

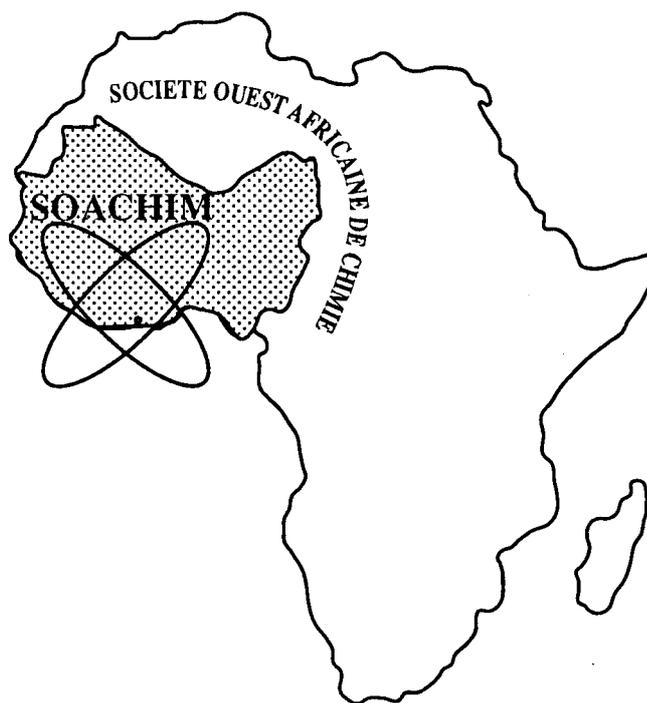
Quantification et valorisation en biogaz des boues de vidange du site d'Attidjin à Lomé.

**Ogouvidé Akpaki , Gnon Baba, Komi Edem Koledzi,
Kwamivi N. Segbeaya**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2016), 042 : 30 - 35

21^{ème} Année, Décembre 2016



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

Site Web: <http://www.soachim.org>

Quantification et valorisation en biogaz des boues de vidange du site d'Attidjin à Lomé.

Ogouvidé Akpaki^{1*}, Gnon Baba^{1,2}, Komi Edem Koledzi¹, Kwamivi N. Segbeaya^{1,2}

⁽¹⁾*Laboratoire de Gestion, Traitement et valorisation des Déchets(GTVD), Faculté des Sciences, Université de Lomé ; BP 1515 Lomé-Togo.*

⁽²⁾*Laboratoire d'Assainissement Sciences de l'Eau et Environnement (LASEE), Faculté des Sciences et Technique, Université de Kara ; B.P 404 Kara-Togo*

(Reçu le 08/12/2015 – Accepté après corrections le 21/12/ 2016)

Résumé : Dans de nombreuses villes d'Afrique sub-saharienne, plus particulièrement Lomé, de grandes quantités de boues de vidange, des systèmes d'assainissement sur place, finissent par être déversés dans l'environnement sans traitement approprié. Cette pratique entraîne des impacts néfastes considérables sur l'environnement et accentuent, par la suite, la dégradation des conditions sanitaires des populations.

Ce travail porte sur la recherche d'une solution technologique permettant un traitement efficace et moins coûteux des boues de vidange du site d'Attidjin. Le travail de recherche entrepris dans ce cadre concerne d'une part la quantification des boues de vidange et d'autre part la digestion anaérobie de ces boues. Cette digestion anaérobie a produit du biogaz qui est composé principalement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂). Les résultats de la campagne de quantification indiquent que le site reçoit en moyenne 66543,96 m³/an de boues de vidange (BV) et que la digestion anaérobie d'un litre de BV libère des volumes compris entre 64,67 ± 17,50 mL et 225,33 ± 47,44 mL de biogaz.

Mots clés : boues de vidange, environnement, Attidjin, quantification, biogaz.

Quantification and valorization in biogas the faecal sludge from the site of Attidjin in Lome.

Abstract: In many cities of sub-Saharan Africa, most notably in Lomé, large quantities of faecal sludge, on-site sanitation systems, eventually are dumped into the environment without proper treatment. This practice causes significant adverse impacts, on the environment and, increases subsequently, the degradation of the health conditions of populations.

This work concerns the search for a technological solution allowing for an effective treatment and less expensive of faecal sludge from the site of Attidjin. The research work undertaken in this context concerned, on the one hand the quantization of faecal sludge and on the other hand the anaerobic digestion of these sludges. This anaerobic digestion produced biogas which is made up mainly of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). The results of the quantification campaign indicate that the site receives on average of 66543,96 m³ by year of faecal sludge and a litre offaecale sludge anaerobic digestion releases the volumes between 64,67 ± 17.50 mL and 225,33 ± 47,44 mL of biogas.

Keyword: Faecal sludge, environment, Attidjin, quantization, biogas.

* Auteur correspondant ; E-mail: oakpaki@gmail.com, Tél : 00228-90 32 59 52

1. Introduction

La recherche sur le développement de sources d'énergie de remplacement a augmenté en raison de la nature non renouvelable des sources d'énergie fossiles et aux impacts environnementaux que causent ces sources d'énergie fossiles^[1]. La digestion anaérobie des déchets devient essentielle dans le processus de réduction des volumes de déchets et la production de biogaz^[2] et qui est une source d'énergie renouvelable pouvant être utilisée dans la production d'électricité et de la chaleur. Le biogaz émis par fermentation des déchets organiques comme boues de vidange (BV) permet de récupérer une forme d'énergie renouvelable ; il évite, dans le même temps, les émissions de carbone dans l'atmosphère et les pollutions de l'environnement.

Cependant, des milliers de tonnes des BV sont recueillis tous les jours dans les systèmes d'assainissement des zones urbaines des pays en développement et déversés dans les sites non appropriés. La gestion, la valorisation et l'élimination de ces BV sont problématiques. Plusieurs pistes existent pour le traitement des BV et leur valorisation, mais le choix doit être tributaire du coût de l'installation et de l'impact sur l'environnement que pourrait avoir le chemin retenu. La digestion anaérobie est l'une des technologies répondant à ces critères de choix. Ainsi, la digestion anaérobie est un processus de transformation de la matière organique des BV en énergie par des bactéries en l'absence d'oxygène. Il permet de produire un gaz combustible appelé biogaz, qui est composé essentiellement du méthane et du dioxyde de carbone, peut réduire de moitié la matière organique de BV^[3]. Le méthane et le dioxyde de carbone, lorsqu'ils sont rejetés dans l'atmosphère, contribuent à l'effet de serre. Le dernier résidu de la digestion (ou digestat) est stable, désodorisé, débarrassé d'une grande partie des germes pathogènes et peut même être utilisé comme engrais à des fins agricoles^[4].

Le site d'Attidjin est une ancienne carrière de prélèvement du sable siliceux. Pour cette raison, il présente une configuration assez complexe composée essentiellement de bassins contigus et entremêlés de buttes de terre.

La présente étude a pour but d'une part de quantifier le volume des BV déversé annuellement, et d'autre part de valoriser les BV recueillies par le site en biogaz.

2. Matériel et méthodes

2.1. Quantification du volume des boues de vidange du site

Dans la plupart des villes africaines, en l'occurrence Lomé, les quantités de BV issues des ouvrages d'assainissement autonome ne sont pas connues ou sont difficiles à estimer. La méthode utilisée s'appuie sur le décompte de camions sur le site de dépotage.^[5]

Pour mettre en œuvre cette méthode, nous avons au préalable identifié le site de dépotage officiel des BV, le site d'Attidjin. Par la suite, nous avons procédé au décompte du nombre de camions entrant quotidiennement sur le site et déterminé le volume déchargé par chacun des camions. Nous avons effectué ces opérations tous les jours, de 5 heures 30 minutes à 18 heures, durant les 12 mois. Ces travaux nous ont permis de déterminer la quantité réelle des BV déposée en une journée, en un mois puis en un an.

Cette méthode donne des résultats d'une grande fiabilité, et ce avec un coût réduit^[6] et ne fait pas appel à de longues campagnes d'enquêtes au sein des ménages, parallèlement aux méthodes basées sur la production spécifique et sur la demande en vidange mécanique^[6-7].

2.2. Estimation des gaz à effet de serre des BV

2.2.1. Echantillonnage

Etant donné la variabilité de la décomposition des boues de vidange, il est déconseillé de prélever directement dans les installations sanitaires ou dans les bassins ou citernes de stockages existants^[8]. Les matières en suspension sédimentent facilement dans les boues stagnantes et il est alors impossible de prélever un échantillon représentatif sans mélanger tout le volume considéré. Seul le prélèvement au niveau des camions tient compte de la dilution éventuelle des boues lors de la vidange des fosses^[8]. Nous avons effectué les prélèvements au moment du déchargement des camions de vidange. Nous avons prélevé des boues dans un récipient au début du déchargement, lorsque la citerne était à moitié vide, puis juste avant la fin du déchargement. Les boues recueillies dans le récipient furent alors bien mélangées avant d'être conservées, à température ambiante, dans des bouteilles en plastique (non fermées hermétiquement). Cette méthode nous assure d'analyser des boues correspondant à celles arrivant au site de dépotage.

Ainsi, 30 échantillons de trente camions de vidange ont été prélevés dont 10 échantillons des boues de latrine à fosse (LF); 10 échantillons des boues de fosses septiques publiques (FSP) et 10 échantillons des boues de fosses septiques domestiques (FSD).

2.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Figure 1) est composé des digesteurs (flacons de 1 L), des tuyaux de canalisation en caoutchouc de 0,5 cm de diamètre, des tubes en plastique gradués permettant de recueillir le biogaz, une solution de chlorure de sodium contenue dans un vase et des supports.

Il convient de préciser que ces réacteurs pilotes étaient reliés par des tuyaux d'amenée de gaz, à des éprouvettes renversées (pour quantification du biogaz produit) plongeant dans un bac contenant une solution piège, constituée d'eau saturée en NaCl et en acide (acide citrique 5 %, NaCl 20 % et pH= 2)(Figure 2). Cette solution aqueuse piège permet par le déplacement du liquide, de bien quantifier la production de biogaz. Il convient également de noter que la saturation de la solution piège permet d'éviter la solubilité du CO₂ du biogaz produit [9-11].



Figure 1 : Dispositif expérimental de la méthanisation des boues de vidange

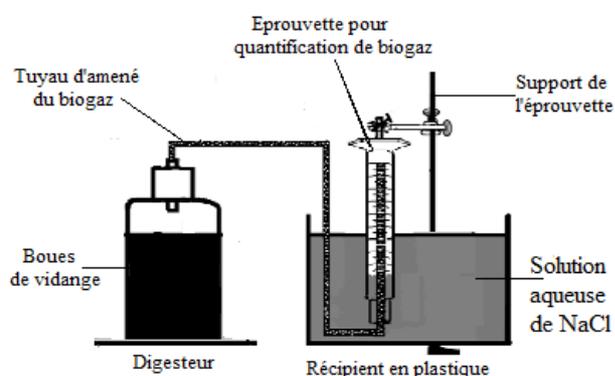
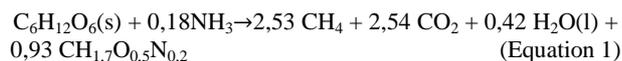


Figure 2 : Dispositif expérimental de la méthanisation des boues de vidange

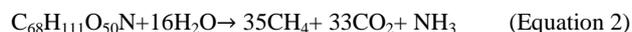
2.2.3. Modèle stœchiométrique de prédiction de production de biogaz

Plusieurs équations et mécanismes réactionnels sont présentés dans la littérature pour expliquer les phénomènes chimiques et biochimiques se déroulant au sein de la décharge.

Ainsi, en anaérobiose, le carbone du substrat est transformé en CH₄, CO₂ et biomasse. Certains auteurs proposent la réaction (Equation 1) où l'ammoniac est considéré comme source d'azote avec une faible masse de biomasse [12] :



On suppose que le processus global a lieu quand les bactéries anaérobies ont consommé la matière organique biodégradable contenue dans les déchets pour produire une masse bactérienne CH_{1,7}O_{0,5}N_{0,2} et des sous produits du métabolisme bactérien (CO₂, CH₄, H₂O etc.). Cette réaction conduit à un mélange de gaz avec une valeur énergétique significative (50 % du volume total pour le méthane). Ce qui montre qu'en absence de collecte et de traitement, les émissions sur les centres d'enfouissement de déchets représentent un risque potentiel d'explosion et une menace environnementale. D'autres auteurs proposent l'équation 2 pour les déchets rapidement dégradables C_{68,5}H_{110,5}O_{50,1}N₁ (fermentescibles, papiers cartons, BV, ...) [13].



3. Résultats et discussion

3.1. Volume des boues déversées sur la période d'avril 2012 à mars 2013

Les volumes de boues de vidange déversées chaque mois dans le dépotoir d'Attidjin étaient très variables (Figure 3). Les variations des volumes déversés pouvaient s'expliquer par les aléas financiers ou climatiques que pouvaient connaître les ménages de Lomé. En effet, nous avons constaté que la demande de vidange augmente plus en saison des pluies qu'en saison sèche. La figure 3 présente l'évolution mensuelle du volume de boues comptabilisé. Il faut noter que les mesures ont été effectuées entre avril 2012 et mars 2013.

Le nombre de déversements de boues est variable d'une saison à l'autre (Figure 4), bien que les mesures aient été réalisées dans les mêmes conditions ce qui conforte l'hypothèse selon laquelle le volume de vidange augmente pendant la période humide, notamment entre les mois de juillet et octobre. A partir de ces données, nous pouvons déjà supposer que la majorité des fosses et puisards

des ménages reçoivent beaucoup d’eaux d’infiltration. La variabilité du volume des boues peut être justifiée aussi du fait que la plupart des clients sont des particuliers, donc l’augmentation du nombre de vidange serait aussi fonction de la période des paiements des salaires. Cette hypothèse est confirmée par les vidangeurs des BV.

La légère augmentation du volume des boues entre les mois de novembre, décembre, mars et avril s’explique par le fait que ces mois correspondent à la période des fêtes de Noël, de fin d’année et de Pâques. Ainsi ces augmentations seraient liées à la volonté des ménages de garantir un environnement domestique sain pendant les fêtes. Les mois de janvier, février et mai correspondent aux mois après fêtes, il est donc légitime de penser que les ménages ont dépensé leur argent pour les fêtes. Cela explique alors la diminution du nombre de déversements. Cette hypothèse est confirmée par l’analyse faite par le service des vidangeurs.

3.2. Estimation du volume de biogaz

L’estimation du volume du biogaz produit par les BV du site d’Attidjin est obtenue d’une part par un dispositif expérimental et d’autre part par des calculs théoriques.

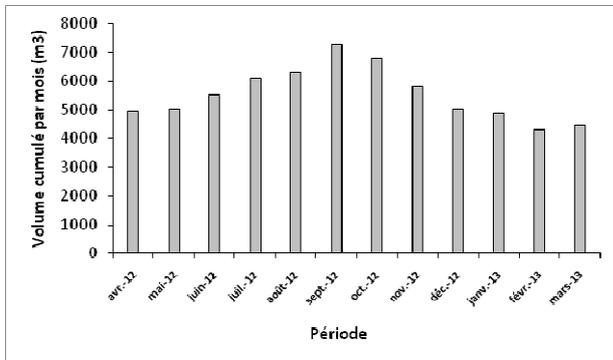


Figure3 : Quantification du volume de boues de vidange dans le site d’Attidjin

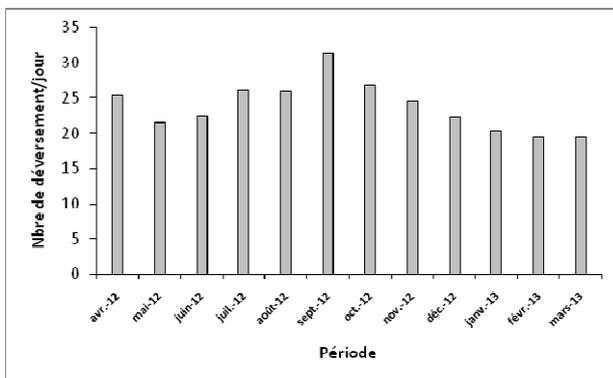


Figure4 : Nombre de déversement de boues de vidange dans le site d’Attidjin

3.2.1. Mesure expérimentale

3.2.1.1. Suivi de la production

La mesure est faite sur trois types de boues à savoir les boues de latrine à fosses (LF), les boues des fosses septiques publiques (FSP) et les boues des fosses septiques domestiques (FSD). Les résultats de ces digestions en anaérobie nous donnent des volumes cumulés de biogaz pour 1 L de boues de vidange suivant : $100,33 \pm 7,51$ mL pour les boues de LF, $64,67 \pm 28,24$ mL pour les boues des FSD et $225,33 \pm 47,44$ mL pour les boues des FSP (Figure 5). Les faibles valeurs du volume du biogaz des LF et des FSD se justifient par le fait que les vidanges de boues de ces fosses se font sur des intervalles de temps très grands, trois à six ans en moyenne suivant les ménages. Le séjour prolongé de ces boues fait que la production du biogaz par la digestion anaérobie donne un rendement très faible par rapport aux boues des FSP, ceci montre que les activités des micro-organismes sont très poussées et de plus la minéralisation des matières organiques est très avancée. En comparant les volumes cumulés de biogaz obtenus des boues des LF et FSD, on peut voir que les volumes cumulés des LF sont légèrement supérieurs à ceux des FSD. Cette différence s’explique du fait que les boues des FSD ont subi des dilutions à travers des eaux des chasses et de nettoyages anales parallèlement aux boues des LF où les boues ne sont que des mélanges des fèces et des urines. Mais la valeur très élevée du volume du biogaz obtenu par la digestion en anaérobie confirme l’hypothèse selon laquelle la phase de minéralisation de la matière organique est moins avancée ou à peine commencée pour les boues des FSP. Et cela se démontre par la fréquence des vidanges de leurs fosses, une à deux fois dans le mois.

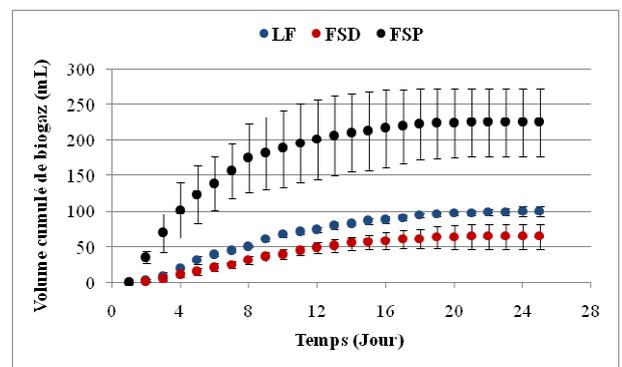


Figure 5: Production du biogaz à partir des boues de vidange du site d’Attidjin

Comme le montre la figure 5, la durée maximale de production de biogaz par la digestion anaérobie à partir d'un litre de boues de vidange varie entre 21 et 25 jours, quels que soient les types de boues à digérer.

3.2.1.2. Estimation du volume de CO₂ et de CH₄

La quantification du volume des boues de vidange du site d'Attidjin a permis d'estimer les volumes du dioxyde de carbone et du méthane. Les résultats de quantification du volume de boues de vidange déversées sur le site ont montré que dans la période allant d'avril 2012 à mars 2013, le dit site a reçu par jour un volume moyen de 217,464±33,824 m³ des boues de vidange (BV). Ainsi, les travaux expérimentaux de la digestion en anaérobie des boues de vidange ont montré qu'à partir d'un volume de 217,464±33,824 m³ de boues de vidange, on peut obtenir en 25 jours dans les conditions en anaérobie, un volume de 21,558±0,460 m³ de volume de biogaz.

Or la composition du biogaz varie en fonction du matériel organique qui est utilisé. Les teneurs en méthane (CH₄) et en dioxyde de carbone (CO₂) du biogaz, produits à partir des fèces humaines, du fumier de volaille et des lisiers des porcheries, sont respectivement de 75 % et 19 % [14]. Ainsi, à partir de la composition du biogaz en CH₄ et en CO₂, on peut alors estimer les volumes de ces gaz. Donc pour les 21,558±0,460 m³ de biogaz, on obtient 16,168 ± 0,345 m³ pour le volume méthane et 4,096 ± 0,087 m³ pour celui du dioxyde de carbone (**Tableau I**).

Tableau I : Estimation du volume du CO₂ et du CH₄

V. boues/Jour (m ³)	En 25 jours/ en m ³		
	V. biogaz	V(CO ₂)	V(CH ₄)
217,464 ± 33,824	21,558 ± 0,460	4,096 ± 0,087	16,168 ± 0,345

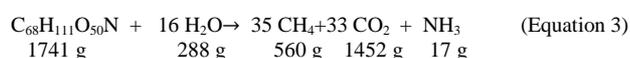
V= volume

Les résultats du tableau I montrent que pour un volume de 217,464± 33,824 m³ de boues de vidange on peut obtenir, en 25 jours par la méthanisation, 16,168 ± 0,345 m³ de CH₄ et 4,096±0,087 m³ de CO₂. Alors que, CH₄ et CO₂ sont des gaz à effet de serre et que le site reçoit en moyenne un volume de 5545,33 ± 937,04 m³ par mois. Or le site d'Attidjin est une ancienne carrière de prélèvement de sables siliceux et qui est approfondi par la direction de l'environnement dont les dimensions sont 8 mètres de profondeur et 15 à 20 mètres de diamètre. La géométrie du site montre que les boues déversées dans ce site sont dans des conditions anaérobies et que les processus de

méthanisation peuvent avoir lieu. Ainsi, nous pouvons dire que le site d'Attidjin constitue une source de pollution atmosphérique par émission des biogaz dont les composantes majeures sont CH₄ et CO₂. Le méthane, principal constituant du biogaz, est un gaz à fort pouvoir calorifique, mais malheureusement, c'est aussi un puissant gaz à effet de serre [15]. Le méthane est un gaz à effet de serre 21 fois plus puissant que le CO₂, c'est pourquoi la formation de ce gaz doit être bien connue et maîtrisée [16-17].

3.2.2. Estimation théorique de CH₄ et de CO₂

Les boues de vidange étant des déchets rapidement dégradables, pour ces types de déchets, C₆₈H₁₁₁O₅₀N (fèces humaines, fumier de volaille et lisiers des porcheries) [18], les travaux de Lagrange proposent l'équation 3.



Or les 217,464 m³ de boues de vidange correspondent à une masse égale 219,638640 × 10⁶g avec la masse volumique des boues de vidange ρ = 1.01 × 10⁶ g/m³.

Avec ρ(CH₄) = 714,28g/m³ et ρ(CO₂) = 1964,28 g/m³ dans les conditions normales de température, l'estimation des volumes de CH₄ et CO₂ des 217,464 m³ des BV sont respectivement V_{CH₄} = 98907,57 m³ et V_{CO₂} = 93255,23 m³

Les résultats obtenus par les calculs théoriques sont loin d'être comparés aux résultats obtenus expérimentalement (16,168 ± 0,345 m³ de CH₄ et 4,096 ± 0,087 m³ de CO₂). Cette différence pourrait être justifiée par la formule chimique C₆₈H₁₁₁O₅₀N représentative de la biomasse cellulaire.

L'estimation des volumes de CH₄ et de CO₂, des déchets facilement fermentescibles, dépend alors du modèle retenu.

4. Conclusion

La digestion anaérobie des boues de vidange (BV) est l'un des processus les plus significatifs pour réduire la pollution atmosphérique et terrestre et pour produire des carburants (par exemple le méthane). Dans le cadre de ce travail, nous avons quantifié le volume des boues de vidange déversé sur le site d'Attidjin et ensuite estimé les volumes de dioxyde de carbone et de méthane que cette quantité de boues peut produire dans des conditions en anaérobie. Au terme des travaux, nous constatons que le site de dépotage des BV reçoit en moyenne, dans la période d'avril 2012

à mars 2013, $5545,33 \pm 937,04 \text{ m}^3$ de boues de vidange.

La digestion en aérobie d'un (01) litre de BV produit, en 25 jours au maximum, $100,33 \pm 7,51 \text{ mL}$ pour les boues des latrines à fosse (LF); $64,67 \pm 28,24 \text{ mL}$ pour les boues des fosses septiques domestiques (FSD) et $225,33 \pm 47,44 \text{ mL}$ pour les boues des fosses septiques publiques (FSP). Ces résultats montrent que les boues des FSP sont moins dégradées par rapport aux boues des LF et FSD et que leur valorisation en biogaz présente un intérêt économique.

Il ressort de nos travaux que, pour un volume de $217,464 \pm 33,824 \text{ m}^3$ de BV on peut obtenir, en 25 jours par la méthanisation, $16,168 \pm 0,345 \text{ m}^3$ de CH_4 et $4,096 \pm 0,087 \text{ m}^3$ de CO_2 . Alors que les CH_4 et CO_2 font partie des gaz à effet de serre (GES) et que le site d'Attidjin reçoit en moyenne $5545,33 \pm 937,04 \text{ m}^3$ de BV par mois. Il apparaît donc que le site de dépotage des BV d'Attidjin est une source émettrice des GES.

5. Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le laboratoire GTVD de l'Université de Lomé et sur le site de dépotage d'Attidjin. Nous remercions les autorités pour nous avoir offert le cadre où ce travail a été réalisé.

6. Références

[1] J.A. Alburquerque, C. Fuente, A. Ferrer-Costa, L. Carrasco, J. Cegarra, M. Abad and M.P. Bernal, Assessment of the fertilizer potential of digestate from farm and agroindustrial residues, *Biomass Bioenergy*, (2012) 40, 181-189.

[2] H.I. Owamaha, S.O. Dahunsi, U.S. Oranusi and M.I. Alfa, Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta, *Waste Management*, (2014) 34, 747-752.

[3] P.E. Poh and M.F. Chong, Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment, *Bioresour. Technol.*, (2009) 1, 9.

[4] Largus T.A., Khurshed K., Muthanna H.A., Brian A. and Wrennand R.D., Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater, *Trends Biotechnol.*, (2004) 22, 477-485.

[5] B. Berteigne. Quantification et caractérisation des boues de vidange issues des villes de Douala et Yaoundé (Cameroun) et proposition de traitement. Mémoire d'après Césure/Projet MAFADY;2012.

[6] B. Berteigne, 2012. Quantification et caractérisation des boues de vidange issues des villes de Douala et Yaoundé (Cameroun) et proposition de traitement. Mémoire d'après Césure/Projet MAFADY.

[7] P. Reymond, Elaboration d'une méthodologie permettant de déterminer une option durable pour le traitement des boues de vidange dans une ville moyenne d'Afrique Subsaharienne, application à la ville de Sokodé, au Togo, EAWAG/SANDEC, (2008) 164.

[8] F. Klingel, A. Montangero, D. Koné and M. Strauss, Gestion des boues de vidange des les pays en développement, Eawag; Sandec, (2002) 1.

[9] Walker M., Zhang Y., Heaven S and Banks C., Potential errors in the quantitative evaluation of biogas production in anaerobic digestion processes, *Bioresource Technology*, (2009) 100(24), 6339-6346.

[10] Connaughton Sean, Collins Gavin and Flaherty Vincent O', Psychrophilic and mesophilic anaerobic digestion of brewery effluent: a comparative study, *Water Research*, (2006) 2503-2510.

[11] Kalloum S., Bouabdessalem H., Touzi A., Iddou A. and Ouali M.S., Biogas production from the sludge of the municipal wastewater treatment plant of Adrar city (southwest of Algeria), *Biomass and Bioenergy* (2011) 35, 2554-2560.

[12] R.L. Meraz, A.M. Vidales and A. Dominguez, A fractal like Kinetics to calculate landfill methane production, *Fuel*, (2004) 83, 73-80.

[13] G. Tchobanoglous, H. Theisen and S. Vigil, "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues.", McGraw Hill, New York, (1993).

[14] Ademe, Le biogaz et sa valorisation – Guide méthodologique. Réf ADEME 3104 / GDEO 2.56.B.03.98, 1999. p. 63

[15] Aurélie Ohannessian. Composés Organiques Volatils du Silicium : Un frein à la valorisation énergétique des biogaz. "Genèse et Mécanismes de Formation", Thèse, Institut national des sciences appliquées de Lyon.2008.

[16] Murphy J.D., Mckeogh E. and Kiely G., Technical/economic/environmental analysis of biogas utilisation, *Applied Energy*, (2004) 77(4), 407-427.

[17] Komiyama M., Misonou T., Takeuchi S., Umetsu K. and Taka J., Biogas as a reproducible energy source: Its steam reforming for electricity generation and for farm machine fuel, *International Congress Series*, (2006) 1293, 234-237.

[18] B. Lagrange, Biométhane, Principes – Techniques – Utilisations, Ed. Edisud 1979. p. 246.