

Analyse comparative des résultats de caractérisation d'ordures ménagères : cas des communes de Bembéréké (Bénin), Kinama (Burundi), Gombe et Kimbanseke (RDC)

Emilienne Laure Ngahane^{1,*}, Léonard Ukondalemba Mindele¹, Gaston Nsavyimana¹, Patrice Bigumandondera¹, Jean-Luc Vassel¹, Emmanuel Ngnikam²

¹ Université de Liège. Faculté des Sciences. Département de Sciences et Gestion de l'Environnement.

Unité « Assainissement et Environnement ». Avenue de Longwy, 185. B-6700 Arlon (Belgique)

² Université de Yaoundé I. Ecole Nationale Supérieure Polytechnique. Laboratoire de l'Energie, de l'Eau et de l'Environnement. B.P. 8390 ENSP (Yaoundé-Cameroun)

*Correspondant : elngahane@student.ulg.ac.be, lamas_ng@yahoo.fr

RÉSUMÉ

En Afrique subtropicale, dans la mouvance de la décentralisation, la gestion des déchets est du ressort des communes. L'absence critique de données locales et actualisées sur les déchets émis accroît les risques d'échec des projets visant leur gestion. En effet, les caractéristiques de production et composition des déchets sont propres à un endroit et sont variables dans le temps. Chaque commune souhaitant mettre en place un processus de gestion de ses déchets solides devrait donc disposer, au préalable, de leur typologie. Nous avons cherché à préciser cela à l'aide de résultats récents de caractérisation d'ordures ménagères, résultats obtenus par une même méthode qui tient compte des saisons et des données sociodémographiques locales. Les outils statistiques tels que l'analyse de la variance (ANOVA), le test de comparaison de moyennes et le test du Khi carré (X^2) ont été utilisés pour l'analyse comparative des productions saisonnières, des productions annuelles et des compositions relatives des ordures ménagères, respectivement. Dans $\frac{3}{4}$ des cas, la production des ordures ménagères obtenue est supérieure à la moyenne de 1996 pour les pays à faible revenu (dont ils font partie) ; par ailleurs, la composition moyenne obtenue est cohérente avec la tendance typologique globale des ordures ménagères dans les PED. A Kimbanseke, la production des ordures ménagères diffère significativement d'une saison à l'autre. Entre les quatre communes expérimentales, la production des ordures ménagères ne diffère pas significativement, mais des différences très significatives sont apparues dans leur composition. Toutefois, pour ces quatre communes, on n'observe pas de différence significative dans les caractéristiques des ordures ménagères en fonction des conditions et niveaux de vie des populations. Ainsi, la production des ordures ménagères est davantage liée au temps (année, décennie et/ou saison) alors que la composition l'est plus aux milieux, conditions et niveaux de vie des populations qui les génèrent, donc aux caractéristiques communautaires.

MOTS-CLÉS : ordures ménagères, quantité, composition, communes, saisons, standings, Afrique subtropicale

ABSTRACT

In subtropical Africa, in the context of decentralization, waste management is municipal jurisdiction. The lack of local and updated data increases the risks of failure of waste management projects. Indeed, the characteristics of waste are valid in a given place and for a given moment; thus, every municipality which wishes to manage its waste should have at first their typology. We tried to specify it by recent results of characterization of household solid waste. These results were obtained by an same method which takes into account seasons and local sociodemographic data. The statistical tools such as analysis of variance (ANOVA), comparison of averages test and Chi-squared test (X^2) were used for the comparative analysis of the seasonal productions, the annual productions and the relative compositions of household solid waste, respectively. In 3 of 4 cases the obtained production of household solid waste is upper to the average production of 1996 for low-income countries (of whom they are a member); besides, the obtained average composition follow the global typological trend of household solid waste in developing countries. In Kimbanseke, the production of household solid waste differs significantly among seasons. Between four studied municipalities, the production of household solid waste not significantly varied; but, in their composition, very significant differences appeared. However, for these four municipalities, the characteristics of household solid waste not varied among standings. So, the production of household solid waste is more connected to weather (year, decade and/or season) while the composition is it more to the places, the conditions and the standards of living of the populations, thus to the community characteristics.

KEYWORDS : household solid waste, quantity, composition, municipalities, seasons, standings, subtropical Africa

Analyse comparative des résultats de caractérisation d'ordures ménagères

Emilienne Laure Ngahane, Léonard Ukondalemba Mindele, Gaston Nsavyimana,
Patrice Bigumandondera, Jean-Luc Vasel, Emmanuel Ngnikam

I. Introduction

Les caractéristiques des déchets solides municipaux dans les villes de l'Afrique subtropicale ne sont pas encore partout connues de manière précise et l'influence des facteurs temporels, spatiaux et humains sur ces caractéristiques n'est que partielle, ce qui constitue un handicap pour mise en place de plans de gestion adaptés. Pour essayer de lever ce handicap, nous avons développé en 2010 une méthode de caractérisation rapide, simple, peu coûteuse et flexible pour répondre aux besoins pressants de la réalisation d'un projet sur la mise en place d'une filière de gestion des déchets solides à Bembéréké au Bénin. Pour des raisons similaires, cette même méthode a été utilisée en 2012 à Kinama (Burundi), Gombe et Kimbanseke (RDC). L'analyse comparative des résultats obtenus sur cette base commune doit permettre d'examiner objectivement l'influence potentielle des facteurs temporels, spatiaux et humains sur les caractéristiques de ces déchets. Cette analyse nous permettra également de dégager les tendances typologiques actuelles des ordures ménagères produites et de les comparer avec celles présentées dans des études antérieures.

2. Matériel et méthodes

2.1 Présentation des communes étudiées

Les communes expérimentales appartiennent à différentes régions africaines (voir Fig. 1). De l'Afrique de l'ouest (Bembéréké au Bénin) à l'Afrique de l'est (Kinama au Burundi) en passant par l'Afrique centrale (Gombe et Kimbanseke en RDC). Parmi elles figurent des communes urbaines (Gombe et Kinama) et des communes urbano-rurales (Bembéréké et Kimbanseke). Les standings des différents quartiers de ces villes (haut : HS, moyen : MS et bas : BS) sont évalués à partir de critères communs que sont les matériaux de construction de l'habitation, le type d'éclairage, le mode d'aisance, la source d'approvisionnement en eau potable, le mode de cuisson des aliments...

Bembéréké : Comprise entre 09° 58 ' et 10° 40' de Latitude Nord et entre 02°04' et 03° de longitude Est, elle est située au NE du Bénin. C'est le centre urbain de la commune

dont elle porte le nom. La ville occupe une superficie de 684 km² de compte 10 quartiers dont 5 couverts par le projet « Déchets » et les travaux de cette études. La population de ces 5 quartiers est estimée à 17500 habitants en 2011, est répartie au sein d'environ 2000 ménages distribués de la manière suivante : 15 % HS, 30 % MS et 55 % BS. Le climat est de type soudano-guinéen avec des saisons bien marquées. Les pluies s'élèvent à 1160 mm et sont concentrées en une saison (de mai à octobre). L'agriculture occupe 74 % de la population et le taux de croissance démographique a été estimé à 4,69 % [INSAE, 2005].

Kinama : Il s'agit de l'une des communes urbaines de la ville de Bujumbura, capitale du Burundi. Elle compte 90 660 habitants distribués dans 13 quartiers, au sein d'environ 18 132 ménages (5 pers/ménage) et répartis comme suit : 16 % HS, 7 % MS et 77 % BS. Le taux de croissance de la population y est estimé à 6,6 % et le climat est de type tropical chaud et humide. On y distingue deux saisons pluvieuses, la grande allant de février à avril et la petite allant de septembre à décembre ; deux saisons sèches, la grande allant de mai à août et la petite allant de décembre à février. Les précipitations annuelles s'élèvent à 1100 mm, pour une température moyenne de 23°C [Ndayikeza, 2012].

Gombe et Kimbanseke sont deux communes périphériques de Kinshasa, capitale de la RDC. Le climat est du type tropical chaud et humide se caractérisant par 4 mois de sécheresse et 8 mois de pluies, pendant lesquels on enregistre une pluviosité comprise entre 800 et 1800 mm. Ces communes présentent des caractéristiques sociodémographiques bien divergentes.

Kimbanseke, commune anarchique, simple village devenu une agglomération urbaine très peuplée ; d'ailleurs, c'est la commune la plus peuplée et la plus vaste de Kinshasa depuis 1980. Kimbanseke a une superficie de 238 km² et compte 306 758 habitants répartis dans 16 quartiers au sein d'environ 51 120 ménages : 70,5 % BS, 27 % MS et seulement 2,5 % HS.

Gombe a une superficie de 29 km² et compte quant à elle, 35 429 habitants répartis dans 9 quartiers au sein de 8 859 ménages : 85 % HS et 15 % MS. Cette commune est le siège des institutions et des affaires. Tous ses quartiers sont peuplés de gratte-ciel où résident l'élite, la classe aisée de la société zairoise et les expatriés [SP, 2011].

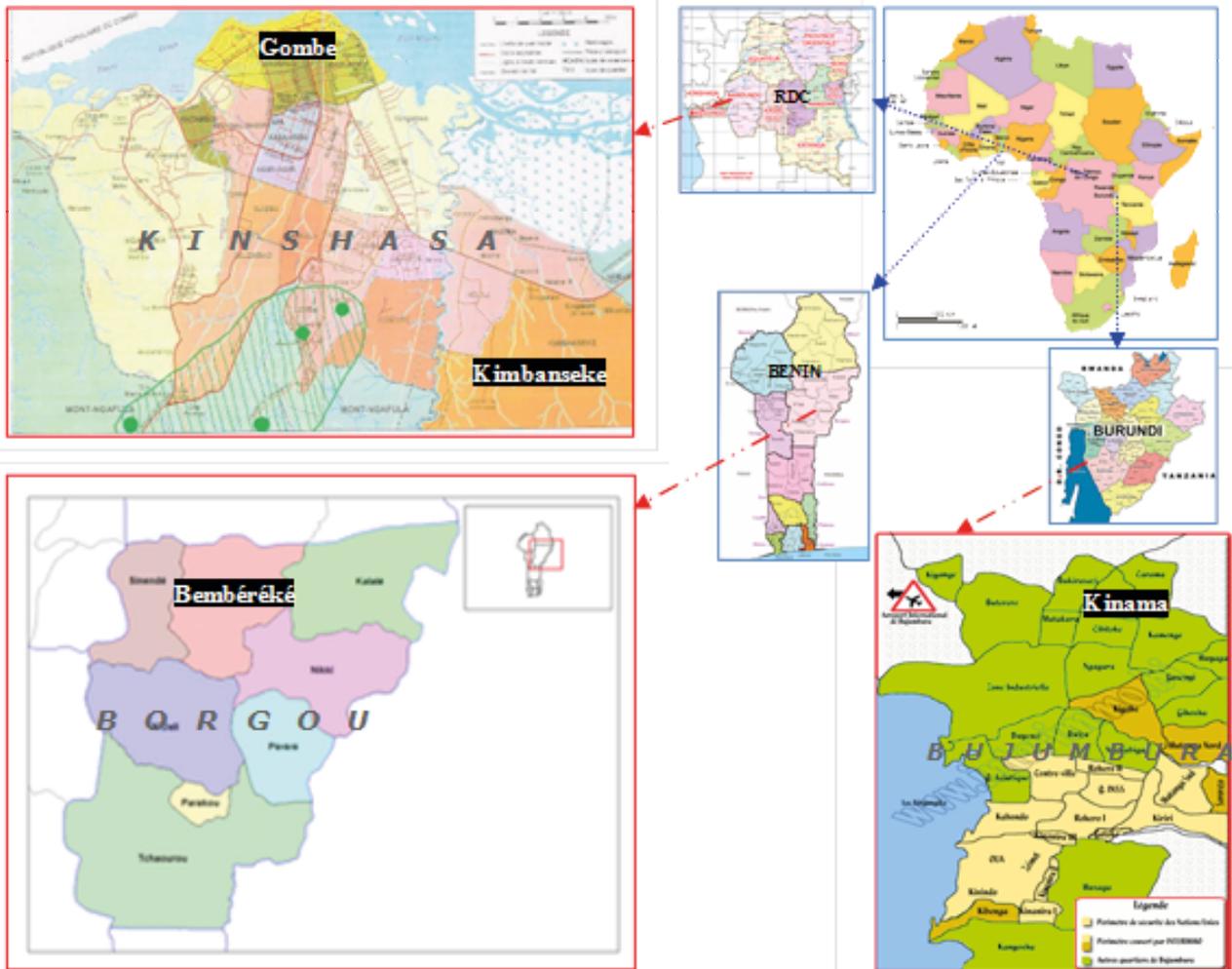


Figure 1. situation géographique des communes étudiées

2.2 Méthode de caractérisation des ordures ménagères utilisée [Ngahane et al., 2013]

Pour le choix des ménages, la méthode choisie a été l'échantillonnage non probabiliste par quota. Dans son principe, elle consiste à obtenir une représentativité suffisante en cherchant à reproduire, dans l'échantillon donné, des distributions sociodémographiques et d'autres variables importantes qui existent dans la population à étudier. Pour notre étude, les quotas retenus de part leur pertinence, leur connaissance aisée et leur identification facile, sont : (i) la répartition des ménages selon les quartiers et (ii) la répartition des ménages selon les standings (voir Tableau 1). Une autre caractéristique, à savoir la taille moyenne des ménages dans la zone d'étude, a été considérée en plus. Sur base du principe d'échantillonnage de Nordtest (1995) cité par Aloueimine en 2006, le taux d'échantillonnage fixé à 0,013 (13 ménages sur un total de 1000) pour parvenir à une erreur standard de 5 %, a été appliqué dans 3 des 4 communes étudiées ; à Bembéréké, le taux appliqué est 0,12 pour une erreur standard de moins de 2,5 %.

Les périodes d'échantillonnage ont été la saison sèche et la saison pluvieuse. Les ménages retenus recevaient des poubelles encodées dans lesquelles devait être disposé, pendant 3 jours, tout ce qui était considéré comme déchet. Cette opération a été effectuée deux fois lors de chaque campagne, de façon à couvrir six jours différents de la semaine.

La caractérisation a été faite sur tous les échantillons bruts (humides). Les caractéristiques recherchées étaient la masse, la composition et le poids volumique des déchets émis et la teneur en eau de la matière organique biodégradable (Bembéréké et Kinama). Chaque poubelle était d'abord pesée dans son intégralité, puis son contenu était réparti manuellement en 9 catégories principales (plastiques, papier/carton, tissu/cuir; métaux, caoutchouc, verre/céramique, pile/batterie, gravats/fines ou G/F, matière organique biodégradable ou MO BIO), ou moins selon la localité.

2.3 Méthodes de comparaison utilisées

Nous avons cherché à exprimer la significativité statistique des différences, quand elles existent, entre les productions et les compositions saisonnières des ordures ménagères (variabilité inter-saison) en général ; puis, au sein de chaque

Tableau 1. répartition de l'ensemble des ménages échantillonnés

Communes	Habitants	Ménages		HS	MS	BS
	Totaux		Echantillonnés			
Bembéréké	17 500	2 000	240	36	72	132
Gombe	35 429	8 859	115	98	17	0
Kinama	90 660	18 132	236	38	16	182
Kimbanseke	306 758	51 120	664	16	179	469

commune (variabilité inter-saison intra-commune), et au sein de chaque standing (variabilité inter-saison intra-standing). Ensuite, nous évaluons cette significativité au sein des saisons, entre les différentes communes (variabilité inter-commune intra-saison), et entre les standings (variabilité inter-standing intra-saison). Enfin, nous évaluons cette significativité pour l'année en général, entre les communes (variabilité annuelle inter-commune), entre les standings (variabilité annuelle inter-standing) ; puis, les différences entre les standings au sein des communes (variabilité annuelle intra-commune), et les différences entre les communes au sein des standings (variabilité annuelle intra-standing). Pour cela, nous avons eu recours au logiciel *Statistica*, version 10 ; plus précisément à l'analyse de la variance (ANOVA) pour les productions saisonnières, au test de comparaison de moyennes à un standard pour les productions annuelles et au test du Khi^2 pour les compositions (saisonnières et annuelles).

L'analyse de la variance (ANOVA) nous permet de déterminer s'il existe une différence significative entre les groupes. La valeur statistique F obtenue est le rapport de la variance intergroupe sur la variance intra-groupe. L'hypothèse de départ (aucune différence entre les moyennes n'est détectée), est acceptée si la valeur de F est nulle ; dans le cas contraire, elle est rejetée. Plus cette valeur de F est grande, plus les moyennes sont éloignées les unes des autres. La significativité est confirmée quand $p < 0,05$ [Nicolas, 2011].

Le test de comparaison de moyennes sert à déterminer s'il y a une différence significative entre les groupes et si un groupe pris à part (observation) diffère significativement des autres (moyenne des observations). La significativité est confirmée quand $p < 0,05$.

Le test du Khi^2 est une méthode mathématique qui nous permet de tester la liaison entre des variables qualitatives. L'hypothèse de départ (aucune liaison n'existe entre les variables) est acceptée lorsque la valeur de X^2 obtenue (X^2_0) est inférieure à celle indiquée dans la table des valeurs de X^2 pour un degré de liberté déterminé (ddl) et un risque d'erreur déterminé (α). Dans le cas contraire ($X^2_0 > X^2_\alpha$), on rejette l'hypothèse de départ. La significativité de cette différence est confirmée lorsque le degré de signification associé à cette valeur X^2_0 (p-value) est inférieure à α (risque d'erreur) : $p < 0,05$.

3. Résultats

3.1 Résultat de caractérisation des ordures ménagères

3.1.1 Productions annuelles et saisonnières des ordures ménagères

Le Tableau 2 montre que les productions annuelles des ordures ménagères, en poids frais, sont comprises entre 0,38 et 1,08 kg/j.hab ; pour 0,7 à 1,9 l/j.hab. C'est à Kinama qu'on observe la plus petite production (0,38 kg/j.hab pour 0,7 l/j.hab) ; celles des autres communes sont équivalentes (entre 0,80 et 1,08 kg/j.hab).

Cependant, les habitants des communes de Gombe et Kimbanseke produisent un peu plus d'ordures ménagères en saison pluvieuse qu'en saison sèche (voir Tableau 3). C'est l'inverse pour ceux de Bembéréké.

3.1.2 Compositions annuelles et saisonnières des ordures ménagères

La composition moyenne des ordures ménagères (Tableau 4) montre que la MO BIO est majoritaire, la teneur en gravats/fines est importante et celle des autres fractions reste faible.

Le Tableau 5 montre qu'à Bembéréké, Gombe et Kimbanseke, la proportion de la MO BIO est plus élevée en saison pluvieuse qu'en saison sèche ; c'est l'inverse pour les gravats/fines.

3.2 Résultats de l'analyse comparative des caractéristiques des ordures ménagères

3.2.1 Comparaison des caractéristiques saisonnières

3.2.1.1 Variabilité inter-saison

La production des ordures ménagères s'avère en général plus élevée en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Cependant, le Tableau 6 montre que cette variation n'est pas significative ($F = 0,276$; $p > 0,05$) et ce, au sein des communes de Bembéréké et de Gombe (variabilité intersaison intra-commune non-significative) et de tous les standings (variabilité

Tableau 2. productions annuelles des ordures ménagères (masse humide)

COMMUNES	HS	MS	BS	MOYENNE	
	Kg/j.hab			l/j.hab	
Bembéréké	0,80	0,99	0,93	0,94	1,9
Gombe	0,95	0,95	/	0,95	1,8
Kimana	0,45	0,42	0,38	0,38	0,7
Kimbanseke	1,08	1,00	0,93	0,95	1,9
MOYENNE	0,82	0,84	0,75	0,81	1,6

Tableau 3. productions saisonnières d'ordures ménagères dans les communes suivies

SAISONS	COMMUNES	HS	MS	BS	MOYENNE	
		Kg/j.hab			l/j.hab	
Saison sèche	Bembéréké	0,88	1,05	0,96	0,99	1,7
	Gombe	0,89	0,94	/	0,91	1,7
	Kimbanseke	0,88	0,84	0,83	0,84	1,5
Saison pluvieuse	Bembéréké	0,69	0,92	0,89	0,87	2,1
	Gombe	0,97	0,96	/	0,97	1,9
	Kimbanseke	1,15	1,05	0,96	0,99	2,1

Tableau 4. compositions annuelles des ordures ménagères (% pondéral humide)

CATEGORIES	Bembéréké	Gombe	Kimbanseke	Kinama	MOYENNE
Plastiques	3,21	6,32	1,05	3,94	3,63
Papier/carton	1,60	7,37	1,05	1,84	2,96
Tissu/cuir	0,99	1,05	1,05	3,15	1,56
Métaux	0,89	2,11	1,05	1,31	1,34
Caoutchouc	0,07	1,05	0,00	0,00	0,28
Piles	0,28	1,05	1,05	0,00	0,60
Verre/céramique	0,37	1,05	0,00	0,00	0,36
MO BIO	37,71	68,42	67,37	49,34	55,71
Gravats/fines	54,87	11,58	27,37	40,68	33,68
TOTAL	100	100	100	100	100

Tableau 5. compositions saisonnières des ordures ménagères (% pondéral humide)

CATEGORIES	SAISON SECHE			SAISON PLUVIEUSE		
	Bembéréké	Gombe	Kimbanseke	Bembéréké	Gombe	Kimbanseke
Plastiques	2,60	6,59	1,19	3,73	6,19	1,01
Papier/carton	1,17	8,79	1,19	2,12	7,22	1,01
Tissu/cuir	0,75	2,20	1,19	1,35	1,03	1,01
Métaux	1,14	2,20	1,19	0,50	2,06	1,01
Caoutchouc	0,07	1,10	0,00	0,08	1,03	0,00
Piles	0,35	1,10	1,19	0,19	1,03	1,01
Verre/céramique	0,00	1,10	0,00	0,85	1,03	0,00
MO BIO	35,06	63,74	60,71	39,11	69,07	69,70
Gravats/fines	58,86	13,19	33,33	52,07	11,34	25,25
TOTAL	100	100	100	100	100	100

intersaison intra-standing non-significative). La production des ordures ménagères est significativement plus élevée en saison pluvieuse qu'en saison sèche dans la commune de Kimbanseke ($p < 0,05$).

La proportion de la MO BIO s'avère en général plus importante en saison pluvieuse qu'en saison sèche, c'est l'inverse pour celle des gravats/fines (Tableau 7). Cependant, le Tableau 8 nous montre que ces variations ne sont pas significatives et ce, au sein même de toutes les communes. En effet, ΣX^2 (total) $< 5,99$ (valeur de X^2 donnée dans la table pour un degré de liberté $ddl = (3-1)(2-1) = 2$ et pour une erreur standard $\alpha = 5\%$) : la composition relative des ordures ménagères à Bembéréké, à Gombe tout comme à Kimbanseke n'apparaît pas liée à la saison.

3.2.1.2 Variabilité inter-commune

Le Tableau 9 montre que la production en masse totale des ordures ménagères ne varie pas de façon significative d'une commune à l'autre ($F = 0,047$; $p > 0,05$) et ce, au sein des saisons (variabilité inter-commune intra-saison non-significative) comme au sein des standings (variabilité inter-commune intra-standing non-significative).

Par contre, le Tableau 10 montre que la composition des ordures ménagères en saison sèche comme en saison pluvieuse est liée de façon significative aux communes (variabilité intra-saison inter-commune significative). Les compositions des ordures ménagères des communes de Bembéréké et de Gombe s'avèrent les plus différentes d'une saison à l'autre. Ces différences significatives concernent d'abord les gravats/fines (plus produits à Bembéréké et moins produits à Gombe par rapport à la moyenne) ; ensuite, les autres fractions (notamment plastiques et papiers/cartons), plus produits à

Gombe qu'ailleurs ; enfin, la MO BIO qui est moins produite à Bembéréké qu'ailleurs. En effet, le X^2 (saison sèche = 56,452 et saison pluvieuse = 50,721) $> 9,488$ (valeur de X^2 pour $ddl = 4$ et $\alpha = 5\%$) ; et $p < 0,05$.

3.2.1.3 Variabilité inter-standing

La production des ordures ménagères apparaît plus importante dans les ménages de moyen standing que dans les autres. Cependant, le Tableau 11 montre que cette variation n'est pas significative ($F = 0,390$; $p = 0,685 > 0,05$) ; et ce, au sein des saisons comme au sein des communes (variabilité inter-standing intra-saison et intra-commune non-significatives).

3.2.2 Comparaison des caractéristiques annuelles

Les habitants de la commune de Kinama produisent moins d'ordures ménagères que ceux des autres communes étudiées. Cependant, les Tableaux 12 et 13 montrent que cette production annuelle d'ordures ménagères ne diffère pas significativement d'une commune à l'autre, d'un standing à l'autre (variabilité annuelle inter-commune et inter-standing non-significatives) ; au sein des communes et au sein des standings (variabilité annuelle intra-commune et intra-standing non-significatives).

La composition annuelle des ordures ménagères est liée de façon significative aux communes ; la composition des ordures ménagères des communes de Bembéréké et de Gombe étant les plus différentes et ce, dans la même tendance que les compositions saisonnières (Tableau 14). En effet, $X^2 = 55,292 > 12,592$ (valeur de X^2 pour $ddl = (4-1)*(3-1) = 6$, et pour $\alpha = 5\%$) ; et $p < 0,05$.

Tableau 6. résultats du test de la variabilité (ANOVA) inter-saison de la production des ordures ménagères (kg/j.hab) au sein des communes et des standings (en rouge = résultat significatif)

Paramètres	VARIABILITE INTER-SAISON					
	Intra-commune			Intra-standing		
	Bembéréké	Gombe	Kimbanseke	Haut	Moyen	Bas
Sèche	0,99	0,91	0,84	0,88	0,94	0,90
Pluie	0,87	0,97	0,99	0,94	0,98	0,93
F	2,217	3,846	12,743	0,159	0,215	0,002
p	0,21	0,19	0,02	0,71	0,67	0,96

Tableau 7. résultats du test de la variabilité (Khi²) inter-saison générale de la composition des ordures ménagères entre les communes (en vert = résultat non-significatif).

Saisons	Composition (% pondéral)				Valeurs de X ² calculées			
	MO BIO	G/F	Autres	Total	MO BIO	G/F	Autres	Total
Sèche	53	35	12	100	0,160	0,250	0,002	0,412
Pluie	59,3	29,3	11,3	100	0,160	0,250	0,002	0,412
Moyenne	56	32	12	Total	0,320	0,499	0,005	0,823

Tableau 8. résultats du test de la variabilité (Khi²) inter-saison de la composition des ordures ménagères au sein des communes (en vert = résultat non-significatif)

Communes	Saisons	Composition (% pondéral)				Valeurs de X ² calculées			
		MO BIO	G/F	Autres	Total	MO BIO	G/F	Autres	Total
Bembéréké	Sèche	35	59	6	100	0,410	0,942	1,000	2,353
	Pluie	39	52	9	100	0,108	0,221	0,300	0,629
	Moyenne	37	55,5	7,5	Total	0,518	1,163	1,300	2t,981
Gombe	Sèche	64	13	23	100	0,094	0,083	0,105	0,282
	Pluie	69	11	20	100	0,094	0,083	0,105	0,282
	Moyenne	66,5	12	21,5	Total	0,188	0,167	0,209	0,564
Kimbanseke	Sèche	61	33	6	100	0,309	0,552	0,045	0,906
	Pluie	70	25	5	100	0,309	0,552	0,045	0,906
	Moyenne	65,5	29	5,5	Total	0,618	1,103	0,091	1,813

Tableau 9. résultats du test de la variabilité (ANOVA) inter-commune de la production des ordures ménagères (kg/j.hab) au sein des saisons et des standings

VARIABILITE INTER-COMMUNE					
Paramètres	Intra-saison		Intra-standing		
	Sèche	Pluie	Haut	Moyen	Bas
Bembéréké	0,99	0,87	0,79	0,99	0,93
Gombe	0,91	0,97	0,93	0,95	/
Kimbanseke	0,84	0,99	1,02	0,95	0,90
F	2,829	3,711	1,406	0,093	0,165
p	0,15	0,10	0,37	0,91	0,72

Tableau 10. résultats du test de la variabilité (Khi²) inter-commune de la composition des ordures ménagères au sein des saisons (en rouge = résultat significatif)

Saisons	Communes	Composition (% pondéral)				Valeurs de X ² calculées			
		MO BIO	G/F	Autres	Total	MO BIO	G/F	Autres	Total
Sèche	Bembéréké	35	59	6	100	6,302	16,457	2,752	25,512
	Gombe	64	13	23	100	2,133	13,829	11,010	26,971
	Kimbanseke	61	33	6	100	1,102	0,114	2,752	3,969
	Moyenne	53	35	12	Total	9,538	30,400	16,514	56,452
Pluie	Bembéréké	39	52	9	100	6,968	17,515	0,480	24,964
	Gombe	69	11	20	100	1,575	11,458	6,627	19,661
	Kimbanseke	70	25	5	100	1,918	0,640	3,539	6,097
	Moyenne	59,3	29,3	11,3	Total	10,461	29,614	10,647	50,721

Tableau 11. résultats du test de la variabilité (ANOVA) inter-standing de la production des ordures ménagères (kg/j.hab) au sein des saisons et des communes

VARIABILITE INTER-STANDING					
Paramètres	Intra-saison		Intra-commune		
	Sèche	Pluie	Bembéréké	Gombe	Kimbanseke
HS	0,88	0,94	0,79	0,93	1,02
MS	0,94	0,98	0,99	0,95	0,95
BS	0,90	0,93	0,93	/	0,90
F	0,483	0,082	2,183	2,049	0,326
p	0,64	0,92	0,26	0,16	0,74

Tableau 12. résultats du test de la variabilité (Test de comparaison de moyennes) annuelle de la production des ordures ménagères (kg/j.hab) entre les communes et les standings

VARIABILITE ANNUELLE							
Paramètres	Inter-commune				Inter-standing		
	Bembéréké	Gombe	Kimbanseke	Kinama	Haut	Moyen	Bas
Observation	0,94	0,95	0,95	0,38	0,82	0,84	0,75
Moyenne	0,805				0,802		
p	0,41	0,38	0,38	0,06	0,60	0,31	0,19

Tableau 13. résultats du test de la variabilité (Test de comparaison de moyennes) annuelle de la production des ordures ménagères (kg/j.hab) au sein des communes et des standings

VARIABILITE ANNUELLE							
Commune	Intra-commune			Intra-standing			
	Standing	Obs.	p	Standing	Commune	Obs.	p
Bembéréké	HS	0,80	0,20	Haut	Bembéréké	0,80	0,89
	MS	0,99	0,27		Gombe	0,95	0,41
	BS	0,93	0,72		Kimbanseke	1,08	0,15
	Moyenne	0,91			Kinama	0,45	0,07
Gombe	HS	0,95	/	Moyen	Moyenne	0,82	
	MS	0,95	/		Bembéréké	0,99	0,36
	Moyenne	0,95			Gombe	0,95	0,40
Kimbanseke	HS	1,08	0,22	Bas	Kimbanseke	1,00	0,34
	MS	1,00	0,95		Kinama	0,42	0,06
	BS	0,93	0,24		Moyenne	0,84	
	Moyenne	1,00			Bembéréké	0,93	0,42
Kinama	HS	0,45	0,24	Bas	Kimbanseke	0,93	0,42
	MS	0,42	0,88		Kinama	0,38	0,18
	BS	0,38	0,21		Moyenne	0,75	
	Moyenne	0,42					

Tableau 14. résultats du test de la variabilité (Khi²) annuelle de la composition des ordures ménagères entre les communes (en rouge = résultat significatif)

Communes	Composition annuelle (% pondéral)				Valeurs de X ² calculées			
	MO BIO	G/F	Autres	Total	MO BIO	G/F	Autres	Total
Bembéréké	38	55	7	100	5,786	12,971	0,900	19,656
Gombe	68	12	20	100	2,571	14,235	10,000	26,807
Kimbanseke	68	27	5	100	2,571	1,441	2,500	6,513
Kinama	49	41	10	100	0,875	1,441	0,000	2,316
Moyenne	56	34	10	Total	11,804	30,088	13,400	55,292

Tableau 15. composition moyenne (% pondéral) des déchets ménagers dans les PED (Thonart et Diabaté, 2005) et dans les communes étudiées

	Plastiques	Papiers/cartons	Chiffons	Métal	Verres/os	MO BIO	Inertes (sables/graviers)
PED	2-11	5-10	2-4	2-4	1-3	40-55	15-40
X _(B&K&Gombe-Kimba&Kna)	4	3	1	1	1	56	34

4. Discussion

Les productions actuelles des ordures ménagères dans les communes étudiées, proches des moyennes nationales respectives, sont assez éloignées (sauf pour Kinama) de celles déterminées par Rajaomanana en 1996 (cité par Citeretse en 2008), qui estimait que dans les pays à faible revenu comme le Burundi, le Bénin et la RDC (Kinama, Bembéréké, Gombe et Kimbanseke), la production des ordures ménagères se situerait entre 0,4 et 0,6 kg/j.hab. Ceci confirme que la production des ordures ménagères est en augmentation. En effet, à Bembéréké, elle est passée de 0,55 kg/j.hab en 2005 à 0,94 kg/j.hab en 2011.

La composition moyenne (X) des ordures ménagères dans les communes étudiées, constituée à plus de 50 % de MO BIO et à près de 50 % de gravats/fines est similaire à celle des PED présentée par Thonart et Diabaté en 2005 (Tableau 15). Cette composition est cohérente avec les conclusions de plusieurs autres auteurs. Ainsi, Charnay souligne en 2005 que la fraction fermentescible des déchets urbains (MO BIO) dans les PED dépasse 55 % et qu'une autre caractéristique de la composition de ces déchets est la forte teneur en fines, proche de 50 %.

L'analyse comparative des productions des ordures ménagères dans les communes étudiées n'a révélée qu'une variation significative à Kimbanseke entre la saison pluvieuse et la saison sèche. Des variations non-significatives ($F > 0$, mais $p > 0,05$) ont été observées entre et au sein des communes et des standings. D'autres auteurs [Ngnikam, 2002 ; Topanou *et al.*, 2011 ; ...] ont constaté que la production des ordures ménagères serait plus importante en saison pluvieuse qu'en saison sèche (ceci pouvant passer du simple au double), et plus importante dans les ménages de statut social élevé que dans ceux de statut social bas. Ceci devrait être clarifié par la suite.

L'analyse comparative des compositions des ordures ménagères dans les communes étudiées n'a pas révélé de variation significative dans la proportion de la MO BIO ni des gravats/fines entre la saison sèche et la saison pluvieuse. Pourtant, d'autres auteurs soulignent que pendant la saison pluvieuse, la part des matières fermentescibles se voit augmenter du fait de l'abondance relative des légumes et fruits pendant cette période. [Ngnikam, 2000 ; Arinola et Arinola, 1995 ; cités par Charnay, 2005]. La proportion des gravats/fines quant à elle se voit diminuer dans les PED pendant la saison pluvieuse du fait de leur relative plus grande adhésion au sol pendant cette période.

Cette analyse a en revanche révélé la variation très significative de la composition des ordures ménagères d'une commune

à l'autre. Les communes à quartiers résidentiels comme Gombe produisent moins de gravats/fines et plus des déchets d'emballage (situation typique des villes occidentales) que les autres communes étudiées ; ceci rejoint Charnay qui souligne dans ses travaux la similitude du niveau de vie de certaines grandes villes africaines avec celui des villes actuelles européennes. Les communes à climat plus sec comme Bembéréké produisent moins de MO BIO et plus de gravats/fines que les autres ; c'est également le cas de Kara au Togo (fines et extrafines : 69,5 %) [Feuillade-Cathalifaud *et al.* 2013], de Kandi au Bénin (gravats/fines : 76 %) [Lougoudou, 2010], de Ouagadougou au Burkina Faso (gravats/fines : 75 %) [Tezanou *et al.*, 2001 cités par Charnay, 2006].

5. Conclusion

Les résultats obtenus au terme de cette analyse comparative permettent une quantification plus précise et plus détaillée de la production et de la composition des déchets ménagers dans plusieurs pays africains car les caractéristiques des ordures ménagères ayant servi de base pour cette analyse ont été obtenues par une même méthode et sur une période très récente et courte. Ainsi, les résultats actuels montrent que la production des ordures ménagères est principalement liée aux facteurs temporels (années, décennies, ...) et leur composition davantage aux milieux/espaces de vie (communes) et aux niveaux de vie (standings) des populations qui les génèrent. Les influences climatiques et saisonnières sur la composition sont parfois présentes mais peu marquées. Dans les $\frac{3}{4}$ des cas, la production d'ordures ménagères est supérieure à la moyenne des pays à faible revenu (dont ils font partie) des années antérieures trouvées dans la littérature ; d'où la nécessité d'une mise à jour des rares données existantes et de la création d'une base de données actualisée sur les productions des ordures ménagères. Les variations très significatives de la composition des ordures ménagères entre les différentes communes étudiées méritent une attention particulière. La nécessité d'une démarche de caractérisation préalable qui prenne en compte les facteurs locaux afin de mieux envisager la gestion des déchets solides au sein d'une commune est donc justifiée.

Remerciements

Nous remercions Ndayikeza Willy pour les résultats obtenus dans la commune de Kinama dans le cadre de son TFE ; tous les auteurs et porteurs des projets au sein desquels la méthode de caractérisation mise en place par le premier auteur de cet article a été expérimentée ; tous les responsables des laboratoires d'accueil et tous les organismes financiers qui ont contribué à la réalisation de ces travaux.

Références bibliographiques

Aloueimine S. O., 2006. Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Limoges, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, 195p.

Charnay F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les pays en développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat N° 562005, Université de Limoges, 277p.

Citeretse L., 2008. Les déchets ménagers solides de la ville de Bujumbura : quelle perspective pour l'avenir ? TFE, Institut de Gestion de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, Université Libre de Bruxelles, 78p.

Feuillade-Cathalifaud G., Segbeaya K.N., Pallier-V., Baba G. et Matejka G., 2013. How the waste management in the city of Kara in Togo affects the water quality of the river Kara: monitoring of the characterization of waste; water and sediments. Article 11 p. *Proceeding Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 30 sept-4 oct. 2013.

Labarere J., 2010. Test de comparaison de pourcentages- χ^2 . Notes de cours, UE4 : Biostatistiques, chap. 6. Université Joseph Fourier de Grenoble. 86p.

INSAE, 2005. Monographie de la commune de Bembéréké, 96p. Disponible à la commune de Bembéréké.

Lougoudou C., 2010. Système de gestion des déchets à Kandī. DCAM-BETHESDA, 32p.

Ndayikeza W., 2012. Contribution à l'évaluation de l'état des lieux et à la caractérisation des déchets ménagers de la ville de Bujumbura : cas de la commune urbaine de Kinama. TFE, Université de Liège, 85p.

Ngahane E. L., 2010. Contribution à l'état des lieux sur la gestion des déchets solides à Bembéréké (Bénin) : caractérisation des quantités et des compositions des déchets émis. Travail de fin d'études, université de Liège, 66p.

Ngahane E.L., Vassel J.-L., Ngnikam E., Rion V. et Sabifico A., 2013. Proposal of a characterization method of household solid waste in secondary cities in sub-tropical Africa: case of municipality of Bembereke (Benin). Article, 12p. *Proceeding Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 30 sept-4 oct. 2013.

Ngnikam E., 2000. Evaluation environnementale et économique des systèmes de gestion des déchets solides municipaux : analyse du cas de Yaoundé au Cameroun. LAEPSI, INSA Lyon. 314p.

Ngnikam E., Riedacker A., Tanawa E., Rousseaux P. & Gourdon R. (2001) Evaluation of the potentialities to reduce greenhouse gases (GHG) emissions resulting from various treatments of municipal solid wastes (MSW) in moist tropical climates: Application to Yaoundé. *Waste Management & Research*, 19, 501-513.

Ngnikam E., 2002. Mise en place des structures de pré-collecte et de traitement des déchets solides urbains dans une capitale tropicale : cas de Yaoundé, Cameroun. Rapport final, Déchet D05. Programme gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain. Era-Cameroun.

Nicolas J., 2011. Acquisition et traitement des données environnementales, indicateurs de développement durable (DPSIR). Notes de cours ENVT2010-I, Université de Liège, 238p.

SP, 2011. Services de la population des communes de Gombe et de Kimbanseke. Archives.

Thonart Ph. et Diabate S. I., 2005. Guide pratique sur la gestion des déchets municipaux et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud. Les publications de l'IEPF, 146 p.

Topanou N., Domeizel M., Fatombi J., Josse R. G. et Aminou T., 2011. Characterization of household solid waste in the town of Abomey-Calavi in Benin. *Journal of Environmental Protection*, 2, 692-699.