

Caractérisation des déchets solides municipaux générés dans la municipalité de Kinama, Bujumbura-Burundi

**Norbert MANIRAKIZA^{1*}, Simon BISORE¹, Noël NDIHOKUBWAYO¹, Elias NIYUHIRE¹,
Patrice BIGUMANDONDERA² et Guillaume NIMBONA¹**

¹ *Ecole Normale Supérieure, Centre de Recherche en Sciences et de Perfectionnement (CRESP),
Bujumbura-Burundi*

² *Institut de Pédagogie Appliquée, Université du Burundi, Centre Universitaire de Recherche et de Pédagogie
Appliquées aux Sciences (CURPAS), Bujumbura-Burundi*

(Reçu le 31 Janvier 2023 ; Accepté le 15 Mars 2023)

* Correspondance, courriel : manorbert84@gmail.com

Résumé

Cette étude a pour but de caractériser les déchets solides municipaux générés dans la zone de Kinama, de la ville de Bujumbura. Une enquête-ménage a été réalisée dans ladite zone, pour évaluer les modes de gestion des déchets. Le tri manuel des échantillons de déchets collectés sur trois sites de décharges sauvages a permis d'identifier les catégories constitutives. La fraction fermentescible a fait objet d'une caractérisation physico-chimique par l'analyse thermique. L'enquête a montré cinq modes d'évacuation des déchets (mise en dépotoirs non contrôlés, recyclage, entreposage dans les parcelles, jet dans les caniveaux et les ruisseaux). Dans 74,58 % des ménages enquêtés, les déchets produits sont mal gérés. Le tri manuel a révélé que les déchets fermentescibles prédominent (69,28 %); avec des teneurs respectives en matières organiques volatiles et en carbone fixe de 66,63 % et 12,05 %. Les compositions des déchets échantillonnés sur les 3 sites étaient significativement corrélées ($p < 0,05$), d'où les habitants de cette zone auraient une vie économiquement similaire. D'après nos résultats, l'éducation environnementale devrait être promue pour un changement de comportement de la population. La fraction fermentescible pourrait être traitée par compostage ou valorisée énergétiquement. Les fractions non biodégradables seraient orientées vers des filières de valorisation correspondantes.

Mots-clés : *déchets solides municipaux, tri, caractérisation, valorisation.*

Abstract

Characterization of municipal solid waste generated in the municipality of Kinama, Bujumbura-Burundi

This study aims to characterize the municipal solid waste generated in the Kinama area in Bujumbura city. To assess the methods of waste management applied in the area, a household survey was carried out. Waste samples collected from three uncontrolled dump sites were manually sorted into their constituent categories. The physicochemical characterization of the fermentable fraction was done by thermal analysis. The survey

highlighted five methods of waste disposal (uncontrolled dumping, recycling, storage into residential plots, dumping into gutters and streams). In 74.58 % of the surveyed households, the waste produced is not properly managed. Manual sorting revealed that fermentable waste predominates (69.28 %) ; with respective contents of volatile organic matter and fixed carbon of 66.63 % and 12.05 %. The compositions of the waste sampled at the 3 sites were significantly correlated ($p < 0.05$), indicating that the inhabitants of this area have a similar lifestyle. According to our results, the environmental education should be promoted to change the people's behaviour. The fermentable fraction could be treated by composting or recovered for energy. The non-biodegradable fractions would be sent to the corresponding recycling channels.

Keywords : *municipal solid waste, sorting, characterization, recovery.*

1. Introduction

La plupart des pays en développement dont le Burundi connaissent un manque d'un système d'assainissement adéquat. Cette situation constitue une entrave majeure au développement durable et au bien-être de la population, un défi sanitaire, environnemental et économique, mais aussi une bombe à retardement pour les générations futures [1 - 4]. L'évolution urbaine souvent incontrôlée a abouti à une urbanisation en quartiers sous-structurés ne disposant pas de modes de gestion de déchets ménagers solides adaptés [5]. La ville de Bujumbura connaît une croissance spatiale couplée à une croissance démographique élevée qui s'accompagnent inévitablement d'une production de grandes quantités de déchets surtout dans les ménages [6 - 8]. Le manque d'une gestion durable de ces déchets entraîne des conséquences lourdes sur l'environnement en général et sur la santé humaine en particulier [1, 3, 9 - 12]. Faute de collecte régulière des déchets, les habitants de la ville de Bujumbura, s'en débarrassent en les jetant dans les rues, caniveaux ou rivières affluentes du lac Tanganyika [13]. Malgré leur incapacité à résoudre le problème lié aux déchets, ils sont les premiers à en subir les conséquences: entassement des ordures, odeurs insupportables, multiplication des rats, cafards et mouches autour des décharges à ciel ouvert, contamination des ressources en eau, dégradation des sols et augmentation de la pollution de l'air, provoquant des maladies dangereuses pour ces populations contraintes de vivre dans des « quartiers poubelles » et augmentant leur vulnérabilité aux effets du changement climatique [13]. Une prévalence de pathologies chroniques dont le cancer a été rapportée dans les pays en développement, à l'âge précoce souvent compris entre 40 - 60 ans [14]. Des métaux lourds ont été identifiés dans les tissus gastriques, pouvant refléter en partie l'accumulation de métaux lourds chez les patients [15]. En plus, les mêmes auteurs ont rapporté que le cancer de l'estomac serait le résultat d'une combinaison de facteurs environnementaux et génétiques [15]. Selon le centre international de recherche sur le cancer, les éléments As, Cd, Cr, Co, Ni figurent parmi les substances à effets cancérigènes [16]. Malgré l'identification de ces pathologies, ces études ne se sont pas intéressées à l'identification de leurs origines mais suggèrent des études complémentaires à cette fin. En ville de Bujumbura, seule une étude a porté sur la quantification et la caractérisation des déchets solides municipaux de la décharge urbaine de Mubone, un dépotoir principal en activité recevant des déchets de toutes catégories [7]. Les résultats de cette étude ont montré que la fraction fermentescible s'élève à 56 %. [7]. Ces résultats ne sont qu'estimatifs, vu que certains déchets sont jetés dans des endroits clandestins formant des décharges non réglementaires à l'intérieur des quartiers populaires [13]. Les données liées à la localisation et aux caractéristiques des décharges internes des quartiers populaires et souvent densément peuplés restent donc manquantes, d'où la nécessité de mener une étude de caractérisation de déchets de ces décharges sauvages. La zone Kinama est l'une des zones de la Mairie de Bujumbura où la gestion des déchets ménagers reste un problème très sérieux. Cela est expliqué par le fait qu'on observe différentes décharges sauvages éparpillées dans les quartiers de cette zone. La présente étude a pour objectif général de caractériser les déchets

ménagers entreposés dans les décharges non réglementaires de la zone Kinama, l'une des zones densément peuplées de la municipalité de Bujumbura. Spécifiquement, il s'agissait de (a) analyser les modes de gestion des déchets ménagers générés dans ces quartiers, (b) caractériser ces déchets solides, et (c) formuler, sur base de nos résultats, quelques perspectives de leur valorisation.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude : Kinama-Bujumbura, Burundi

La présente étude a été réalisée entre avril et août 2018 dans la zone Kinama de la commune Ntahangwa qui est l'une des zones périphériques de la Mairie de Bujumbura. Elle se trouve au Nord-Ouest de la zone Kamenge, au Nord de la zone Cibitoke, au Sud-Est de la commune Mutimbuzi, à l'Est de la zone Buterere. Cette zone a une superficie de 10,36 km² et une population dépassant actuellement 50 000 habitants, un effectif qui a été recensée en 2008 [17]. Les prélèvements d'échantillons de déchets ont été effectués sur les sites des dépotoirs des quartiers de Buhinyuza, Bururi et Socarti, montrés à la **Figure 1**.

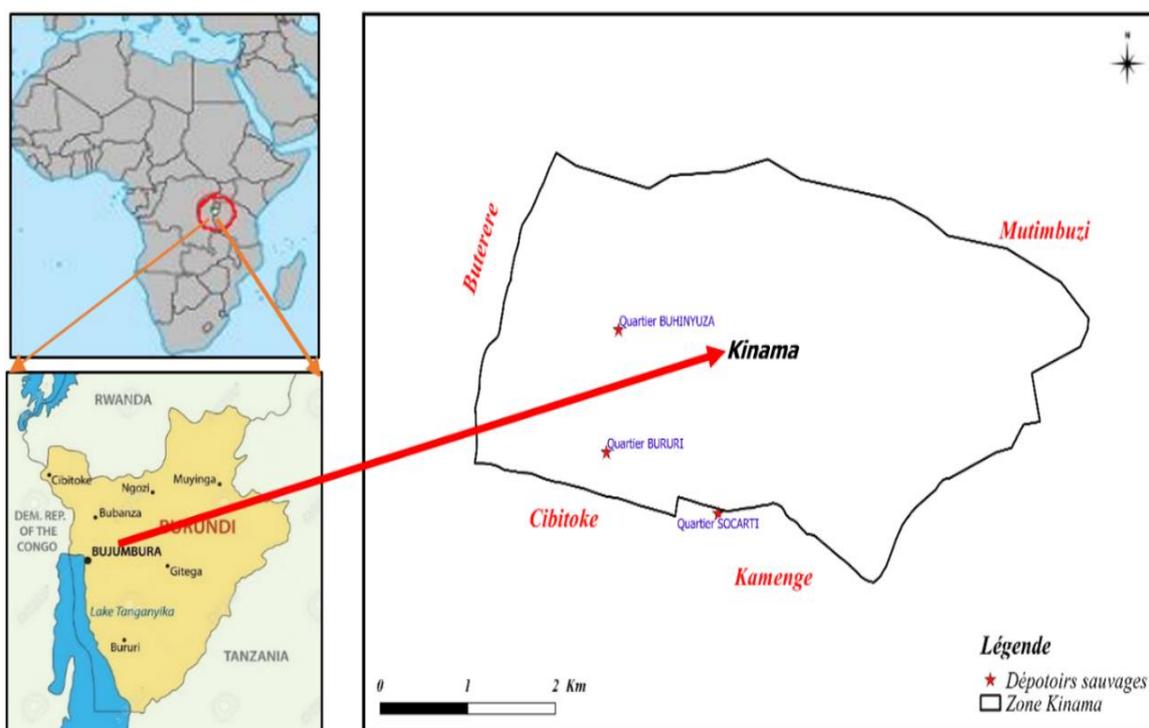


Figure 1 : Sites d'échantillonnage (Kinama-Bujumbura)

2-2. Matériel

Au cours de cette étude, un questionnaire d'enquête a été utilisé pour la collecte des informations auprès de la population ; des gants, balances, bêche et sacs ont été utilisés pendant l'échantillonnage et collecte des déchets. Des capsules en porcelaine, four de type Nabertherm, et dessiccateur ont été utilisés pendant la préparation des analyses des échantillons. Un GPS (Garmin, eTrex 10) a été utilisé pour collecter les coordonnées géographiques des sites échantillonnés.

2-3. Méthodes

2-3-1. Enquête-ménage

L'enquête-ménage a été réalisée dans la zone de Kinama afin d'évaluer les modes de gestion des déchets qui y sont appliqués. Un échantillon de 240 ménages inégalement répartis dans les 13 quartiers de la zone de Kinama a été enquêté. Ces quartiers sont les suivants : Bubanza, Buhinyuza, Bukirasazi I, Bukirasazi II, Bururi, Carama, Gitega, Kanga, Muramvya, Muyinga, Ngozi, Ruyigi et Socarti (**Tableau 1**). Au cours de cette enquête, un échange avec un habitant par ménage a été effectué. Les échanges avaient pour but de connaître les modes de gestion des déchets ménagers produits par la population, les endroits où ils les jettent, les services de collecte des déchets ménagers rendus à la population par les entreprises et associations publiques et privées, la fréquence de collecte des déchets, etc.

Tableau 1 : Quartiers enquêtés de la zone Kinama

No	Quartiers	Ménages enquêtés
1	Bubanza	34
2	Buhinyuza*	8
3	Bukirasazi I	17
4	Bukirasazi II	21
5	Bururi*	14
6	Carama	20
7	Gitega	31
8	Kanga	7
9	Muramvya	18
10	Muyinga	24
11	Ngozi	23
12	Ruyigi	15
13	Socarti*	8
Total		240

*Sites d'échantillonnage des déchets solides municipaux (DSM)

2-3-2. Échantillonnage, tri et caractérisation des DSM

Des échantillons de déchets ont été collectés sur trois sites de décharges non contrôlées de la zone de Kinama. Les sites d'échantillonnage ont été choisis aléatoirement parmi les principaux dépotoirs sauvages localisés dans les quartiers de Buhinyuza, Bururi et Socarti (**Figure 1**). Au niveau de chaque site, un échantillon représentatif de 50kg de déchets municipaux pesés à l'aide d'une balance à crochet a été prélevé après avoir fait le retournement du tas à l'aide de la bêche. Cette activité avait pour but d'homogénéiser l'échantillon avant de le prélever. L'échantillon homogène a ensuite été soumis à un tri manuel afin d'y extraire les différentes catégories des déchets : déchets fermentescibles, plastiques, verres, textiles, bois, etc. [18 - 20]. La quantité de chaque composant a été déterminée par gravimétrie à l'aide d'une balance classique, et le pourcentage massique de chaque composant a été déterminé en faisant par le rapport entre la masse de la fraction triée et la masse totale de l'échantillon [18]. La masse moyenne d'une catégorie de déchets a été déterminée par **l'Équation (1)** :

$$X_i = \frac{m_i}{m_t} \times 100\% \quad (1)$$

où, X_i est le pourcentage de la catégorie i de déchets triés, m_i est la masse moyenne (sur 3 essais par site) de la fraction de la catégorie i d'un échantillon de DSM et m_t est la masse totale l'échantillon prélevés (50kg) de déchets.

Pour une même catégorie, le pourcentage moyen a été déterminé sur les trois sites suivant ***l'Équation (2)***:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \tag{2}$$

où, \bar{X} est le pourcentage moyen d'une catégorie donnée pour la zone d'étude et X_i le pourcentage de la catégorie donnée pour le site i ($n= 3$, trois sites).

2-3-3. Analyse thermique des déchets solides municipaux biodégradables

L'analyse thermique des déchets a été effectuée sur une masse d'1kg des déchets solides ménagers fermentescibles. Un aliquote de cette échantillon a été porté au four de type Naberthern, pour l'évaluation de la perte au feu aux températures respectives de 105°C, 550°C et 850°C correspondant respectivement au taux d'humidité (W), à la teneur en matières organiques volatiles (VOM) et en carbone fixe (CF) ainsi qu'en cendres (A) [21, 22].

2-3-4. Analyse statistique des données

Les données issues de cette étude ont été analysées statistiquement par le logiciel IBM SPSS statistics 22 qui nous a permis de déterminer la corrélation de Pearson. Le logiciel Origin Pro 8 a été utilisé pour l'élaboration des figures.

3. Résultats et discussion

3-1. Modes de gestion des déchets ménagers produits dans la zone Kinama

Les résultats de l'enquête-ménage menée dans la zone de Kinama sur les moyens utilisés pour le stockage, l'évacuation ou l'élimination des déchets ménagers sont présentés dans la ***Figure 2***.

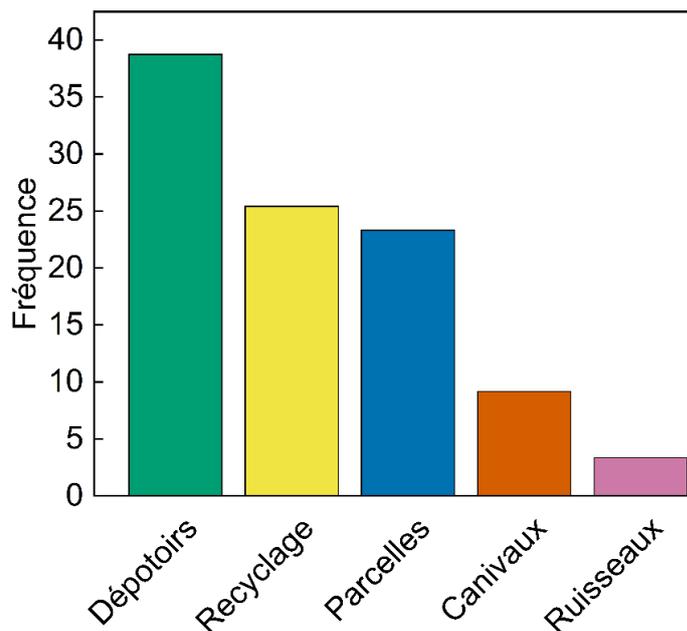


Figure 2 : Modes de stockage et d'évacuation des déchets ménagers en zone KINAMA

La **Figure 2** montre qu'à Kinama, les déchets solides municipaux ne sont pas durablement gérés. En effet, l'enquête a révélé 5 modes de stockage et d'évacuation de déchets, dont : (a) la mise en sacs vers dépotoirs non contrôlés (38,75 %), (b) collecte en sacs vers les centres de recyclage et de traitement aménagés par la Coopération Technique Belge (CTB) (25,42 %), (c) l'entreposage à l'intérieur de sa parcelle (23,33 %), (d) l'évacuation en caniveaux (9,17 %) et (e) l'évacuation en ruisseaux (3,33 %). Il est donc remarquable que la population de ladite zone n'est pas bien outillée en matière de gestion durable des déchets car le recyclage n'est effectué que par 25,42 % des ménages enquêtés qui acheminent leurs déchets vers les centres de recyclage et de traitement de la CTB. La majorité des ménages enquêtés, soit 74,58 %, évacuent leurs déchets soit dans les dépotoirs sauvages, soit dans les caniveaux destinés au transport d'eaux pluviales ou dans les ruisseaux. Ces résultats démontrent que la gestion des déchets urbains est l'une des questions environnementales les plus préoccupantes dans les pays en développement. La collecte, l'élimination ou le recyclage des déchets solides sont donc essentiels, non seulement en termes d'aménagement urbain, mais aussi de salubrité publique et de préservation de l'environnement dans ces pays [23]. Les faiblesses constatées dans la gestion des déchets en zone Kinama (Bujumbura) se manifestent malheureusement dans d'autres villes des pays en développement et constituent un défi à relever [24 - 26]. L'éducation environnementale devrait être une voie envisageable pour promouvoir un changement au niveau du comportement de la population, compatible avec la protection de l'environnement, l'assainissement et le développement durable [27]. En effet, l'absence de l'éducation à l'environnement dans la plupart des pays en développement est due à la fragilité des programmes de formation des enseignants à répondre aux questions environnementales modernes pour un développement durable et une production verte et propre [27]. Il faut alors combler le fossé des connaissances en matière de gestion de déchets solides municipaux existant entre les jeunes et les personnes plus âgées, en instaurant l'éducation à la durabilité environnementale dans les écoles à tous les niveaux dans les pays en voie de développement [27]. La **Figure 3** montre la décharge sauvage se trouvant dans le quartier Bururi, de la zone de Kinama où des déchets non triés sont entassés par strates et en cours de dégradation sur un sol non préalablement protégé.



Figure 3 : Dépotoir sauvage localisé dans le quartier Bururi en zone Kinama

Dans ces conditions, les risques de contamination de la nappe phréatique par infiltration de l'eau dans le sol et la pollution atmosphérique par les composés volatiles demeurent une préoccupation majeure. Cette mise en décharge sauvage rencontrée dans les pays à faible revenu, est suivie, dans la majorité des cas, par le brûlage de ces déchets à l'air libre, une technique considérée comme mode de leur élimination finale [28].

3-2. Caractérisation de la composition des décharges sauvages de Kinama

Le tri est une opération visant à séparer des déchets mélangés (cartons, plastiques, palettes en bois, etc.) en vue d'en faciliter l'élimination par des processus spécifiques à chaque catégorie de déchets [29, 30]. La **Figure 4** illustre quelques types de déchets ménagers rencontrés dans les dépotoirs sauvages de Buhinyuza, Bururi et Socarti. Ces derniers sont donc des sites d'entreposage non contrôlé des déchets en provenance des quartiers de Kinama et de ses environs [19].



Figure 4 : *Illustration des types de déchets ménagers du dépotoir sauvage de Buhinyuza*

La composition moyenne des déchets ménagers des sites de Buhinyuza, Bururi et Socarti est présentée à travers les graphiques de la **Figure 5**. Les proportions pour différentes catégories variaient respectivement dans les fourchettes suivantes : les déchets fermentescibles, de 67,82 % à 71,86 % (69,27 % en moyenne) ; les plastiques et sachets, de 3,29 % à 5,95 % (4,79 % en moyenne) ; les textiles et cuirs, de 3,48% à 7,06% (5,33 % en moyenne); les verres, de 1,50 % à 4,55% (2,84% en moyenne) ; les résidus de charbon et bois, de 1,31 % à 4,36% (2,79 % en moyenne); les métaux, de 1,74 % à 2,97% (2,47 % en moyenne) ; les restes de nourriture non fermentescible, de 2,37 % à 44,5 % (3,16 % en moyenne); les papiers et cartons, de 0,97 % à 1,67 % (1,27 % en moyenne); la catégorie autres* (sable, boue, les cheveux et le mélange de déchets non identifiables), variait de 4,62 % à 11,28 % (7,25 % en moyenne). En effet, il est observable que la fraction fermentescible est prédominante par rapport aux autres fractions dans les déchets produits par les ménages de la zone Kinama. En conséquence, ces dépotoirs demeurent des sources d'écoulement de lixiviats issus de la dégradation progressive de cette proportion importante de fermentescibles non préalablement traités ni valorisés.

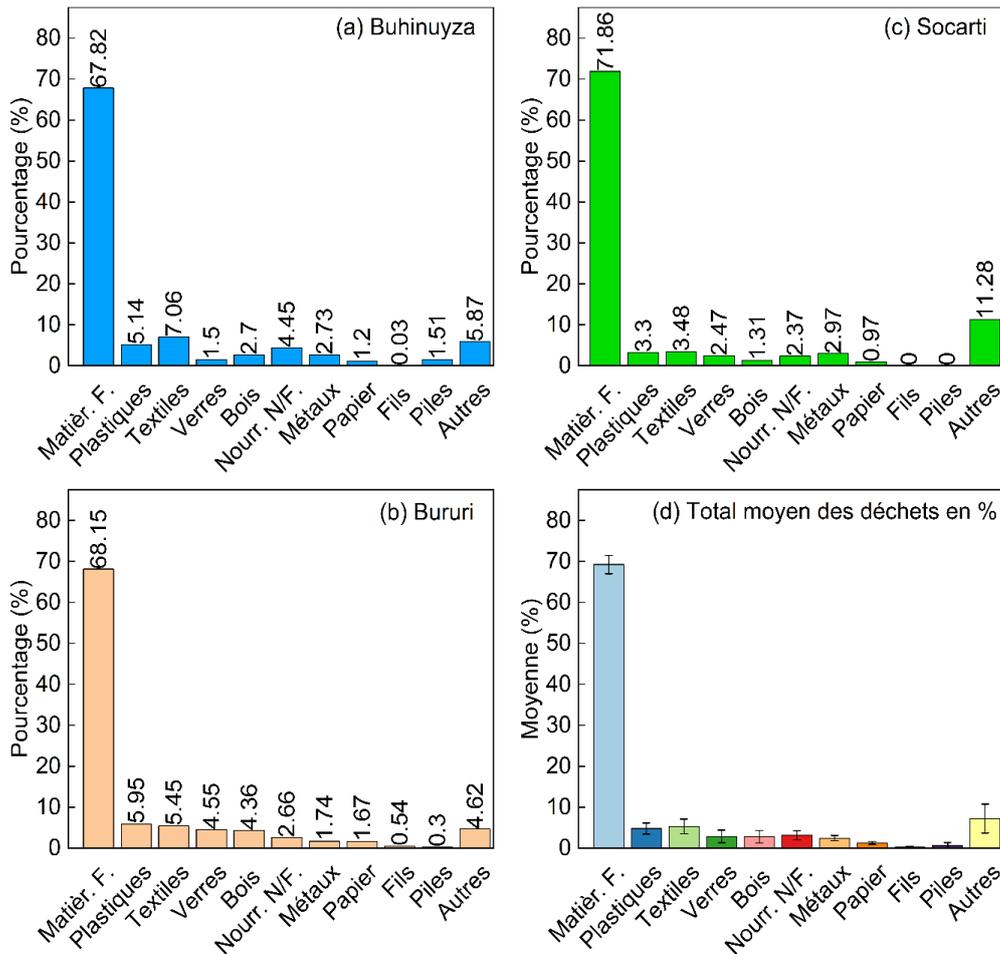


Figure 5 : Composition moyenne des déchets ménagers des dépotoirs sauvages respectifs de Buhinyuza, Bururi et Socarti (Matièr.F. = Matières fermentescibles, Nourr. N/F : nourritures non fermentescibles)

En comparant nos résultats à ceux de la littérature, il se remarque que la proportion des déchets fermentescibles en zone Kinama (Bujumbura) est supérieure à celle trouvée au Ghana qui s'élevait à 61 % [31, 32]. Néanmoins, les fractions des catégories nommées autres, constituées principalement par le sable (silice), la boue et un mélange de déchets résiduels fins non identifiables, varient de 4 à 11 % et restent dans la même gamme de celles identifiées au Ghana (soit en moyenne de 7 %). Egalement, cette teneur de la fraction biodégradable trouvée dans cette étude est relativement élevée par rapport aux résultats antérieurs de 57 % ayant été trouvés dans la même ville Bujumbura [7]. Cette constatation pourrait s'expliquer par le fait que la zone de Kinama est une zone purement résidentielle dont la majeure partie des déchets provient des ménages et des mini-marchés locaux, avec une proportion de biodégradables élevée. Les compositions des déchets sur les 3 sites d'échantillonnage étaient significativement corrélées ($p < 0,05$), ce qui pourrait être justifié par le fait que les habitants de cette zone mènent une vie économiquement similaire et produisent des déchets relativement identiques [32].

3-3. Analyse thermique des matières fermentescibles de déchets ménagers

Les résultats sur le taux d'humidité (W), la teneur en matières organiques volatiles (VOM) et en carbone fixe (CF) ainsi qu'en cendres (A) des DSM échantillonnés dans les dépotoirs sauvages de Buhinyuza, de Bururi et de Socarti sont représentés dans la **Figure 6**.

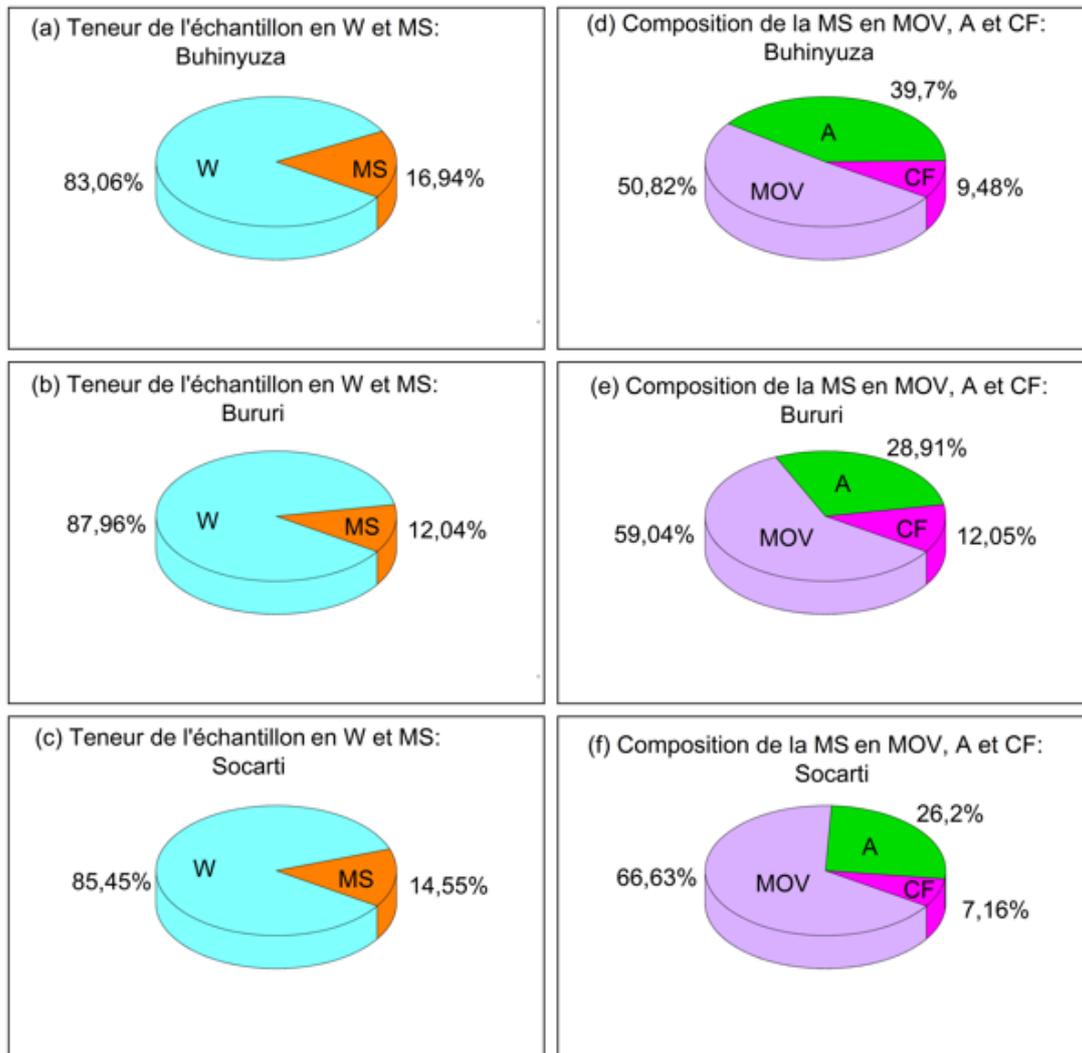


Figure 6 : *Diagramme de la caractérisation physico-chimique des matières fermentescibles échantillonnées dans les dépotoirs sauvages de Kinama*

L'analyse thermique montre que la teneur en humidité (W) est très élevée pour les déchets biodégradables frais prélevés dans les trois dépotoirs sauvages (de 83,6 % à 87,96 %), et varie inversement par rapport au taux de matière sèche. Cette teneur est élevée par rapport celle des valeurs trouvées à Wrocław en Pologne qui varient de 51,2 % à 53,3 % [33], et à celle trouvée pour les déchets secs à Rajshahi au Bangladesh (9,51 %) [34]. Cette différence de teneurs pourrait être expliquée par le fait que les déchets caractérisés de Kinama étaient frais. Les teneurs en matière organique volatile (50,82 % - 66,63 %) et en carbone fixe (7,17% - 12,05 %) des déchets ménagers fermentescibles générés dans la zone Kinama sont comparables à celles des déchets de biomasse résiduelles de Rajshahi au Bangladesh où ils ont trouvé 64,45 % - 78,40 % pour les matières organiques volatiles et 11,80 % - 13,57 % pour le carbone fixe [34]. Ces déchets sont donc valorisables énergétiquement car ils possèdent des teneurs élevées en matière organique volatile et en carbone fixe. Ainsi, ils pourraient être valorisés en servant à la fabrication de briquettes combustibles, substitutives au charbon de bois et du bois de chauffage dans les pays en développement. Cependant, ils doivent être préalablement séchés pour réduire leur teneur en eau. Cette perspective de valorisation permettrait d'éviter l'entreposage de ces déchets dans les dépotoirs sauvages constituant un risque sanitaire élevé à la population environnante [35 - 37].

4. Conclusion

La gestion des déchets ménagers est une question préoccupante pour les autorités des pays en développement en général et du Burundi en particulier. L'enquête réalisée auprès de la population de la zone Kinama a montré que la majorité des ménages enquêtés gèrent mal leurs déchets générés quotidiennement. Les résultats du tri manuel des déchets solides municipaux échantillonnés dans les trois dépotoirs ont permis de distinguer différentes catégories de déchets avec une prédominance des fermentescibles. Ces déchets pourraient donc faire l'objet d'une valorisation par compostage afin d'améliorer les propriétés physico-chimiques du sol. Cette perspective contribuerait ainsi à la réduction de la quantité des déchets solides ménagers mal gérés. La caractérisation physico-chimique de cette fraction a montré des teneurs considérables en matières organiques volatiles et carbone fixe. Cette fraction pourrait également être valorisée énergétiquement par la fabrication de briquettes combustibles. Les autres fractions de déchets non biodégradables pourraient être orientées vers d'autres filières de valorisation correspondantes. Ces différentes voies de valorisation proposées pourraient contribuer à la réduction des déchets ménagers éparpillés dans cette zone, et celles qui lui ressemblent dans les pays en développement.

Références

- [1] - J. P. ESSIEN, E. D. INAM, D. I. IKPE, G. E. UDOFIA, N. U. BENSON, Ecotoxicological Status and Risk Assessment of Heavy Metals in Municipal Solid Wastes Dumpsite Impacted Soil in Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, (2019) 100215
- [2] - H.-L. LIU, J. ZHOU, M. LI, Y. HU, X. LIU, J. ZHOU, Study of the Bioavailability of Heavy Metals from Atmospheric Deposition on the Soil-Pakchoi (*Brassica Chinensis L.*) System. *Journal of Hazardous Materials*, 362 (2019) 9 - 16 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.032>
- [3] - N. MANIRAKIZA, T. NDIKUMANA, C. G. JUNG, Heavy Metals Impacted Soils from Dumped Municipal Solid Waste in Buterere-Burundi: Health Risk Assessment. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 30 (2) (2020) 597 - 606
- [4] - MEEATU, Politique Nationale d'Assainissement du Burundi et Stratégie Opérationnelle Horizon 2025. Bujumbura, (2013) 66 p.
- [5] - CUSSTR, Gestion Des Déchets. Rapport de La Commission Universitaire de Sécurité et Santé Au Travail Romande (2008) 84 p.
- [6] - N. MANIRAKIZA, T. NDIKUMANA, C. G. JUNG, Municipal Solid Waste Sorting in Burundi, Inventory and Perspectives : Case of Bujumbura City. *Technium Conference*, 5 (2020) 18 - 07
- [7] - M. MIZERO, T. NDIKUMANA, G. JUNG, Quantification, Caractérisation et Voies de Valorisation des Déchets Solides Municipaux dans La Ville de Bujumbura. *Bulletin Scientifique sur l'environnement et la biodiversité*, 1 (2015) 1 - 7
- [8] - M. A. ABU-ZEID, Water and Sustainable Development : The Vision for World Water, Life and the Environment. *Water policy*, 1 (1) (1998) 9 - 19
- [9] - A. BABANDI, M. YA'U, H. MUHAMMAD YAKASAI, D. SHEHU, K. BABAGANA, A. IBRAHIM, C. ANOSIKE, L. EZEANYIKA, Non-Carcinogenic and Carcinogenic Risk Potentials of Metals Exposure from Vegetables Grown in Sharada Industrial Area Kano, Nigeria. *Journal of Chemical Health Risks*, 10 (1) (2020) 1 - 15
- [10] - A. C. DUARTE, A. CACHADA, T. A. ROCHA-SANTOS, Soil Pollution : From Monitoring to Remediation; Academic Press, 1st Edition, (2017) 312 p.
- [11] - X. LIU, Q. SONG, Y. TANG, W. LI, J. XU, J. WU, F. WANG, P. C. BROOKES, Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soil—Vegetable System : A Multi-Medium Analysis. *Science of the Total Environment*, 463 (2013) 530 - 540

- [12] - R. P. SCHWARZENBACH, T. EGLI, T. B. HOFSTETTER, U. VON GUNTEN, B. WEHRLI, B. Global Water Pollution and Human Health. *Annual Review of Environment and Resources*, 35 (2010) 109 - 136
- [13] - F. NZAMBIMANA, W. EL ZEREY, A. EL ZEREY-BELASKRY, Household and Related Waste Management Challenges and Opportunities Case of Bujumbura-Burundi. *Journal of Natural Product Research and Applications*, 1 (01) (2021) 54 - 68
- [14] - R. NTAGIRABIRI, R. KARAYUBA, G. NDAYISABA, S. NIYONKURU, S. MAREBO, G. MAREGWA, Cancer de l'estomac à Bujumbura : Bilan de 22 Ans Au Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge. *Journal Africain d'Hépatogastroentérologie*, 10 (3) (2016) 121 - 124
- [15] - L. FENG, J. DU, C. YAO, Z. JIANG, T. LI, Q. ZHANG, X. GUO, M. YU, H. XIA, L. SHI, Ribosomal DNA Copy Number Is Associated with P53 Status and Levels of Heavy Metals in Gastrectomy Specimens from Gastric Cancer Patients. *Environment international*, 138 (2020) 105593 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105593>
- [16] - S. CAO, X. DUAN, X. ZHAO, J. MA, T. DONG, N. HUANG, C. SUN, B. HE, F. WEI, Health Risks from the Exposure of Children to As, Se, Pb and Other Heavy Metals near the Largest Coking Plant in China. *Science of the total environment*, 472 (2014) 1001 - 1009
- [17] - RGPH, Recensement Général de La Population et de l'Habitat. ISTEERU : Tableaux de la population par sexe et par commune. Bujumbura-Burundi, (2008) 7 p. <https://urlz.fr/kBoB>
- [18] - M. ABDULREDHA, A. L. RAFID, D. JORDAN, K. HASHIM, The Development of a Waste Management System in Kerbala during Major Pilgrimage Events : Determination of Solid Waste Composition. *Procedia Engineering*, 196 (2017) 779 - 784
- [19] - M. BANAR, A. ÖZKAN, Characterization of the Municipal Solid Waste in Eskisehir City, Turkey. *Environmental engineering science*, 25 (8) (2008) 1213 - 1220
- [20] - E. FANGEAT, C. MILITON, A. HEYBERGER, La Composition Des Ordures Ménagères et Assimilées En France, Edition ADEME, (2010) 31 p. <https://urlz.fr/l4gv>
- [21] - B. BOUCHER, F. LOURDAIS, B. WILLMANN, C. BAREL, Validation Des Méthodes de Mesures Des Caractéristiques Des Combustibles Bois Déchiquetés. Etude réalisée par FIBOIS, CRITT BOIS et ADEME, (2002) 62 p.
- [22] - C. G. JUNG, Caractérisation Des Matières Résiduares et Déchets Modèle Prédictif Du Comportement d'un Déchet ; ULB—Université Libre de Bruxelles, (2007)
- [23] - N. FERRONATO, M. RAGAZZI, M. A. G. PORTILLO, E. G. G. LIZARAZU, P. VIOTTI, V. TORRETTA, How to Improve Recycling Rate in Developing Big Cities: An Integrated Approach for Assessing Municipal Solid Waste Collection and Treatment Scenarios. *Environmental Development*, 29 (2019) 94 - 110
- [24] - L. S. CONKE, Barriers to Waste Recycling Development : Evidence from Brazil. *Resources, conservation and recycling*, 134 (2018) 129 - 135
- [25] - A. S. RIPANDA, M. J. RWIZA, E. C. NYANZA, K. N. NJAU, S. A. VUAI, R. L. MACHUNDA, A Review on Contaminants of Emerging Concern in the Environment : A Focus on Active Chemicals in Sub-Saharan Africa. *Applied Sciences*, 12 (1) (2021) 56
- [26] - W. F. STRYDOM, Barriers to Household Waste Recycling : Empirical Evidence from South Africa. *Recycling*, 3 (3) (2018) 41
- [27] - J. K. DEBRAH, D. G. VIDAL, M. A. P. DINIS, Raising Awareness on Solid Waste Management through Formal Education for Sustainability : A Developing Countries Evidence Review. *Recycling*, 6 (1) (2021) 6
- [28] - N. FERRONATO, V. TORRETTA, Waste Mismanagement in Developing Countries : A Review of Global Issues. *International journal of environmental research and public health*, 16 (6) (2019) 1060. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- [29] - AMST. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste, (2008). <https://www.astm.org/d5231-92r16.html>

- [30] - J. PICHTEL, *Waste Management Practices : Municipal, Hazardous, and Industrial ; CRC press, (2005) 682 p.*
- [31] - E. A. NYANKSON, B. FEI-BAFFOE, J. GORKEH-MIAH, Household Solid Waste Generation Rate and Physical Composition Analysis : Case of Sekondi-Takoradi Metropolis in the Western Region, Ghana. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 42 (1) (2016) 35 - 43
- [32] - K. MIEZAH, K. OBIRI-DANSO, Z. KÁDÁR, B. FEI-BAFFOE, M. Y. MENSAH, Municipal Solid Waste Characterization and Quantification as a Measure towards Effective Waste Management in Ghana. *Waste management*, 46 (2015) 15 - 27
- [33] - E. SYGULA, K. ŚWIECHOWSKI, M. HEJNA, I. KUNASZYK, A. BIALOWIEC, Municipal Solid Waste Thermal Analysis—Pyrolysis Kinetics and Decomposition Reactions. *Energies*, 14 (15) (2021) 4510
- [34] - M. R. ISLAM, M. N. NABI, M. N. ISLAM, Characterization of Biomass Solid Waste for Liquid Fuel Production. *Proceeding of the International Conference on Mechanical Engineering*, 4 (1) (2001) 77 - 82
- [35] - P. W. ABRAHAMS, Soils : Their Implications to Human Health. *Science of the Total Environment*, 291 (1 - 3) (2002) 1 - 32
- [36] - N. MANIRAKIZA, T. NDIKUMANA, C. G. JUNG, Towards the Promotion of Fuel Briquettes Using Municipal Solid Waste and Residual Biomass in Burundi. *International Journal of Environment*, 9 (1) (2020c) 14 - 31
- [37] - NORDBERG, G. F. FOWLER, B. A. Metal Exposures and Human Health—Historical Development, Current Importance, and Toxicological Concepts for Prevention. In *Risk Assessment for Human Metal Exposures*; Elsevier, (2019) 1 - 29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804227-4.00001-7>