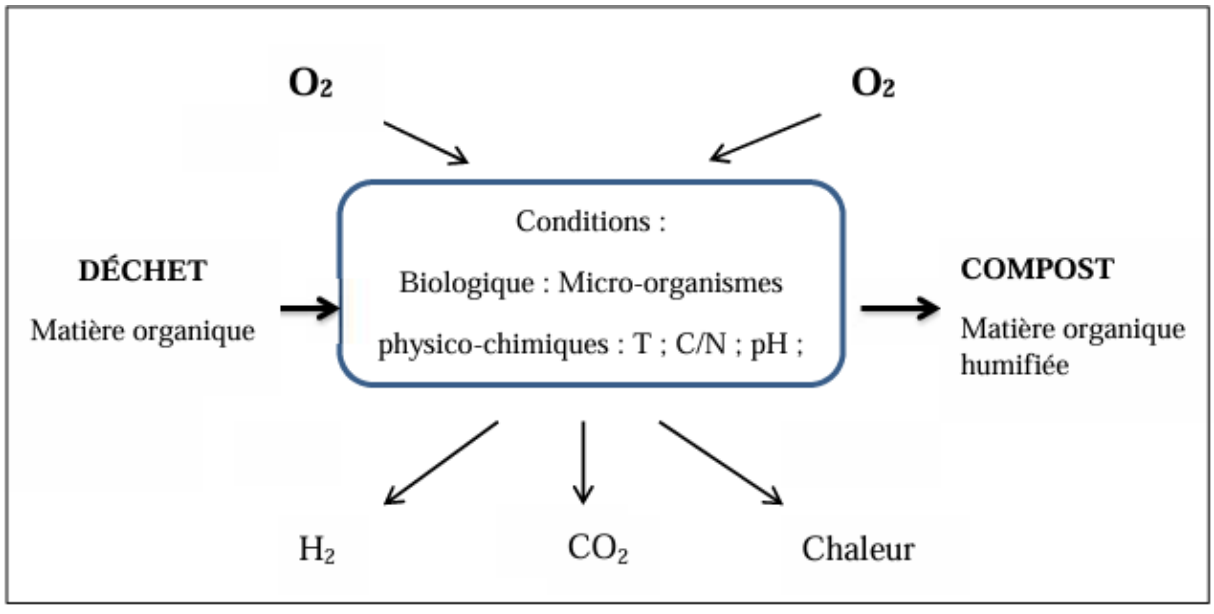


Figure I. 5 : Représentation schématique de processus de compostage (Ait Mouloud, 2021)

I-6-2. Déchets compostables

Les différents matériaux organiques susceptibles d'être composté selon **Aoulmi, (2023)** sont consignés dans le **tableau I.1**:

Tableau I. 1 : Classification des matières selon leur potentiel de comptabilité **(Aoulmi, 2023)**

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

I-6-3. Techniques de compostage

Les techniques de compostage ont considérablement évolué afin de s'adapter à la diversité des déchets organiques tout en limitant les nuisances liées aux odeurs, à l'occupation de l'espace et à la durée du traitement. Parmi les méthodes les plus utilisées figurent le compostage en andains, basé sur l'accumulation de déchets en tas régulièrement aérés, le compostage en conteneurs, qui permet un meilleur contrôle des paramètres opératoires grâce à l'aération forcée, le compostage en fosse, particulièrement adapté aux zones à faibles ressources, ainsi que le vermicompostage, qui repose sur l'action des vers de terre pour accélérer la biodégradation et enrichir le compost en éléments nutritifs **(Bruni et al., 2020 ; Rorat et al., 2021)**. Ces procédés constituent des alternatives durables de valorisation de la fraction organique des déchets. Selon les conditions de dégradation, le compostage se subdivise en compostage aérobie et compostage anaérobie. Le compostage aérobie, réalisé en présence d'oxygène, est le plus répandu en raison de sa rapidité, de son efficacité et de la qualité agronomique du compost produit **(Dharnaik and Pol, 2024).** À l'inverse, le compostage anaérobie s'effectue en absence d'oxygène et conduit à la formation de méthane et de dioxyde de carbone, tout en étant généralement plus lent et susceptible de générer davantage de

nuisances olfactives **(Zhang et al., 2022).** Le processus de compostage aérobie se déroule en quatre phases successives. La phase mésophile marque le démarrage de la dégradation par les micro-organismes actifs entre 20 et 45°C. Elle est suivie de la phase thermophile, caractérisée par une montée de température pouvant atteindre 65 à 70°C, favorisant l'élimination des agents pathogènes et l'accélération de la décomposition **(Mehta and Sirari, 2018)**. Ensuite intervient la phase de refroidissement, correspondant à la diminution progressive de l'activité microbienne, puis la phase de maturation, au cours de laquelle la matière organique se stabilise et se transforme en humus riche, avec un rapport C/N réduit, un pH proche de la neutralité et une amélioration de la capacité d'échange du matériau **(Awasthi et al., 2023).** Ainsi, le compostage représente une technologie écologique et économiquement viable, permettant de transformer efficacement les déchets organiques biodégradables en amendement organique de qualité, tout en contribuant à la réduction des impacts environnementaux liés à l'accumulation des déchets et à la promotion de l'économie circulaire **(Kaza et al., 2023)**. Le processus d'évolution de la température pendant le compostage (des quatre phases : mésophile, thermophile, refroidissement et maturation) est résumé par la **figure I.6**.

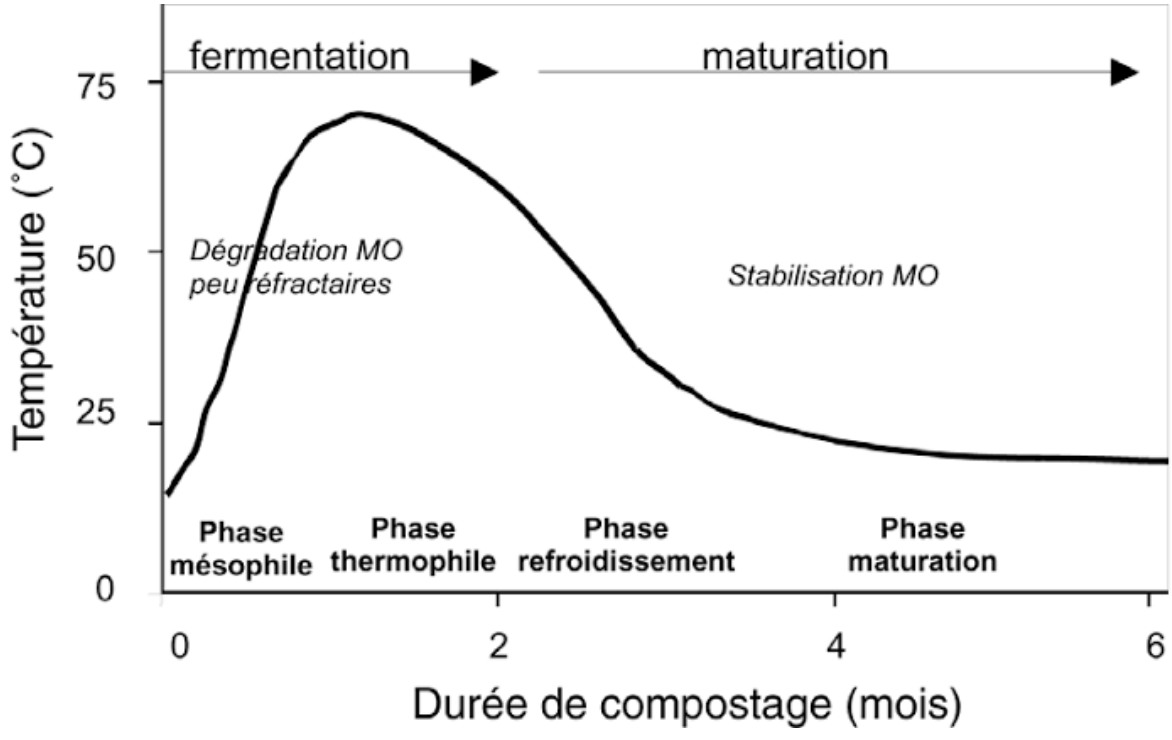


Figure I. 6 : Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage (Fatima, 2024).

I-6-4. Paramètres influençant le processus de compostage et la qualité du compost

Le déroulement du processus de compostage et la qualité du produit obtenu (compost) dépendent de nombreux facteurs tels que : la qualité de la matière première pour le compostage, et en particulier la valeur du rapport C/N, la teneur en macroéléments et en métaux lourds, le pH, la fragmentation de la matière première, l'humidité, l'accès à l'oxygène, etc. **(Szulc et *al*., 2021).**

I-6-4-1. Diversité des déchets

Pour garantir un compost de qualité optimale, il est primordial de veiller à la diversité des intrants, spécifiquement en respectant un rapport carbone/azote (C/N) conforme aux normes. Ce ratio est défini par la proportion entre les matières organiques riches en carbone et celles abondantes en azote.

I-6-4-2. Broyage des déchets

Le processus de compostage requiert une étroite interaction entre les microorganismes, la matière organique et l'oxygène. À cet égard, le broyage préalable des déchets s'avère essentiel. Une fragmentation minutieuse des matières à composter favorise en effet :

- ✓ une meilleure homogénéité structurale du compost une aération optimale du substrat
- ✓ la prévention des zones anaérobies
- ✓ une dégradation plus rapide et plus uniforme

Cette opération préliminaire constitue ainsi un facteur déterminant pour l'obtention d'un compost de qualité, tant sur le plan physique que biologique. Elle permet d'optimiser les conditions de décomposition tout en garantissant la stabilité du produit **(Adjout et *al*., 2020)**

I-6-4-3. Humidification du substrat organique

Il est indispensable d'assurer un apport hydrique adéquat afin de maintenir le substrat organique destiné au compostage à un niveau d'humidité suffisant, car l'eau joue un rôle fondamental en tant que vecteur des réactions biochimiques. L'humidité est nécessaire pour assurer l'activité métabolique des micro-organismes. Le compost devrait avoir une teneur en eau de 40% à 65%. Si le tas est trop sec, le processus de compostage est plus lent, alors qu'au-dessus de 65 % d'humidité, des conditions anaérobies se rencontrent **(Bourouis et Derrag, 2023).**

I-6-4-4. Aération et le retournement régulier du compost

Le compostage est un processus aérobie dans lequel le dioxygène (O_2) est utilisé et des gaz tels que l'eau (H_2O) et le dioxyde de carbone (CO_2) sont libérés. Par conséquent, l'aération est un

facteur important affectant la qualité du compost et l'activité des micro-organismes dans le processus de compostage. L'aération aide également à maintenir la température du compost dans le cas de la décomposition thermophile des déchets organiques **(Szulc et *al*., 2021).**

I-6-4-5. Température

Le processus de compostage met en œuvre deux gammes de température : mésophile et thermophile. Alors que la température idéale pour la phase initiale de compostage est de 20 à 45°C, par la suite, les organismes thermophiles ayant pris le contrôle des étapes ultérieures, une température située entre 50 et 70°C est idéale. Les températures élevées caractérisent les processus de compostage aérobie et sont les indicateurs d'une activité microbienne importante. Les pathogènes sont en général détruits à 55°C et plus, alors que le point critique d'élimination des graines d'adventices est de 62°C. Le retournement et l'aération peuvent être utilisés pour réguler la température **(Bruni et *al*., 2020)**

I-6-4-6. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre important du processus de compostage, car il influence l'activité des micro-organismes pendant le compostage. Un pH compris entre 6,0 et 8,0 est une valeur optimale pour la décomposition de la biomasse. Un pH bas est généralement problématique lors du compostage des déchets alimentaires. Il limite l'activité microbiologique et ralentit la décomposition de la biomasse. Un pH bas affecte également négativement l'augmentation de la température au début du processus de compostage des déchets ménagers **(Szulc et *al*., 2021).** Le pH est un facteur crucial qui guide les réactions du compostage en influençant les populations microbiennes. Au début du processus, un pH acide stimule la croissance des bactéries et des champignons. Cependant, à mesure que le compostage progresse et que les acides organiques sont consommés par d'autres micro-organismes aérobies, le pH augmente, devenant basique. Ce changement favorise alors les actinomycètes et les bactéries alcalines. Ainsi, la surveillance du pH est essentielle tout au long du compostage. Elle permet non seulement de suivre l'évolution de la fermentation, mais aussi d'intervenir pour l'orienter favorablement si nécessaire **(Halliche et Selmane, 2020).** La **figure I.7** présente la courbe d'évolution idéalisée du potentiel hydrogène lors d'un compostage par phase.

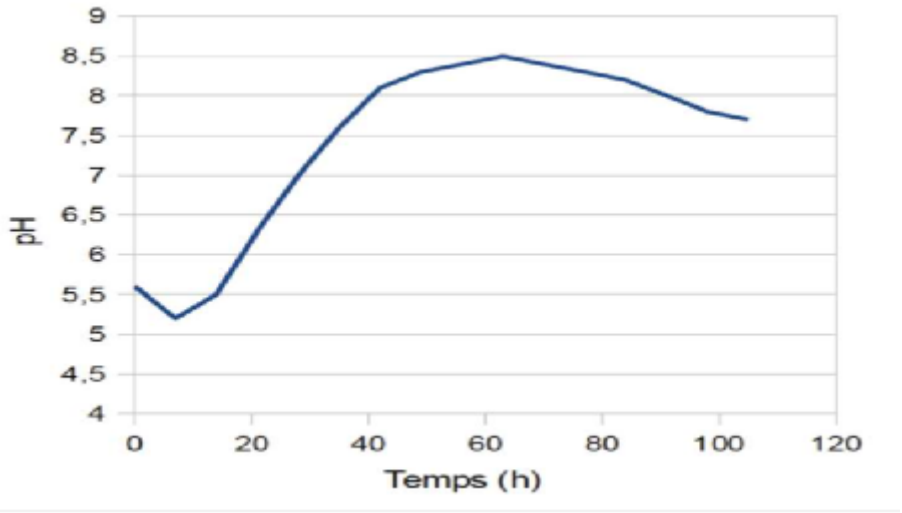


Figure I. 7 : Courbe du pH idéalisée pour un compostage par phase

I-6-4-7. Rapport C/N

Les micro-organismes décomposent les composés organiques pour obtenir de l'énergie pour le métabolisme et des nutriments (tels que N, P, K) afin de maintenir leur population. C et N sont les plus importants : le carbone est utilisé comme source d'énergie et l'azote est utilisé pour la construction de la structure cellulaire. La valeur considérée comme optimale pour le compostage est un rapport C/N de 25–30 :1 **(Szulc et *al*., 2021).** Afin de mettre en évidence la variabilité de ce rapport, le **tableau I.2** illustre le rapport C/N de différents résidus organiques

Tableau I.2: Rapports carbone/azote de divers résidus organiques.

Matières	C/N
Boues d'épuration	10–30
Déchets solides municipaux	49–105
Gaspillage alimentaire	14–17
Déchets de fruits	20–49
Déchets végétaux	10–17
Déchets verts	10–30
Feuilles d'arbres	40–70
Fumier de bétail	13–18
Fumier de volaille	10–17
Résidus de maïs	80–90
Paille de blé	100–150
Sciure	150–500

Par ailleurs, bien qu'une bonne efficacité de compostage puisse être obtenue avec un rapport C/N initial de 20–40 :1. Si le rapport est inférieur à 20, l'azote est perdu et l'ammoniac est libéré, ce qui entraîne une mauvaise odeur dans le compost. Cependant, si le rapport C/N est supérieur à 40, le processus de décomposition ralentit **(El Alami, 2021).** Cependant, un rapport C/N final autour de 10-15 est un indicateur de maturité des composts **(Haouchi et *al.*, 2020).** Le rapport C/N selon durée de dégradation est indiqué sur la **figure I.8** ci-dessous.

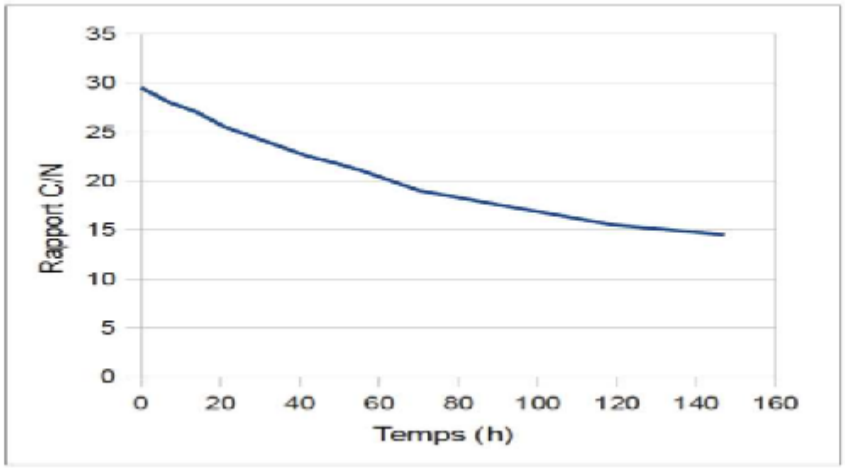


Figure I. 8 : Rapport C/N selon la durée de la dégradation (Halliche et Selmane, 2020)

I-6-5. Compost

Le compost est un matériau stable, parfaitement hygiénique, similaire à l'humus, riche en substances organiques et ne dégageant pas d'odeurs désagréables, obtenu par transformation microbiologique de biodéchets collectés sélectivement **(Szulc et *al.*, 2021).** Sur le plan physique Un compost mûr a une texture friable, une odeur de terre et une couleur brun foncé ou noire. La granulométrie est un paramètre pertinent de caractérisation physique des composts et elle permet d'apprécier le degré de décomposition physique de la matière. Ainsi, le taux d'éléments fins augmente lors du processus de décomposition-dégradation et un taux fort témoigne d'une bonne qualité du compost. De plus, les normes internationales d'appréciation des substances organiques qualifient de très riches les composts dont les particules fines (< 10 mm) sont supérieures à 60% et pour lesquels le taux d'éléments indésirables est inférieur à 5% **(Toundou, 2016)**. Sur le plan biologique, il favorise une activité microbienne optimale grâce à une oxygénation adéquate et une température de compostage qui permet d'hygiéniser le compost afin d'éviter tout risque de contamination. Sur le plan chimique, il maintient un équilibre entre les éléments nutritifs essentiels, tout en respectant les normes réglementaires, en particulier la norme NFU 44-051 en matière de sécurité sanitaire et environnementale. Ainsi, la qualité d'un

compost repose sur une combinaison de critères physiques, biologiques et chimiques visant à garantir son efficacité, son innocuité et sa durabilité dans diverses applications agricoles et environnementales **(Delbarre, 2024)**.

I-6-5. Intérêt économique et social du compostage

I-6-5-1. Environnemental

Contrairement à la mise en décharge, qui augmente le risque de pollution des eaux souterraines, les techniques de compostage discret des déchets sont respectueuses de l'environnement et évitent la contamination des eaux souterraines puisque les polluants chimiques et les bactéries sont réduits pendant le compostage. Le compostage permet aux polluants organiques persistants et aux perturbateurs endocriniens de rester dans le sol tandis que les bactéries bénéfiques décomposent les toxines. L'élimination de ces produits chimiques nocifs n'a pas été simple. Bien que de nombreuses méthodes aient été tentées pour les éradiquer, il n'existe pas de taux de réussite convenu. Une application complète peut accroître la durabilité agricole et environnementale. Elle améliore également la teneur en matière organique du sol et accroît la productivité agricole grâce à la disponibilité d'organismes favorisant la croissance des plantes et de nutriments suffisants dans les débris compostés et contribue significativement à la certification de la sécurité alimentaire. Le compost est utile pour la bioremédiation, le contrôle des mauvaises herbes, le contrôle des maladies des plantes, l'anticipation de la pollution et la gestion de l'érosion, en plus de son utilisation comme engrais. Le compostage augmente également la biodiversité des sols et réduit les risques environnementaux associés aux engrais synthétiques **(Waqas et *al*.,2023)**.

I-6-5-2. Agricole

Les bénéfices agronomiques liés à l'application des composts dans le sol sont diversifiés. Il améliore l'adsorption des éléments nutritifs par la plante, ainsi que la stimulation de l'activité microbienne du sol et celle des microorganismes du compost lui-même. Sa valorisation agronomique a beaucoup d'avantage pour le sol et la végétation. L'utilisation du compost favorise ainsi le processus de reforestation en améliorant la nutrition et la croissance des plantes mais surtout en augmentant leur potentiel de survie pendant les périodes de sécheresse **(Khadija, 2021)**.

I-6-5-3. Effets sur le sol

Les micro-organismes jouent un rôle très important en fournissant des nutriments aux plantes, mais aussi en agissant contre les maladies du sol. Beaucoup de composts ont la capacité de réprimer l'activité des agents pathogènes. Les effets directs comprennent la compétition microbienne pour les nutriments, les substances humiques, les substances volatiles toxiques ou

les effets parasitaires directs. Les effets indirects des composts sont une croissance plus vigoureuse des plantes, une réduction du stress, une résistance induite et une amélioration de la structure du sol. De plus, le compost a une teneur élevée en matière organique et peut facilement augmenter le niveau de matière organique dans les sols. Il en résulte une meilleure stabilité structurale du sol, une meilleure capacité de rétention d'eau et un taux d'infiltration plus élevé, ainsi qu'une capacité d'échange cationique supérieure **(Bourouis et Derrag, 2023)**. Le compost peut donc contribuer à l'amélioration des niveaux de nutriments du sol, nécessaires à la croissance des plantes, et minimise considérablement le recours aux engrais synthétiques En raison de sa capacité à augmenter la teneur en carbone organique du sol, l'application de compost peut revitaliser les sols qui en ont cruellement besoin. De plus, en tant qu'amendement du sol, le compost améliore la structure du sol, la capacité de rétention d'eau et la texture du sol **(Waqas et *al*.,2023)**.

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES EXPERIMENTALES

II- MATERIEL ET METHODES EXPERIMENTALES

II-1. Matériel

II-1-1. Présentation de la zone d'étude

L'Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUET-BOIGNY (INP-HB) a été créé par décret 96-678 du 04 septembre 1996, de la restructuration de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA), l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), l'Institut Agricole de Bouaké (IAB) et de l'Institut National Supérieure de l'Enseignement Technique (INSET). Quatre établissements que l'on désigne communément sous vocable de Grandes Ecoles de Yamoussoukro https://inphb.ci/.

II-1-2. Localisation géographique de la cité universitaire et du site d'expérience

Notre investigation s'est articulée autour de deux phases consécutives. La première, qui a consisté en la collecte des données, a été menée sur le site de la cité universitaire de l'INP-HB centre (figure II.1). La seconde, la phase expérimentale, a été réalisée dans les locaux du biocharlab.

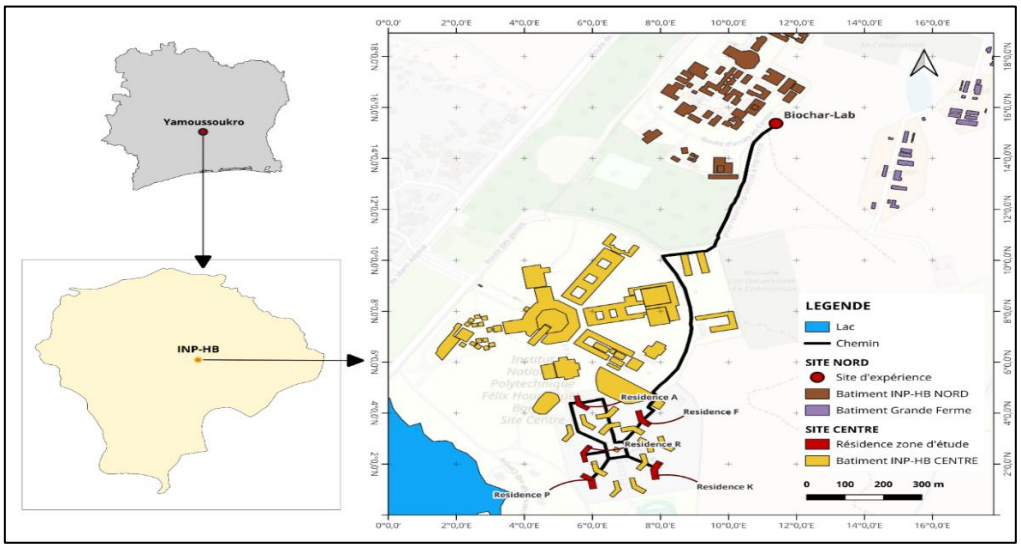


Figure II. 1 : Localisation de la zone d'étude et du site d'expérience

Le Biochar-lab est le site expérimental du Fab-lab Chimie et Procédés, localisé dans la zone nord de l'INP-HB.

II-1-3. Matériel de collecte

Dans le cadre de cette étude plusieurs équipements ont été mobilisés partant de la collecte des déchets à la caractérisation du compost.

- ✓ **Poubelles de tri sélectif**

Ces trois (03) bacs distincts (**Figure II.2**) forment un point d'apport volontaire (PAV) des déchets pour le tri sélectif. Chaque bac coloré et étiqueté est dédié à une catégorie spécifique de déchets afin de faciliter le tri par les résidents et limiter les erreurs de dépôt.



Figure II.2: Poubelles de tri sélectifs

- **Poubelle noire :** destiné aux déchets alimentaires et autres matières biodégradables. Il reçoit principalement les restes de repas, les épluchures, les feuilles mortes et autres déchets compostables.
- **Poubelle bleue** : réservé aux déchets plastiques, métalliques et en verre. Il permet de collecter les bouteilles en plastique, les canettes, les bocaux et les cartouches usagées.
- **Poubelle jaune** : conçu pour les déchets papiers, cartons et textiles. Il accueille les feuilles imprimées, les emballages en carton et les tissus non réutilisables.

✓ **Balance électronique**

L'appareil de pesée utilisé dans le cadre de cette étude est une balance suspendue de marque Henze, modèle 14191-761^{E} (**figure II.3**), présentant une capacité maximale de 50 kilogrammes, et offrant une précision adaptée aux exigences du suivi quantitatif des déchets collectés.



Figure II. 3: Balance électronique (Henze)

Outre le matériel présenté ci-dessus une fiche journalière de suivi a été élaborée afin d'assurer une collecte structurée du flux des déchets sur les résidences (A, F, K, R et P) (voir annexe).

II-1-4- Matériel de compostage et de caractérisation

La **Figure II.4** présente une illustration des différentes phases du compostage des déchets alimentaires et des opérations de suivi analytique de compost.



Déchets alimentaires



Couvercle du composteur



Composteur et déchets alimentaires



Dispositifs expérimentaux



Mesure de la température



Mesure du pH et de l'humidité



Agilent 5800 ICP-0ES

Figure II. 4: Illustration des différentes phases du compostage des déchets alimentaires et des opérations de suivi analytique

II-2. METHODES

La présente étude repose sur l'exploitation d'une approche biotechnologique émergente et durable : la bioconversion des déchets organiques par les larves de mouches soldats noires (MSN) (*Hermetia illucens*). L'efficacité de ce processus est non seulement pour la réduction massique des substrats, mais surtout pour la production de compost (ou résidu de bioconversion). Pour ce faire la méthodologie adoptée a consisté à faire :

- **La sensibilisation des résidents de la cité universitaire à la pratique du tri sélectif à la source.**

Le volet opérationnel de la sensibilisation a été faite par communication orale (explications et informations) aux près des résidents (**Figure II.5A**) et écrite (affiche) au niveau des points d'apport volontaire (**Figure II.5B**).

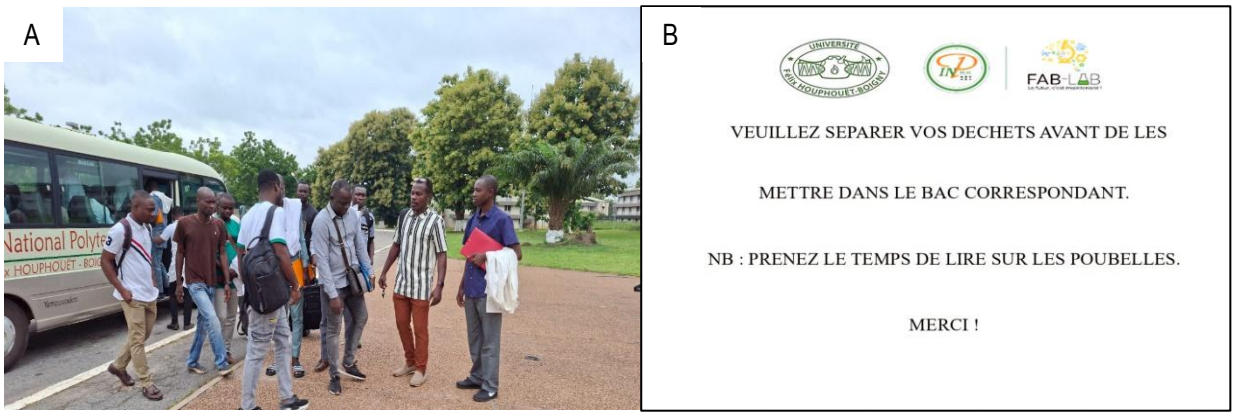


Figure II. 5. Campagne de Sensibilisation : (A) des enseignants bivalents et (B) Affiche de sensibilisation

- **Enquête sur le tri-sélectif**

Afin de comprendre les freins et les leviers à l'adoption d'un tri sélectif efficace, une enquête quantitative a été menée auprès d'un échantillon de résidents de la cité universitaire (102 résidents). Cette enquête visait à analyser de manière systématique les facteurs influençant leurs comportements, en considérant tant les dimensions individuelles (niveau d'information, habitude de tri, motivation …) que contextuelles (accessibilités des points de tri, clarté des consignes). La conception du questionnaire a été réalisée sur Word, imprimé et distribués aux résidents. Le traitement des données collectés a été fait à partir du logiciel KoboToolbox, spécifiquement via son application Kobocollect.

- **Collecte des déchets**

Cette phase d'acquisition des données s'est étendue sur trois semaines et a ciblé exclusivement les résidences A, F, K, P et R. Les déchets contenus dans chaque poubelle était pesé à l'aide de

la balance électronique. Et les valeurs étaient relevées sur la fiche journalière. Cette démarche était répétée chaque matin durant cette période entre 7h30 et 10h.

❖ Dispositif expérimental de production du compost

À l'issue de la collecte des déchets réalisée au sein des résidences, la fraction organique a été transférée sur le site expérimental (Biochar-lab.). Les biodéchets ont été triés afin de retirer les débris inorganiques et/ou les déchets organiques à dégradation partielle. Pour les besoins de l'étude, des composteurs expérimentaux ont été conçus. Le dispositif expérimental était constitué de deux bacs en plastique superposés. Le premier fonctionnait comme composteur principal, perforé d'un orifice et muni d'un couvercle également perforé de plusieurs orifices servant de système de drainage nécessaire pour éliminer le liquide stagnant qui limiterait l'accès des larves à la nourriture et permettre aussi les échanges gazeux. Le second bac, positionné en dessous, assurait la fonction de récupérateur de lixiviats. Deux dispositifs de compostage ont été réalisé (**Tableau II.1**).

Tableau II. 1. Composition des biodéchets utilisés dans les composteurs expérimentaux

Composteur	Masse totale (kg)	Composition des biodéchets
Composteur A	**15,362**	Épluchures de banane douce ; épluchures de patate ; coquilles d'œufs ; coques d'arachides ; zestes et résidus d'oranges ; restes d'haricots ; pain rassis ; semoule de manioc (attiéké) ; restes de riz blanc ; épluchures de papaye ; aubergines et tomates ; épluchures de concombre ; feuilles vertes
Composteur B	**14,500**	Peaux de pastèque ; spathes de maïs ; manioc cuit ; chou blanc ; feuilles d'oignons ; restes de spaghetti ; aubergines violettes ; pain rassis ; épluchures d'ananas ; zestes d'oranges ; feuilles de persil ; semoule de manioc (attiéké)

❖ Suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques

Le suivi des paramètres physico-chimiques, incluant la température, le pH et l'humidité, a été initié au troisième jour et maintenu jusqu'à la fin du processus de compostage. Les mesures ont été réalisées selon une fréquence de 03 jours, précédant systématiquement une opération de retournement. La prise de mesure s'effectuait par introduction directe des sondes du thermomètre et du pH-mètre au sein de la masse compostée. Elle s'effectuait entre 09h et 10h du matin.

❖ **Caractérisation du produit final**

À la fin du processus de compostage, des échantillons composites de chaque compost ont été prélevés. Les échantillons d'indice 1 (A_1 et B_1) ont été prélevés en surface et ceux d'indices 2 (A_2 et B_2) plus en profondeur.

- **Teneur en humidité et en matières organiques**

Pour déterminer le taux d'humidité, 1g de chaque compost frais (m_1) a été mis à sécher à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Après séchage la masse sèche (m_2) de chaque compost a été pesée. Le taux d'humidité (H) est exprimé par la formule suivante :

$$H\ (\%) = \frac{m1 - m2}{m2} \times 100$$

Avec m_1 : masse de compost avant séchage et m_2 : masse de compost après séchage à l'étuve.

Le taux de matière organique (MO) a été déterminé selon la méthode de dosage du carbone par voie sèche. Cette méthode implique de calciner les échantillons de composts à 550°C pendant 3 heures dans un four. Le taux de MO a été alors calculé en utilisant la formule suivante :

$$MO\ (\%) = \frac{m2 - m3}{m3} \times 100$$

Avec m_2 : masse de compost après séchage à l'étuve et m_3 : masse de cendre obtenu après calcination.

A partir de la proportion de la matière organique déterminée, le pourcentage de carbone contenu dans les différents échantillons a été déterminé en utilisant la formule ci-après :

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

Avec C : taux de carbone contenu dans l'échantillon.

- **Détermination du taux d'azote totale**

La teneur en azote totale dans les échantillons a été déterminé selon la méthode de Kjeldahl et le rapport C/N de chaque compost est établi par le carbone total contenu dans chaque échantillon de compost sur l'azote total obtenu.

❖ **Analyse du lixiviat**

L'analyse du lixiviat a été réalisé à l'aide d'une spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES). Cela a nécessité 10 mL d'une solution préparée en diluant 0,5 mL d'échantillon dans une fiole jaugée de 50 mL.

.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

III- RESULTATS ET DISCUSSION

III-1. Résultats de la Sensibilisation

L'évaluation des résultats post-sensibilisation a mis en évidence une adoption contrastée du tri sélectif. Des disparités significatives ont été observées entre les résidences, avec une mise en pratique effective dans certains secteurs, tandis que d'autres montraient une adhésion limitée. Ces disparités sont illustrées par les **figures III.1 A et III.1 B** ci-dessous.



Figure III.1: Illustration des disparités de tri : (**A**) Tri respecté à la résidence F et (**B**) Tri non respecté à la résidence P

III-2. Résultats de l'enquête

Le traitement analytique des données recueillies permet de distinguer plusieurs tendances structurantes, seules les plus significatives au regard de nos objectifs spécifiques seront exposées.

III-2-1. Composition des participants

Les **figures III. 2 et III.3** présentent respectivement la composition des participants selon leurs fonctions et tranches d'âges. En premier lieu, cette composition de l'échantillonnage d'étude fait ressortir une structure démographique marquée par la prédominance des Techniciens supérieurs. Sur un effectif total de cent deux (102) répondants (dont 52 hommes et 50 femmes), cette catégorie représente plus de la moitié des participants, avec cinquante-deux (52) individus, correspondant à une proportion de 50,98%. La répartition des autres catégories se décline comme suit :

- Enseignants bivalents du secondaire : dix-huit (18) personnes, soit 17,65% de l'échantillon ;

- Elèves Ingénieurs : quinze (15) individus, représentant 14,71% ;
- Elèves Etudiants : quatorze (14) individus, représentant 13,73% ;
- Elèves des classes préparatoires : trois (03) individus constituant 2,94% ;

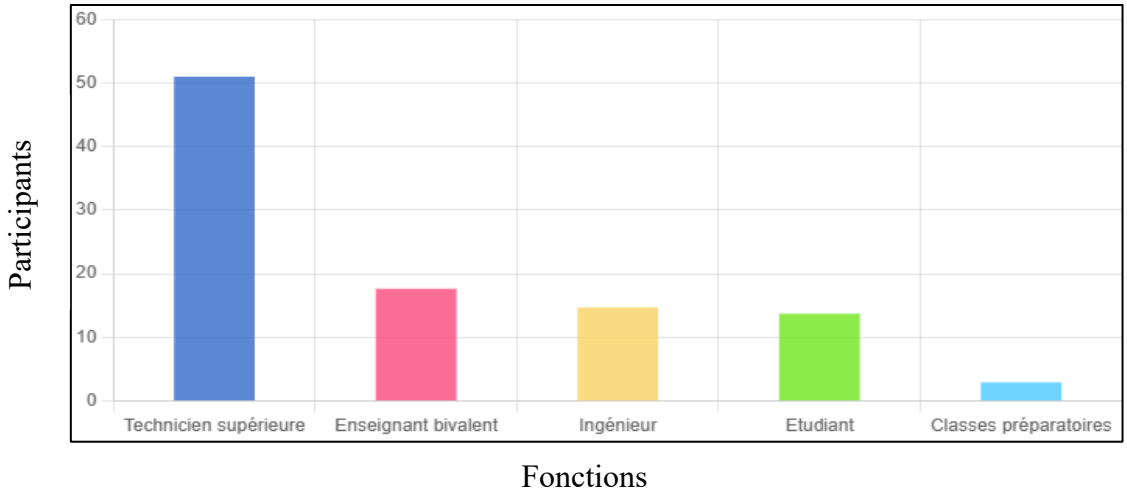


Figure III. 2 : Composition des participants selon leurs fonctions

En second lieu la catégorie des 18-25 ans constitue la tranche d'âge majoritaire et représente le segment le plus significatif de l'échantillon (**Figure III.3**).

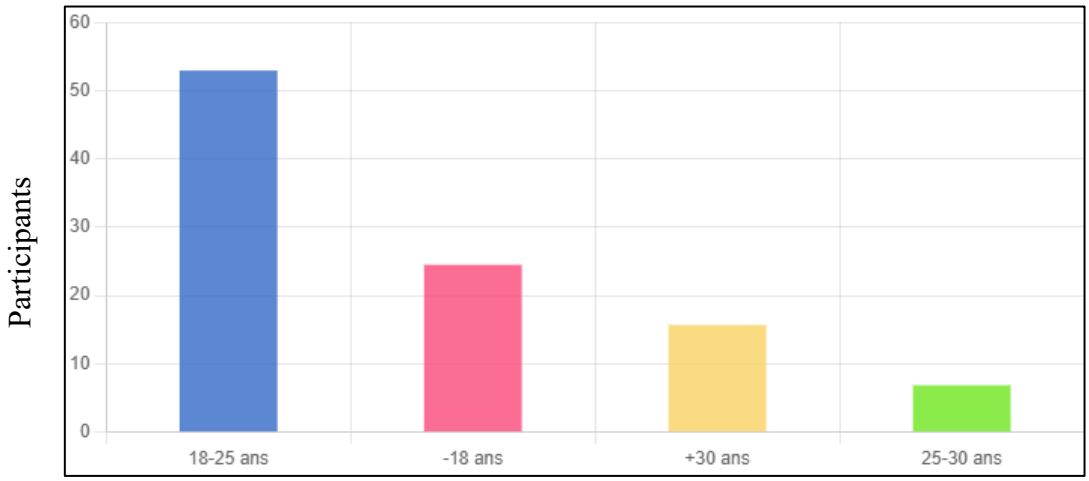


Figure III. 3 : Répartition des répondants par tranche d'âge

La répartition des autres tranches d'âge montre que les répondants de moins de 18 ans forment le deuxième groupe en importance, suivis par les 25-30 ans qui constituent une part notable mais moindre, tandis que la tranche des plus de 30 ans est la moins représentée. Cette distribution révèle que l'échantillon est principalement composé de jeunes adultes et d'adolescents. Cette caractéristique démographique est fondamentale, car les perceptions, habitudes et réponses peuvent être fortement influencées par l'âge.

III-2-2. Mini-poubelle

La **figure III.4** présente le nombre de participants disposant d'une mini-poubelle en chambre. Les données montrent que, la possession d'une mini-poubelle dans les chambres est un fait majoritaire au sein de la population étudiée, et concerne 80,39 % des répondants. Cette situation dominante laisse toutefois apparaître une frange non négligeable de 19,61 % des résidents qui n'en ont pas. Cela pourrait causé par le non-respect du tri. La présence des mini-poubelles dans les chambres pourrait avoir comme conséquence sur le tri, à savoir le mélange des flux. Le résident est susceptible de mélanger tous les déchets dans sa mini-poubelle et cela complique et pourrait annuler tout possibilité de tri. Toutefois l'obligation de se déplacer jusqu'au point d'apport volontaire (PAV) pour le moindre déchet augmente la charge cognitive et physique associé au geste.

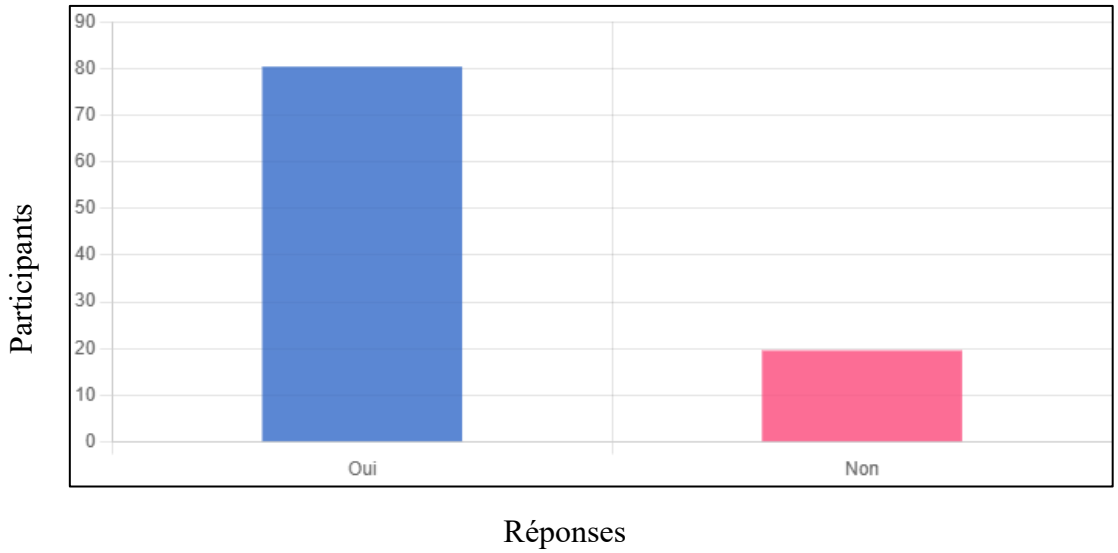


Figure III. 4: Taux de possession de mini-poubelle.

III-2-3. Tri

La **Figure III.5** illustre la corrélation entre la possession d'une mini-poubelle individuelle et l'adoption du tri sélectif par les résidents avant le dépôt des déchets aux points d'apport volontaire (PAV). Plus précisément, cette représentation graphique permet de quantifier la proportion des répondants équipés qui intègrent une étape de tri des déchets en amont avant leurs acheminements vers les infrastructures collectives. Ce croisement de données est déterminant pour évaluer le niveau d'engagement actif des résidents à trier leurs déchets. Parmi eux 6,86% ne sont pas persuadés de comment faire le tri ; 28,43% ont répondu « Oui, la plupart du temps » ; 22,55% ont répondu « Non, jamais » ; 18,63% affirment le faire rarement et une part marginale (5,88%) ont signifiés faire systématiquement le tri au préalable.

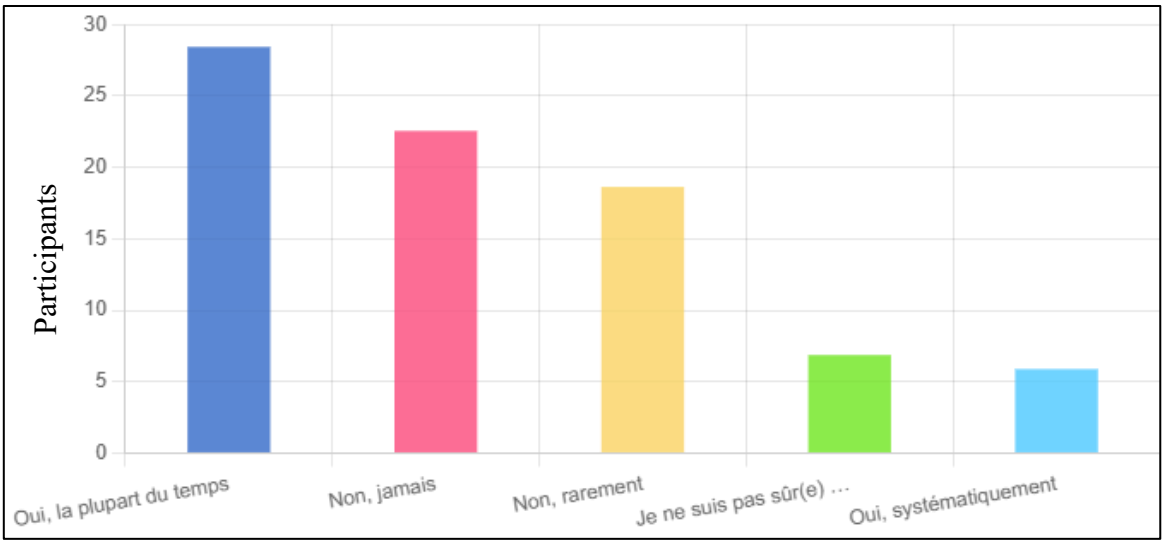


Figure III. 5: Répartition des résidents selon la fréquence du tri sélectif en amont du dépôt.

En outre, les données de l'enquête révèlent également une forte tendance à la fréquence de vidange des mini-poubelles par les résidents. Il est fondamental de souligner qu'une majorité des enquêtés (37,25%) déclarent effectuer cette opération uniquement lorsque le contenant est plein. Par ailleurs une proportion significative, bien que moindre (27,45%) procède à la vidange selon le rythme de deux à trois jours. Enfin la vidange quotidienne du dispositif ne concerne qu'une fraction minoritaire de l'échantillon, s'établissant à 17,65%. En l'absence d'un tri effectué à la source (mini-poubelle), l'analyse révèle que certains résidents procèdent directement à la séparation de leurs déchets au niveau des bacs collectifs. Cette pratique est observée de manière systématique par 27,45% des enquêtés, tandis qu'une proportion plus élevée, s'élevant à 42,16%, déclare l'effectuer « la plupart du temps ». Ces réponses sont regroupées dans la **Figure III. 6** ci-dessous.

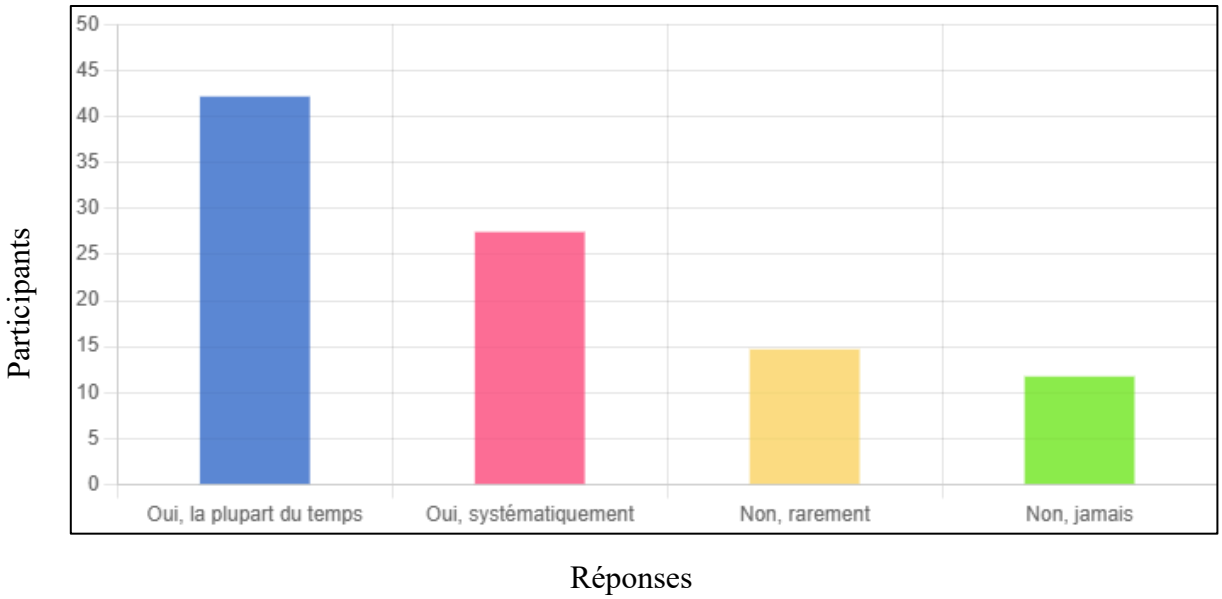


Figure III. 6 : Distribution de la pratique du tri sélectif par les résidents aux points d'apport volontaire.

Ces chiffres témoignent d'un effort de tri maintenu, même lorsque le tri préalable fait défaut. À l'opposé, une minorité non négligeable des répondants fait état d'une absence de tri. A ce stade : 14,71% affirment le faire « rarement » et 11,76% ne le font pas du tout (« jamais »). Cette persistance d'un comportement de non-tri au point de collecte représente un facteur limitant potentiel pour l'efficacité globale du processus de valorisation des déchets**.**

III-2-4. Facteurs de motivation à l'égard du tri sélectif

Les facteurs de motivation à l'égard du tri sélectif se présentent comme suit :

D'un côté la **figure III.7** présente les raisons pour lesquelles les résidents font le tri des déchets. En effet, les données mettent en évidence une double source de motivation principale, ancrée dans des considérations à la fois pratiques et éthiques :

- plus de la moitié des enquêtés, soit 50,98%, sont principalement motivés par le « désir de maintenir un environnement de vie propre et agréable ». Cette prédominance suggère que l'incitation immédiate liée au cadre de vie personnel est le levier le plus puissant.
- la conscience environnementale représente également un moteur majeur, mobilisant 45,1% des répondants. Ce taux élevé témoigne d'une intériorisation des enjeux écologiques au-delà des seuls bénéfices individuels.
- des facteurs de motivation d'ordre organisationnel et logistique jouent également un rôle notable. Environ un quart des résidents, soit 22,55%, agit sous l'effet des « directives claires de l'administration de l'INP-HB ». De plus, la facilité d'accès aux points de

collecte motive 20,59% de l'échantillon, soulignant l'importance d'une infrastructure accessible. Enfin, des motivations moins structurantes, telles que l'influence positive des amis ou colocataires et l'absence de raison précise, restent marginales, ne cumulant que 2,94% chacune.

Ces résultats indiquent que l'adoption du tri sélectif repose majoritairement sur des motivations intrinsèques (conscience environnementale) et des bénéfices directs (propreté de l'environnement immédiat). La forte proportion de réponses liées à l'environnement de vie propre (50,98%) suggère que les campagnes de sensibilisation pourraient gagner en efficacité en insistant sur les retombées concrètes et visibles du tri sur le quotidien des résidents. Bien que les directives administratives et l'accessibilité logistique soient des facteurs (plus de 20% chacun), leur impact reste secondaire par rapport aux motivations personnelles. Il est donc pertinent de discuter de l'opportunité de renforcer l'aspect organisationnel (multiplication et optimisation des PAV) afin de convertir les résidents qui ne sont pas mus par une forte conviction personnelle, mais qui pourraient être encouragés par une facilité logistique accrue. La faiblesse de l'influence des amis (2,94%) peut être interprétée comme un manque d'effet d'entraînement social, suggérant que les pratiques de tri restent majoritairement une décision individuelle et non une norme collective fortement établie.

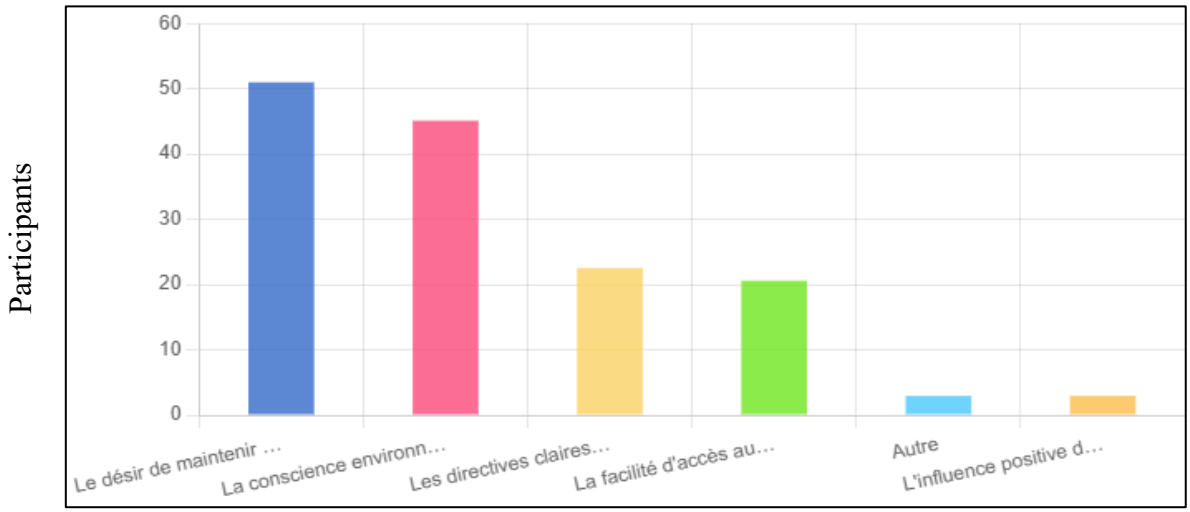


Figure III. 7: Répartition des sources de motivation des résidents

D'un autre côté la **figure III.8** met en évidence les raisons pour lesquelles les enquêtés ne font pas le tri des déchets.

- 13,73% des enquêtés affirment ne pas trier par manque de temps et parce qu'ils ne considèrent pas l'écogeste comme une priorité. Ce résultat place le tri en concurrence directe avec d'autres impératifs quotidiens.

Ensuite, les freins se répartissent entre des problèmes d'infrastructure et de connaissance :

- 12,75% des résidents pointent le manque de poubelles (bacs) à proximité, signalant un déficit dans la mise à disposition de l'infrastructure de collecte sélective.
- 8,82% des répondants déclarent ne pas trier parce qu'ils ne savent pas comment trier. Ce taux, combiné aux 5,88% qui jugent les consignes de tri non claires ou incompréhensibles, révèle un problème informationnel significatif.
- 4,9% estiment qu'il est impossible de trier les déchets une fois mélangés dans la mini-poubelle.
- Seuls 1,96% ne voient pas l'intérêt ou l'impact du tri, ce qui, bien que minoritaire, est un indicateur de la nécessité de communiquer sur l'effet concret de la démarche.

Le principal obstacle réside dans le manque de temps et la faible priorité accordée au tri (13,73%). Cela signifie que le geste n'est pas encore suffisamment intégré comme une habitude automatique. Près d'un tiers des non-trieurs est freiné par des facteurs sur lesquels l'administration peut agir directement : Logistique (12,75%) : Manque de poubelles (bacs) à proximité, Information (14,70%) : Cumul des résidents qui ne connaissent pas les consignes (8,82%) et de ceux qui les jugent non claires (5,88%). L'amélioration de la signalétique et de l'accessibilité des points de collecte représente la voie la plus directe pour convertir ces non-trieurs. De plus, la proportion de 4,9% qui perçoit l'impossibilité de trier une fois les déchets mélangés révèle un besoin en éducation spécifique sur le tri à la source.

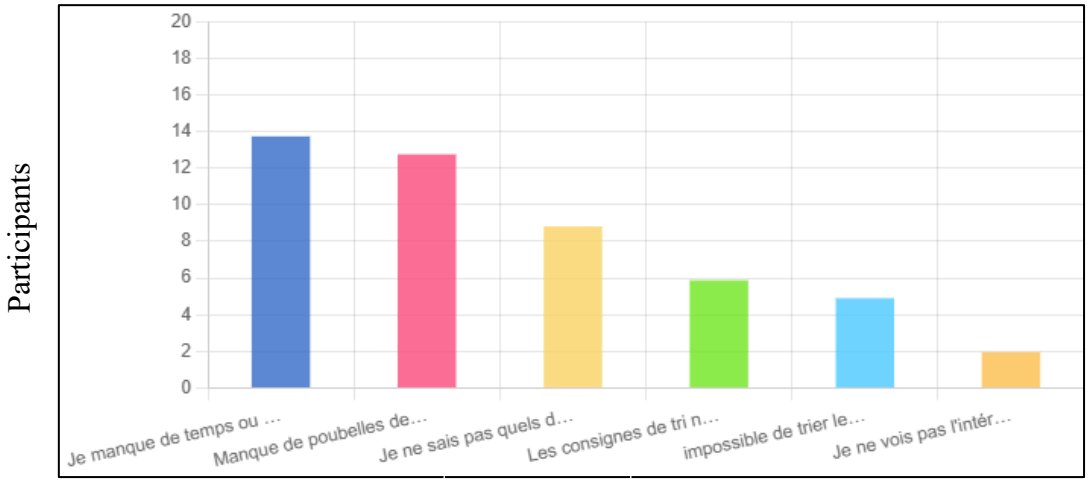


Figure III. 8: Freins et obstacles à l'adoption du tri sélectif

III-2-5. Evaluation de l'accessibilité logistique et de la clarté des consignes de tri

Outre les obstacles précédemment identifiés, il est essentiel d'examiner l'impact de l'accessibilité des poubelles et de la lisibilité des consignes de tri. En effet les résultats sur l'accessibilité montrent que : Quatre-vingt-dix (90) résidents sur l'effectif total jugent les poubelles de tri bien situées et visibles. Ce chiffre témoigne d'une implantation efficace du dispositif de collecte. Néanmoins, 7,84% des répondants (soit huit résidents) signalent un déficit d'équipement ou un mauvais emplacement de celui-ci. Une faible proportion de l'échantillon (4 individus) a répondu ne pas avoir activement cherché les points de collecte, ce qui pourrait indiquer une faible motivation initiale. L'évaluation de l'infrastructure ne saurait être complète sans l'examen de la qualité de la signalétique. Les données confirment une large satisfaction quant à la clarté des instructions de tri : Soixante-dix-sept (77) participants déclarent trouver les consignes affichées claires et intuitives, ce qui atteste de l'efficacité de la communication visuelle mise en place. Par contre, dix-sept (17) répondants jugent les informations « assez claires, mais parfois un peu confuses ». Cette ambivalence souligne un besoin de standardisation et de simplification accrue pour cette frange de la population. Une proportion de 7,84% des enquêtés manifeste une difficulté significative de compréhension, répondant que les consignes ne sont « pas du tout claires ». Ces différents résultats sont présentés par les **figures III.29 et III.30** ci-dessous :

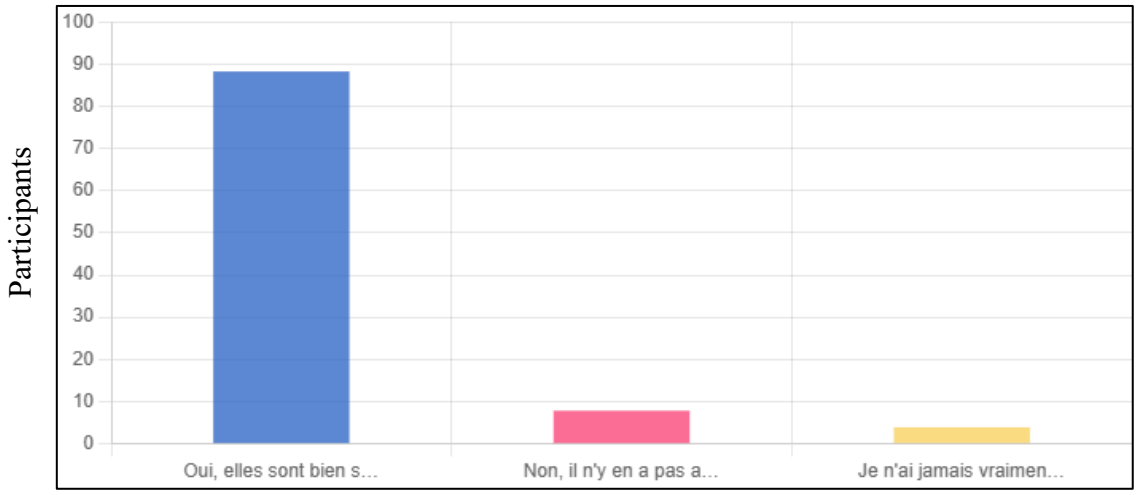


Figure III. 9: Proportions sur l'accessibilité logistique

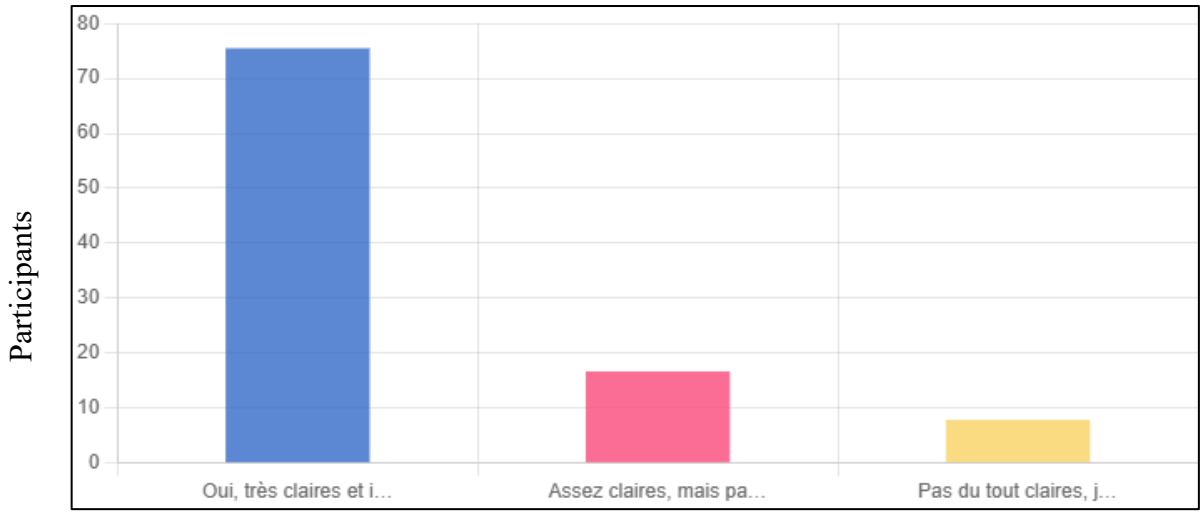


Figure III.10 : Proportions sur la clarté des consignes de tri

III-2-5. Résultats de la collecte des déchets

La **figure III.10** met en évidence les quantités de déchets (en kg) collectés dans cinq (05) résidences (A, F, K, R, P), triées selon trois (03) flux : poubelle bleue (déchets plastiques, métaux), poubelle jaune (tissus, papiers, cartons) et poubelle noire (déchets biodégradables). Les données révèlent plusieurs tendances significatives**.** Selon l'ordre de production, la résidence A se distingue nettement comme la plus grande productrice de déchets avec une masse totale de 461,96 kg de déchets, soit plus du double de celle de la résidence R (215,53 kg) classé troisième. La résidence F avec une quantité de production de (253,19 kg) est classé deuxième. Viennent ensuite les résidences K (233,36 kg), et P (187,75 kg). Cet écart considérable suggère des différences importantes en termes de nombre d'occupants, de modes de consommation. La répartition des types de déchets se présente comme suit :

- **poubelle jaune** : ce flux est majoritaire dans l'ensemble des résidences, avec un total de 717,50 kg, représentant 53,0% du total général. Cela pourrait s'expliquer par le rejet des déchets tels que, les vêtements usés, les cahiers, les livres et documents par les résidents lors de la libération des chambres.
- **poubelle bleue** : avec 364,26 kg, ce flux constitue 27% du total, ce qui la place en deuxième position. Cette production de déchets dédié à la poubelle bleue est causée par la consommation des bouteilles d'eau et des sachets d'emballages de nourritures et aussi par le rejet des appareils électroménagers. Toutefois le nombre d'occupant des résidences joue un rôle essentiel sur la production.

- **poubelle noire** : les déchets dégradables ou biodéchets représentent la part la plus faible avec 270,03 kg, soit 20,0% du total. Cette proportion n'est pas à négligé et pourrait se justifié par la fréquentation majoritaire des résidents au restaurant du campus.

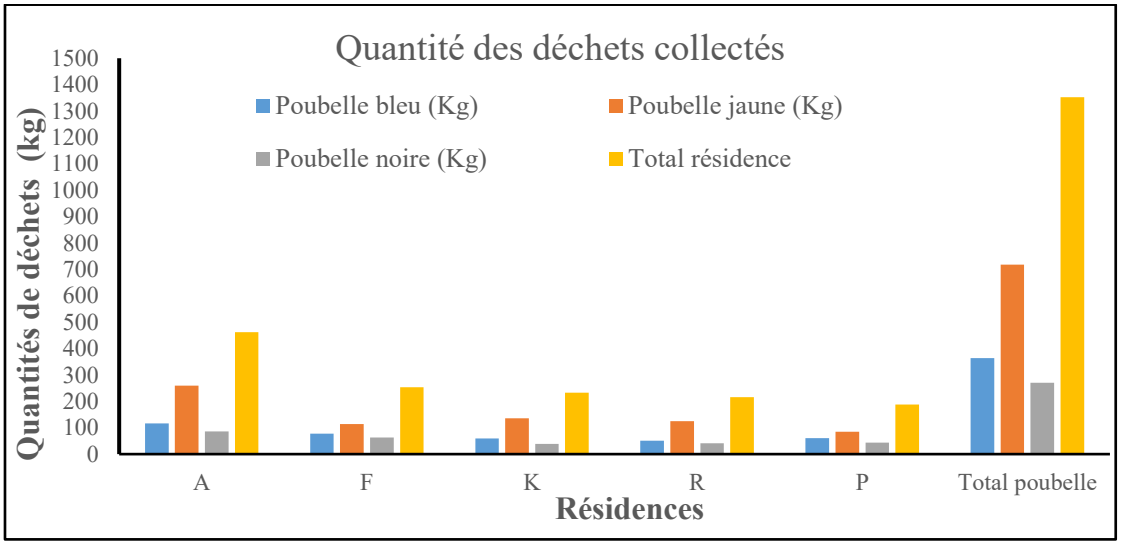


Figure III. 11: Quantités estimative des déchets sur les résidences A, F, K, R et P.

III-3. Paramètres physico-chimiques des substrats de compostage

La collecte des données a porté sur le suivi de l'évolution de trois paramètres physico-chimiques essentiels : le pH, la température et le taux d'humidité. Les résultats obtenus ont été représentés graphiquement sous forme de courbes, permettant une visualisation claire et comparative des dynamiques observées au cours du processus.

Cas de la température

La **figure III.12** illustre la dynamique thermique des substrats au sein des différents composteurs, suivie sur une période expérimentale de cinquante et un (51) jours.

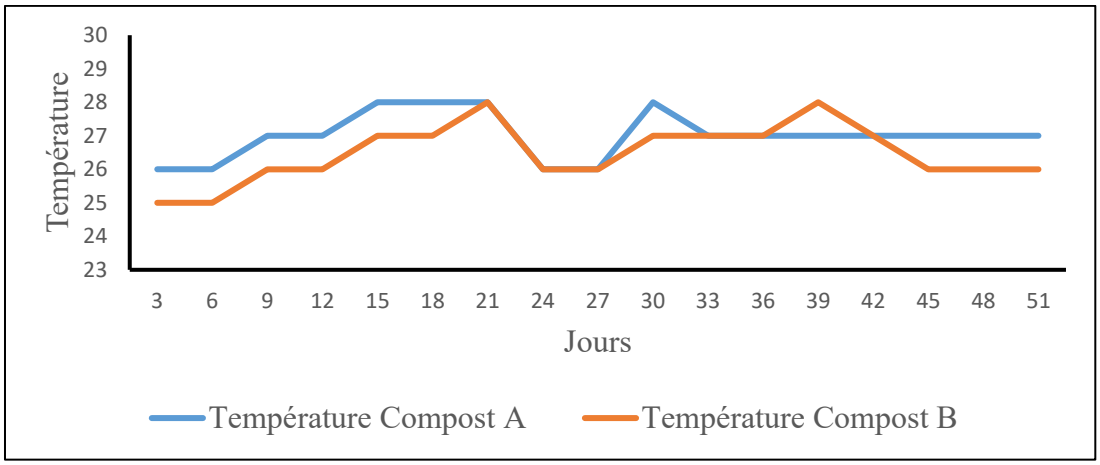


Figure III. 12 : Courbe de l'évolution de la température dans les deux composteurs

Les résultats obtenus indiquent que, tout au long du processus de dégradation de la matière organique par les larves de mouches soldats noires (*Hermetia illucens*), la température enregistrée dans les deux composteurs (A et B) fluctue dans une plage comprise entre 25 °C et 28 °C. De manière générale, les profils thermiques observés au cours des vingt-sept (27) premiers jours présentent des dynamiques comparables, traduisant une évolution parallèle de l'activité biologique dans les deux systèmes de compostage. Les données thermiques recueillies révèlent une stabilité initiale des températures au sein des deux composteurs, avec des valeurs respectives de 26°C pour le composteur A et de 25°C pour le composteur B, observées entre le troisième (J3) et le sixième jour (J6) du processus. Cette constance thermique pourrait être attribuée à la phase d'installation des larves de mouches soldats noires (MSN) dans le substrat organique (début du développement larvaire) **(Abd El-Hack., 2020)**, période durant laquelle l'activité biologique reste modérée. À partir du sixième jour, une élévation progressive de la température est enregistrée, atteignant jusqu'à 28°C dans les composteurs A et B au vingt-et-unième jour (J21). Cette hausse thermique coïncide avec la phase active de développement larvaire des MSN, qui est compris généralement comprise entre une période de 13 à 18 jours, selon les travaux menés par **Amrul et *al*. (2022).** Ce phénomène traduit une intensification de la biodégradation, stimulée par l'activité métabolique croissante des larves et la dynamique microbienne induite par leur présence. Une diminution de la température est observée dans les deux composteurs, atteignant environ 26 °C au vingt-quatrième jour (J24). Cette baisse thermique pourrait correspondre au début du stade prénymphe chez les larves de MSN, période au cours de laquelle celles-ci évacuent leur contenu digestif et abandonnent le substrat organique afin de rechercher un environnement sec et sécurisé propice à la nymphose **(Amrul et *al*., 2022).** Ce changement comportemental s'accompagne d'une réduction notable de l'activité biologique, traduisant un ralentissement du processus de dégradation de la matière organique. Dans la phase terminale du processus, une légère augmentation suivie d'une régression de la température est observée dans le composteur A, avant de se stabiliser durablement. Cette stabilisation thermique pourrait être attribuée à un appauvrissement du substrat en matières organiques facilement biodégradables, limitant ainsi l'activité métabolique des larves de MSN. En parallèle, la température dans le composteur B poursuit une progression modérée jusqu'à atteindre 28 °C au trente-neuvième jour (J39), avant de décroître et de se maintenir à un niveau constant. Cette dynamique pourrait traduire une reprise du développement larvaire, induite par la disponibilité de nutriments ou par une réorganisation du microenvironnement favorable à l'activité biologique.

Cas du pH

La figure III.13 présente l'évolution du pH des substrats au sein des composteurs A et B, suivie sur une période de cinquante et un (51) jours.

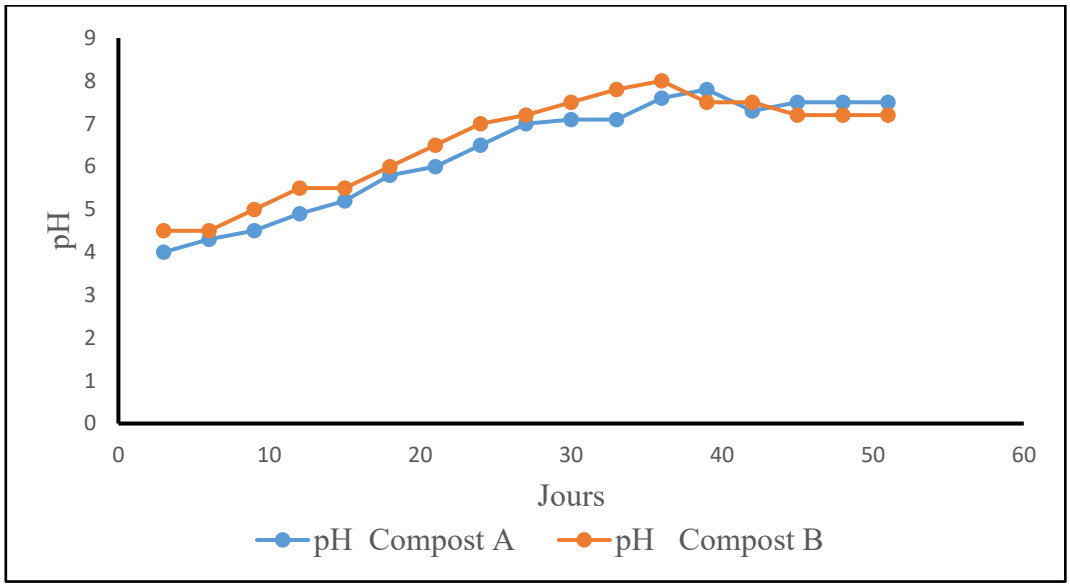


Figure III. 13 : Courbes d'évolution du pH dans les deux composteurs

L'évolution du pH constitue un indicateur fondamental de la dynamique chimique au sein du processus de compostage, notamment lorsqu'il est stimulé par l'activité des larves de MSN. Les résultats obtenus montrent une tendance générale à l'augmentation du pH dans les deux (02) composteurs (A et B) au cours des cinquante et un (51) jours de suivi. Initialement, les substrats présentent des valeurs de pH relativement acides, situées autour de 4 à 6, traduisant la présence d'acides organiques issus de la décomposition primaire des matières fermentescibles au cours des vingt et un (21) premier jour correspondant à une plage de développement des larves de MSN **(Amrul et *al*., 2022 ; Sarpong et *al*., 2019).** Au fil du temps, une alcalinisation progressive du milieu est observée, avec une stabilisation des valeurs entre 7 et 8 à partir de (J27). Cette variation s'explique par la neutralisation des acides organiques, la minéralisation des composés azotés, et la libération d'ammoniac, processus biologiques étroitement liés à l'activité métabolique des larves et à la stimulation de la microflore dégradante. L'augmentation du pH reflète ainsi une intensification du processus de biodégradation, favorisée par la consommation active du substrat organique par les larves. Il convient également de noter que le composteur B présente des valeurs de pH légèrement supérieures à celles du composteur A tout au long du processus. Cette différence pourrait être attribuée à une composition initiale du substrat plus favorable, à une meilleure aération, ou à une humidité plus maîtrisée, conditions

qui influencent directement la vitesse de dégradation et la nature des produits métaboliques générés. La stabilisation du pH autour de la neutralité en fin de processus est un indicateur de maturité du compost **(Sarpong et *al.*, 2019).** Elle suggère que les réactions biologiques majeures sont achevées et que le produit final est potentiellement stable et utilisable comme amendement organique.

Cas de l'humidité

La **figure III.14** présente l'évolution du taux d'humidité des substrats dans les composteurs A et B sur une période de cinquante et un (51) jours, paramètre essentiel dans le suivi du processus de biodégradation par les larves de *Hermetia illucens*. Les données révèlent une tendance générale à l'augmentation de l'humidité dans les deux systèmes, bien que les dynamiques observées soient distinctes. Le composteur A montre une progression modérée, avec une humidité passant d'environ 50 % à un maximum de 65 %. En revanche, le composteur B présente une augmentation plus rapide et plus marquée, atteignant près de 75 % en fin de période. Selon les données publiées par **Da-Silva et *al.*, (2024)** une humidité allant jusqu'à 60 à 75% est idéales pour la croissance des larves. De plus La teneur en humidité idéale se situe entre 60 % et 80 %, avec une limite inférieure d'environ 40 % (**Lu et *al,* 2022**). Néanmoins, cette différence du taux d'humidité dans les deux composteurs peut être interprétée comme le reflet de conditions micro-environnementales spécifiques, influencées par la nature du substrat ou la densité larvaire. L'élévation du taux d'humidité est généralement corrélée à une intensification de l'activité biologique. En effet, la dégradation de la matière organique par les larves de *Hermetia illucens* s'accompagne de la libération de liquides métaboliques et de la fragmentation du substrat, favorisant la rétention d'eau. Toutefois, un excès d'humidité peut compromettre l'oxygénation du milieu, ralentir la respiration microbienne, et favoriser l'apparition de conditions anaérobies, peu propices à une dégradation optimale. La dynamique observée dans le composteur B pourrait indiquer une meilleure rétention hydrique du substrat ou une moindre évaporation, ce qui a permis une accumulation plus importante d'humidité. Cette situation peut être favorable à court terme pour la croissance larvaire, mais nécessite un contrôle rigoureux pour éviter les déséquilibres biologiques et les fermentations indésirables.

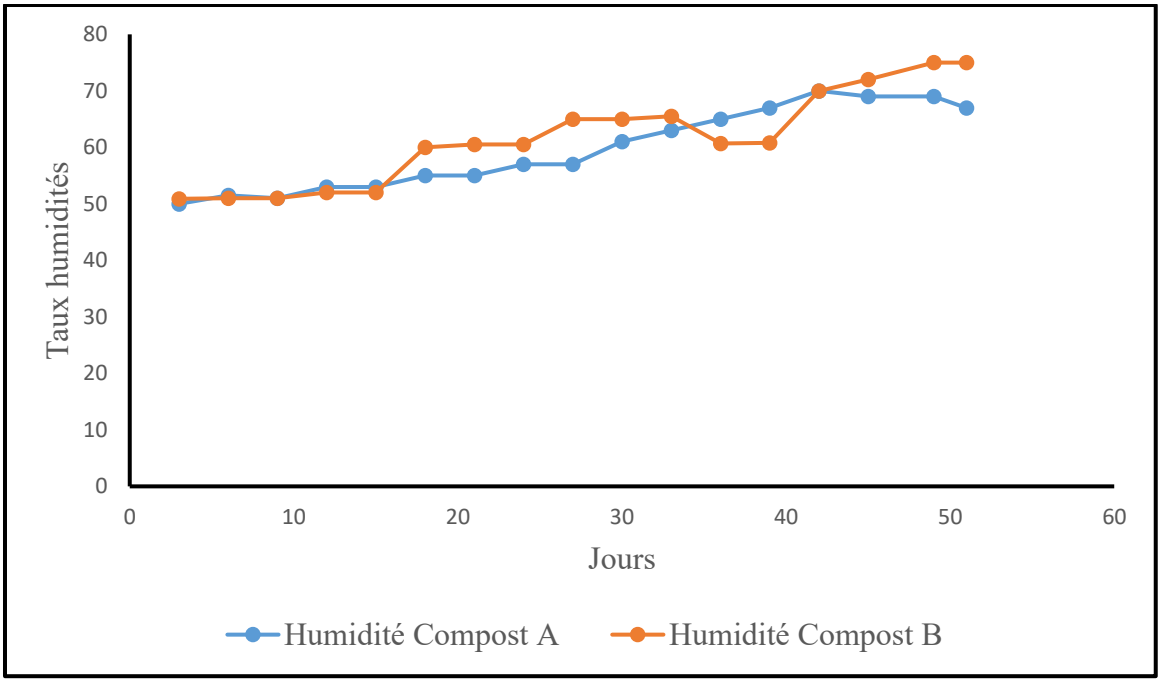


Figure III. 14: Courbes d'évolution du taux d'humidité des substrats dans les deux composteurs

III-4. Résultats de la caractérisation du produit final

Le **tableau III.1** regroupe les valeurs moyennes des caractéristiques (humidité, matière organique (MO), teneur en carbone (C), teneur en azote total (N), et rapport C/N des échantillons (A1, A2, A3, B1, B2 et B3) issus des composteurs A et B, après le processus de biodégradation par les larves de MSN (*Hermetia illucens)*. Les indices (1, 2, 3) des échantillons correspondent respectivement aux prélèvements effectués en surface, un peu plus en profondeur et au fond des composteurs. Ces données permettent d'apprécier la qualité du compost obtenu ainsi que l'efficacité du processus de transformation biologique**.**

Tableau III. 1: Caractéristiques des composts

	Echantillons	**Humidité (%)**	**MO (%)**	**C (%)**	**N (%)**	**Rapport C/N**
Compost A	A1	69,93	22,57	13,09	1,04	12,57
	A2	71,53	21,97	12,74	1,01	12,61
	A3	70,73	22,27	12,91	-	-
	A	70,73 ± 0,8	22,27 ± 0,3	12,91 ± 0,17	1,02	12,6
Compost B	B1	72,84	14,27	8,28	1,00	8,28
	B2	74,55	20,55	11,92	1,03	10,67
	B3	73,69	17,41	10,01	-	-
	B	73,69 ± 0,85	17,41 ± 3,14	10,01 ± 1,8	1,01	9,91

L'analyse des échantillons de compost révèle des caractéristiques globalement favorables à une valorisation agronomique. Les taux d'humidités de 70,73 ± 0,8% et 73,69 ± 0,85% enregistrés respectivement pour les composts A et B témoignent de la bonne qualité des produits finaux obtenus. Toutefois des travaux menés par **Basri et *al.*, (2022)** révèlent que les excréments (compost ou résidus issus de la dégradation des déchets biodégradables par les MSN) présentent des niveaux d'humidité pouvant atteindre 72 % dans les déchets alimentaires. Par ailleurs **Amrul et *al*., (2022)** affirment que la teneur en humidité idéale pour le tamisage des déchets alimentaires (excréments de MSN) est comprise entre 70 et 75 %. La teneur en matière organique (MO), oscillant autour de 22 % et 17% respectivement dans les composteurs A et B, témoigne d'une richesse substantielle en éléments carbonés, essentiels à la fertilité des sols. Cette concentration indique que, malgré la dégradation opérée par les larves, une fraction significative de la matière organique demeure disponible pour améliorer la structure et la capacité de rétention des sols. Les rapports C/N, respectifs des deux composts A et B est de 12,6 et 9,91. A ce propos **Basri et *al.*, (2022)** soulignent qu'il existe de nombreuses approches pour déterminer la stabilité et le comportement des engrais organiques dans le sol, et le rapport C/N du sol peut révéler des informations vitales sur le sol. Le rapport C/N des excréments de MSN dérivés de différents types d'aliments peut varier de 8 :1 à 27 :1 dont la plage les déchets alimentaires ménagers est compris entre 8 :1 et 17 :1**.** Ce rapport équilibré traduit une bonne intégration de l'azote dans la biomasse et une dégradation efficace de la matière carbonée.

III-5. Résultats de l'analyse du lixiviat

Lixiviat permet de valoriser une partie des nutriments qui seraient autrement perdus. L'analyse des concentrations en éléments minéraux et traces métalliques (ETM) dans les extraits aqueux des composts permet d'évaluer leur qualité agronomique et leur innocuité environnementale. Les résultats obtenus traduisent une composition globalement favorable à une valorisation organique, caractérisée par une faible teneur en métaux lourds et une présence équilibrée d'éléments nutritifs essentiels à la croissance végétale. Dans tableau 5 sont consignés les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) de nos composts et celle de la norme **NF U 44-051**, homologuée par l'AFNOR. Les concentrations en métaux potentiellement toxiques tels que l'argent (Ag), l'aluminium (Al), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le nickel (Ni) et le plomb (Pb) sont nulles ou extrêmement faibles. Ces niveaux, largement inférieurs aux seuils réglementaires pour les composts destinés à un usage agricole, témoignent de l'absence de contamination métallique significative. Cette observation suggère que ni le substrat initial ni le processus de biodégradation par *Hermetia illucens* n'ont induit

d'accumulation d'éléments traces métalliques, assurant ainsi la sécurité environnementale du produit final.

Tableau III. 2: Teneurs en éléments traces métalliques

Eléments traces métalliques	Teneurs dans le compost A (mg/L)	Teneurs dans le compost B (mg/L)	Limite NF U 44-051 (mg/kg MS)
Arsenic (As)	0,000	0,000	18
Cadmium (Cd)	0,003	0,00	3
Chrome (Cr)	0,002	0,001	120
Cuivre (Cu)	0,011	0,019	300
Mercure (Hg)	-0,001	0,004	2
Nickel (Ni)	0,000	0,000	60
Plomb (Pb)	0,224	0,066	180
Zinc (Zn)	0,152	0,145	600

Sur le plan agronomique, les concentrations en macroéléments tels que le calcium (**Ca : 47,487 mg/L et 31,548 mg/L**), le potassium (**K : 132,105mg/L et 139,04 mg/L**), le magnésium (**Mg : 0,815mg/L et 1,192mg/L**), le sodium (**Na : 6,476mg/L et 9,211mg/L**) et le phosphore (**P : 0,040 mg/L et 0,181 mg/L)** confèrent au compost un potentiel fertilisant notable. Le calcium, présent à des niveaux significatifs, joue un rôle crucial dans la régulation du pH et la structuration des sols. Le potassium, fortement représenté, est un élément majeur pour la croissance et la résistance des plantes. Le magnésium et le phosphore, bien que présents en quantités plus modestes, participent activement à la photosynthèse et au développement racinaire. Le sodium, non essentiel mais tolérable à faible dose, reste à des niveaux modérés, évitant tout risque de salinisation. Les oligoéléments fonctionnels tels que le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo) et le zinc (Zn) sont également détectés à des concentrations compatibles avec les besoins des plantes. Le fer, indispensable à la synthèse de la chlorophylle, est bien représenté. Le cuivre et le zinc, bien que présents à l'état de traces, jouent un rôle enzymatique fondamental. Les valeurs négatives observées pour le manganèse et le molybdène sont liés à des limites de détection instrumentale, et mériteraient une vérification complémentaire.

CONCLUSION

CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif principal la valorisation des déchets organiques générés au sein des résidences universitaires de l'Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB) de Yamoussoukro en bio-compost, par bioconversion à l'aide des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*). Pour atteindre cet objectif, trois axes spécifiques ont été développés : la sensibilisation des résidents au tri sélectif à la source, la mise en place d'un dispositif expérimental de compostage adapté au contexte local, et la caractérisation physicochimique du produit final en vue de l'évaluation de son potentiel agronomique. S'agissant du premier axe, la campagne de sensibilisation conduite auprès des résidents a révélé une réceptivité globalement satisfaisante, bien que contrastée selon les résidences. L'enquête quantitative menée auprès de 102 répondants a mis en évidence que 50,98 % des résidents sont principalement motivés par le désir de maintenir un cadre de vie propre et agréable, tandis que 45,10 % déclarent agir par conscience environnementale. Ces résultats attestent d'une disposition favorable à l'adoption du tri sélectif lorsque les conditions logistiques et informationnelles sont réunies. Toutefois, des freins significatifs ont été identifiés, notamment le manque de temps (13,73 %), l'insuffisance des points de collecte (12,75 %) et le déficit d'information sur les consignes de tri (14,70 %). Concernant la collecte des déchets, le suivi réalisé pendant trois semaines dans cinq résidences (A, F, K, R et P) a permis d'estimer la production totale à 1 351,79 kg, dont 53,0 % imputables aux déchets de la poubelle jaune (papiers, textiles, cartons), 27,0 % à la poubelle bleue (plastiques, métaux) et 20,0 % à la poubelle noire (biodéchets). Cette fraction biodégradable, estimée à 270,03 kg sur la seule période d'observation, représente un gisement substantiel et exploitable pour la production de compost à l'échelle du campus. Le suivi des paramètres physicochimiques au cours des cinquante et un (51) jours de compostage a témoigné d'un déroulement conforme aux référentiels scientifiques relatifs à la bioconversion par les MSN (*Hermetia illucens)*. Les températures enregistrées dans les deux composteurs (A et B) ont fluctué entre 25 °C et 28 °C, reflétant l'activité métabolique des larves et la dynamique de biodégradation de la matière organique. L'évolution du pH a suivi une trajectoire classique, depuis des valeurs initiales acides (pH 4 à 6) liées à la production d'acides organiques issus de la fermentation primaire, jusqu'à une stabilisation autour de la neutralité (pH 7 à 8) à partir du vingt-septième (27^{e}) jour, indiquant l'achèvement des réactions biologiques majeures et la maturation progressive du compost. L'humidité des substrats a progressivement augmenté, atteignant 65 % dans le composteur A et

près de 75 % dans le composteur B, des valeurs compatibles avec les conditions optimales de croissance larvaire documentées dans la littérature.

La caractérisation du produit final a permis de confirmer la qualité agronomique du compost obtenu. Les taux d'humidité (70,73 ± 0,80 % pour le compost A et 73,69 ± 0,85 % pour le compost B) s'inscrivent dans la plage recommandée pour ce type de résidu de bioconversion. Les teneurs en matière organique (22,27 % et 17,41 % respectivement) témoignent d'une richesse substantielle en composés carbonés, favorables à l'amendement des sols. Les rapports C/N obtenus (12,6 pour le compost A et 9,91 pour le compost B) sont conformes aux valeurs de référence pour les excréments issus de la dégradation des déchets alimentaires par les MSN (*Hermetia illucens)* (8:1 à 17:1), et indiquent un bon niveau de maturité et de stabilité biologique des produits. L'analyse élémentaire par ICP-OES des lixiviats a mis en évidence des concentrations en éléments traces métalliques (ETM) très largement inférieures aux seuils réglementaires fixés par la norme NF U 44-051. L'absence de contamination significative en arsenic, cadmium, chrome, mercure et nickel atteste de l'innocuité environnementale du compost produit. Parallèlement, la présence notable de macroéléments nutritifs potassium (K : 132 à 139 mg/L), calcium (Ca : 32 à 47 mg/L), magnésium, phosphore confère au produit un potentiel fertilisant réel, susceptible de contribuer à l'amélioration de la fertilité et de la structure des sols. En définitive, cette étude démontre la faisabilité technique et la pertinence environnementale d'un système intégré de gestion des biodéchets universitaires, articulant sensibilisation communautaire, collecte sélective et bioconversion par MSN. Elle confirme que les déchets organiques, longtemps perçus comme une contrainte sanitaire, constituent une ressource valorisable à fort potentiel agronomique, dans le cadre d'une démarche d'économie circulaire. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ouvrent plusieurs pistes de recherche et de valorisation méritant d'être approfondies. À court terme, des essais agronomiques sur des cultures locales (maïs, manioc, tomate) permettraient de quantifier l'effet du compost sur la croissance végétale et la fertilité des sols de la région, tandis que la valorisation des larves pré-nymphes, riches en protéines et lipides, en alimentation animale ou en biocarburants renforcerait la rentabilité globale de la filière. À moyen terme, nous pouvons envisager une réplication dans d'autres établissements d'enseignement supérieur ivoiriens. Enfin, à long terme, une étude comparative portant sur divers substrats organiques disponibles en Côte d'Ivoire, couplée à une analyse du cycle de vie (ACV) et à une évaluation technico-économique du procédé, fournirait les bases nécessaires à une mise à l'échelle régionale en Afrique de l'Ouest dans une logique de bioéconomie circulaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

Abd El-Hack, M. E., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Abdelnour, S. A., Shehata, A. M., Noreldin, A. E., ... & Ragni, M. (2020). Black soldier fly (Hermetia illucens) meal as a promising feed ingredient for poultry : A comprehensive review. *Agriculture*, *10*(8), 339.

Abu Yazid, N., Barrena, R., Komilis, D., & Sánchez, A. (2017). Solid-state fermentation as a novel paradigm for organic waste valorization : a review. *Sustainability*, *9*(2), 224.

Adetunji, A. I., Oberholster, P. J., & Erasmus, M. (2023). From garbage to treasure : A review on biorefinery of organic solid wastes into valuable biobased products. *Bioresource Technology Reports*, *24*, 101610.

Adjout, M., Belkacemi, T., & Ben Si Said, Z. (2020). *Le compostage, alternative, pour valoriser les déchets de restauration des entreprises et collectivités : cas des restaurants Hasnaoua II (UMMTO) et de la Sonatrach (HassiMessaoud)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Ait Mouloud, K. (2021). *Contribution à l'étude de l'état de gestion des déchets ménagers et assimilés dans la commune de Mekla (Wilaya de Tizi-Ouzou, Algérie)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Alao, MA, Popoola, OM, et Ayodele, TR (2022). Lien entre la valorisation énergétique des déchets : aperçu des technologies et de leur mise en œuvre pour un développement durable. *Systèmes énergétiques plus propres*, *3*, 100034.

Amin, N., Aslam, M., Yasin, M., Hossain, S., Shahid, MK, Inayat, A., ... & Ghauri, M. (2023). Traitement des déchets solides municipaux pour la production de bioénergie et de ressources : technologies potentielles, aspects technico-économiques et environnementaux et implications de la récupération par membrane. *Chemosphere*, *323*, 138196.

Amrul, N. F., Kabir Ahmad, I., Ahmad Basri, N. E., Suja, F., Abdul Jalil, N. A., & Azman, N. A. (2022). A review of organic waste treatment using black soldier fly (Hermetia illucens). *Sustainability*, *14*(8), 4565.

Aoulmi, L., Triki, F., & Choukal, O. (2023). *Caractérisation et valorisation par compostage de déchets organique application pour amendement des sols* (Doctoral dissertation).

Aruna, G. ; Kavitha, B. ; Subashini, N. ; Indira**,** S. Étude observationnelle des pratiques d'élimination des déchets à Kamakshi Nagar, Nellore. *Int. J. Appl. Res.* 2018, *4*, 392–394.

Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting : Challenges and potentials. *Sustainability*, *12*(11), 4456

Bennama T., 2016**.** Législation algérienne en matière de gestion des déchets. 85P

Bentarzi, L., & Ramdane, F. (2018). *Evaluation de la gestion des déchets au niveau de la résidence universitaire Tamda 1 et essai de valorisations des bio-déchets par compostage* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Biboum, A. D., Anaba, A. D., & Tsasse, D. B. K. (2021). L'intention De Pre-Collecte Des Dechets Menagers Solides Par Apport Volontaire : Une lecture à travers la theorie du comportement planifie. *revue inter, marketing et management stratégique*, *3*(3), 25-45.

Bourouis, A., & Derrag, Z. (2023). *Etude de la valorisation par compostage des déchets alimentaires organiques* (Doctoral dissertation).

Boutoute, A. (2022). *Modélisation d'un réacteur de méthanisation en voie sèche et étude du traitement in-situ de l'ammoniac* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT).

Bruni, C., Akyol, Ç., Cipolletta, G., Eusebi, A. L., Caniani, D., Masi, S., ... & Fatone, F. (2020). Decentralized community composting : past, present and futurs aspects of Italy. *Sustainability*, *12*(8), 3319.

Cayumil, R., Khanna, R., Konyukhov, Y., Burmistrov, I., Kargin, JB, & Mukherjee, PS (2021). Aperçu de la production et de la gestion des déchets solides : situation actuelle au Chili. Durabilité 2021, 13, 11644. *Durabilité environnementale des pratiques actuelles de gestion des déchets*, 33.

Chidikofan, D. M. G. F., Adjakpa, J. B., Gnanga, H., & Assouma, N. Valorisation du digestat de méthanisation des déchets organiques dans le maraichage au bénin.

Coulibaly, M., Traore, d., & Awomon, D. F. A. E. (2022). Gestion des déchets ménagers et santé à sébouafla dans la ville de vavoua (Côte d'Ivoire). *Revue africaine des sciences sociales et de la santé publique*, *4*(1), 136-151.

Delbarre, L. Du dechet a l'amendement organique : mesurer la qualite des composts.

Dharnaik, A. S., & Pol, P. (2024, June). A review on composting of organic solid waste. In *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science* (Vol. 1326, No. 1, p. 012130). IOP Publishing.

Driss, E. (2020). Contribution de la géomatique, de l'analyse multicritère (fuzzy ahp) et de la valorisation pour élaboration d'un système de gestion durable des déchets solides. Cas de la province de khénifra (maroc).

El Alami, M. (2021). Conception et Fabrication d'une Machine Innovante pour La Production de Compost.

Fatima, Benmahbous. (2024). *Valorisation des déchets ménagers de la région de Bordj Bou Arreridj par compostage en vue de production d'un engrais organiques de qualité* (Doctoral dissertation, faculté des sciences et de la technologie* univ bba).

Fekik, Y., & Djaroum, N. (2024). *Gestion des déchets au sein de l'unité d'eau minérale Lalla Khedidja (Ouadhia-Tizi-Ouzou)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Fontaine, L. (2022). *Proposition de scénarios pour la gestion des ordures ménagères résiduelles* (Doctoral dissertation, Université de la Réunion).

Furniss, J., & Tastevin, Y. P. (2017). Collecte de déchets au Caire. *Chevallier and Tastevin (2017)*, 132-7.

Gupta, P., Sharma, A. et Bhardwaj, LK (2023). Gestion des déchets solides (GDS) et ses effets sur l'environnement et la santé humaine.

Halis, A. (2020). *Contribution à la mise en place d'un nouveau schéma de gestion des déchets ménagers et assimilés au village de Ait Elhadj Ali dans la commune de Tizi n'tleta* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Halliche, S. et Selmane, S. (2020). *Etude de la faune dans le processus de compostage : cas de la macrofaune et de la mésofaune* (Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri).

Harbane, S., & Oukaci, L. (2022). *Gestion des déchets de l'Enterprise Nationale des Industries de l'électroménager « ENIEM »* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Haouchi, S., Harzi, R., & Si Moussi, K. (2020). *Caractérisation et essai de valorisation des bio-déchets par compostage au niveau de la résidence universitaire Hasnaoua 2 et le village Icharqiyen dans la commune Maâtkas* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Islam, N. F., Gogoi, B., Saikia, R., Yousaf, B., Narayan, M., & Sarma, H. (2024). Encouraging circular economy and sustainable environmental practices by addressing waste management and biomass energy production. *Regional Sustainability*, *5*(4), 100174**.**

Kanagamani, K., Geethamani, P., & Narmatha, M. (2020). Hazardous waste management. *Environmental issues and sustainable development*.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.

Khadija, A. T. I. F. (2021). Production de composts à base de déchets organiques et leurs utilisations dans la lutte biologique à travers leurs effets suppressifs vis-à-vis les agents pathogènes.

Koller, E. (2004). *Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues*. Paris, France : Dunod.

Kore, B. C. Rôle des entreprises dans la gestion des ordures menageres dans la commune d'adjame à abidjan (cote-d'ivoire). *baluki*, 15

Kumar, M., et Prakash, V. (2020). Une revue sur les déchets solides : leur impact sur la qualité de l'air et de l'eau. *Journal of Pollution Effects & Control*, *8* (4), 1-3.

Kumari, T., & Raghubanshi, A. S. (2023). Waste management practices in the developing nations: challenges and opportunities. *Waste management and resource recycling in the developing world*, 773-797.

Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., ... & Paengkoum, P. (2022). Nutritional composition of black soldier fly larvae (Hermetia illucens L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review. *Insects*, *13*(9), 831.

Mangenda, H. H., Sukami, M. J., Kosanga, Y. C., & Lombo, B. J. (2024). L'impact des déchets ménagers sur l'environnement urbain dans le quartier Mpila, commune de Ngaba.

Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a sustainable solution for organic solid waste management : Current practices and potential improvements. *Sustainability*, *16*(15), 6329.

Maystre, L. Y., Duflon, V., Diserens, T., Leroy, D., Simos, J., & Viret, F. (1994). *Déchets urbains : nature et caractérisation*. Presses polytechniques et universitaires romandes.

Mehta, C. M., & Kanak Sirari, K. S. (2018). Comparative study of aerobic and anaerobic composting for better understanding of organic waste management : a mini review.

Messaoud-boureghda, M. Z. (2022). Gestion des déchets solides municipaux. *Journal de l'Economie Circulaire Et Développement Durable*.

Monebene, F. F. (2024). Gestion des déchets solides ménagers au Cameroun : limiter les décharges anarchiques à Yaoundé par le tri à la source et la pré-collecte porte-à-porte. *Sciences Eaux & Territoires*, (46), 8142-8142.

Misslin, R., Clivot, H., Levavasseur, F., Villerd, J., Soulié, JC, Houot, S., & Therond, O. (2022). Évaluation et modélisation intégrées du recyclage régional des déchets organiques. *Journal of Cleaner Production*, *379*, 134725.

Naceur, P. W. (2020). Étude préliminaire d'élaboration d'un compost à base de fumier bovin et grignon d'olive.

Ndiribe, CC (2023). Le concept de réduction des déchets adapté à la nature : perspectives d'un avenir propre. *Ressources, environnement et développement durable*, *14*, 100127.

Nsindu, G. N., Tshisuaka, B. K., & Katembo, A. K. (2023). Impact des déchets ménagers sur l'environnement et la santé dans la périphérie de Kinshasa, RDC. *African Scientific Journal*, *26*.

Ouali, I., & Mahiout, T. (2019). *Évaluation de la gestion des déchets au niveau du restaurant la résidence universitaire Hasnaoua 2 et essai de valorisation des biodéchets par compostage* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Rorat, A., Courtois, P., Vandenbulcke, F., & Lemiere, S. (2019). Aspects sanitaires et environnementaux de la gestion des boues d'épuration. Dans *Boues industrielles et municipales* (pp. 155-180). Butterworth-Heinemann.

Sarpong, D. E., Oduro-Kwarteng, S., Gyasi, S. F., Buamah, R., Donkor, E., Awuah, E., & Baah, M. K. (2019). Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (Hermetia illucens) (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *8*(Suppl 1), 45-

Shukla, S., Ganguly, R., & Hussain, C. M. (2020). Hazardous wastes–Types and sources

Singh, N., Ogunseitan, O. A., & Tang, Y. (2022). Medical waste : Current challenges and future opportunities for sustainable management. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *52*(11), 2000-2022.

Simbu, A. V., Mangenda, H. H., Puela, F. P., Wamba, E. K., Mutayiya, F. T., Masamuna, P., ... & Umba-Di-Mbudi, C. N. (2022). Étude de la gestion actuelle des déchets urbains à Kinshasa par observation le long de l'avenue Université. *Environnement, Ingénierie & Développement*, *88*.

Somani, P. (2023). Impacts sanitaires d'une mauvaise gestion des déchets solides au XXIe siècle. Dans *Gestion des déchets solides : Progrès récents, nouvelles tendances et applications*. IntechOpen.

Szulc, W., Rutkowska, B., Gawroński, S., & Wszelaczyńska, E. (2021). Possibilities of using organic waste after biological and physical processing—an overview. *Processes*, *9*(9), 1501.

Toundou, O. (2016). *Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (Zea mays L. Var. Ikenne) et de la tomate (Lycop ersicum esculentum L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo* (Doctoral dissertation, Université de Limoges ; Université de Lomé (Togo)).

Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M., ... & Lin, H. A. (2023). Composting processes for agricultural waste management : a comprehensive review. *Processes*, *11*(3), 731.

Yakah, N., Samavati, M., Akuoko Kwarteng, A., Martin, A., & Simons, A. (2023). Prospects of waste incineration for improved municipal solid waste (MSW) management in Ghana—a review. *Clean Technologies*, *5*(3), 997-1011.

ANNEXES

Enquête sur le Tri des Déchets en Cité Universitaire

Objectif : Évaluer vos habitudes de tri, identifier les difficultés rencontrées et recueillir vos suggestions pour améliorer la gestion des déchets au sein de la Cité Universitaire de l'INP-HB.

IDENTITÉ RÉSIDENT

1. Fonction :

☐ Technicien supérieure ☐ Ingénieur ☐ Autre (préciser) : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

2. Sexe :

☐ Masculin ☐ Féminin

3. Tranche d'âge :

☐ -18 ans ☐ 18-25 ans ☐ 25-30 ans ☐ +30 ans

A. Vos habitudes de tri au quotidien

Disposez-vous d'une mini-poubelle dans votre chambre ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Si oui, effectuez-vous un tri au préalable avant d'accédé aux bacs de tri collectifs ? *(Uniquement à remplir si vous avez répondu OUI à la question précédente)*

- ☐ Oui, systématiquement
- ☐ Oui, la plupart du temps
- ☐ Non, rarement
- ☐ Non, jamais
- ☐ Je ne suis pas sûr(e) de comment trier correctement

A quelle fréquence la videz-vous ?

- ☐ Tous les jours

- ☐ Tous les 2-3 jours
- ☐ Seulement quand elle est pleine

Triez-vous régulièrement vos déchets directement dans les bacs de tri collectifs au sein de la Cité Universitaire ?

- ☐ Oui, systématiquement
- ☐ Oui, la plupart du temps
- ☐ Non, rarement
- ☐ Non, jamais

Si vous triez vos déchets, qu'est-ce qui vous motive le plus à le faire ? (Cochez toutes les options pertinentes)

- ☐ La conscience environnementale (protéger la planète)
- ☐ Les directives claires de l'administration de l'INP-HB
- ☐ La facilité d'accès aux points de collecte/bacs de tri
- ☐ L'influence positive de mes amis ou colocataires
- ☐ Le désir de maintenir un environnement de vie propre et agréable
- ☐ Autre (précisez) : _

Quels types de déchets triez-vous ? (Plusieurs réponses possibles)

- ☐ Plastiques (bouteilles d'eau, emballages alimentaires, pots de yaourt...)
- ☐ Papiers/Cartons (cahiers, journaux, emballages de livraison, boîtes de céréales...)

Verre (bouteilles, bocaux...)

- ☐ Métal (canettes, conserves, aluminium...)
- ☐ Déchets alimentaires/Organiques (restes de repas, épluchures, marc de café...)
- ☐ Déchets électroniques et Piles (piles usagées, petits appareils, chargeurs, écouteurs...)
- ☐ Autre (précisez) : _

Si vous ne triez pas ou très peu vos déchets, quelle(s) en est/sont la/les raison(s) principale(s) ? (Plusieurs réponses possibles)

- ☐ Manque de poubelles de tri à proximité
- ☐ Les consignes de tri ne sont pas claires ou compréhensibles
- ☐ Je manque de temps ou je ne considère pas cela comme une priorité

- ☐ Je ne sais pas quels déchets vont dans quelle poubelle
- ☐ Je ne vois pas l'intérêt ou l'impact du tri
- ☐ Autre (précisez) : _

B. Équipements et informations disponibles

Trouvez-vous facilement les poubelles de tri adaptées dans votre résidence ?

- ☐ Oui, elles sont bien situées et visibles
- ☐ Non, il n'y en a pas assez ou elles sont mal placées
- ☐ Je n'ai jamais vraiment cherché

Les consignes de tri affichées (couleurs des poubelles, pictogrammes...) vous semblent-elles claires et faciles à comprendre ?

- ☐ Oui, très claires et intuitives
- ☐ Assez claires, mais parfois un peu confuses
- ☐ Pas du tout claires, j'ai du mal à savoir quoi faire

Avez-vous reçu des informations sur le tri des déchets à votre arrivée ou durant votre séjour en résidence ?

- ☐ Oui (par affiches, e-mail, réunion d'accueil, réseaux sociaux...)
- ☐ Non

C. Propositions d'amélioration et sensibilisation

Qu'est-ce qui vous motiverait le plus à mieux trier vos déchets à l'avenir ? (Plusieurs réponses possibles)

- ☐ Plus de poubelles de tri, notamment à chaque étage ou plus proches des chambres
- ☐ Des explications très simples et visuelles sur le tri (affiches claires, tutoriels vidéo, QR codes...)
- ☐ Un système de reconnaissance ou de récompense pour les efforts de tri (bonus, jeux, défis écologiques...)
- ☐ Des ateliers pratiques ou des séances de sensibilisation sur l'importance du tri et du recyclage
- ☐ La mise en place d'une équipe dédiée à la gestion des déchets et au conseil
- ☐ Autre (précisez) : _

Seriez-vous intéressé(e) par la participation à un atelier ou une session d'information sur le tri et le recyclage des déchets ?

- ☐ Oui, tout à fait
- ☐ Non, pas vraiment
- ☐ Peut-être, si le sujet m'intéresse et si le format est interactif

Avez-vous d'autres suggestions ou idées pour améliorer la gestion et le tri des déchets au sein de la Cité Universitaire ? (Réponse libre)

FICHE JOURNALIERE

DATE :

Résidences	**Etages**	**Poubelle bleu (kg)**	**Poubelle jaune (kg)**	**Poubelle noire (kg)**	**Total étages (kg)**	**Observation**
A	RDC					
	1er					
	2e					
F	RDC					
	1er					
	2e					
K	RDC					
	1er					
	2e					
P	RDC					
	1er					
	2e					
R	RDC					
	1er					
	2e					