

Potentiel d'élimination des déchets végétaux (feuilles de *Mangifera Indica* et de *Manihot Utilissima*) par méthanisation à Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Philippe Mambanzulua Ngoma, Serge Hiligsmann, Eric Sumbu Zola, Marc Ongena et Philippe Thonart

Volume 15, numéro 1, mai 2015

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1035742ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Mambanzulua Ngoma, P., Hiligsmann, S., Sumbu Zola, E., Ongena, M. & Thonart, P. (2015). Potentiel d'élimination des déchets végétaux (feuilles de *Mangifera Indica* et de *Manihot Utilissima*) par méthanisation à Kinshasa (République Démocratique du Congo). *VertigO*, 15(1).

Résumé de l'article

La République Démocratique du Congo produit annuellement environ 2,2 millions de tonnes de déchets dans sa capitale, Kinshasa. Ces déchets sont constitués de 66 % de matières organiques dans lesquelles 94 % sont des déchets végétaux et la majorité des feuilles mortes. Parmi ces feuilles, celles de *Mangifera Indica* et *Manihot Utilissima* sont les plus accessibles. Elles sont générées via les ménages et les marchés, mais ne sont pas recyclées convenablement. Certains maraîchers les utilisent irrationnellement comme engrais et n'obtiennent pas les résultats attendus. À cet effet, ces déchets gênent et polluent l'environnement. D'autre part, les ménages kinois éprouvent d'énormes difficultés pour s'approvisionner en énergie. La surexploitation du bois énergie entraîne la détérioration des écosystèmes et de la santé publique. Ces méfaits seraient réduits simultanément et durablement par l'exploitation rationnelle de la bioénergie et des biofertilisants résultant de la digestion anaérobie ou biométhanisation des déchets végétaux. En supposant que cette biomasse végétale est constituée uniquement des feuilles de *Mangifera Indica* et de *Manihot Utilissima*, le pouvoir énergétique du biogaz émanant de leur biométhanisation réduirait respectivement la consommation en bois énergie de 39 % et 134 %. Par ailleurs, la quantité de digestats produits couvrirait par épandage une superficie proche de celle de la déforestation. Ces estimations montrent un potentiel de valorisation de ces déchets végétaux intéressant pour l'assainissement, les besoins énergétiques, l'afforestation et l'agriculture. De ce fait, ils seraient gérés directement dans leurs lieux de génération pour minimiser les coûts de transport et de traitement industriel.



**Philippe Mambanzulua Ngoma, Serge Hiligsmann, Eric Sumbu Zola,
Marc Ongena et Philippe Thonart**

Potentiel d'élimination des déchets végétaux (feuilles de Mangifera Indica et de Manihot Utilissima) par méthanisation à Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Introduction

- 1 La gestion des déchets dans les pays africains n'est pas organisée de manière intégrée et durable (Amegnran, 2009). La République Démocratique du Congo (RDC), située au cœur de l'Afrique est aussi concernée. Sa capitale, la Ville Province de Kinshasa (VPK), la plus peuplée de ses provinces, ne parvient pas à gérer convenablement ces déchets. Ces déchets ne sont pas traités et valorisés rationnellement. Ils sont déversés dans les abords des rues, dans les caniveaux et dans les cours d'eau par des riverains. Le pouvoir public par sa voirie locale essaie de venir à bout de ces déchets, mais sans grand résultat, car ne disposant pas d'équipements suffisants, il ne couvre qu'une petite partie de la ville et aussi d'une manière irrationnelle. Cette insuffisance se traduit par des nuisances et par un état d'insalubrité dont les conséquences sont les inondations destructrices, l'apparition de diverses maladies mortelles sévissant parmi la population et la prolifération des vecteurs de maladies (OMS, 1994 ; Bagalwa, 2013). Ces déchets sont plus d'origines végétales (Pangu et al. 1999). Les maraîchers essayent de valoriser ces déchets végétaux comme engrais verts par l'enfouissement. Mais, les résultats ne sont pas meilleurs suite au temps de décomposition. En outre, la technique d'enfouissement de déchets telle qu'appliquée est moins contrôlable et rend le sol acide. C'est ainsi que les maraîchers recourent encore aux engrais chimiques qui sont chers et exigent une certaine maîtrise dans l'utilisation. En même temps que la VPK connaît le problème d'élimination des déchets, elle est confrontée aussi aux difficultés d'approvisionnement en engrais et en énergie électrique avec les interruptions et les délestages intempestifs attribuables à la vétusté des lignes électriques et de la défaillance de la Société nationale d'électricité (SNEL) (Shuku, 2011). Par conséquent, l'accès à l'énergie électrique est très limité, voire inexistant.
- 2 On estime à 12 à 15 %, la population kinoise qui a accès à l'énergie de la SNEL (Kitenge, 1988 ; Lelo, 2008). La croissance démographique accélérée par les déplacements de populations liés aux conflits congolais, l'expansion urbaine anarchique hors des circuits de distribution énergétique, ainsi que la pauvreté généralisée ont accéléré la quête de biomasse-énergie sous forme de bois de chauffe ou de charbon de bois, entraînant à son tour une pression accrue sur les écosystèmes forestiers en périphérie de Kinshasa. En effet, d'après Lelo (2008) et Schure et al. (2011), 85 à 90 % de la population urbaine de la RDC recourent au bois de chauffage. Shuku (2011) renchérit que presque tous les kinois utilisent du bois issu de la déforestation pour satisfaire leurs besoins énergétiques. Ces bois proviennent essentiellement des provinces voisines du Bas-Congo et Bandundu. En 2007, l'Hôtel de Ville de Kinshasa a précisé qu'il y avait disparition de la couverture végétale sur un rayon de 180 km autour de la Ville de Kinshasa (Shuku, 2011).
- 3 Les enjeux suscités exigent des solutions qui devront répondre au développement durable pour ne pas compromettre l'avenir des générations futures. Une des solutions serait l'élimination des déchets végétaux par digestion anaérobie ou biométhanisation pour produire à la fois de l'énergie verte et des biofertilisants. C'est ainsi que ce travail envisage d'évaluer le potentiel énergétique et fertilisant, respectivement pour le biogaz et les digestats qui seraient issus de la méthanisation optimale des feuilles mortes de Manihot Utilissima (MU) ou feuilles

de manioc et de *Mangifera Indica* (MI) ou feuilles de manguier. Ces feuilles sont les plus disponibles dans la VPK. Les premières proviennent surtout des habitations et les secondes des marchés (Tollens, 2004). Une enquête effectuée dans la commune de Limete (Makumbelo et al., 2002) a révélé que *Mangifera Indica* est l'arbre fruitier le plus planté soit 184 arbres par km² et que *Manihot Glaziovii* (feuilles de faux manioc) est le deuxième légume le plus cultivé dans les parcelles kinoises soit 68 jardins par km² (Makumbelo et al., 2002). Les feuilles de *Manihot Glaziovii* et de MU sont consommées conjointement à Kinshasa. Cependant, les secondes sont les plus communément consommées, à la fois à Kinshasa (Tollens, 2003) et dans tout le Congo. On les retrouve aussi dans de nombreux pays d'Afrique, d'Amérique du Sud, etc. En 1998, La RDC était le deuxième pays producteur africain de MU après le Nigeria (Rannou, 2000). La méthanisation de ces matières organiques à température ambiante peut être envisagée au niveau familial ou municipal et devrait apporter une solution simultanée aux problèmes d'assainissement, d'énergie, d'engrais ou de fertilité des sols. Le biogaz peut être utilisé comme carburant ou combustible par les familles ou la municipalité. Les digestats ont des potentialités intéressantes pour la fertilisation des jardins familiaux, le reboisement et la restauration des terrains dégradés. D'autres retombées positives peuvent également être liées à la création d'emplois, la réduction de la pauvreté et de la déforestation, la restauration des forêts et la sécurité alimentaire. Ce mode de valorisation des déchets végétaux contribue par conséquent à la fois à la protection de l'environnement et au développement durable. Cette étude commence par une présentation de la VPK avant de se consacrer à la gestion des déchets végétaux. Elle décrit ensuite les potentialités de production de méthane et d'engrais biologiques à partir des feuilles de MU et de MI par comparaison aux besoins kinois. Enfin, elle s'achève par une conclusion incluant les recommandations.

Déchets solides dans la VPK

Description de la VPK

- 4 La VPK s'étend sur une surface de 9 965 km². Elle est située à l'ouest de la RDC en Afrique centrale (Figure 1), entre 4°18' et 4°25' de latitude Sud et entre 15°15' et 15°22' de longitude Est. Elle est limitée au nord-est par la province de Bandundu, au sud par celle de Bas-Congo, au nord-ouest et à l'ouest par la République du Congo Brazzaville, via une frontière naturelle formée par une partie du Fleuve Congo (Mulaji, 2011). La périphérie de Kinshasa comprend tous les alentours de la partie urbanisée de la ville où se déroulent une intense activité agricole et des activités d'exploitation du bois énergie. En effet, la ville de Kinshasa, avec environ 7,5 millions d'habitants selon le recensement administratif de 2005, pourrait atteindre plus de 10 millions d'habitants en 2015 (Lelo, 2008 ; Kassay, 2010). Dans son ensemble, le climat de la VPK est du type Aw4 suivant la classification de Koppen : climat tropical humide soudanien avec deux saisons, une saison sèche qui s'étend de la mi-mai à la mi-septembre et une saison humide qui débute à la mi-septembre pour s'achever à la mi-mai (Compère, 1970 ; Mulaji, 2011). La saison des pluies voit une diminution des précipitations en janvier-février (la petite saison sèche). Les précipitations annuelles moyennes sont de 1 400 mm, et la température moyenne annuelle est de 25 °C (Mulaji, 2011). Les variations annuelles de température dans la région de Kinshasa sont d'environ 13 degrés Celsius. Au niveau géologique, les sols de la VPK présentent une texture sableuse, grumeleuse très fine, une coloration ocre-jaune, une consistance meuble à l'état sec, et une teneur en argile généralement inférieure à 20 %. La teneur en matière organique et le degré de saturation du complexe adsorbant y sont faibles (Sys et al., 1961 ; Mulaji, 2011). Deux types de végétation naturelle prédominent sur les sols : les galeries forestières et les savanes (Baert et al., 1991).

Figure 1. Cartes de la VPK et de la RDC avec ses pays limitrophes / Cards of the VPK and of the DRC (Democratic Republic of Congo) with its adjacent countries.



Source : RDCongo, 2006.

Gestion des déchets solides ménagers et des marchés

État des lieux et production

- 5 La VPK déborde d'activités de différentes sortes et de diverses origines liées aux ménages, au commerce (marchés), à l'agriculture, à l'urbanisation, ainsi qu'à l'industrialisation. Ces activités génèrent des déchets solides. Ce sont les marchés qui produisent beaucoup de déchets solides (Lelo, 2008). De tous ces déchets, les plus accessibles sont ceux des ménages et des marchés. Ils sont parfois jetés en pêle-mêle. L'analyse faite par Hilgsmann et al. (2006) a montré qu'une prise de conscience se dégage actuellement sur la nécessité d'un assainissement urbain efficace et permanent dans le pays en développement. Cependant, dans la VPK, l'autorité urbaine éprouve d'énormes difficultés pour les évacuer et seulement le centre-ville et les communes environnantes qui sont assainis, mais irrationnellement. L'insalubrité qui en résulte détériore l'hygiène environnementale avec augmentation des maladies telles que le paludisme, la poliomyélite, la typhoïde, la méningite, la dysenterie amibienne, la verminose, la filariose et les maladies respiratoires. Il y a aussi prolifération des vecteurs de maladies de l'insalubrité comme les rats, les cancrelats, les moustiques, les larves, les puces, etc. (Lelo, 1999 ; Mbona, 1999). Entre-temps, les populations de la périphérie se débrouillent pour éliminer leurs déchets urbains. Dans beaucoup de cas, leurs modes d'évacuation des déchets ne sont pas hygiéniques.
- 6 De ce fait, la ville de Kinshasa connaît tous les problèmes qu'on retrouve dans des grandes villes des pays en développement en particulier la défaillance du système de gestion de l'environnement urbain, qui se traduit entre autres, par une diversité de pollutions urbaines. Singulièrement, ces pollutions sont très marquées dans les quartiers et communes populaires à forte densité de concentration humaine et dans des foyers économiques du type des marchés (Kassay, 2010). Selon les informations obtenues auprès du Programme national de l'assainissement (PNA) en 2009, la production annuelle des déchets dans la VPK est de 0,6 kg de déchets/habitant/jour soit 217 kg/habitant/an. Cette donnée est dans la marge de la production annuelle moyenne de déchets par un habitant dans des villes des pays en développement. Elle se situe entre 180 et 240 kg/habitant/jour (Hilgsmann et al., 2006). La

production des déchets ménagers par exemple, a été évaluée par type de quartier par habitant par jour à 0,7 kg, 0,5 kg et 0,3 kg, respectivement pour les quartiers résidentiels, anciens populaires et quartiers nouveaux populaires (Lelo, 2008).

- 7 Le PNA qui s'occupait de l'assainissement de l'ensemble de la république n'a plus d'équipements. Actuellement, il n'existe que de nom. Il est remplacé par la Régie d'assainissement et des travaux publics de Kinshasa (RATPK) dans la ville de Kinshasa. La RATPK a été créée en 2008. Elle a pour objectif : l'assainissement de la ville de Kinshasa. Elle n'est plus active qu'à la commune de Gombe et ses environs. Ses activités consistent principalement aux balayages, à la collecte et au transport des déchets du marché central de Kinshasa, de l'Hôpital Général de Kinshasa et des autres marchés environnants vers le centre d'enfouissement technique. La RATPK ne couvre que 14 communes sur 24 et elle est secondée par les Organisations non gouvernementales (ONG).

Composition des déchets solides des ménages et des marchés dans la VPK

- 8 Les déchets solides des ménages et des marchés sont composés en général de détritiques organiques, de végétaux et de matières putrescibles (66 %). Les poubelles parcellaires de Kinshasa sont constituées en gros de plus de 60 % des résidus organiques végétaux (Lelo, 2008). Les déchets ménagers contiennent toujours une portion importante des déchets agricoles en termes de feuilles, de tiges et de racines non consommées des légumes et d'autres résidus végétaux (Mbona, 1999). Les déchets solides de la VPK ont été comparés à d'autres déchets urbains (Tableau 1) (Mulaji, 2011 ; Biey, 2001 ; Lelo, 2008 ; Hiligsmann et al., 2006). Comparativement à des pays du Nord, les déchets produits dans la VPK et d'autres villes ou pays africains sont pour plus de 55 % des déchets organiques. Selon Hiligsmann et al. (2006), la teneur moyenne en matières organiques dans les déchets solides des pays en développement varie entre 40-45 %.

Tableau 1. Compositions moyennes des ordures ménagères dans différents pays et villes / Standard compositions of the households wastes in different countries and cities.

Principaux composants des déchets ménagers (% pondéral)						
	Fermentables	Papiers-cartons	Verres	Plastiques	Métaux	Autres
Wallonie (Belgique)	41,0	12,2	3,0	12,6	1,7	28,9
France	29,0	25,0	13,0	11,0	4,0	18,0
Allemagne	32,0	22,0	8,0	5,0	10,0	23,0
Grèce	50,0	20,0	5,0	10,0	5,0	15,0
USA	28,0	34,0	7,0	9,0	8,0	14,0
Ghana (Accra)	85,0	5,0	2,0	3,0	3,0	2,0
Nigeria (Ibadan)	56,0	13,0	2,0	6,0	-	-
Villes des pays en développement	40-45,0	5-10,0	1-3,0	2-11,0	2-4,0	16-44,0
VPK	66,0	6,4	1,4	13,2	3,0	10,0

Source : Mulaji, 2011 ; Biey, 2001 ; Lelo, 2008 ; Hiligsmann et al., 2006.

- 9 La composition de déchets ménagers du Tableau 1 est similaire à celle donnée par la RATPK en 2013. Selon PNA 2005, les poids volumiques des ordures ménagères humides et sèches sont d'environ 500 kg/m³ et 350 kg/m³, respectivement (Lelo, 2008). Les déchets organiques kinois sont constitués de 94 % des déchets végétaux (Pangu et al., 1999) dont les plus disponibles sont les feuilles de MI et de MU (Figure 2). Les feuilles mortes de MI proviennent des jardins d'habitations, des jardins locaux ou des champs périphériques de la ville appartenant à des familles. Les feuilles de MU sont surtout générées en grande quantité par les marchés. Il se pose dès lors, le problème de gestion d'ordures dans la VPK : comment les trier, les traiter et les éliminer pour qu'elles ne polluent pas la nature.

Figure 2. Feuilles de MU (a) et de MI (b) / MU (a) and MI (b) leaves.

Élimination des déchets végétaux

10 La gestion des déchets solides à Kinshasa ne suit pas formellement la logique TRIVAC, c'est-à-dire Trier, Recycler, Incinérer, Valoriser et Communiquer, comme cela se fait dans les pays du Nord (Lelo, 2008). Le cycle de gestion des déchets solides municipaux à Kinshasa se présente de la manière suivante : Le Kinois vide rapidement sa poubelle parcellaire dans une décharge non contrôlée à cause de la putréfaction rapide de ses déchets biodégradables. C'est par manque d'un système organisé de gestion des déchets qu'il ne choisit pas où évacuer les ordures. Si ces déchets sont récupérés par les chiffonniers, ils suivent la filière normale jusqu'au centre d'enfouissement technique. Il n'y a qu'un seul centre d'enfouissement situé à la périphérie est de la ville. Les pouvoirs publics ne parviennent pas jusqu'à présent à organiser un système planifié de ramassage des ordures. Cette collecte s'effectue généralement soit par les services privés, soit par les entreprises publiques, soit encore par les associations sans but lucratif. Toutes les enquêtes indiquent que les déchets solides sont évacués par incinération ou brûlage, par enfouissement, par jet sur la voie publique, dans les cours d'eau, dans les décharges non contrôlées (Lelo, 2008). Les déchets végétaux sont parfois séparés des non biodégradables et transformés en compost informellement. Ils sont aussi utilisés directement par épandage ou par enfouissement comme engrais vert après quelque temps de décomposition dans des parcelles d'habitations.

Élimination des feuilles mortes de MU et MI dans la VPK

11 Aucune étude n'a été réalisée sur la composition des déchets végétaux à Kinshasa. D'après PNA en 2009, les déchets végétaux de la VPK sont constitués en majorité des feuilles mortes. Les feuilles les plus visibles sont celles de MU et MI. Bien que les feuilles de MU soient riches en protéine, elles sont peu consommées par l'homme à travers le monde (Dahouda et al., 2009). Cependant à Kinshasa, MU est le premier légume le plus consommé (Tollens, 2003) et le deuxième le plus planté dans les parcelles Kinois (Makumbelo et al., 2002). Dans les communes périphériques non gérées par la RATPK, les feuilles de MU non consommées sont soit abandonnées dans les décharges incontrôlées des marchés ou des quartiers, soit jetées mélangées à d'autres déchets solides comme par exemple les feuilles de MI dans des ravins, dans des caniveaux et dans des cours d'eau. Les amoncellements de ces ordures causent des inondations lors des pluies diluviennes. MI est le plus cultivé des arbres fruitiers à cause de son fruit (la mangue) le plus apprécié par les kinois mais ses feuilles mortes sont souvent

abandonnées. Les feuilles de MI se décomposent difficilement à l'air libre. C'est ainsi qu'elles sont souvent incinérées après séchage à l'air libre dans les parcelles d'habitations. Par contre, les feuilles de MU se décomposent facilement et sont parfois transformées en compost. Les deux types de feuilles sont souvent enfouis dans le sol comme engrais vert.

12 Une autre forme de récupération des déchets végétaux consiste à les utiliser pour nourrir les animaux. Dans les milieux périurbains, les feuilles de MU sont utilisées pour alimenter des bétails, surtout les chèvres. Selon Lebas (s.d.), les feuilles de MI et de MU seraient aussi des fourrages potentiels pour le lapin dans les régions tropicales. En outre, les feuilles de MU seraient un aliment potentiel pour la pintade dans les pays à faible revenu (Dahouda et al., 2009).

Généralité sur la méthanisation des déchets végétaux

Définition et étapes de la méthanisation

13 La méthanisation ou digestion anaérobie stricte a été mise en évidence par Volta en 1776 (Buffiere et al., 2007). C'est un procédé biologique de dégradation de la matière organique par une flore microbiologique complexe se déroulant en milieu aqueux dissous ou solide et en absence d'oxygène. Il se réalise naturellement sous l'eau (dans les marais et lacs) et dans le gros intestin de l'Homme et des animaux... et artificiellement dans les digesteurs ou réacteurs clos (John, 1977 ; Moletta, 2008_a). Au cours de la méthanisation, il y a production d'un gaz appelé biogaz constitué d'au moins 50 % de méthane, de 20 % dioxyde de carbone ou plus et parfois des traces de sulfure d'hydrogène, d'ammoniac, d'hydrogène et de vapeur d'eau, etc. Après méthanisation, il en résulte un résidu appelé digestat et selon l'endroit où elle s'est déroulée, on distingue parmi les résidus solides : la tourbe sous l'eau, les excréments dans le système digestif de l'homme ou des animaux et les boues digérées dans les digesteurs clos (Moletta, 2008).

14 La méthanisation peut être représentée par l'équation générale suivante :

15 Elle est souvent scindée en quatre étapes biochimiques différentes et successives :

- l'hydrolyse est l'étape la plus lente durant laquelle la matière organique ou substrat est progressivement désintégrée en présence d'eau en glucides, protéines et lipides et ces macromolécules organiques se transforment en monomères respectifs (monosaccharides, acides aminés et acides gras à longues chaînes) sous l'action des enzymes par des bactéries hydrolytiques (Espisito et al., 2008 ; Espisito et al., 2012 ; Vögeli et al., 2014) .
- l'acidogénèse est la transformation des monosaccharides et des acides aminés en acides gras volatils (AGV, acides gras contenant au plus 6 carbones tels que les acides acétique, propionique, butyrique, valérique, etc.), alcools, dioxyde de carbone et hydrogène par des bactéries acidifiantes (et parfois même des champignons) qui sont anaérobies strictes ou facultatives (Moletta, 2002). La dégradation des acides aminés conduisent aussi à la production de l'ammoniac et du sulfure d'hydrogène lesquels pourraient aussi provenir respectivement de la réduction de l'urée et du sulfate contenu dans l'eau. Cette étape se réalise rapidement, parfois en quelques heures (Moletta, 2002 ; Vögeli et al., 2014).
- L'acétogénèse est la transformation des acides gras à longues chaînes, des acides gras volatils et des alcools en acide acétique, dioxyde de carbone et hydrogène grâce notamment à trois groupes de bactéries : les acétogènes productrices obligées d'hydrogène (qui sont des bactéries syntrophiques ayant pour caractéristiques d'effectuer des réactions dont les variations d'enthalpie libre standard sont positives), les bactéries homo-acétogènes, et des sulfato-réductrices qui peuvent posséder une des fonctions précédentes (Moletta, 2002). Il y a des homo-acétogènes produisant l'acétate à partir d'un substrat carboné et celles le produisant à partir de la réduction du dioxyde de carbone par l'hydrogène. La production d'hydrogène ne se poursuit que si les bactéries qui le consomment sont présentes (les bactéries homoacétogènes, méthanogènes hydrogénéophiles, sulfato-réductrices...) sinon, il y a inhibition (Moletta, 2002 ; Vögeli et al., 2014). Soulignons encore que les vitesses réactionnelles de l'acétogénèse sont lentes (Moletta, 2002 ; Vögeli et al., 2014).

16 La méthanogenèse est la transformation biochimique qui mène à la production méthane à partir de l'acide acétique ou acétates, ou du mélange hydrogène - gaz carbonique. La méthanogenèse est réalisée grâce aux archéobactéries méthanisantes ou méthanogènes dites acétoclastes ou hydrogénotrophes, respectivement (Moletta, 2010). Les premières transforment l'acide acétique en méthane et en gaz carbonique et ont des croissances lentes de 0,5 à plusieurs jours, mais conduisent généralement à environ 70 % du méthane produit à partir des matières organiques (Moletta, 2002) ; par contre, les secondes qui transforment l'hydrogène et le gaz carbonique en méthane et en eau, aussi appelées hydrogénophiles ont des temps de dédoublement de l'ordre de quelques heures (Moletta, 2002). Les archéobactéries méthanogènes sont des microorganismes anaérobies stricts très sensibles au changement du milieu et souvent considérées comme des extrémophiles en raison de leur grande différence physiologique par rapport aux bactéries de l'environnement (Moletta, 2010).

Apport et maîtrise de la méthanisation à l'échelle industrielle

17 La méthanisation est appliquée aux traitements des déchets organiques afin de les éliminer en produisant de l'énergie sous forme du biogaz ou des fertilisants ou pour atteindre simultanément tous les objectifs précités. Ainsi, les déchets végétaux peuvent être traités par cette voie. À cet effet, l'énergie et le fertilisant ainsi produits sont dits « verts » (Moletta, 2008_b). La digestion anaérobie, malgré sa cinétique lente, donne de bons résultats dans les digesteurs anaérobies au sens strict du terme (Vasel, 1992 ; Vasel, 2007 ; Moletta, 2008_a). Pour qu'une méthanisation s'effectue dans les bonnes conditions, il faut sélectionner les déchets, respecter et contrôler un certain nombre de paramètres physico-biochimiques, notamment la nature du substrat, les nutriments, la surface de contact, le pH, le pouvoir tampon, l'anaérobiose, l'humidité, la pression, l'agitation, l'ensemencement, l'immersion du contenu du digesteur, les substances toxiques... Certains de ces paramètres sont décrits ci-après :

- La nature du substrat et nutriment : Théoriquement, toute matière organique peut se décomposer en méthane et dioxyde de carbone, mais en pratique la lignine et autres métabolites secondaires végétaux (les saponines et les tannins) surtout s'ils contiennent des cycles aromatiques, etc. sont toxiques aux méthanogènes et ne se décomposent pas en digestion anaérobie (Chen et al., 2008 ; Mata-Alvarez, 2003 ; Vögeli et al., 2014). Toutefois, les saponines à faibles doses peuvent stimuler la méthanisation (Patra et al., 2012). En plus des substrats organiques qui serviront de sources d'énergie pour la croissance, les micro-organismes ont besoin de macroéléments comme l'azote, le phosphore, le soufre... et d'oligoéléments (micronutriments) comme des vitamines, l'iode ou des métaux nécessaires aux fonctionnements des coenzymes (Fe, Co, Mn, Cu, Zn, Al, Mo, B, Ni, W, Se...) à des teneurs généralement inférieures au milligramme par litre (Larry et Yee-Chak Fung, 1989 ; Moletta, 2008_a). En général, on considère que pour une bonne mise en œuvre de la digestion anaérobie, la DCO et les teneurs en azote et phosphore doivent être dans un rapport d'environ 600/7/1 (Mata-Alvarez, 2003 ; Moletta, 2008_a). On parle aussi très fréquemment du rapport entre le contenu en carbone et en azote (C/N) dont la marge pour une biométhanisation optimale diverge : 16 à 25 selon Deublein and Steinhauser (2011) cité par Vögeli et al.,(2014) ou 20 à 30 selon Mital (1996) cité par Kamdem et al.,(2013). L'activité méthanogène reste cependant tout à fait acceptable lorsque ce rapport est situé entre 15 et 35 (Frédéric et Lugardon, 2007).
- La surface de contact : pour une méthanisation optimale, la surface de contact entre les microorganismes et le substrat doit être la plus élevée possible. Cependant, pour des raisons technico-économiques le broyage du substrat à l'échelle industrielle se limite généralement à un diamètre maximal des particules de l'ordre de 5 cm (Vögeli et al., 2014).
- Le pH et le pouvoir tampon : le pH d'opérationnel pour la microflore méthanogène doit se situer entre 6,7 et 7,6 (Kroeker et al., 1979 ; Chen et al., 2008). Le milieu est stabilisé proche de la neutralité par un mélange tampon. À défaut et quand il y a beaucoup plus de bactéries acidifiantes que méthanisantes, il y a accumulation d'acides gras volatils entraînant une baisse de pH et menant à un blocage de la production du gaz au pH

inférieur à 6.7. Pour éviter ce problème, on ajoute une base diluée (la soude ou la potasse ou le carbonate de sodium) au milieu pour ajuster le pH proche de la neutralité. En milieu basique, la production parasite de l'ammoniac est favorisée au pH supérieur à 7,6. Si la production d'acides gras volatils ne parvient pas à maintenir le pH aux environs de 7, dans ce cas, le milieu sera acidifié par exemple par l'acide phosphorique (Moletta, 2008_a).

18 L'alcalinité et les AGV : L'alcalinité mesure le pouvoir tampon du milieu et donc sa capacité de maintenir le pH stable. Le carbonate joue non seulement le rôle de pouvoir tampon, mais contribue aux équilibres des diverses formes du gaz carbonique dissous (Moletta, 2008_a). L'alcalinité d'un milieu dépend de la concentration en AGV, en bicarbonates et parfois en ammonium (Moletta 2008_b). Un substrat riche en azote organique produira dans le milieu de l'azote ammoniacal contribuant à la génération de l'alcalinité et permettant la stabilité du milieu (Moletta, 2008_a, Moletta 2008_b). Dans tous les cas, la plus grande part de l'alcalinité est assurée par le bicarbonate. Cette alcalinité doit être relativement élevée de l'ordre de 1000 à 4000 mg CaCO₃/l pour une bonne méthanisation (Moletta, 2008_a; Moletta, 2008_b, Korres et al., 2013). Les alcalinités sont partielles (pH final : 5,75) et totales (pH final : 4,3) et sont mesurées par titrimétrie au moyen de l'acide chlorhydrique. Les AGV sont détectables qualitativement et quantitativement, soit hors-ligne par chromatographie en phase gazeuse (CPG) ou liquide de haute performance (HPLC), soit par des capteurs en ligne permettant une mesure indirecte par titrimétrie ou par spectrométrie infrarouge (Moletta, 2008_b). L'accumulation des AGV dans le milieu traduit l'inhibition de la méthanisation (Moletta, 2008_b).

- L'humidité : Pour un bon développement des bactéries, l'humidité du milieu doit être au moins de 50 %. Cette humidité est acquise grâce à l'ajout de l'eau.
- La température : l'activité enzymatique dépend de la température. Les bactéries méthanisantes croissent dans les zones de température suivantes : Les bactéries psychrophiles croissent entre 0 °C et 20 °C avec un optimum entre 12 °C et 15 °C ; Les bactéries mésophiles croissent entre 20 °C et 40 °C avec un optimum entre 32 °C et 37 °C ; Les bactéries thermophiles croissent entre 40 °C et 65 °C avec un optimum entre 50 °C et 55 °C. La stabilité de la température est très importante. Le changement de plus de 2 °C/jour peut être fatal pour la stabilité de l'activité méthanogènes.
- L'anaérobiose et le potentiel d'oxydoréduction : les bactéries méthanogènes sont strictement anaérobies (archéobactéries). Elles sont peu nombreuses, car leur reproduction est lente et extrêmement sensible à la présence de l'oxygène. Par contre, les bactéries acidifiantes sont anaérobies strictes ou facultatives. Ces bactéries présentes dans l'inoculum permettent de créer l'anaérobiose en consommant l'oxygène dans un digesteur hermétiquement fermé dans les premiers jours de la méthanisation (période latente) (Mambanzulua et al., 1999). Cette anaérobiose est quantifiable grâce à la mesure du potentiel d'oxydoréduction qui doit se situer à des valeurs négatives très basses inférieures à -250 mV et peut baisser jusqu'à -600 mV dans certaines conditions (Moletta, 2002, Moletta, 2008_a, Moletta, 2010) ; puisque la formation de méthane à partir des matières organiques est une réaction de réduction. Le carbone est alors à son étage d'oxydation le plus bas (-4) dans le méthane.
- La pression : l'augmentation de la pression dans le digesteur défavorise la méthanisation. Une légère surpression dans le digesteur est très importante pour que l'air n'y pénètre pas.
- L'agitation : l'agitation du contenu du digesteur assure une solubilisation rapide du substrat, un transfert rapide de l'oxygène dans le liquide, un bon contact entre les bactéries et le substrat et une homogénéité de la température. Elle empêche, en outre, la formation de la croûte en surface et facilite la libération de gaz.
- L'ensemencement : le démarrage de la méthanisation se fait presque toujours par ajout des bactéries méthanisantes contenues dans les lisiers, fumiers, boues de lacs ou de marais (Mambanzulua et al., 1999).

Potentialités de méthanisation des feuilles de MU et de MI

19 Les feuilles mortes constituent une partie importante de biodéchets solides de Kinshasa. Les plus visibles et les plus accessibles sont les feuilles de MU et MI. En dépit des inhibiteurs potentiels qu'elles contiennent, elles peuvent être éliminées par méthanisation pour la production d'énergie verte et d'un engrais biologique. Les déchets végétaux contiennent typiquement une teneur en composés lignocellulosiques élevée, ayant souvent un rapport C/N défavorable ou une teneur élevée en lignine. Par conséquent la production du biogaz est généralement faible durant la méthanisation de végétaux seuls ou on assiste progressivement à un ralentissement de la méthanisation (Chen et al., 2008 ; Hernandez et al., 2008). Une des premières étapes importantes est donc de connaître le rapport C/N du substrat végétal à méthaniser. Les données du Tableau 2 montrent que les feuilles de MI seraient riches en carbone et celles de MU riches en azote. Ainsi, les premières auraient un rapport C/N plus élevé que les secondes. En outre, pour permettre leur croissance et leur métabolisme les bactéries comme tous les autres microorganismes requièrent des éléments nutritifs essentiels. Heureusement, la plupart de ces éléments (Na, K, Ca, Cu, Fe, Co...) se trouvent en quantité suffisante dans la plupart des végétaux pour permettre une activité biologique normale (Moletta, 2008_a). Le Tableau 2 montre que les teneurs en cendres (ensemble d'éléments minéraux) des feuilles de MI et MU seraient dans le même ordre.

Tableau 2. Compositions chimiques sommaires des feuilles de MU et MI (Lebas, s.d.) / Summary chemical compositions of MU and MI leaves

	Principaux constituants des feuilles (% MS)				
	Celluloses brutes	Lipides	Protéines brutes	Cendres	Autres
MI	30	5	10	12	43
MU	26	6	30	9	39

20 Pour mener à bien la méthanisation de végétaux particuliers, il est également crucial de bien prendre conscience que les microorganismes ne peuvent que se développer dans une gamme de conditions physico-chimiques bien définies. Ils sont perturbés, voire détruits si un produit est en trop forte quantité ou manque, ou s'ils sont en présence d'une molécule toxique qui agit à de très faibles concentrations. Cette toxicité ou inhibition se traduit le plus souvent par les caractéristiques classiques de déstabilisation des digesteurs par l'accumulation d'hydrogène et des acides gras volatils. Cette accumulation entraîne une chute du pH (Moletta, 2002). En effet, lorsque tous les paramètres relatifs aux conditions optimales sont fixés, la lenteur et/ou l'inhibition lors de la méthanisation des déchets végétaux peuvent être attribuées à certaines substances gênantes initialement présentes dans les déchets végétaux ou issues du métabolisme de certaines microflores. Ces substances peuvent être organiques ou minérales. Des substances organiques qui telles que la graisse, la lignine, la résine ou autres substance organiques présentes dans les végétaux ayant des propriétés antimicrobiennes peuvent également être responsables de la lenteur de la méthanisation (Vasel, 1992 ; Vasel, 2007 ; Chen et al., 2008 ; Kamdem et al., 2013). Les effets retard ou effets inhibiteurs peuvent être liés à la fois aux teneurs et à la synergie des substances bioactives (Chen et al., 2008 ; Gerardi, 2003).

21 Des études anciennes ont montré que les feuilles de MI ont une activité antimicrobienne et contiennent des saponines, des tannins et la lignine (el-Sissi et al., 1970 ; el-Sissi et al., 1971 ; Zhu et al., 1993 ; Patel et al., 1988 ; Kamra et al., 2008 ; Barreto et al., 2008 ; Masibo et al., 2009 ; Nyamangara et al., 2009). Par leur composition, les feuilles de MI sont des inhibiteurs potentiels de la méthanisation. Les concentrations des feuilles de MI méthanisables peuvent toutefois être déterminées grâce au test de potentiel de biométhanisation. De plus, la méthanisation peut être améliorée par acclimatation ou adaptation des microorganismes en utilisant comme inoculum la boue résultant de la précédente opération de méthanisation (Mambanzulua et al., 1999). Par ailleurs, la littérature montre que les végétaux difficilement biodégradables peuvent être dégradés par voie verte soit en codigestion soit en digestion en deux étapes. La codigestion vise principalement à améliorer le rapport C/N mais permet également la dilution des substances inhibitrices (Mata-Alvarez et al., 2000 ; Chen et al., 2008).

La digestion bi-étagée scinde la succession des quatre processus biochimiques en un premier étage hydrolytique et un second méthanogène (Raynal et al., 1998).

- 22 À côté des feuilles de MI, les feuilles de MU sont bien connues pour contenir des protéines, des lipides, des glucides (essentiellement d'amidon), des fibres, des cendres, des sels minéraux (Ca, P, Fe, etc.), de la vitamine A, de la thiamine, de la riboflavine et de la niacine. En outre, elles sont particulièrement riches en acides aminés essentiels (isoleucine, leucine, lysine, méthionine et cystéine, phénylalanine et tyrosine, thréonine, tryptophane, valine) (Rannou, 2000). Ces feuilles sont potentiellement favorables pour la méthanisation. Par conséquent, elles pourraient être associées à celles de MI pour obtenir une composition équilibrée du contenu du digesteur pour un développement bactérien adéquat. Dans ce sens, les feuilles doivent également être broyées pour avoir une grande surface de contact avec les microorganismes. Le broyage des feuilles à la taille du centimètre est rationnel économiquement. Il permet d'épargner l'énergie de broyage jusqu'au millimètre, car il a été prouvé que le rendement de méthanisation des feuilles réduites en poudre n'apporte pas de plus-value (Chynoweth et al., 1993). La température des digesteurs connus internationalement est très souvent fixée à 30 ou 35 °C. Cela autorise une mise en œuvre à température ambiante dans les régions à climat chaud telles que la VPK. En outre, il a été prouvé que la méthanisation à la température ambiante moyenne de 26 °C est faisable en utilisant des lisiers comme inoculum ; le lisier de vache étant le plus actif (Mambanzulua et al., 1999).
- 23 Notons encore que des prétraitements acide ou basique des matières végétales sont souvent utilisés ou envisagés avant la digestion anaérobie pour faciliter l'hydrolyse et augmenter le rendement du biogaz. Cependant, les dérivés du traitement (furfural, hydroxymethyl furfural, acides formique et levulinique) sont d'autres inhibiteurs potentiels. Des microorganismes peuvent éventuellement s'adapter ou dégrader ces dérivés inhibiteurs, mais les cinétiques des processus seront inévitablement affectées (Chen et al., 2008).

Potentiel énergétique des feuilles de MU et MI

- 24 Le biogaz est utilisé comme combustible dans les réchauds à gaz, dans les fours, dans les incinérateurs, dans les chaudières, dans l'éclairage, même en présence d'acide sulfhydrique si sa concentration est toutefois inférieure à 10 ppm (Moletta, 2008). Il est aussi utilisé comme carburant pour des moteurs à combustion interne des moulins, des motopompes, des véhicules et des groupes électrogènes. Ce travail s'intéresse sur la valeur énergétique qui représente actuellement une urgence sociale à Kinshasa. La RDC reste l'un des rares pays au monde doté d'importantes ressources hydroélectriques ; son potentiel exploitable est évalué à 774 000 GWh, soit 35 % du potentiel du continent africain et 8 % du potentiel annuel mondial (Schuru et al., 2011). Ce potentiel se traduit par une puissance exploitable connue de 88 400 MWh dont près de 44 000 MWh sont concentrés sur le barrage d'Inga sur le fleuve Congo (Kasemuana, 2007 ; Schuru et al., 2011). Cependant, ce barrage opère à 40 % de sa capacité et la plupart de sa production est exportée au lieu de servir les besoins nationaux. En outre, la SNEL connaît de grandes difficultés de maintenance des installations pour la production, le transport et la distribution de l'électricité (AfDB/OECD/ECA, 2008 ; Schuru et al., 2011). Le taux d'accès à l'électricité dans le pays est estimé à une moyenne de 6 %, dont 1 % pour les zones rurales et 5 % pour les zones urbaines (RDC, 2006 ; Schuru et al., 2011).
- 25 En 2010, la VPK a consommé au total 490 000 tonnes charbon de bois, soit environ 4,7 millions m³ de bois et 60 384 tonnes de bois de chauffe ou 85 700 m³ de bois (Schure et al., 2011). Ainsi, la quantité totale de bois énergie consommée à Kinshasa pour l'année 2010 est ainsi estimée à près de 4,8 millions m³ de bois soit 550 384 tonnes de bois énergie, représentant une valeur de 118 milliards de franc congolais (143 millions de dollars américains). La ventilation des sources d'énergie consommées par le ménage kinois est reportée dans le Tableau 3 (Schure et al., 2011). Dans la VPK, presque tous les habitants consomment le bois énergie. Cette consommation est qualifiée d'hécatombe écologique, car le déboisement provoqué par les besoins annuels en combustible ligneux à Kinshasa sont très élevés. Ces besoins engendrent une dégradation annuelle de forêts qui correspondrait aux données suivantes : pour le bois de chauffe, les superficies de la forêt claire, la forêt claire muhuluteuse, la forêt dense et

sèche déboisées annuellement sont respectivement 204,5 km², 272,7 km² et 511,3 km² (Shuku, 2011). D'autre par, concernant la consommation en charbon de bois, la déforestation annuelle correspondante est de 485,2 km² de forêt claire, 485,2 km² aussi pour la forêt claire muhuluteuse et 942,8 km² de forêt dense et sèche (Shuku, 2011). La forêt déjà dégradée, quant à elle, est amputée annuellement de 58 439 ha pour les besoins en bois de chauffe et de 18 857 ha pour les besoins en charbon de bois. En réalité, de tels rythmes annuels représenteraient rapidement une catastrophe pour les écosystèmes forestiers de la région de Kinshasa et ceux du Bas-Congo et de Bandundu qui, d'ailleurs, subissent déjà cette agression de manière croissante depuis plus d'un siècle. Mais hélas, sans aucun programme de suivi et de soutien à l'aménagement forestier, il est quasi impossible de contrer ou de réduire la vitesse avec laquelle se fait le déboisement de la ceinture verte (Shuku, 2011 et Kassay, 2010). Le seul moyen pourrait être la valorisation des énergies renouvelables moins coûteuses. Pour ce faire, une transformation de la biomasse bon marché ou gratuite en l'occurrence les déchets les plus accessibles en une forme énergétique facilement utilisable. Ainsi, nous avons les déchets végétaux dont les plus disponibles sont les feuilles de MI et de MU qui pourraient être transformées en énergie par production du biogaz.

Tableau 3. Sources d'énergie utilisées pour la cuisson par le ménage dans la VPK / Sources of energy used for cooking by household in the VPK.

Source d'énergie	Consommation en % par ménage kinois
Charbon de bois	75
Bois de chauffe	12
Électricité	12
Pétrole	1

Source : Shure et al., 2011.

26 Le biogaz est essentiellement constitué du méthane ayant un pouvoir calorifique exploitable comme les bois et autres énergies fossiles. Selon Gunaseelan (2004), les pouvoirs méthanogènes des feuilles exprimés en volume de méthane (CH₄) par rapport au solide volatil (SV) varient de 0,12 à 0,43 m³ CH₄/kg SV selon leurs compositions chimiques. Les feuilles renfermant des quantités élevées de composés antimicrobiens possèdent des pouvoirs méthanogènes bas (Gunaseelan, 1997). Les Tableaux 2 et 4 nous montrent respectivement les compositions chimiques sommaires des feuilles de MI et de MU et les pouvoirs calorifiques des différents combustibles (Shuku, 2011). En effet, la production annuelle de méthane à partir des feuilles et son pouvoir calorifique inférieur peuvent être estimés en se basant sur les valeurs en possession. Ainsi, les feuilles de MU considérées comme favorables à la méthanisation auraient comme pouvoir méthanogène 0,43 m³ CH₄/kg SV tandis que les feuilles de MI auraient 0,12 m³ CH₄/kg SV. En supposant que les déchets végétaux sont constitués uniquement des feuilles de MU ou MI, celles-ci représenteraient 94 % des déchets organiques. À l'échelle de la ville, sachant que selon les informations fournies dans la section « gestion des déchets » les déchets organiques représentent 66 % de déchets solides et qu'une personne produit journalièrement 600 g de déchets contenant 70 % de matière sèche selon les informations fournies dans le sous-titre « gestion des déchets ». Alors, en 2015, la ville produirait par an (366 jours) environ 1,4 millions de tonnes de déchets des feuilles mortes brutes, soit environ 1 million de tonnes de déchets secs. La production annuelle des déchets ainsi estimés, la consommation annuelle du bois énergie estimée donnée précédemment dans ce sous-titre et les données des Tableaux 2, 3, et 4 ont permis de déterminer les pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) totaux annuels des feuilles, du bois énergie, du pétrole et de l'électricité reportés au Tableau 5, en supposant que le bois énergie n'est consommé que par le ménage.

Tableau 5. Potentiels énergétiques totaux annuels estimés produits issus des feuilles ou consommés issus du bois énergie, du pétrole et de l'électricité dans la VPK / Annual total energetic potentials considered produced coming from leaves or consummate coming from wood, oil and electricity in the VPK

Sources d'énergie	PCI total annuel (kJ)
-------------------	-----------------------

Méthane de MU	1 291 200 x 10 ⁷
Méthane de MI	372 619 x 10 ⁷
Bois énergie	963 029 x 10 ⁷
Pétrole	11 068 x 10 ⁷
Électricité	132 832 x 10 ⁷

- 27 Ainsi, il ressort que le potentiel énergétique annuel des déchets végétaux de la VPK est estimé à 372 619 x 10⁷ kJ et 1 291 200 x 10⁷ kJ en considérant uniquement les feuilles de MI et de MU, respectivement. Ces valeurs représenteraient 39 % et 134 % de la consommation annuelle du bois énergie, respectivement pour les feuilles de MI et MU. Les feuilles de MU possèderaient un potentiel énergétique supérieur à celui des feuilles de MI et qui dépasserait de 16 % la consommation énergétique totale du ménage kinois issue de différentes sources d'après les Tableaux 3 et 4. La valeur énergétique de MU ou MI ainsi estimée est quelque peu surévaluée ; la valeur exacte peut être calculée à partir du potentiel méthanogène expérimental et de la teneur exacte des feuilles de MI ou MU dans les déchets.

Valorisation des digestats de la méthanisation

- 28 La question des engrais chimiques a été étudiée pendant plus de dix ans dans les années 1980 par le Programme national engrais (PNE) soutenu par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) sur financement belge et le Service national de fertilisants et intrants connexes (SENAFIC) (Tollens, 2004). Pour la plupart des cultures, une bonne réponse aux applications d'engrais a été trouvée. Mais, le coût des engrais chimiques pose des problèmes. Leur importation au Congo ainsi que leur acheminement auprès des utilisateurs sont très onéreux. D'autre part, le secteur privé est peu ou pas intéressé par ce commerce, le marché étant trop restreint et trop instable. Comme l'application d'engrais s'avère rentable dans les cultures maraîchères, on peut utiliser les engrais biologiques au profit d'une agriculture écologique familiale intensive. La réalisation de ce projet est possible grâce aux avantages naturels que la VPK dispose tels que le climat et la biomasse végétale gratuite. Les résidus issus de la méthanisation de la biomasse végétale seront valorisés. Ces résidus appelés digestats constituent d'excellents engrais organiques plus riches que les composts. En effet, ils possèdent une action du type engrais minéral du fait de la minéralisation de la matière organique et par la fraction d'azote disponible (Moletta, 2008_b). Ils peuvent ou non être séparés en liquide et solide. Dans ce cas, ils sont utilisés par épandage sur le sol à fertiliser. La quantité de digestat produite après la méthanisation des feuilles de MU ou de MI est estimée en soustrayant de la masse sèche initiale celle qui correspond au potentiel de biogaz produit t. Elles se lèveraient à 524 069,3 tonnes et 829 700,6 tonnes de matières sèches respectivement pour les feuilles de MU et MI. Bahri et Houmane (1987) ont prouvé qu'on peut épandre par an sur un sol pauvre acide jusqu'à 30 tonnes de matières sèches de boues par hectare. En procédant de la sorte, les digestats des feuilles de MU et MI couvriraient annuellement respectivement 17 469,9 et 27 656,7 hectares soit environ 174,699 et 276,567 km². Ainsi, ces valeurs représenteraient respectivement pour les digestats des feuilles de MU et MI presque 4,8 % et 7,5 % de la superficie totale des forêts détruites par la consommation du bois énergie (Shuku, 2011). Par contre, ces digestats pourraient être épandus en excès sur la surface agricole totale de VPK estimée à 5 511 ha ou 55,11 km² et comprenant : 3 000 ha d'étendue totale de la ferme présidentielle ou ex-Domaine agro-pastoral et industriel présidentiel de la N'Sele (DAIPN) (Primature, 2013), 720 ha d'espace total des vallées aménagées pour le maraichage à travers toute la VPK et 1791 ha de superficie totale des jardins parcellaires des habitations (en admettant que chaque ménage kinois est formé de 6,7 membres et possède 24 m² de plate-bande pour le maraichage selon les objectifs du projet de l'ONG « Jardins et Élevages de Parcelle, JEEP en sigle ») (Mbuangi et al., 2005 ; Makungu, 2006). L'apport des digestats contribuerait à maintenir la biomasse microbienne, le stock de matières organiques et minérales dans le sol acide de la VPK. En se basant sur la composition de chacune des feuilles, le digestat des feuilles de MU fournirait un fertilisant riche en azote tandis que celui des feuilles MI serait pauvre en azote. Dans ce cas, il pourrait être utilisé en association avec un fertilisant azoté ou

seul pour la biorestauration de sites dégradés ou contaminés et pour la stabilisation des pentes, comme milieu filtrant (Charland et al., 2001 ; Mulaji, 2011).

- 29 Le digestat des feuilles de MI serait riche en carbone et en lignine ; déshydraté et séché serait un combustible de moindre qualité, alternatif au bois énergie. Généralement, un digestat solide possède un pouvoir calorifique supérieur à celui du substrat d'où il est issu. En outre, la lignine potentiellement présente dans les feuilles de MI possède un pouvoir calorifique élevé comparativement à ceux d'autres polymères végétaux. Ce pouvoir est supérieur à celui du bois et correspond en masse équivalente à 60 % de l'énergie du pétrole (Tableau 4).

Tableau 4. Pouvoirs calorifiques inférieurs de certains combustibles / Lower heating value of some fuels

Combustibles	Pouvoir calorifique
Bois (kJ/kg)	18 828
Charbon de bois (kJ/kg)	28 033
Mazout (kJ/kg)	46 024
Pétrole (kJ/kg)	48 116
Essence (kJ/kg)	48 116
lignines (kJ/kg)	26 640
Alcool à brûler (kJ/kg)	25 104
Gaz naturel (kJ/m ³)	58 576
Hydrogène (kJ/m ³)	12 552
Méthane (kJ/m ³)	35 780
Biogaz contenant 60 % de méthane (kJ/m ³)	21 460

Source : Shuku, 2011 ; Pouzet, 2011.

Mode de collecte adapté aux feuilles de MI et MU

- 30 La collecte des feuilles de MI et MU ne serait pas compliquée puisque leurs sources de production à grande échelle sont différentes et identifiées. Il y a déjà naturellement une ségrégation évidente. Les feuilles de MI sont surtout générées aux jardins et dans les parcelles d'habitations. Par contre, les feuilles de MU proviennent des marchés et des ménages. Même si dans certaines circonstances les deux déchets pourraient provenir des parcelles d'habitation, la séparation est facile à réaliser, car les feuilles de MI tombent d'arbre tandis que celles de MU résultent du rebut lors de leur cuisine. En outre, elles sont facilement distinguables et leur proportion est facilement estimable pour une codigestion par exemple. Il est important aussi que les lieux de génération présentent très peu de risque de contamination en substances toxiques. Ainsi, pour atteindre les objectifs de la valorisation, la ségrégation à la source entre les feuilles et d'autres déchets est primordiale. Les autres déchets organiques pourraient être associés après avoir vérifié leurs potentiels de méthanisation. Une séparation manuelle ou par aimantation est aussi requise pour enlever les inertes (plastique, caoutchouc, pierre, sables, métaux...) dans le cas des mélanges des déchets organiques avec d'autres. Ces feuilles pourraient être stockées, étalées à l'air libre dans un endroit sec ou le cas échéant introduites directement dans un digesteur après broyage. Pour réduire les difficultés économiques et la pollution dues aux transports motorisés, la collecte, le traitement et l'utilisation des produits se réaliseraient à proximité de leurs lieux de génération.

Conclusion

- 31 Il découle de ce travail qu'il est envisageable de convertir par méthanisation les déchets végétaux produits annuellement dans la VPK en énergie renouvelable non polluante. Toutefois, vu la composition des feuilles de MI présentant un potentiel d'inhibition des processus biochimiques, il est souhaitable de les gérer en codigestion avec les feuilles de MU qui sont potentiellement favorables à la méthanisation.
- 32 L'énergie qui pourrait être générée serait capable de réduire de 39 % à 100 % la consommation annuelle en bois énergie ou de couvrir la consommation énergétique totale issue des différentes sources dans le ménage kinois. De plus, les digestats issus du processus de méthanisation constituent un excellent engrais utile pour la mise en place une écoagriculture familiale

intensive périurbaine ou urbaine. Ces allégations se justifient par le fait que les digestats seraient en quantité suffisante pour fertiliser annuellement par épandage l'ensemble de superficies champêtres et une partie des étendues déboisées. Les utilisations potentielles du digestats sont multiples, outre les applications agronomiques, ils peuvent aussi être utilisés dans la biorestoration de sites dégradés ou contaminés et dans la combustion. Cela prouve que même la valorisation rationnelle des feuilles mortes des forêts périurbaines pour produire du méthane et des fertilisants pourrait bien contribuer à éviter ou à réduire leur destruction et à restaurer leurs parties dévastées. Or, dans l'évaluation des déchets végétaux produits par la VPK, les déchets forestiers périurbains ne sont pas pris en compte. Ainsi, des études peuvent être menées pour apprécier les déchets méthanisables engendrés par des exploitations forestières.

- 33 Ces estimations nous révèlent que le retour au sol des déchets végétaux et la production énergétique simultanément, constituent sans aucun doute la filière la plus logique de leur élimination en raison de leur valeur agronomique et énergétique. Cependant, l'innocuité de ces produits doit être garantie comme critères de qualité en terme de concentrations en polluants et indésirables tel qu'exigé dans les réglementations mises en place dans beaucoup de pays du Nord. Pour des pays en développement comme la RDC, il est important d'adapter leurs systèmes de gestion des déchets aux conditions locales en utilisant les instruments de gestion simples, mais efficaces. Ainsi, l'incitation au tri à la source et éventuellement à la valorisation à domicile des déchets par méthanisation peut se montrer globalement plus efficace par rapport au tri et à la méthanisation industriels. Cette possibilité conduirait à l'assainissement de l'environnement, réduirait les risques des maladies, répondrait partiellement aux problèmes liés à la pauvreté, à la sécurité alimentaire et à la protection durable de la forêt.

Remerciements

- 34 Nous remercions la Coopération technique belge pour son appui financier à la réalisation de ce travail.

Bibliographie

African Development Bank, Organisation for Economic Co-operation and Development and Economic Commission of Africa (AfDB/OECD/ECA), 2008, Democratic Republic of Congo : country notes, dans : African Economic Outlook, AfDB/OECD/ECA, p. 242-255

Amegnan, Y.C., 2009, Problématiques de la gestion des déchets solides en Afrique : 26 octobre 2009 Formation sur la gestion des déchets dans les villes Africaines : 26 - 30 octobre 2009 à Ouagadougou. [En ligne] URL : http://www.cifalouaga.org/pres_dechets/Module/prob_crepa. Consulté le 7 octobre 2013.

Baert, G., J. Embrechts, M. De Dapper et M. Mapaka, 1991, Cartographie des sols, évaluation des terres. Feuille de Kinshasa, Étude de la reconnaissance au 200.000 ème. Texte explicatif n° 7. Région : Kinshasa, Sous-région : Lukaya, Catarctes, Université de l'État de Gand (ITC), A.G.C.D.

Bagalwa, M., K. Karume, N.G. Mushagalusa, K. Ndegeyi, M. Birali, N. Zirirane, Z. Masheka, C. Bayongwa, 2013, Risques potentiels des déchets domestiques sur la santé des populations en milieu rural : cas d'Irhambi Katana (Sud-Kivu, République Démocratique du Congo), Vertigo- la revue électronique en sciences de l'environnement, 13, 2 [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/14085>, doi : 10.4000/vertigo.14085. Consulté le 20 janvier 2014.

Bahri, A. et B. Houmane, 1987, Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduaires sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie, Science du sol Plaisir-France, 25, 4, pp. 267-278.

Barreto, J.C., M.T.S. Trevisan, W. E. Hull, G. Erben, E.S de Brito, B. Pfundstein, G. Würtele, B. Spiegelhalder et R.W. Owen, 2008, Characterization and quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.), Journal of agricultural and food chemistry, 56, 14, pp. 5599-5610.

Biey, M.E., 2001, Small-scale biotreatment of domestic refuse, Thesis doctor in applied biological sciences, Faculteit Landbouwkundje en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent

Buffiere, P., M. Carrere, O.Lemaire et J. Vasquez, 2007, Guide méthodologique pour l'exploitation d'unités de méthanisation de déchets solides : Projet METHAPI-Expertise, Centre de Recherche Propreté et Energie, p 29, [En ligne] URL : http://ec.europa.eu/.../project/Projects/index.cfm.Methapi_Guide, Consulté 20 janvier 2014.

- Charland, M., S. Cantin, M.A. St Pierre et L. Côté, 2001, Recherche sur les avantages à utiliser le compost, Dossier CRIQ 640-PE27158 (R1), Rapport final, Recyc-Quebec, 35 p.
- Chen, Y., J.J. Cheng et K.S. Creamer, 2008, Inhibition of anaerobic digestion process : a review, *Bioresource Technology*, 99, pp. 4044–4064.
- Chynoweth, D.P., C.E. Turick, J.M. Owens, D.E. Jerger et M.W. Peckq, 1993, Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks, *Biomass and Bioenergy*, 5, pp. 95-111.
- Compère, P., 1970, Cartes des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi, Bas-Congo. B, Notice explicative de la carte de la végétation, I.N.E.A.C., Bruxelles, p. 35.
- Dahouda, M., S.S. Toleba, A.K.I. Youssao, A.A. Mama Ali, S. Ahounou et J.L. Hornick, 2009, Utilisation des cossettes et des feuilles de manioc en finition des pintades (*Numida meleagris*, L) : performances zootechniques, coûts de production, caractéristiques de la carcasse et qualité de la viande. *Ann. Méd. Vét*, 153, pp. 82-87.
- Deublein, D. et A. Steinhauser, 2011, *Biogas from waste and renewable resources : an introduction*, Wiley -VCH Verlag GmbH & Co, KGaA.
- El-Sissi, H., M.S. Ishak, M.S. el-Wahid et M.A. el-Ansari, 1971, The gallotannins of *Rhus Coriaria* and *Mangifera india*, *Planta-Medica*, 19, 4, pp. 342-351.
- El-Sissi, H.I. et N.A. Saleh, 1970, Phenolic components of *Mangifera indica*, *IV Planta Med*, 18, 1, pp. 73-78.
- Esposito, G., L. A. Frunzo, Panico et G. d'Antonio, 2008, Mathematical modelling of disintegration-limited co-digestion of OFMSW and sewage sludge. *Water Sci Technol*, 58, pp. 1513–1519.
- Esposito, G., L. Frunzo, F. Liotta, A. Panico et F. Pirozzi, 2012, BMP tests to measure the biogas production from the digestion and co-digestion of Complex organic substrates, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 5, pp. 1–8.
- Frédéric, S. et A. Lugardon, 2007, Méthanisation des effluents industriels liquides, *Techniques de l'ingénieur*, 943 p.
- Fry, J.L., 1977, *Méthane : Générateur à gaz méthane*, Ed. Jean Luc de Rougement, Suisse, 35 p.
- Gerardi Michael, H., 2003, *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, John Willey et Sons Inc., p 107.
- Gunaseelan V.N., 1997, Anaerobic digestion of biomass for methane production : a review, *Biomass and Bioenergy*, 13, pp. 83-114.
- Gunaseelan V.N., 2004, Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks, *Biomass and Bioenergy*, 26, pp. 389–399.
- Hernandez, J.E et R.G.J. Edyvean, 2008, Inhibition of biogas production and biodegradability by substituted phenolic compounds in anaerobic sludge, *Journal of Hazardous Materials*, 160, pp. 20–28.
- Héteu, T.M.P., 2007, *Vade mecum technique de la biométhanisation de biomasse humide pour les installations de puissance inférieure à 10 MWh*. Namur, Belgique : Bureau d'études IRCO, adapté par DEECC Consulting (Pont-à-Celles, Belgique). [En ligne] URL : http://www.riaed.net/spip.php?article544&debut_brothers=20. Consulté le 18 mai 2008.
- Hiligsmann, S., M. Lardinois, S.I. Diabaté et P.Thonart, 2006, Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud. Québec, IEPF, 121 p.
- Kamdem, I., S.Hiligsmann, C.Vanderghem, I.Bilik, M.Paquot et P.Thonart, 2013, Comparative biochemical analysis during the anaerobic digestion of lignocellulosic biomass from six morphological parts of Williams Cavendish banana (Triploid *Musa AAA* group) plants, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, pp. 2259- 2270.
- Kamra, D.N., A.K. Patra, P.N.Chatteerjee, R. Kumar, N. Agarwal et L.C. Chaudhary, 2008, Effect of plant extracts on methanogenesis and microbial profile of the rumen of buffalo : a brief overview, *Australian Journal Experimental Agriculture*, 48, pp. 175-178
- Kasemuana, S., 2007, Synthèse du rapport : Renforcer la résilience des systèmes énergétiques et des écosystèmes en République Démocratique du Congo, Observatoire de la viabilité énergétique, 40 p.
- Kassay, J.N.I., 2010, La politique publique de la gestion des espaces verts par l'hôtel de ville de Kinshasa, *Afrique et Développement*, 35, 3, pp. 13-46
- Kitenge, L., 1988, *Les industries alimentaires et textiles de Kinshasa et leurs aires d'influence*, mémoire de licence, Kinshasa, Institut Pédagogique National, Kinshasa- Binza, 78 p.
- Korres, N.E., P.O' Kiey, J.A.H Benzie et J.S.West, 2013, *Bioenergy Production by Anaerobic Digestion : Using agriculture biomass and organic wastes*, Routledge, New York and London, 442 p.

- Kroeker, E.J., D.D. Schulte, A.B. Sparling et H.M. Lapp, 1979, Anaerobic treatment process stability, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 51, pp. 718– 727.
- Lebas, F., s.d., Plantes tropicales utilisables comme fourrage pour les lapins (article en complément du : A.Y. Djago, M. Kpodekon et F. Lebas, 2007, Méthodes et techniques d'élevage : Elevage du lapin en milieu tropical, Ed. Association Cuniculture, France), 84 p.
- Makumbelo, E., L. Lukoki, J.Sj.Paulus et N. Luyindula, 2002, Inventaire des espèces végétales mises en culture dans les parcelles en milieu urbain. Cas de la commune de Limete - Kinshasa - R. D. Congo, *Tropicultura*, 20, 2, pp. 89-95.
- Makungu M., N., 2006, Le volet « développement » dans une action humanitaire : une expérience à Kinshasa (République Démocratique du Congo), [En ligne] URL : <http://www4.uqo.ca/observer/DevLocal/Initiatives/Internationales/Kinshasa.pdf>, consulté le 14 décembre 2014.
- Mbona, M., 1999, La problématique des déchets agricoles dans la ville de Kinshasa, *Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige En Toegepaste Biologische Wetenschappen*, vol. 64, pp. 41-44
- Mambanzulua, N., K. Kayembe et V. Noki, 1999, Détermination des activités méthanogéniques spécifiques des lisiers dans le traitement anaérobie des déchets, *Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige En Toegepaste Biologische Wetenschappen*, vol. 64 num.1, pp. 183-188.
- Masibo, M. et Q. He, 2009, In vitro antimicrobial activity and the major polyphenol in leaf extract of *Mangifera Indica* L. *Malaysian Journal of Microbiology*, 5, 2, pp. 73-80.
- Mata-Alvarez, J., S. Macé et P. Llabrés, 2000, Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives, *Bioresource Technology*, 74, pp. 3-16.
- Mata-Alvarez, J., 2003, Fundamentals of the anaerobic digestion process. Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, IWA publishing, pp. 1-20.
- Mayele, I., 2008, Les principales causes et perspectives de développement pour la lutte contre la pauvreté urbaine à Kinshasa, [En ligne] URL : http://www.memoireonline.com/04/12/5773/m_Les-principales-causes-et-perspectives-de-developpement-pour-la-lutte-contre-la-pauvrete-urbaine-9.html. Consulté le 14 décembre 2014.
- Mbuangi, M.L., L.Senda, N.D. komba, 2005, Monographie de Kinshasa, [En ligne] URL : http://ruralcongo.cd/minider/images/pdf/kinshasa_monographie.pdf.
- Mital, K.M., 1996, *Biogas systems: principles and applications*, New Age International Publishers Limited, New Delhi
- Moletta, R., 2002, La méthanisation de la matière organique, Aspects généraux, [En ligne] URL : <http://rene.moletta.perso.sfr.fr/>. Consulté le 25 septembre 2013.
- Moletta, R., 2008_a, Méthanisation de la biomasse, *Techniques de l'Ingénieur*, Editions T.I., Paris, 21 p.
- Moletta, R., 2008_b, La méthanisation, Editions Tec et Doc, Paris, 532 p.
- Moletta, R., 2010, Méthanisation de la biomasse, *Techniques de l'Ingénieur*, Editions T.I., Paris, 21 p.
- Mulaji, K.C., 2011, Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la Province de Kinshasa (Rép. Dém. du Congo), Thèse de Doctorat, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique, 190 p.
- Nyamangara, J., F. Mtambanengwe et C. Musvoto, 2009, Carbon and nitrogen mineralization from selected organic resources available to smallholder farmers for soil fertility improvement in Zimbabwe, *African Journal of Agricultural Research* vol. 4 (9), pp. 870-877.
- Lelo, N., 1999, La gestion des déchets domestiques : bilan annuel d'une expérience pilote de l'hôtel de ville de Kinshasa, *Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige En Toegepaste Biologische Wetenschappen*, 64,1, pp. 107-114.
- Lelo, N., 2008, *Kinshasa : Ville et environnement*. Édition Harmattan, Paris, 281 p.
- Organisation mondiale de la santé (OMS), 1994, La lutte contre les insectes et les rongeurs par l'aménagement de l'environnement, OMS, Genève, 85 p.
- Pangu, S.Z., G.Shidi et M.V. Kabuyaya, 1999, Problématique de l'enlèvement des déchets solides à Kinshasa : les moyens mis en œuvre, 16 p, *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent*, 64,1, pp. 273-289
- Patel, V.K. et B.H. Venkatakrishna, 1988, Folklore therapeutic indigenous plants in periodontal disorders in India (review, experimental and clinical approach), *International Journal of Clinical Pharmacology Therapy and Toxicology*, 26, 4, pp. 176-184.

- Patra, A.K., J. Stiverson et Z. Yu, 2012, Effects of quillaja and yucca saponins on communities and select populations of rumen bacteria and archaea, and fermentation in vitro, *Journal of Applied Microbiology*, 113, pp. 1329-1340.
- Pouzet, D., 2011, Production durable de biomasse - La lignocellulose des poacées, Editions Quae, 224p.
- Primature, Cabinet du Premier ministre (République Démocratique du Congo), 2013, Sécurité alimentaire : Gouvernement et LR GROUP signent deux contrats pour relancer le DAIPN, [En ligne] <https://www.primature.cd/public/securite-alimentaire-gouvernement-et-lr-group-signent-deux-contrats-pour-relancer-le-daipn>, consulté le 11 décembre 2014.
- Rannou, M. J-N., 2000, Les richesses du sol, les plantes à racines et tubercules en Afrique : une contribution au développement des technologies de récolte et d'après-récolte, DES, GTZ, Feldafing Allemagne, 242 p.
- Raynal, J., J. P. Delgenks et R. Moletta, 1998, Two-phase anaerobic digestion of solid wastes by a multiple liquefaction reactors process, *Bioresource Technology*, 65, pp. 97-103.
- République démocratique du Congo (RDC), 2006, Document de la stratégie de croissance et de réduction de la pauvreté (DSRP), République Démocratique du Congo, 102 p.
- Schure, J. I. Verina et A.C. Mayimba, 2011, Bois énergie en RDC : Analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani. Projet Makala/CIFOR, [En ligne] URL : <http://www.gembloux.ulg.ac.be/newsletter/newsletter10/img/Makala>, consulté le 25 septembre 2013.
- Shuku, N. O, 2011, Impact de l'utilisation de l'énergie-bois dans la ville province de Kinshasa en République Démocratique du Congo (RDC), Mémoire de maîtrise en géographie, Université du Québec à Montréal, 168 p.
- Sys, C., A. Van Wambeke et F. J. Rankart, 1961, La cartographie des sols au Congo. Ses principes et ses méthodes, Publication INEAC, Série Scient, 66 p.
- Tollens, E., 2003, Sécurité alimentaire à Kinshasa un face à face quotidien avec l'adversité, Katholieke Universiteit Leuven, Faculté des Sciences agronomiques et de la biologie appliquée, Working Paper, 82 p.
- Tollens, E., 2004, Les défis : sécurité alimentaire et cultures de rente pour l'exportation – principales orientations et avantages comparatifs de l'agriculture en R.D. Congo, Katholieke Universiteit Leuven, Faculté des Sciences agronomiques et de la biologie appliquée, Working Paper, 86 p.
- Vasel, J.L., 1992, La fosse septique, les dispositifs d'épuration, *Tribune de l'eau*, 560, 45, pp. 23-46.
- Vasel, J.L., 2007, Évolution de l'assainissement individuel : perspectives et questions en suspens, *Tribune de l'eau*, 641, 60, pp. 3-16.
- Vögeli, Y., C.R. Lohri, A. Gallardo, S. Diener et C. Zurbrügg, 2014, Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries : Practical information and case studies, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland, 135 p.
- Zhu, X.M, J.X. Song, Z.Z. Huang, Y.M. Wu et M.J. Yu, 1993, Antiviral activity of mangiferin against herpes simplex virus type 2 in vitro ; *Chung-Kuo-Yao-Li-Hseh-Pao-Acta-Pharmacologica-Sinica*, 14, 5, 4, pp. 52-454

Pour citer cet article

Référence électronique

Philippe Mambanzulua Ngoma, Serge Hiligsmann, Eric Sumbu Zola, Marc Ongena et Philippe Thonart, « Potentiel d'élimination des déchets végétaux (feuilles de Mangifera Indica et de Manihot Utilissima) par méthanisation à Kinshasa (République Démocratique du Congo) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 15 Numéro 1 | mai 2015, mis en ligne le 10 juin 2015, consulté le 08 octobre 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/15944> ; DOI : 10.4000/vertigo.15944

À propos des auteurs

Philippe Mambanzulua Ngoma

Faculté de sciences pharmaceutiques, Université de Kinshasa, Boîte postale 212, Kinshasa XI, République démocratique du Congo et Centre Wallon de biologie industrielle (CWBI), Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, 2 Passage des Déportés, 5030, Gembloux, Belgique, téléphone : 0032485963679, courriel : pmambanzuluang@yahoo.fr / pmambanzuluangoma@student.ulg.ac.be

Serge Hiligsmann

Centre Wallon de biologie industrielle (CWBI), Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, 2
Passage des Déportés, 5030, Gembloux, Belgique, courriel : s.hiligsmann@ulg.ac.be

Eric Sumbu Zola

Faculté de sciences agronomiques, Université de Kinshasa, Boîte postale 117, Kinshasa XI,
République démocratique du Congo, courriel : sumbu_zola@yahoo.fr

Marc Ongena

Centre Wallon de biologie industrielle (CWBI), Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, 2
Passage des Déportés, 5030, Gembloux, Belgique, courriel : marc.ongena@ulg.ac.be

Philippe Thonart

Centre Wallon de biologie industrielle (CWBI), Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, 2
Passage des Déportés, 5030, Gembloux, Belgique, courriel : p.thonart@ulg.ac.be

Droits d'auteur

© Tous droits réservés

Résumés

La République Démocratique du Congo produit annuellement environ 2,2 millions de tonnes de déchets dans sa capitale, Kinshasa. Ces déchets sont constitués de 66 % de matières organiques dans lesquelles 94 % sont des déchets végétaux et la majorité des feuilles mortes. Parmi ces feuilles, celles de *Mangifera Indica* et *Manihot Utilissima* sont les plus accessibles. Elles sont générées via les ménages et les marchés, mais ne sont pas recyclées convenablement. Certains maraîchers les utilisent irrationnellement comme engrais et n'obtiennent pas les résultats attendus. À cet effet, ces déchets gênent et polluent l'environnement. D'autre part, les ménages kinois éprouvent d'énormes difficultés pour s'approvisionner en énergie. La surexploitation du bois énergie entraîne la détérioration des écosystèmes et de la santé publique. Ces méfaits seraient réduits simultanément et durablement par l'exploitation rationnelle de la bioénergie et des biofertilisants résultant de la digestion anaérobie ou biométhanisation des déchets végétaux. En supposant que cette biomasse végétale est constituée uniquement des feuilles de *Mangifera Indica* et de *Manihot Utilissima*, le pouvoir énergétique du biogaz émanant de leur biométhanisation réduirait respectivement la consommation en bois énergie de 39 % et 134 %. Par ailleurs, la quantité de digestats produits couvrirait par épandage une superficie proche de celle de la déforestation. Ces estimations montrent un potentiel de valorisation de ces déchets végétaux intéressant pour l'assainissement, les besoins énergétiques, l'afforestation et l'agriculture. De ce fait, ils seraient gérés directement dans leurs lieux de génération pour minimiser les coûts de transport et de traitement industriel.

In Democratic Republic of Congo, the capital, the city province of Kinshasa produces annually about 2.2 million tons of wastes mainly constituted (66 %) of organic matters containing 94 % are vegetable wastes. *Mangifera Indica* and *Manihot Utilissima* leaves are the main components of these wastes. They are generated via the households and the markets but they are not suitably valorized. Some farmers use them like green fertilizer but they do not achieve the expected results. By this fact, these wastes embarrass and pollute the environment with negative consequences on public health. On another point of view, the Kinshasa households meet enormous difficulties to collect enough wood for their energy needs. As a consequence, the anarchical exploitation of wood entails the deterioration of the ecosystems and the public health. These negative impacts on the environment could be reduced sustainably and simultaneously by rational exploitation of bio-energy and bio-fertilizers resulting from the anaerobic digestion or methanization of this vegetable biomass. This energetic potential from methanization of *Mangifera Indica* and *Manihot Utilissima* leaves could reduce by 39 % and 134 % the wood consumption in the households respectively. Moreover by land spreading

the digestates produced would cover the deforested surface related to the yearly consumption of wood coal. These evaluations show an interesting potential of the vegetable wastes for a cleaner environment, green energy production, reforestation and agriculture. Therefore, these wastes should be sorted out and processed directly in their generation places in order to minimize the costs for transportation and industrial treatment.

Entrées d'index

Mots-clés : élimination, urbain, ville, déchets organiques, matière organique, déchets végétaux, Mangifera Indica, Manihot Utilissima, méthanisation, fertilisants

Keywords : elimination, urban, city, organic waste, organic matter, vegetable waste, Mangifera Indica, Manihot Utilissima, methanization, fertilizer