HAL open science

Essai de compostage comme voie de valorisation des déchets ménagers solides dans la ville de Bukavu au sud-Kivu (RD Congo)

Dieudonné Bisimwa Kayeye, Pascal Masilya Mulungula, Jung C Gisele

To cite this version:

Dieudonné Bisimwa Kayeye, Pascal Masilya Mulungula, Jung C Gisele. Essai de compostage comme voie de valorisation des déchets ménagers solides dans la ville de Bukavu au sud-Kivu (RD Congo). Environnement, Ingénierie & Développement, 2013, N°65 - Novembre 2013, pp.30-38. 10.4267/dechets-sciences-techniques.1023 . hal-03170708

HAL Id: hal-03170708

https://hal.science/hal-03170708v1

Submitted on 16 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

RESUME

Un travail d'identification des décharges sauvages et d'évaluation de la nature des déchets rencontrés sur ces sites a été mené du 04 au 18 octobre 2010 dans la ville de Bukavu (RD Congo). Les résultats ont montré une répartition inégale des décharges selon les communes et une forte hétérogénéité des types de déchets rencontrés. Ces paramètres s'avèrent liés au nombre d'habitants de chaque quartier, à la localisation du quartier par rapport au centre-ville ainsi qu'à la nature des activités menées dans les différents quartiers des différentes communes.

Au sein de la ville de Bukavu, les travaux complémentaires réalisés dans la commune d'Ibanda ont montré qu'en moyenne 2,7 kg de déchets sont produits par jour et par habitant dans cette commune. Compte tenu du taux élevé de matières organiques biodégradables de ces déchets ménagers solides, le compostage a été étudié comme mode de valorisation envisageable à l'aide d'une étude expérimentale de 8 semaines. Le traitement étudié s'est révélé capable de réduire 92,5% de volume de déchets produits en quatre semaines.

MOTS-CLÉS : *Décharges, Communes, Déchets biodégradables, Lixiviat*

ABSTRACT

The identification of fly-tipping and the quantification of waste found conducted from 4th October 2010 in Bukavu town (DR Congo) for the waste recovery has shown an unequal distribution of waste fly-tipping according to the commune and a big heterogeneity of waste found; unequal distribution and heterogeneity in relation with the number of residents of each quarter, the location of quarter due to down town and type of activities done in different quarters of different communes. The results of quantification of waste produced in Ibanda commune has shown that the average of 2.7 kg of waste are produced per day and per resident in this commune. And the composting proposed and checked within 8 weeks as mode of waste recovery of domestic solid waste majority biodegradable proven to be able to reduce 92.5% of volume of waste produced in four weeks.

KEYWORDS : *Fly-tipping, Commune, biodegradable waste, Leachate*

Essai de compostage comme voie de valorisation des déchets ménagers solides dans la ville de Bukavu au sud-Kivu (RD Congo)

BISIMWA KAYEYE Dieudonné[1], MASILYA MULUNGULA Pascal[2] et C.GISÈLE Jung[3]
1. Institut Supérieur Pédagogique d'Idjwi (RD Congo)
2. Unité d'Enseignement et de Recherche en Hydrobiologie Appliquée (UERHA)/Dpt. De Biologie-Chimie de l'Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu (RD Congo)
3. Université Libre de Bruxelles (Belgique)

Auteur/s à qui la correspondance devrait être adressée : dieudobiskay@yahoo.fr

1. Introduction

La ville de Bukavu comme la plupart des villes de la République Démocratique du Congo, n'a ni centre de traitement des eaux usées ni centre d'enfouissement technique. Même si au niveau des mairies, l'administration nationale prévoit des agents chargés de l'assainissement des villes, ce travail n'est pas fait faute des moyens alloués à ces travaux d'une part et d'autre part, au manque de formation des agents chargés de ce travail. Pourtant, en ce qui concerne la ville de Bukavu, elle a vu sa population augmenter sérieusement depuis 1994 suite à l'exode rural forcé dû aux guerres civiles et rébellions à répétition dans les villages à l'Est de la RD Congo (Rapport de la division provinciale de l'intérieur 2007). Le dernier rapport de la division provinciale de statistiques de 2010 estime cette population à 71850 habitants pour cette ville de seulement 60,1 km². Dans un tel contexte, on comprend que le problème de gestion des déchets ne peut que se poser avec plus d'acuité qu'avant. C'est ainsi que la population, lassée de l'inaction du service municipal chargé de gérer les déchets urbains, tente dès lors de trouver des solutions aux problèmes des déchets ménagers à travers des Associations Sans But Lucratif (A.S.B.L.) qui ont entrepris le ramassage dans les ménages nantis des ordures dans certaines avenues de la ville et leur entreposage dans des décharges qu'elles ont conçues à cet effet non loin de la ville. Malheureusement, ces décharges ne respectent aucune norme environnementale connue en matière de gestion des décharges (Ouatmane *et al*. 2000, El Hajjouji *et al.* 2007) : ces décharges ne sont pas protégés (clôturées) et les déchets entreposés ne sont ni triés ni traités au préalable et aucune perspective de leur valorisation n'est même envisagée. Dès lors, ces décharges deviennent des lieux d'émission des gaz à effet de serre et des lixiviats nocifs aussi bien pour l'environnement que pour la santé humaine (Ndira 2006). Aussi, les ordures qui y sont entreposées se retrouvent encore en circulation dans la ville étant donné que certaines personnes y passent leur temps en récoltant les rares biens réutilisables comme les miettes de cuisine, les sachets et les bouteilles plastiques ainsi que les cartons dont la durée de vie peut se retrouver prolongée par la réutilisation. Malgré toutes les conséquences que ces décharges et ces ordures « revenant » en ville peuvent avoir sur le vécu quotidien de la population, la problématique de gestion des déchets à Bukavu n'a attiré que très peu l'attention des scientifiques, des autorités et des investisseurs. En occident comme dans certains pays d'Afrique pourtant, la valorisation des déchets a permis l'installation de beaucoup d'entreprises de tri et de valorisation des déchets permettant ainsi l'assainissement de l'environnement mais aussi la création d'emploi. Cet article se propose de caractériser les déchets rencontrés dans les différentes décharges installées dans la ville de Bukavu, de les quantifier et d'analyser une méthode de valorisation en fonction du type de déchets prédominants.

2. Matériel et méthodes

2.1 Inventaire des décharges incontrolées dans la ville de Bukavu

Du 04 au 18 octobre 2010, nous avons visité toutes les décharges incontrôlées dans les 3 communes urbaines de la ville de Bukavu. Au cours de cette prospection, en plus du relevé de nombre de décharges, les différents types de déchets rencontrés dans chacune d'elles ont été aussi inventoriés et photographiés à l'aide d'un appareil photo numérique de marque Sony.

2.2 Quantification des déchets

La quantification des déchets produits par les ménages à Bukavu n'a été réalisée que dans la commune d'Ibanda qui est, en effet, la seule qui soit subdivisée en avenues possédant des ménages à accès facile via des sentiers d'où l'on peut circuler (à pied ou avec un engin roulant) facilement.
Pour cette quantification, nous avons, du 25 octobre 2010 au 26 mars 2011 tous les mercredis et samedis de la semaine de 6h du matin à 15h du soir, collecté les déchets ménagers dans 30 ménages dans les différentes avenues de la commune d'Ibanda. Pour ce faire, 8 ramasseurs de la plate-forme Groupe Ciel Ouvert (GCO) ramassaient en vrac au niveau de chaque ménage différents types de déchets et les gardaient dans des sacs de 100 kg à raison d'un sac par ménage. Cette collecte était suivie de tri manuel des déchets et leur pesée à l'aide d'une balance de marque Salter. La procédure de tri telle que recommandée par la norme XP X30-408 (AFNOR 1996)

utilisée en France et ailleurs n'a pas été appliquée vu que dans le cas de cette étude la granulométrie des particules, bien qu'ayant une influence certaine en particulier sur la biodégradabilité des substrats ligno-cellulosiques et sur le niveau de production méthanogène (Palmowski et Müller 2003, Yadvika *et al*. 2004, Mshandete *et al*. 2006), n'a pas été déterminée ; les actions de hachage et broyage manuelles appliquées sur les déchets que nous avions compostés se révélant généralement suffisantes pour la réduction des particules des déchets ménagers et assimilés (Braun et Wellinger 2002). Le tri se faisait le même jour de la collecte entre 16h et 18h et avait un double objectif : séparer la fraction biodégradable de la fraction non biodégradable d'une part, et d'autre part identifier le type de déchet le plus dominant pour proposer une méthode de valorisation Y adaptée. Les valeurs obtenues par ménage ont été utilisées pour évaluer le nombre moyen de kilogrammes de déchets produits par habitant dans la commune d'Ibanda en utilisant la formule suivante :

$$V=\frac{Z}{K}$$

avec V= quantité moyenne de déchets par jour et par habitant ; Z= quantité de déchets par jour ; K= l'effectif total de la population enquêtée.

2.3 Essai de valorisation des déchets ménagers

Comme les déchets solides fermentescibles ont été les plus abondants (voir la partie résultats dans la suite du texte), nous avons proposé et testé le compostage comme moyen de valorisation et de réduction des ordures ménagères produites par les ménages à Bukavu. Cependant, sa conception devrait être basée sur des méthodes et techniques qui ne demandent pas de moyens techniques sophistiqués et chers pour être sûr que la majeure partie de la population serait à mesure de refaire d'elle-même l'expérience. Pour tester le compostage, nous avons construit une compostière et avons suivi et mesuré l'évolution du compostage jusqu'à sa stabilisation.

Construite sur une pente entre les bâtiments abritant le Laboratoire de Physiologie Végétale et de Microbiologie Appliquée (LPVMA) et le laboratoire de Pharmacie galénique de l'Université Officielle de Bukavu, la compostière avait la forme d'une pyramide renversée aux dimensions suivantes : petite base : 900 $cm^{2,}$ grande base : 20601 cm^2, hauteur : 100 cm ; soit un volume de 167,5 litres. Pour drainer et collecter le lixiviat produit par le déchet en compostage, un tuyau auquel est fixé un robinet à son extrémité et débouchant à l'extérieur de la compostière avait été placé au fond de cette dernière (fig. 1). Faute d'un aérateur artificiel, l'aération de la compostière a été facilitée par un lit de branches dans le fond du composteur (10 cm). Au-dessus de la compostière, une tente en plastique soutenue par quatre poteaux en bois a été érigée. Cette dernière avait comme rôle de protéger la compostière contre les précipitations pouvant conduire à une imbibition excessive qui occasionnerait l'asphyxie des microorganismes aérobies et le lessivage du compost. Cette tente servait aussi de protection du compost contre l'ensoleillement qui entrainerait sa déshydratation.

Le compostage proprement dit a duré 8 semaines soit du 04 mai au 04 juillet 2011. Cette période correspond à la période théorique estimée à la stabilisation du compost (Renou *et al*. 2008). Les déchets compostés étaient composés de feuilles de choux, d'oignons, de fenouils, de poireaux, de céleris, de carottes et d'épluchures de fruits divers. Pour équilibrer les apports des déchets azotés et de déchets riches en carbone (Renou *et al*. 2008), de la paille, des feuilles mortes et des sciures de bois ont été associées à ces déchets ménagers. Au total, 56 kg des déchets occupant un volume de 117,1 litres ont été compostés. La matière organique était d'abord hachée

Figure 1 : Plate-forme expérimentale : la compostière

avant de la composter. Ce hachage manuel préalable est important pour réduire la taille des particules (Braun et Wellinger 2002) et le volume occupé par le substrat sans modifier la production du compost (Gollakota et Meher 1988, Moorhead et Nordstedt 1993, Yadvika *et al*. 2004). Une fois mis en place, le compost était aéré jusqu'au fond par un retournement manuel complet de toutes les couches du compost.

Cette opération se faisait tous les lundis, mercredis et vendredis de la semaine. En plus de l'aération, le compost était aussi régulièrement humidifié pour moduler le taux d'humidité et garder ainsi le compost ni trop sec ni trop humide. Selon Naquin et Ngnikam (2008), l'humidité des substrats doit toujours être d'environ 50% pendant la fermentation pour que les microorganismes puissent vivre, consommer la matière organique facilement dégradable et se reproduire. Les déchets frais ont souvent une humidité supérieure: il faut veiller à ce que l'aération puisse bien avoir lieu, sinon on aurait une fermentation anaérobie qui produirait des mauvaises odeurs. Pour cette fin, une quantité d'eau y était ajoutée en tenant compte de l'aspect du compost. Au cours de ce processus de compostage, la température du compost était mesurée à l'aide d'un thermomètre digitale à mercure tous les lundis, mercredis et vendredis avant le retournement du compost. Toutefois, des 8 semaines qu'a duré le compostage, la température n'a été prélevée que pendant les 4 premières semaines correspondant à la période durant laquelle le lixiviat analysé pour les paramètres chimiques a été échantillonné. Après la mesure de la température et le retournement du compost, le lixiviat produit par les déchets en compostage a été aussi recueilli. La récupération du lixiviat n'a duré qu'1 mois compte tenu des réactifs mis à notre disposition. Les échantillons de lixiviat étaient recueillis dans des flacons stérilisés par autoclavage et munis d'un bouchon étanche pour éviter l'entrée d'autres microorganismes. Le pH de ces échantillons était mesuré à l'aide d'un pH-mètre de marque HANNA INSTRUMENT. Après la mesure du pH, ces échantillons étaient conservés au réfrigérateur à 3°C pour freiner au maximum la multiplication des microorganismes présents, en attendant les analyses et mesures ultérieures pour caractériser ce lixiviat.

Au laboratoire, la Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO_5) et la Demande Chimique en Oxygène (DCO) du lixiviat ont été mesurées. En plus, des analyses du carbone organique et de l'azote total de ce lixiviat ont été aussi réalisées. Les mesures de la DBO_5 ont toutes été faites au Laboratoire de Chimie et Analyses Environnementales (LCEA) de la faculté des Sciences de l'Université du Burundi. Pour chaque mesure, 43,5 ml de lixiviat de différents essais ont été placés dans différentes bouteilles. Avant de fermer ces bouteilles, deux pastilles (grains) de NaOH et une goutte d'eau distillée ont été introduites dans le godet. Ces bouteilles étaient placées sur un agitateur inductif, le tout étant recouvert d'une grosse caisse cartonnée pendant 5 jours. La lecture de résultats sur l'écran des bouteilles à DBO a été faite après 5 jours d'incubation dans la gamme de mesure de 2000 mg O^2/l avec un facteur de dilution de 50 (Mode d'emploi du photomètre 2010).

En ce qui concerne la DCO, elle a été évaluée à l'aide d'un photomètre de marque PALINTEST à une longueur d'onde de 490 nm. Deux millilitres de lixiviat ont été placés dans des tubes test de DCO. Ces derniers ont ensuite été déposés dans un digesteur pendant 2heures à 148°C. Après digestion, ces tubes ont été refroidis à l'air libre. Leur contenu a ensuite été transvasé dans les cellules pour photomètre. Un témoin a été préparé dans les mêmes conditions (Mode d'emploi du photomètre 2010).

Enfin, la teneur en carbone organique couplée à la teneur en azote total du lixiviat a aussi été dosée. Ces résultats nous ont permis de calculer le rapport C/N du lixiviat. La détermination de ce rapport est d'une importance capitale dans l'épuration biologique des effluents (El Hajjouji 2007). En effet, l'efficacité fertilisante, la minéralisation ou l'immobilisation de l'azote et le bilan humique des sols sont liés au rapport C/N (Mustin 1987).

3. Présentation des résultats et discussion

3.1 Prospection

Au cours de la prospection réalisée dans la ville de Bukavu, 39 décharges réparties de manière inégale dans les différents quartiers de trois communes de la ville de Bukavu ont été répertoriées ; la commune de Kadutu étant celle qui en compte le plus (fig. 2).

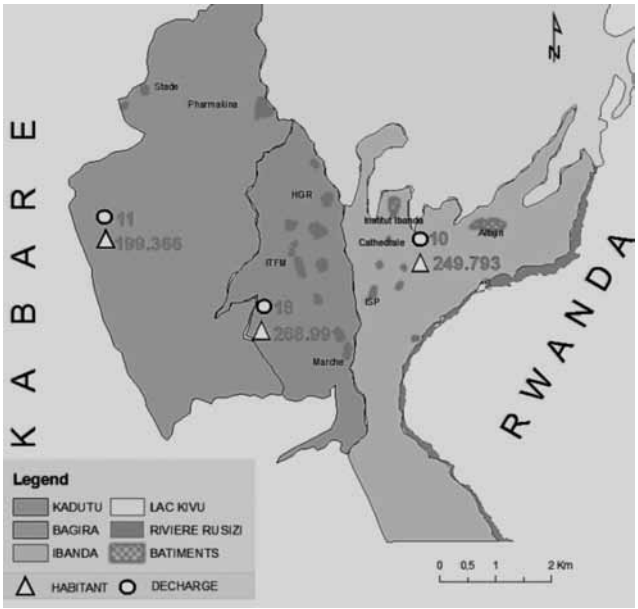

Figure 2 : Répartition des décharges sauvages dans la ville de Bukavu

Des visites réalisées, il est ressorti que ces décharges sont installées en désordre et sans aucun respect des normes: près

Figure 3 : Décharges sauvages identifiées dans la ville de Bukavu

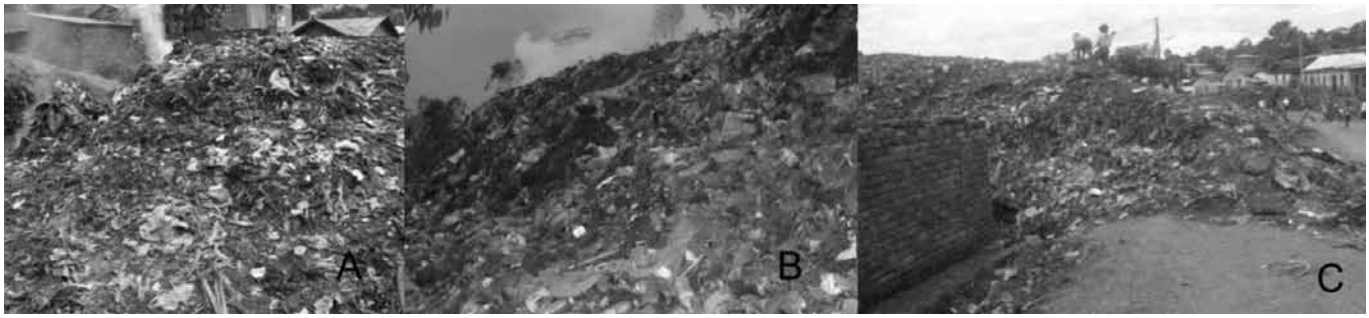

Figure 4 : Types de déchets rencontrés et récupération par les enfants d'objets réutilisables retrouvés dans les décharges de la ville de Bukavu

des caniveaux et/ou collecteurs qui se voient bouchés par des déchets solides (fig.3 A), sur des carrefours et places publics (fig.3 B) ou encore sur des sites en proie à l'érosion (fig.3 C).
Concernant les types de déchets retrouvés dans ces différentes décharges, ils peuvent globalement être regroupés en deux catégories : les déchets non fermentescibles (sachets, verres, canettes, plastiques…) et les déchets fermentescibles (cartons et papiers, déchets ménagers).
Ces types de déchets sont répartis différemment dans les différentes décharges de sorte qu'on ne voit presqu'exclusivement que les déchets fermentescibles dans les décharges localisées dans les quartiers périphériques (Kasha, Nyakavogo, Panzi et Cimpunda) alors que dans celles du « centre » ville, apparaissent aussi des déchets non fermentescibles (figs.4 A et B) qui sont très souvent ramassés par les enfants (fig.4 C) pour un usage marginal et retournent ainsi dans certains ménages pour la réutilisation.
De ce qui précède, on note que l'emplacement de ces décharges ne respecte aucune norme environnementale connue en matière de gestion des décharges (Ouatmane *et al.* 2000, El Hajjouji *et al.* 2007). Ceci constitue sans nul doute un danger en matière d'hygiène et de santé publique. En effet, ces déchets empêcheraient l'écoulement des eaux de ruissellement notamment en bouchant les caniveaux et les collecteurs d'eaux usées. En plus, en saison des pluies ces déchets seraient charriés vers les différentes rivières et le lac Kivu, ce qui constituerait une menace encore plus grave (eutrophisation, sédimentation….) sur ces écosystèmes. Dans ce sens, Mathieu (2008) souligne que le confinement des déchets doit être fait de manière à réduire des entrées et sorties du site, à permettre un drainage efficace du lixiviat afin de réduire les percolations à travers le sol et à assurer la pérennité du système de confinement pendant plusieurs dizaines d'années correspondant à la lente évolution des déchets.
Les résultats plus - haut présentés montrent une certaine répartition inégale des décharges dans les différents quartiers, la commune de Kadutu étant celle qui en a eu le plus. Cette abondance des décharges dans cette commune par rapport aux autres serait due au fait que c'est la commune la plus peuplée qui possède plusieurs quartiers contrairement aux deux autres (Rapport de la Division Provinciale de l'Intérieur 2007). D'ailleurs dans ce sens, une corrélation assez bonne (65%) existe entre le nombre de décharges répertoriées par quartier et le nombre d'habitants de chaque quartier (fig. 5).

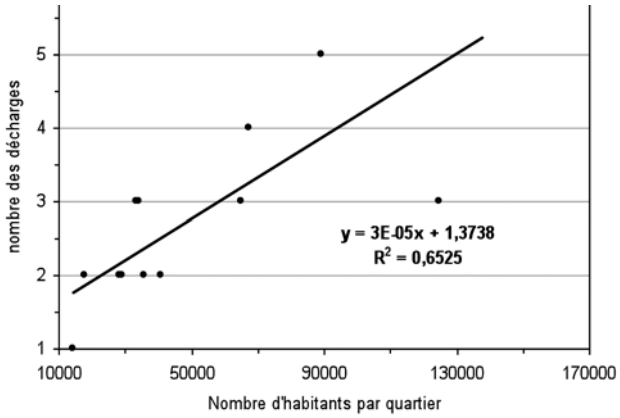

Figure 5 : Relation entre le nombre de décharges sauvages et le nombre d'habitants dans les différents quartiers des communes de Bukavu

A ce facteur principal nombre d'habitants par quartier s'ajouterait aussi la localisation du quartier par rapport au centre-ville. Ainsi, le nombre élevé de décharges dans les quartiers comme Kasha et Panzi de la commune de Kadutu serait dû au fait que ces quartiers situés à la périphérie (bidonvilles) du centre-ville servent de transition entre le centre-ville et les territoires ruraux (Kabare et Walungu) d'où proviennent la quasi-totalité des produits maraîchers vendus dans la ville de Bukavu et dans les divers marchés pirates dispersés dans ces quartiers.

3.2 Quantification

Pour rappel, la quantification n'a été réalisée que dans la seule commune d'Ibanda. Les données obtenues montrent qu'en moyenne, 2183 kg de déchets fermentescibles, 69 kg de déchets papiers-cartons, 8kg de déchets textiles et 100 kg de déchets plastiques ont été produits dans 30 ménages enquêtés pendant 30 jours; ce qui, par calcul, représente une moyenne globale de 2,7 kg de déchets par jour et par habitant dans cette commune.
De tous ces déchets produits, les déchets fermentescibles (ici les cartons et papiers ont été mis dans une autre catégorie) représentent à eux seuls 93% de tous les déchets produits et sont donc les plus abondants (fig. 6).

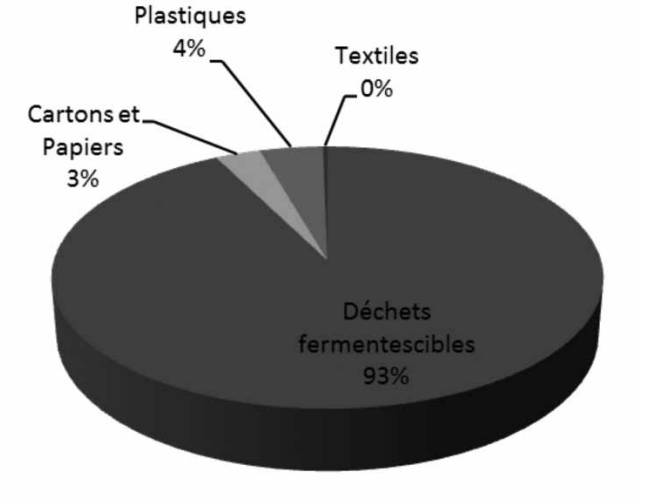

Figure 6 : Proportions des différents types de déchets inventoriés et quantifiés dans la commune d'Ibanda

Les produits maraîchers frais, non nettoyés avant leur commercialisation, et qui sont les denrées les plus consommées par toutes les couches de la population dans la ville de Bukavu, expliqueraient, pensons-nous, l'abondance des déchets fermentescibles par rapport aux autres types de déchets. A cela, il faudra ajouter d'une part le fait que les autres types de déchets ne sont pas générés de façon régulière par les différents ménages et d'autre part que certains autres types de déchets ne sont générés que par certains types de ménages. Dans le premier cas, on peut citer des déchets type papiers-cartons qui emballent pour la plupart les produits qui ne sont pas habituellement consommés (habits, jouets, souliers, assiettes). En plus, les cartons et papiers usagers peuvent séjourner dans les ménages pendant plusieurs jours avant d'être jetés.
Dans le second cas par contre, on peut noter que les bouteilles et les canettes en plastique et/ou en verre sont abondantes dans les ménages plus aisés. Cette abondance des déchets fermentescibles dans les types de déchets produits par les ménages enquêtés dans la ville de Bukavu expliquerait la grande quantité de déchets produits par habitant dans la commune d'Ibanda que nous avons obtenue.

3.3 Compostage

Dans les lignes qui suivent sont présentés les résultats sur l'état de l'évolution du compostage c'est-à-dire l'évolution de la réduction du volume des déchets compostés avec le temps, l'évolution de la température du compost et la caractérisation du lixiviat. Au cours du compostage, les différents paramètres mesurés ont variés sensiblement d'une semaine à l'autre. Ainsi, le volume occupé par les déchets a progressivement régressé de semaine en semaine de sorte que de 117,1 litres occupés par les déchets au début du compostage, on est arrivé à seulement 26 litres à la fin du processus soit une réduction du volume de 92% (fig. 7).

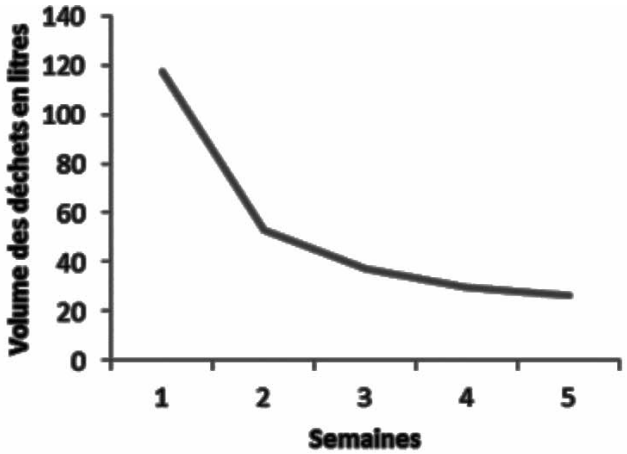

Figure 7 : Evolution du volume occupé par les déchets au cours du processus de compostage

La biométhanisation, le compostage, l'incinération, la gazéification, la pyrolyse sont autant de moyens de valorisation des déchets solides qui ont déjà fait leur preuve ailleurs (Mathieu 2008). Cependant, à cause du coût moindre pour son installation et de la technologie facile que le compostage requiert, il est la méthode de valorisation la mieux adaptée dans les pays en voie de développement. Il a déjà été testé avec succès au Niger (Tini 2003).
Au Cameroun , le compost généré dans les stations artisanales de compostage jusqu'ici ouvertes a contribué à produire les résultats suivants : régénérer les sols pauvres, améliorer la

croissance des plantes et des racines, réduire l'utilisation d'engrais chimiques, d'eau et de pesticides, augmenter la rétention des nutriments dans le sol, réparer la structure du sol en augmentant sa porosité, améliorer la capacité de rétention d'eau du sol, améliorer la résistance au vent et à l'érosion due à l'eau (Mouafo 2004).

Dans le cadre de cette étude, cette méthode s'est révélée aussi efficace. En effet, elle a permis une diminution sensible du volume des déchets compostés ; la forte diminution du volume ayant été observée au cours de la première semaine (de 117,1 litres à 52,91 litres). Cette situation serait due au fait que la matière organique était encore en grande quantité la première semaine d'où une activité intense des microorganismes. Dans ce sens, Jung (2005) souligne que les déchets organiques fermentescibles contiennent en proportions très variables et sous des formes plus ou moins accessibles aux microorganismes des produits simples et facilement biodégradables. La faible diminution progressive observée les semaines suivantes serait consécutive à la mort des décomposeurs par manque de nourriture d'une part et par suite d'une asphyxie par une faible oxygénation d'autre part. En effet, le retournement mécanique des déchets à lui seul ne permet pas un apport suffisant d'oxygène pendant le compostage surtout quand il n'y a plus assez de matières organiques (Tini 2003).

Pour la température, la figure 8 ci-dessous montre qu'à la deuxième semaine de compostage, la température du compost a augmenté sensiblement passant de 32°C (première semaine) à 59,6°C en moyenne. A partir de la deuxième semaine, la température du compost n'a fait que régresser. La température est ainsi passée de 39,5°C à la deuxième semaine à 26,4°C à la quatrième semaine en passant par 30,2°C à la troisième semaine.

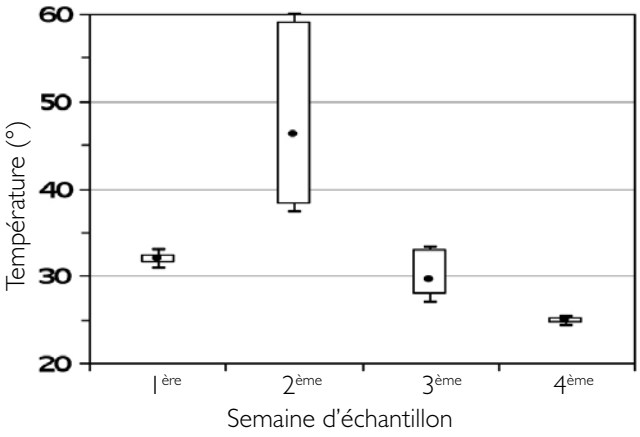

Figure 8 : Evolution de la température au cours du compostage. Le point noir au milieu des boîtes représente la moyenne; les barres représentent les valeurs maximale et minimale et les limites des boîtes représentent respectivement le premier et le troisième quartile. La deuxième semaine va du 9 au 13; la troisième du 16 au 20 alors que la première et la quatrième semaine correspondant à une date respectivement le 6 et le 27 mai.

La diminution progressive observée avec le temps au cours du processus de compostage correspond assez bien au patron de l'évolution de la température au cours de tout processus de compostage (Nova 2006). Cet auteur montre en effet que pendant tout processus de compostage, la température décroît avec le temps suite à la diminution de matière organique mais que cela dépend aussi de la nature du substrat composté, des conditions d'humidité et d'oxygénation du compost ainsi que des conditions climatiques et saisonnières de l'environnement extérieur.

Les lixiviats produits au cours du compostage ont été caractérisés à partir de leur pH, de leur DCO, de leur DBO_5, de leur azote total et de leur carbone organique. Quant aux 3 premiers paramètres, les figures 8 et 9 montrent qu'ils ont variés différemment au cours du processus de compostage.

Ainsi, les variations des valeurs de pH des échantillons du lixiviat au cours du processus de compostage n'ont pas été sensibles restant dans la même gamme acide (5,1 à 6,2) (fig. 9), ce qui ne fut pas le cas pour les valeurs de la DBO_5 et de la DCO (fig. 9).

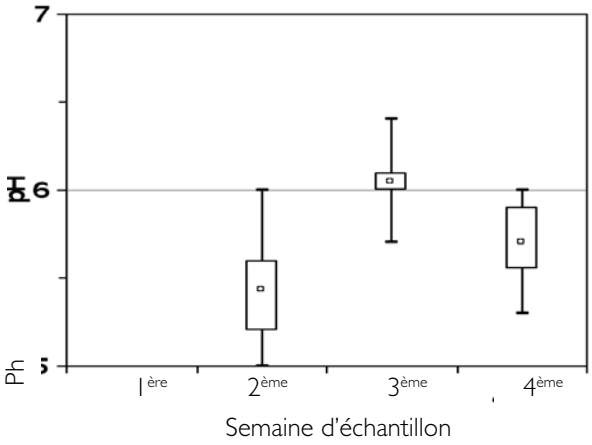

Figure 9 : Evolution du pH aux cours du compostage. Le point noir au milieu des boîtes représente la moyenne; les barres représentent les valeurs maximale, minimale et les limites.

Contrairement à la température, le pH resté acide (de 5,1 à 6) durant tout le processus de compostage n'a varié que très légèrement. Cette situation est non conforme à l'évolution du pH au cours du processus de compostage. Il est en effet connu qu'au cours du compostage, le pH subit des modifications : soit une acidification par formation de certains acides organiques liés à la dégradation des sucres simples et la production de CO2 en début de compostage, soit une alcalinisation par la production d'ammoniac (Juspin *et al.* 2002). La situation observée dans notre étude se justifierait par l'immaturité (âge jeune) du lixiviat. Renou *et al.* (2008) affirment dans ce sens que les lixiviats jeunes se caractérisent par une charge organique élevée relativement biodégradable

constituée principalement d'acide gras volatile (AGV) et ont donc un pH relativement bas (< à 6,5).
En ce qui concerne la DCO et la DBO_5, la figure 10 ci-dessous montre que ces deux paramètres, tout en variant différemment au cours du processus de compostage, ont chacun varié quand même très sensiblement. Ainsi, de 1002 mg/l le premier jour d'échantillonnage, les valeurs de DCO ont augmenté jusqu'à osciller autour de 1880 mg/l au 20 mai avant de rechuter encore à 1220mg/l le dernier jour d'échantillonnage. Pour la DBO_5, on remarque une augmentation graduelle de sa valeur du premier jour d'échantillonnage (400 mg/l) au 18 mai (950 mg/l) ; moment à partir duquel la valeur de la DBO_5 a rechuté.

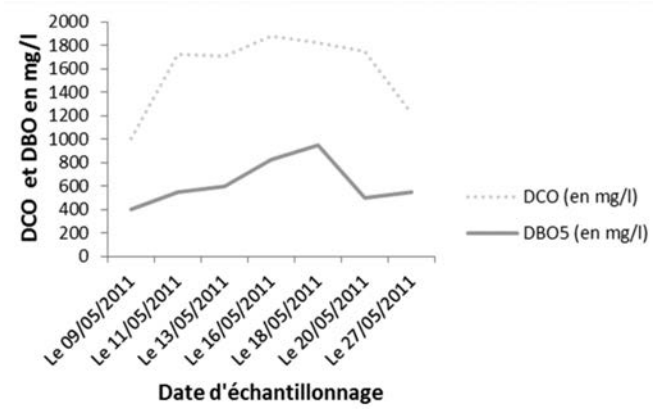

Figure 10 : Evolution de la DBO5 et de la DCO au cours du processus de compostage

Il est connu qu'au cours d'un compostage, les valeurs de la DCO dépendent du type et de la quantité de déchets que l'on met en œuvre ainsi que de l'âge de la décharge ou du compost. Ainsi, pour un lixiviat provenant d'un centre de décharge d'ordures ménagères, sa DCO peut atteindre 10100 mg d'O_2/l pour une décharge d'au moins deux ans d'âge (Lagier 2000). Les faibles valeurs obtenues de la DCO au cours de notre étude n'ont donc rien d'étonnant. Elles seraient le résultat de la rapidité avec laquelle le compostage s'est déroulé, conséquence d'une part de la nature des déchets compostés qui étaient facilement biodégradables demandant moins d'oxygène pour leur dégradation par les microorganismes et d'autre part de la courte durée de notre étude. Cette biodégradabilité élevée des déchets compostés peut d'ailleurs être confirmée par le rapport DBO_5/DCO des lixiviats analysés dans cette étude (= 0,4) supérieur à 0,3 (Juspin *et al.* 2002). Quant à la DBO_5, par rapport à la valeur moyenne (2290 mg O_2/l) obtenues dans un centre de compostage des déchets solides à ordures ménagères complexes (Soudi 2001), les faibles valeurs obtenues dans le cas de notre compostage (400-950 mg O_2/l) seraient expliquées par la petite taille de notre compost ne permettant pas de générer une grande quantité de matières oxydables durant les premières semaines de compostage.
Les valeurs des DCO et DBO_5 obtenues dans les lixiviats des déchets de la commune d'Ibanda, indiquent, quand on se réfère à la classification de PRATTI (Kibiriti 1986), que ces lixiviats présentent des degrés de pollution très élevés et conduiraient à la pollution des nappes phréatiques, des rivières et du lac Kivu. Des réserves sont cependant à émettre sur l'importance de la pollution microbiologique peu étudiée à ce jour à notre connaissance. Ce résultat montre ainsi que les lixiviats non traités, et donc des décharges non contrôlées qui abondent un peu partout dans la ville de Bukavu, constitueraient une menace réelle sur la vie aquatique car leur oxydation exige beaucoup d'oxygène dont la diminution dans un cours d'eau a des impacts néfastes sur la biodiversité aquatique (Calamari et Naeve 1994).

Enfin, les résultats de carboe organique et de l'azote total montrent que la concentration de carbone organique dans les échantillons des lixiviats était environ 3 fois supérieure à celle de l'azote total (Tableau ci-dessous).
Le rapport C/N des lixiviats des déchets ménagers compostés très bas (3,2) par rapport à l'optimum nécessaire pour une valorisation agricole c'est-à-dire entre 30 et 50 (Farinet et Niang 2004), montre que la dénitrification a été très forte dans notre compost telle qu'indiquée d'ailleurs par la valeur DBO_5/N (0,35) (Gagne et Brissard 2004) et indique que ces lixiviats nécessitent des corrections pour pouvoir être utilisés en agriculture.

4. Conclusion

La gestion des déchets solides d'ordures ménagères devient un problème qui préoccupe les centres urbains dans les pays en développement.
Cependant, le principal risque de l'accumulation des ordures est la prolifération de microbes et parasites de toutes sortes ainsi que des insectes et animaux comme les mouches, les moustiques, les rats, les souris. En outre, le jus de décharge s'infiltre vers les nappes ou s'écoule vers les ruisseaux, conduisant ainsi à des pollutions des eaux. Le lixiviat contient des matières physico- chimiques, biologiques et des métaux lourds qui intoxiquent l'eau de consommation (Amir 2005).

Tableau 1 : Valeurs moyennes du carbone organique et de l'azote total ainsi que le rapport C/N, DBO_5/DCO, DBO_5/N

Carbone organique mg/l	Azote total mg/l	C/N	DBO_5/DCO	DBO_5/N
5728	1771	3,2	0,4	0,35

Pour réduire la quantité de déchets ménagers dans les centres urbains, les pays développés proposent une mise en décharge ou l'incinération qui s'accompagnent du traitement du lixiviat et des fumées. Ces techniques coûtent chers et nécessitent un contrôle de haute qualité ; ce qui est difficile aujourd'hui dans les pays en développement.

En effet, à cause du coût moindre pour son installation et de la technologie facile que le compostage requiert, il est la méthode de valorisation la mieux adaptée dans les pays en développement. Il a déjà été testé avec succès au Niger (Tini 2003). Au Cameroun, le compost généré dans les stations artisanales de compostage jusqu'ici ouvertes a contribué à produire les résultats suivants : régénérer les sols pauvres, améliorer la croissance des plantes et des racines, réduire l'utilisation d'engrais chimiques, d'eau et de pesticides, augmenter la rétention des nutriments dans le sol, réparer la structure du sol en augmentant sa porosité et améliorer la capacité de rétention d'eau du sol (Mouafo 2004).

Dans le cadre de cette étude, le compostage s'est révélé capable de réduire, en quatre semaines, environ 92,5% des ordures ménagères qui pullulent dans des décharges éparpillées dans la ville de Bukavu (RD Congo). Cette voie de réduction et de valorisation des déchets fermentescibles qui du reste permet de produire des engrais bon marché pour les villageois même si leurs caractéristiques chimiques nécessitent, pour le cas des déchets produits à Bukavu, une correction en vue de leur utilisation optimale en agriculture devrait être vulgarisée. Toutefois, avant cette vulgarisation, des méthodes peu coûteuses et techniques abordables de correction de ces produits (engrais) devraient d'abord être étudiées.

Références bibliographiques

AFNOR (Association Francaise de Normalisation) – Norme NF XP X30-408 –Déchets- Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés, norme expérimentale, Octobre 1996.

AMIR S. Contribution à la valorisation des boues des stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost : Thèse Université de Toulouse. [En ligne]. 2005, Disponible sur : http://www.ethesis.inp-toulouse.fr/archives00000074/01/amir.pdf. (Consulté le 25.09. 213).

BRAUN R., WELLINGER A. Potential of co-digestion (Task 37). IEA Bioenergy, 2002, 15 p.

EL HAJJOUJI H., FAKHAREDINE N., AIT BADDI G., et al. Treatment of olive mill waste-water by aerobic biodegradation: An analytical study using gel permeation chromatography, ultraviolet–visible and Fourier transform infrared spectroscopy. Biores. Technology, 2007, no 98, pp : 3513-3520.

FARINET J-L. et NIANG. Le développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone : Enjeux, concepts et méthodes. [En ligne]. 2004, Disponible sur : http://www.crdi.ca/fr/ev-85039-201-1-DO_TOPIC.html (Consulté le 23.05. 210).

FOUAD Z. Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets dans les pays en développement. Thèse. Lyon: INSA de Lyon, 2006, 269 p.

GNAGNE T. et BRISSARD F. Etude des potentialités d'épuration des effluents d'abattoirs par infiltration sur sable en milieu tropical. Université de Montpellier II. Maison des Sciences de l'eau. [En ligne] 2004. Disponible sur: www.eieretsher.org. (Consulté le 01. 08. 2010).

GOLLAKOTA K. G., MEHER K. K. Effect of particle size, temperature, loading rate and stirring on biogas production from castor cake. Biological Wastes, 1988, vol. 24, pp : 243-249.

JUNG C.G., ROY C., VAN THEMSHE C et al. 2005, "Etude de cas" In Journée d'étude: "Gestion des déchets industriels pour un développement durable". ULB, Solvay Business School, Centre Emile Bernheim.

JUPSIN H., PRAET E. and VASEL J.L., 2002, Caractérisation des lixiviats de CET et modélisation de leur évolution. Proceeding of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, pp : 884-896.

KIBIRITI G., NDAYIRAGIJE S., GOURDIN J. et al. Analyse des sols- Analyse de la matière organique : ISABU-Burundi, 1986.

LAGIER T. Etude de macromolécules de lixiviat : caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse. Université de Poitiers, 2000, 189 p.

MATHIEU G. Interactions entre argile ammoniée et molécules organiques dans le contexte du stockage des déchets. Cas de molécules à courtes chaînes. Thèse. Université d'Orléans, 2008, 276 p.

MOORHEAD K. K., NORDSTEDT R. A. Batch anaerobic digestion of water hyacinth: effects of particle size, plant nitrogen content and inoculum volume. Bioresource Technology, 1993, vol. 44, n° 1, pp : 71-76.

MOUAFO V. Etude de faisabilité de la production et de la commercialisation du compost d'ordures ménagères à Maroua et dans les environs, Enviro Protect, Maroua, 2004.

MUSTIN M. Le compost : Gestion de la matière organique. Editions François DUBUSC.35, rue Mathurin-Régnier. 1987.

NDIRA V., Substances humiques du sol et du compost. Analyse élémentaire et groupements atomiques fictifs : vers une approche thermodynamique. Thèse. Toulouse : I N P de Toulouse, 2006, 274 p.

NOVA E. Le compostage facilité : Guide sur le compostage domestique. [En ligne] 2006. Disponible sur : http://www.recyc quebec.gouv.ca/upload/publications/zzz guide_177.pdf (Consulté le 01.06.2010).

OUATMANE, A., DORAZIO, V., HAFIDI et al. Elemental and spectroscopic characterization of humic acids fractionated by gel permeation chromatography. Agronomie. 2000, no 20, 491-504.

PASCALE N et NGNIKAM E. Compostage des déchets ménagers dans les pays en développement : Modalités de mise en place et de suivi d'installations décentralisées pérennes. Guide CEFREPADE, ADEME, 2008.

Rapport de la Division de Statistiques. 2010, Evolution démographique de la ville de Bukavu de 2002 à 2010.

Rapport de la Division Provincial de l'Intérieur, 2007

RENOU S., POULAIN S., GAGNAIRE J et al. Lixiviat de centre de stockage déchet généré par des déchets. 2008, 43, N° 310 "l'eau, l'industrie, les nuisances" Editions JOHANET : 60, rue du Dessous des Berges - 75013 Paris.

SOUDI B., 2001, Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost. Cas des petites et moyennes communes au Maroc. (Actes édition).

TINI A. La gestion des déchets solides ménagers à Niamey au Niger: Essai pour une stratégie de gestion durable. These. Lyon: INSA de Lyon, 2003, 302 p.

YADVIKA S., SREEKRISHNAN T. R., SANGEETA K., VINEET R. Enhancement of biogas production from solid substrates using different technique - A Review. Bioresour. Technol., 2004, vol. 95, pp. 1-10.