

Modèle thermogravimétrique d'évaluation des rendements de pyrolyse et de gazéification de la fraction fermentescible des déchets ménagers à Bujumbura

Lumami KAPEPULA^{1,2*}, Théophile NDIKUMANA² et C. Gisèle JUNG³

¹ *Centre de Recherche en Hydrobiologie / Uvira (CRH), Département d'Hydrologie, Section Hydrochimie, République Démocratique du Congo*

² *Université du Burundi, Faculté de Sciences, Département de Chimie, République du Burundi*

³ *Université Libre de Bruxelles, Faculté de Sciences Appliquées, FAS-AMAT, Centre Emile Bernheim, 1050 Bruxelles, Belgique*

* Correspondance, courriel : lumamikapepula@gmail.com

Résumé

Le présent travail, a procédé à la caractérisation et la quantification des constituants des déchets de biomasse déversés à la décharge de Mubone en procédant un à tri manuel. Il a été montré que la fraction fermentescible varie de 68 à 72 %. En tenant compte des analyses immédiates et élémentaires de chaque fraction, les bilans massiques et énergétiques des procédés de thermolyse et de gazéification des déchets sont évalués grâce à l'utilisation d'un « outil prédictif Excel » développé à l'Université Libre de Bruxelles et basé sur l'hypothèse d'additivité du comportement de chaque composant du déchet durant la décomposition thermique. Les résultats obtenus en utilisant cet outil pour le mélange de déchets fermentescible séchés à 35 % d'humidité et dont les différentes fractions sont quantifiées dans l'étude, permet de d'obtenir des combustibles de substitution dont les énergies récupérables sont comprises entre 13.5 et 15.7 GJ par tonne déchets séchés pyrolysés et entre 17,5 à 22,5 GJ par tonne déchets séchés gazéifiés. Le PCI des fractions fermentescibles des déchets bruts ont été évaluées par calorimétrie. Ces fractions fournissent un pouvoir calorifique inférieur compris entre 3,9 MJ/kg et 5,9 MJ/kg. L'utilisation de l'outil comme modèle prédictif simple, il est montré que les voies de traitement thermiques de pyrolyse et gazéification peuvent être envisagées afin de permettre de fournir de l'énergie aux ménages de Bujumbura en évitant aussi la déforestation. Il est important de noter que le séchage dans les pays chauds tels que le Burundi peut être effectué sans dépense d'énergie mais en utilisant l'énergie solaire.

Mots-clés : *déchets solides, biomasse, fermentescibles, pyrolyse et gazéification.*

Abstract

A thermogravimetric model to evaluate the outputs of pyrolysis and gasification of the fermentable fraction of the domestic waste in Bujumbura

This work is dealing with the characterization and quantification of constituents of fermentable waste dumped at the landfill Mubone and was realized by performing manual sorting. It has been shown that the fermentable fraction of the solid waste analyzed varies from 68 to 72 %.

Taking into account the proximate and elemental analysis of each fraction, mass and energy balances of pyrolysis and gasification processes of the fractions analyzed in this work are evaluated by the use of a "predictive Excel model" developed at the University free of Bruxelles and based on the additivity assumption of the behavior of each fraction during thermal decomposition. The results obtained using this tool for a mixture of fermentable waste, dried to 35 % humidity, whose different fractions were quantified in the study, show that alternative fuels can be obtained with recoverable energy between 13,5 and 15,7 GJ per ton dried waste pyrolysed and between 17,5 to 22,5 GJ per ton dried gasified waste. LCV of the organic raw waste fractions were assessed by calorimetry. These fractions provide a lower calorific value between 3,9 MJ / kg and 5,9 MJ / kg. Using the tool as a simple predictive model, it is shown that the thermal treatment pathways such as pyrolysis and gasification can be considered in Bujumbura to help provide energy to households also avoiding deforestation. It is important to note that drying waste can be done without expenditure of energy but by using solar energy in hot countries such as Burundi.

Keywords : *solid waste, biomass, pyrolysis and gasification.*

1. Introduction

Les risques et les menaces de la pollution tant physique que chimique existent bel et bien dans les Pays en développement à cause des activités humaines qui vont sans cesse croissant aussi bien dans les centres urbains que dans les milieux ruraux. La production des Déchets Solides Ménagers (DSM) augmente partout dans le monde à cause de :

- modifications des styles de vie,
- l'augmentation du pouvoir d'achat,
- l'incitation à la consommation de produits individualisés grâce aux emballages qui ne servent plus à d'autres utilisations.

En effet, l'explosion démographique, l'accroissement des activités urbaines, l'insuffisance des ressources financières des pouvoirs publics au niveau local et l'absence de réelles politiques environnementales sont parmi les facteurs qui expliquent la présence des déchets le long des grandes artères des villes de l'Afrique subsaharienne [1]. La caractérisation du déchet est primordiale pour déterminer le mode de traitement le mieux adapté. En effet, en fonction de la composition d'un déchet, après tri préalable, chaque fraction peut être orientée vers des filières de traitement appropriées [2]. Le présent travail se donne l'objectif de contribuer dans la recherche des voies de valorisation possibles des déchets fermentescibles collectés en ville de Bujumbura. Ces voies que sont la pyrolyse et la gazéification nécessitent de connaître la composition du gisement de déchets.

2. Méthodologie

2-1. Présentation du milieu d'étude

L'échantillonnage de cette étude s'est tenu à la décharge publique de Mubone située dans la commune de Buterere à Bujumbura Mairie. La décharge est représentée à la **Figure 1**, établie par le logiciel QGIS version 17,1. Les coordonnées géographiques du site d'échantillonnage ont été relevées par le GPS de marque GARMIN en vue de digitaliser la décharge. On constate que la décharge de Mubone est située en pleine habitation de populations dans la Mairie de Bujumbura et elle est ainsi une source de pollution du Lac Tanganyika.

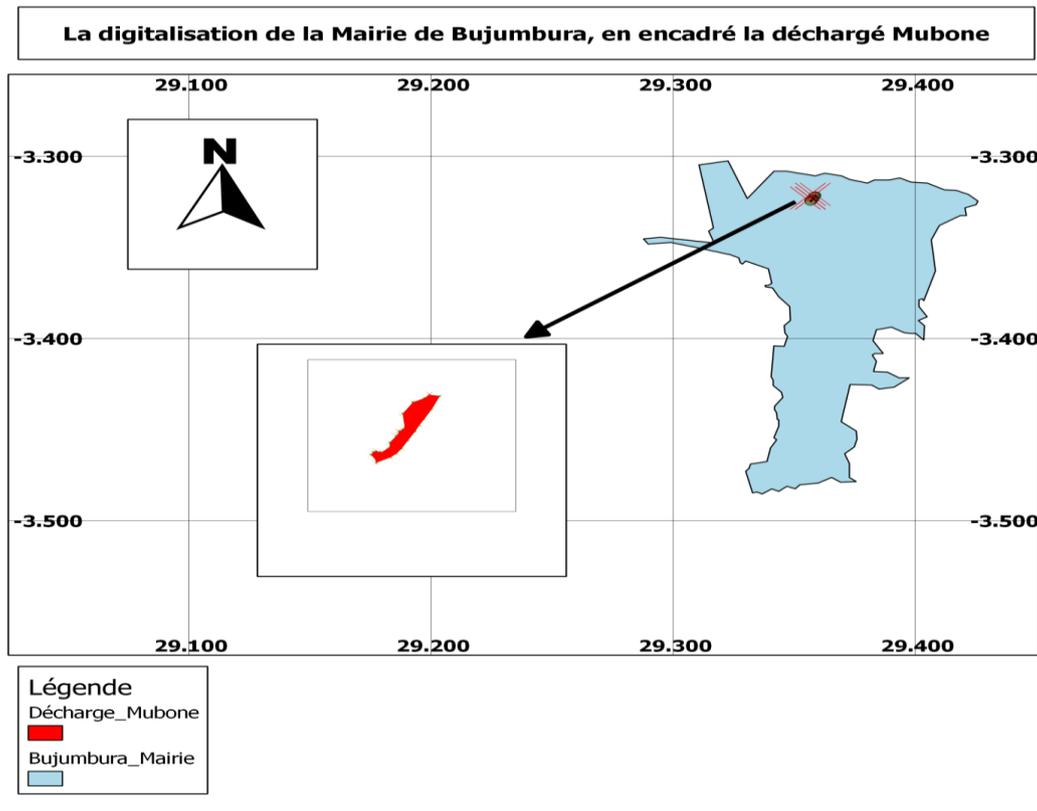


Figure 1 : Situation physique de la décharge de Mubone

2-2. Prélèvements et méthodes d'analyses

Ce travail a pour but de trouver une alternative à la mise en décharge pour le traitement séparé des fractions fermentescibles des déchets ménagers. Pour ce faire, le tri préalable des déchets ménagers est l'étape indispensable au traitement et recyclage des déchets. La **Photo 2** illustre la méthodologie utilisée dans ce travail pour effectuer le tri des déchets ménagers bruts dans le but de quantifier la partie fermentescible des déchets non triés prélevés sur la décharge de Mubone. Une étude antérieure sur la production de déchets ménagers à Bujumbura avait révélé une proportion importante de déchets fermentescibles évaluée à 70 %. Dans un premier temps, cette étude tente à vérifier cette proportion. Pour réaliser ce tri, une campagne de prélèvement des échantillons sur des déchets collectés par les services habituels a été conduite. Trois à cinq seaux de 45 litres de déchets étaient prélevés dans deux véhicules par jour, puis versés sur une bêche de 20 m². Les ouvriers séparaient les déchets selon leur nature. Les diverses fractions sont constituées d'épluchures d'ananas, d'avocat, de pomme de terre, de manioc, de bananes, de carottes, d'oranges ainsi que de tontes de gazon, de légumes et de restes de cuisine. Ces déchets fermentescibles ont été mis chacun dans des sacs en polyéthylène et pesés à l'aide d'une balance à crochet. La quantification des différentes fractions a été réalisée et est illustrée dans la **Photo 3**. L'échantillonnage a été réalisé du 08 au 25 avril 2013 entre 14 heures et 17 heures sur 14 véhicules collecteurs de déchets dans les différents quartiers de la Mairie de Bujumbura. Le **Tableau 1** résume la quantité de déchets déposés à la décharge de Mubone lors de notre échantillonnage.



Photo 1 : *Etat des lieux à la décharge de Mubone et situation physique de la décharge de Mubone*



Photo 2 : *Tri des fractions fermentescibles à la décharge de Mubone*



Photo 3 : *Quantification des déchets fermentescibles à Mubone*

Dans un second temps, l'utilisation du modèle prédictif, outil développé à l'Université Libre de Bruxelles a été utilisé pour orienter le choix de traitement vers une valorisation intéressante. Cet outil est appliqué au cas de traitements thermiques de déchets solides dont les fractions sont caractérisées pour évaluer la qualité des produits obtenus lors de ces procédés. Le modèle fait appel aux analyses immédiate et élémentaire de chaque fraction identifiée d'un déchet. Il permet d'évaluer les bilans massique et énergétique durant les procédés thermiques de traitement de déchets. Il est basé sur l'hypothèse d'additivité du comportement de chaque fraction de déchets durant la décomposition thermique. Il permet d'estimer les pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) des phases produites lors de traitements tels que la pyrolyse et la gazéification [3]. L'application du modèle à la pyrolyse d'un déchet permet de déterminer le bilan matière dans des conditions opératoires de température optimale et de temps de séjour adapté au déchet entrant. Pour ce faire, les valeurs déterminées par l'analyse immédiate sur matière sèche (MS) sont recalculés sur matière brute (MB). Durant la phase de pyrolyse, il y a carbonisation partielle ou totale (degré de carbonisation introduit dans le modèle) du contenu en matière organique (MO) du déchet. Le bilan massique est évalué en assumant que, lors de la carbonisation lente à faible vitesse de chauffage, la matière volatile est orientée avec l'eau dans la phase gazeuse et que le carbone fixe (CF) est récupéré dans la phase solide avec les cendres. Cette phase solide de pyrolyse est en fait un semi-coke, communément appelé char.

L'application du modèle à la gazéification est basée sur le principe de deux étapes successives: une première étape de pyrolyse totale (taux de carbonisation à 100 %) est suivie d'une gazéification du carbone fixe du char en monoxyde de carbone grâce à une entrée d'air strictement contrôlée. L'entrée d'air est déterminée en évaluant le contenu en carbone fixe du char de l'étape de carbonisation totale. Le gaz de synthèse ($\text{CO} + \text{H}_2$) qui en résulte se mélange aux gaz pyrolytiques générés dans la première section du réacteur. Les cendres sont évacuées. Le ballast d'azote et la quantité de CO sont calculés. La composition des gaz à la sortie du réacteur est estimée (mélange avec les gaz pyrolytiques, le CO et l'azote) afin d'évaluer leur pouvoir calorifique inférieur. L'analyse immédiate consiste à déterminer le taux d'humidité, le taux de cendres (sur base du matériau sec) et le taux de matières volatiles sur matière sèche. De plus, l'analyse élémentaire des fractions de ce déchet (C, H, O) permet d'estimer le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du char et des gaz issus de ces traitements thermiques. La méthodologie et normes utilisées pour obtenir les résultats de l'analyse immédiate sont les suivantes :

- L'humidité a été déterminée suivant [4]. L'échantillon de matière est placé à l'étuve (105 ± 2 °C) jusqu'à masse constante. Cette analyse est.
- La teneur en MS est déduite de la teneur en eau mesurée par perte de masse d'un échantillon séché sur des masses de 1 à 10 g de matériau.
- Les matières organiques ont été déterminées suivant la norme française de 1985. Placer environ 3 g de l'échantillon sec dans un creuset, puis calciner à 850 °C dans un four à moufle pendant 2 heures.
- La Matière Volatile (MV) est déterminée, après séchage, par calcination à 550 °C dans un four à moufle [5] relative à l'analyse des supports de culture).
- La teneur en Carbone Fixe est déduite de la teneur en Matière Volatile et Matière Organique.
- Le taux de cendres (sur base anhydre) est le pourcentage en masse de résidu inorganique restant après l'ignition d'un combustible sous des conditions spécifiques. Elle est déterminée suivant [6]
- Le pouvoir calorifique a été déterminé à l'aide d'une bombe calorimétrique qui mesure la chaleur libérée par la combustion d'une quantité précise de matière [7]. Un calorimètre isotherme de marque Heidolph instruments GmbH, une bombe en Inox qu'on peut charger d'oxygène à 15 bars est utilisé pour la mesure du pouvoir calorifique ; un fil de clavecin relié à un système de mise à

feu assure la combustion de l'échantillon. La vague thermique est relevée avec un thermocouple en de Platine-Rhodium plongeant dans l'eau du récipient calorimétrique.

Les données ont été traitées avec le tableur Excel 2003, ensuite analysées par le logiciel SPSS version 16. Les données pour la réalisation des figures 4,5 et 6 sont reprises dans les tableaux.

3. Résultats et discussion

3-1. Quantification des déchets fermentescibles

Pour réaliser la présente étude une campagne de prélèvement des échantillons sur des déchets collectés par les services habituels a été conduite. Les déchets ménagers étaient versés sur une bâche de 20 m². Au cours de l'échantillonnage à la décharge de Mubone, les différentes fractions des déchets fermentescibles et autres, ont été triés et pesés ; l'échantillonnage de 2025 litres trié pendant 17 jours équivaut à 866 kg de déchets solides ont été ramené au volume des déchets dans le bac du véhicule. Le **Tableau 1** rassemble les résultats de tri et quantification de cet échantillonnage.

Tableau 1 : Estimation quantifiée des déchets déposés à la décharge de Mubone

N°	PROVENANCE VEHICULE	Volume de Déchets en m ³	En kg											Somme	
			Epluchure Banane	Epluchure Orange	Epluchure Avocat	Epluchure Ananas	Epluchure Pomme de terre	Epluchure Manioc	Tonte gazon	Légume	Reste cuisine	Epluchure Carotte	Autres	Masse totale en kg	Volume eau en m ³
1	Centre-ville	12,54	557,3	464,44	464,44	557,3	185,77	278,66	0	557,3	464	0	1486,2	5016	0,135
2	Carama	10,032	1784	297,24	297,24	334,4	148,62	0	297,2	74,31	594	148,62	1634,8	5610,5	0,135
3	Rohero	16,284	54,28	18,1	0	0	0	0	0	325,7	18,1	0	271,4	687,55	0,9
4	Kiriri	10,032	520,2	148,62	74,31	148,6	222,93	74,31	445,9	148,6	74,3	0	1189	3046,7	0,135
5	Kanyosha et Kinanira	18,998	1548	844,35	1125,8	140,7	985,08	0	1548	844,4	704	0	2814,5	10554	0,135
6	Kinanira et Rohero	9,196	1090	408,71	408,71	374,7	613,06	0	2044	68,11	272	0	817,42	6096,6	0,135
7	Rohero	7,524	306,5	501,6	167,2	167,2	390,13	55,73	334,4	167,2	223	0	891,73	3204,7	0,135
8	Kigobe	6,688	792,7	99,1	123,85	99,08	148,62	891,73	396,3	148,6	74,3	0	594,48	3368,8	0,135
9	Gasekebuye	10,032	445,9	297,24	148,62	74,31	74,31	74,31	297,2	148,6	74,3	0	1263,3	2898,1	0,135
10	Kinindo	12,54	92,88	185,77	185,77	743,1	371,55	0	92,88	464,4	464	185,77	1207,6	3994,2	0,135
11	Ngagara	7,544	223,5	111,76	83,82	55,88	111,76	167,64	335,3	111,8	55,9	0	782,34	2039,6	0,135
12	Mutanga Nord, Rohero, Kigobe	10,868	161	322,01	322,01	805	80,5	0	966	483	483	0	402,51	4025,1	0,135
13	Centre-ville	15,048	501,6	869,44	434,72	501,6	535,04	267,52	167,2	568,5	502	0	1872,6	6219,8	0,225
14	Kibenga et Kinindo	16,284	470,4	542,8	796,1	651,4	868,48	217,12	434,2	687,5	470	217,12	2315,9	7671,5	0,225
TOTAL en kg		163,6	8548	5111	4633	4653	4736	2027	7358	4798	4474	551,5	17544	64433	2,835

Les résultats de ce travail permettent d'évaluer que les proportions fermentescibles varient entre 68 et 72 %. Elle montre que la fraction fermentescible constitue la composition la plus importante des déchets solides ménagers de la ville de Bujumbura, destiné à la décharge de Mubone totalisant à elle seule la moyenne de 70 %, en accord avec une étude précédente [8]. Le résultat de cet échantillonnage a fourni une quantification (m³ et kg) permettant d'obtenir la composition moyenne des ordures ménagères de la fraction fermentescible qui se répartit en dix composantes (*Figure 2*)

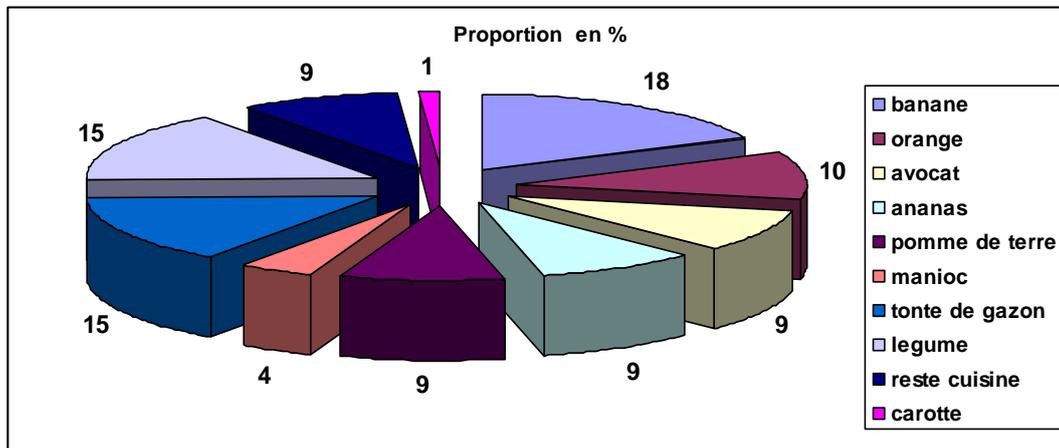


Figure 2 : Composition de la fraction fermentescible de déchets ménagers (%)

Ces composantes se répartissent par ordre décroissant :

- bananes (18 %)
- légumes (15 %)
- tonte de gazon (15 %)
- Orange (10 %)
- résidus d'avocats (9 %)
- ananas (9 %)
- le reste de la cuisine (9 %)
- la pomme de terre (9 %)
- manioc (4 %)
- carotte (1 %)

Seuls le manioc et les épluchures de carottes se retrouvent en moindre proportion. Il faut remarquer que les proportions des différentes composantes de cet échantillonnage présentent une différence très hautement significative car $\text{Sig}(p) = 0,000 < 0,001$ (analyse comparative des échantillons par ANOVA) avec une erreur standard d'échantillonnage de 1,6.

3-2. Utilisation du modèle prédictif pour les fractions fermentescibles

Les valeurs des analyses immédiate et élémentaire de chaque fraction du mélange sont rassemblées dans le **Tableau 2** et ont été introduites dans le modèle prédictif pour évaluer les bilans massiques et énergétiques des produits issus de la pyrolyse lente d'une part et de la gazéification d'autre part.

Tableau 2 : *Pourcentage d'Humidité (H), Matière Sèche (MS), Cendres (A), Matière Organique (MO), Matière Volatile (MV) et Carbone Fixe (CF) des fractions de déchets fermentescibles*

%	EPLUCHURE BANANE	EPLUCHURE ORANGE	EPLUCHURE AVOCAT	EPLUCHURE ANANAS	EPLUCHURE POMME DE TERRE	EPLUCHURE MANIOC	TONTE DE GAZON	LEGUME	RESTE CUISINE	EPLUCHURE CAROTTE
H	88,5	76,5	73,5	83	79,5	74	77,5	84	79,5	85
MS	11,5	23,5	26,5	17	20,5	26	22,5	16	20,5	15
A	6,35	4	5,25	3,1	3,85	3,85	6,95	10,2	9,35	6,65
MO	93,55	95,9	94,65	96,85	96,05	96,05	92,95	89,7	90,55	93,25
MV	74,8	78,25	63,15	62,05	72,75	73,35	71,35	57,35	67,1	67,2
CF	17,7	17,5	31,2	32,35	22,95	22,85	21,5	32,3	23,45	26,1

Il s'agit de l'évaluation des quantités et du contenu énergétique potentiel (PCI) des produits issus du traitement thermique (pyrolyse ou gazéification) à savoir le gaz et le solide. Les résultats de l'application du modèle prédictif aux différentes fractions fermentescibles brutes pour la pyrolyse lente totale ($\alpha = 1$) ainsi que pour la gazéification sont présentés dans le **Tableau 3**. Il s'agit des quantités de char (solide pyrolytique) de cendres et de gaz chauds qu'il est possible de récupérer ainsi que leur PCI. On constate que les énergies potentiellement récupérables dans le gaz pyrolytique et le char pour les différentes composantes varient entre 2,7 et 5,7 GJ par tonne de déchets bruts, entre 13,5 et 15,7 GJ de déchets séchés à 35 % d'humidité et entre 17,6 et 19 GJ par tonne de déchets séchés à ± 15 % d'humidité. Il en résulte que pour le mélange dont les proportions ont été évaluées dans ce travail l'énergie potentiellement récupérable du mélange brut est de 4,4 GJ par tonne de déchet brut s'il est pyrolysé. Le char pyrolytique a un PCI de 26 MJ/kg et le gaz pyrolytique du déchet brut à un très faible pouvoir calorifique.

Tableau 3 : Energie récupérable prévisible pour une tonne de déchets fermentescibles bruts (non séchés)

Echantillon (100 % à chaque fraction)	PYROLYSE								GAZEIFICATION			
	% dans mélange	Char kg/t	Gaz kg/t	Cendres dans char %	MV %	PCI (char) MJ/kg	PCI (gaz) MJ/kg	Energie totale récupérable MJ/t _{déchet}	Syngaz kg/t	Cendres kg/t	PCI (syngaz) MJ/kg	Energie totale récupérable MJ/t _{déchet}
Ep banane	17,9	30	970	25,2	9,3	24,5	2	2675	908	64	3,4	3087
Ep orange	10,2	52	943	18,4	19,9	26,8	4	5166	1079	40	5,7	6150
Ep avocat	9,3	96	904	14,2	18,2	28,1	3,2	5590	1203	53	6,5	7820
Ep ananas	8,9	65	935	8,2	11,3	30,1	1,9	3733	1030	31	5,2	5356
Ep pomme de terre	9,1	55	941	14,1	15,5	28,2	3	4374	1053	39	5,2	5476
Ep manioc	4,3	69	931	14,4	20,5	28,1	4	5663	1149	39	6,2	7124
Tonte de gazon	14,8	69	931	24,3	18,4	24,8	3,6	5063	1077	70	5,8	6247
Légume	15,3	102	978	23,9	14,1	25	2,5	4995	1118	102	6,2	6932
Reste cuisine	9	66	934	28,4	14,4	23,5	2,8	4166	1000	94	5,2	5200
Carotte	1,2	49	951	20,3	10,6	26,2	2	3186	947	67	4,4	4167
Mélange	100	66	946	20,4	15,0	26,1	2,9	4400 ± 100	1053	63,7	5,3	5700 ± 100

Tableau 4 : Energie récupérable prévisible pour une tonne de déchets fermentescibles séchés à ±35 % d'humidité

Echantillon	Proportions dans le mélange %	PYROLYSE							GAZEIFICATION			
		Char	Gaz	Cendres dans char	MV	PCI (char)	PCI (gaz)	Energie Totale récupérable	Syngaz	Cendres	PCI (syngaz)	Energie totale récupérable
		kg/t	kg/t	%	%	MJ/kg	MJ/kg	MJ/t _{déchet}	kg/t	kg/t	MJ/kg	MJ/t _{déchet}
Ep banane	17,9	164	836	25,2	58,1	24,5	12,5	14468	1565	64	11,2	17528
Ep orange	10,2	152	848	18,4	64,8	26,8	13,1	15183	1643	40	11,5	18895
Ep avocat	9,3	262	738	14,2	60,7	28,1	10,7	15259	2186	53	10,3	22516
Ep ananas	8,9	250	750	8,2	54,6	30,1	9,4	14575	2140	31	9,9	21186
Ep pomme de terre	9,1	185	815	14,1	60,7	28,2	11,7	14753	1824	39	10,8	19699
Ep manioc	4,3	192	808	14,4	65,4	28,1	12,7	15657	1885	39	11,1	20924
Tonte de gazon	14,8	198	802	23,4	61,4	24,8	12	14534	1754	70	10,9	19119
Légume	15,3	286	714	23,9	53,8	25	9,5	13933	2090	102	9,9	20691
Reste cuisine	9	214	786	28,4	55,4	23,5	10,7	13439	1739	94	10,3	17912
Carotte	1,2	213	787	20,3	55,5	26,2	10,5	13845	1860	67	10,2	18972
Mélange	100	211	789	20,3	58,8	26,1	11,3	14500	1847	63,7	10,7	19600

Tableau 5 : Energie récupérable prévisible pour une tonne de déchets fermentescibles séchés à ± 15 % d'humidité

Echantillon	Proportions dans le mélange %	PYROLYSE							GAZEIFICATION			
		Char	Gaz	A	MV	PCI (char)	PCI (gaz)	Energie totale récupérable	Syngaz	Cendres	PCI (syngaz)	Energie totale récupérable
		kg/t	kg/t	%	%	MJ/kg	MJ/kg	MJ/t _{déchet}	kg/t	kg/t	MJ/kg	MJ/t _{déchet}
Ep banane	17,9	219	781	25,2	83,3	24,5	17,9	19345	1837	64	13,3	24432
Ep orange	10,2	191	809	18,4	85,2	26,8	17,3	19115	1863	40	13,1	24405
Ep avocat	9,3	324	676	14,2	82,2	28,1	14,6	18974	2557	53	11,2	28638
Ep ananas	8,9	323	677	8,2	77,9	30,1	13,4	18794	2570	31	10,9	28018
Ep pomme de terre	9,1	234	766	14,1	81,7	28,2	15,8	18702	2114	39	12,1	25579
Ep manioc	4,3	232	768	14,4	83,1	28,1	16,1	18884	2125	39	12,2	25925
Tonte de gazon	14,8	244	756	23,4	80,2	24,8	15,7	17920	1995	70	12,1	24140
Légume	15,3	363	637	23,9	76,5	25	13,6	17738	2497	102	10,9	27217
Reste cuisine	9	280	720	28,4	79,2	23,5	15,3	17596	2067	94	11,8	24391
Carotte	1,2	279	721	20,3	79,2	26,2	15	18125	2225	67	11,6	25810
Mélange	100	269	731	20	81	26,1	15,6	18500	2159	64	12	25700

Le même modèle nous a permis d'estimer l'énergie produite par gazéification des composantes des fractions fermentescibles des ordures ménagères. Les énergies totales récupérables varient de 3 à 7 GJ par tonne de déchets bruts, de 17,5 à 22,5 GJ par tonne de déchets à ± 35 % d'humidité et enfin 24 à 28,6 GJ par tonne de déchets séchés à ± 15 % d'humidité. L'ensemble de ces résultats pour chacun des éléments du mélange est présenté graphiquement dans la **Figure 3** pour plus de clarté. Lorsque le déchet fermentescible brut en mélange est gazéifié, l'énergie potentielle totale récupérable est de 5,7 GJ par tonne de déchet brut. Il ressort que toutes les épiluchures peuvent rester en mélange mais être séchées à 15 % d'humidité en vue d'une gazéification. En effet, le séchage améliore nettement le rendement énergétique du processus thermique vu que la vapeur d'eau dilue le gaz pyrolytique ainsi que le gaz de synthèse.

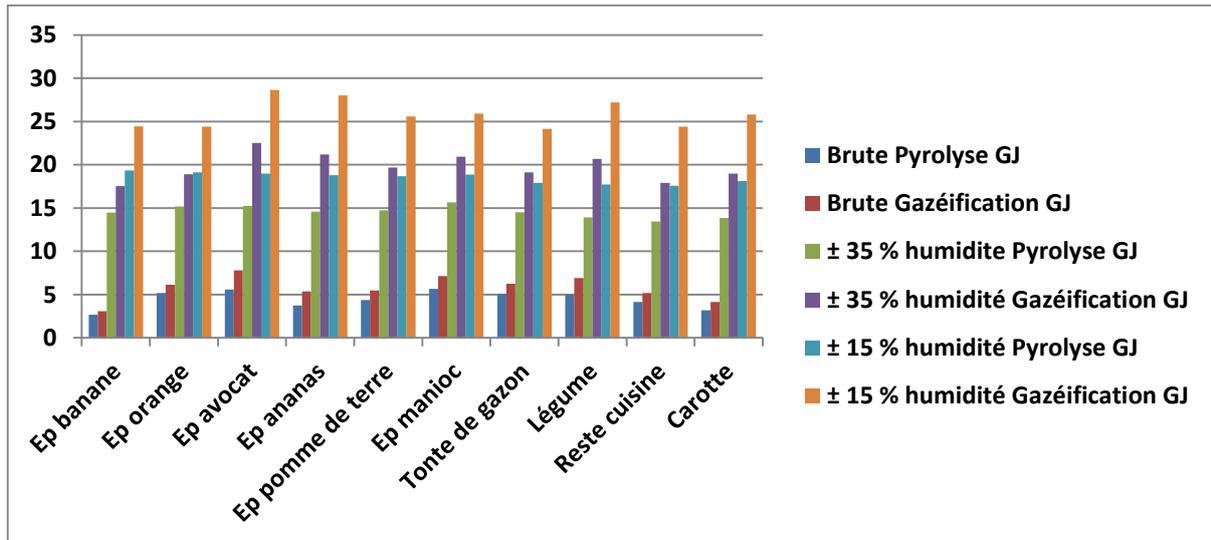


Figure 3 : Energie récupérable en GJ par tonne de déchet entrant dans le procédé thermique dans les fractions brutes, séchées à ± 35 % et à 15 % d'humidité

L'analyse statistique effectuée avec le logiciel SPSS version 16 montre que les résultats sont très hautement significatifs car p (ou Sig) < 0,001. D'autre part, les résultats en bombe calorimétrique sont présentés dans la **Figure 4**. On notera que toutes les épiluchures brutes (non séchées) ont un très faible pouvoir calorifique.

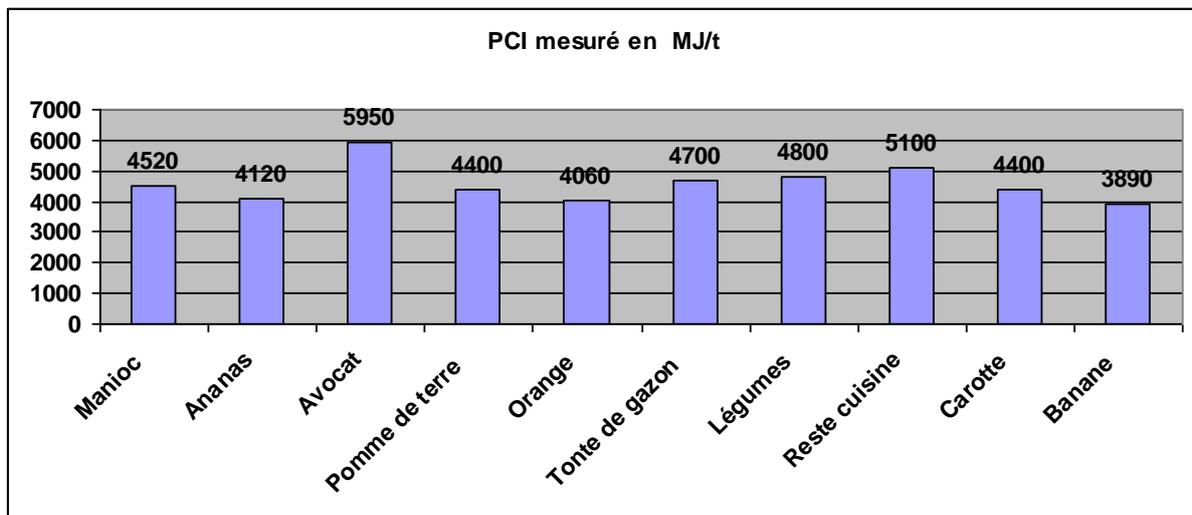


Figure 4 : PCI (MJ/t) des fractions fermentescibles du mélange de déchets

Au vu du PCI obtenu par la bombe calorimétrique, l'examen de la **Figure 4** révèle que le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des échantillons varie d'un échantillon à l'autre de 3,9 à 5,9 MJ/kg. Ceci est en accord avec les valeurs de SITA France [9] qui rapporte un PCI des fermentescibles bruts de 3,4 MJ/kg.

4. Conclusion

Ce travail porte sur l'analyse comparative de la pyrolyse et la gazéification des déchets fermentescibles produit à Bujumbura en saison humide, révèle qu'il est indispensable d'identifier le gisement de déchets en amont tels que le type de déchets, la composition du déchet et sa dispersion. En aval, identifier les besoins locaux pour la filière de valorisation matière ou énergie. Au cours de cette étude, la méthode de tri manuel a été appliquée au cours de l'échantillonnage. La fraction fermentescible ressort nettement avec une moyenne de 70 % contre une moyenne de 30 % de la fraction non fermentescible. Le traitement statistique des données a montré que la différence entre ces deux fractions est très significative. La mesure du PCI des fractions fermentescibles des ordures ménagères a été conduite dans un calorimètre. Le PCI mesuré est compris dans la fourchette 3,9 à 5,9 MJ/kg. L'analyse statistique montre que l'énergie récupérée par la pyrolyse et la gazéification ainsi que le PCI des échantillons de la fraction fermentescible des ordures ménagères sont très hautement significatives. Pour les fractions brutes, les énergies récupérables produisent un gaz pyrolytique et un gaz de synthèse dont les PCI sont respectivement de l'ordre de 3 et de 6 MJ/kg et donc trop faible pour l'utiliser comme gaz combustible de substitution. Il est donc important de prévoir de sécher les déchets pour les traiter par voie thermique.

Cependant le char pyrolytique obtenu lors du traitement thermique du mélange de déchets fermentescibles a un PCI intéressant de 26 MJ/kg ce qui lui permettrait de l'utiliser comme combustible solide de substitution s'il est en quantité suffisante. L'étude montre que si le mélange de déchets fermentescibles est séché à 35 % d'humidité, la quantité de char produite par pyrolyse est d'environ 200 kg par tonne de déchet séché et l'énergie récupérée de l'ordre de 4500 MJ par tonne de déchet brut pyrolysé. Cette étude montre que le modèle prédictif est utile comme outil pour juger de l'intérêt de faire une valorisation énergétique par traitement thermique de certains déchets en fonction de leur composition (d'où l'importance de la caractérisation). L'étude montre cependant que la pyrolyse et la gazéification du déchet séché à 35 % d'humidité permet d'obtenir un combustible de substitution solide (ou gazeux) dont le PCI peut être intéressant. Celui-ci pourrait être utilisé comme substitut du charbon de bois ou pour produire de l'électricité [11]. Il est cependant primordial d'opérer le séchage par la méthode simple (au soleil) qui est indispensable pour obtenir ce résultat. En effet, il est clairement montré dans ce travail que le traitement thermique n'est pas performant pour des déchets fermentescibles bruts. Pour finir l'étude met en évidence que la caractérisation des déchets à traiter peut aider à faire un choix de traitement adapté lors d'une prise de décision [12]. Cette étude n'aborde cependant pas le fait de savoir si les procédés sont économiquement viables dans le contexte local. Ce sujet devrait être abordé ultérieurement. Il est donc possible d'évaluer l'énergie totale récupérable pour chaque fraction pour les deux procédés thermiques.

Références

- [1] - R. E. GBINLO, Organisation et financement de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Afrique Sub-saharienne : Cas de la ville de Cotonou au Bénin. *UNIVERSITÉ D'ORLÉANS* (Thèse), 2010.
- [2] - C. G. JUNG, Voies de traitements de déchets solides: valorisation matière et énergie. *Bull. Sci.Inst. natl.Conserv. Nat., article de Forum*, 2013, 50-44.
- [3] - C. G. JUNG, et A. FONTANA, Modèle prédictif et étude de cas des techniques thermiques dans Les Ouvrages de l'Industrie Minérale ISBN 2-9517765-7-8, 2008, 283(1).
- [4] - NORME EN 14774 — 3: Solid biofuels — Methods for determination of moisture content — Oven dry method — Part 3: Moisture in general analysis sample.

- [5] - NORME FRANÇAISE. AFNOR NFU44-160 (1985).
- [6] - NORME EN 14775, Solid Biofuels – Methods for the determination of ash content (2009).
- [7] - ALIAPUR (2007) and Norme NF ISO. (2004), NF ISO 1928, Agence Française de valorisation de pneus.
- [8] - M. MIZERO, Contribution à l'élaboration de la stratégie de gestion des déchets solides en milieu Urbain : cas de la ville de BUJUMBURA, *Université du Burundi, Fac des Sciences* (mémoire), 2010.
- [9] - DIRECTION INDUSTRIELLE METIER, Les traitements mécano-biologique (TMB) : des plateformes de valorisation pour SITA. *Sita France*, 2009, 01 47 42 00 11.
- [10] - K. D. BISIMWA, A. C. KABALE et C. G. JUNG, Essai de compostage comme voie de Valorisation des déchets ménagers solides dans la ville de Bukavu au Sud-Kivu (RD Congo)", dans *Déchets Sciences et techniques*, 85, 2013, 31-38.
- [11] - M. MIZERO, Th. NDIKUMANA, C. G. JUNG, Briquettes From Solid Waste : A substitute For Charcoal in Burundi", Working Papers CEB 14-012, Université Libre de Bruxelles, Proceedings at WasteEng14 , Rio de Janeiro, (2014).
- [12] - R. IOANNIDOU, C. G JUNG, and A. ZABANIOTOU, "A thermogravimetric model to predict yield product distribution in pyrolysis of agricultural biomass", *Catalyst Today*, 67, issue1, 2011, 129