

ESSAI DE PRODUCTION DU BIOGAZ À PARTIR DES CROTTES DE PORCS DANS LE QUARTIER NAKOYAPKALA COMMUNE URBAINE DE N'ZÉRÉKORÉ, RÉPUBLIQUE DE GUINÉE

**Marie KOULEMOU^{1*}, Simon Pierre LAMAH², Lamarana BAH³
et Idrissa DIABY³**

¹*Université de N'Zérékoré, Département Génie de l'Environnement, BP 50, République de Guinée*

²*Station Scientifique des Monts Nimba, Université de N'Zérékoré, BP 50, Département Hydrologie, République de Guinée*

³*Université Abdel Nasser de Conakry, Département Physique, Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Energétique Appliquée, BP 1147, République de Guinée*

(reçu le 12 Novembre 2022 ; accepté le 18 Décembre 2022)

* Correspondance, e-mail : koulemoumarie50@gmail.com

RÉSUMÉ

Le présent article s'inscrit dans cadre d'un d'essai de production de biogaz à partir des crottes de porcs dans le but résoudre les besoins énergétiques primaires. La démarche méthodologique de cette étude a consisté à l'utilisation des méthodes volumétrique, gravimétrique, électrométrique et celle des vases communicantes. Sur la base du logiciel Excel, l'application des formules de masse volumique, des taux d'humidité, de Matière sèche, de Matière Organique, de Carbone et d'Azote nous avons abouti aux résultats suivants : Masse Volumique (5700 kg/m³), taux d'Humidité (58,29 %), taux de Matière Sèche (41,71 %), taux de Matière Organique (76,25 %), taux de Carbone (43,55 %), taux d'Azote (1,95 %) et rapport C/N (22,33). Ensuite deux expériences sur la bio-méthanisation des crottes de porcs ont été réalisées, la première a donné un pH moyen de 7,2 et une température moyenne de 27°C suite à la méthode électrométrie d'une part et la seconde a porté sur la détermination du volume de biogaz contenu dans 2kg de crottes de porcs grâce à la méthode des vases communicantes avec une production de 0,010191 m³ soit 0,000237 m³/ jour de biogaz et pour une durée de 43 jours en digestion anaérobie. Ainsi, ces résultats démontrent que la production du biogaz à partir des crottes de porcs est l'une des solutions de la protection de l'environnement et de l'accès l'énergie renouvelable.

Mots-clés : *Biogaz, crottes de porcs, énergies fossiles, énergies renouvelables, bio-méthanisation.*

ABSTRACT

Biogas production test from pig dropping in the Nakoyapkala district urban commune of N'Zérékoré, Republic of Guinea

This article is part of a trial of biogas production from pig droppings in order to solve primary energy needs. The methodological approach of this study consisted in the use of volumetric, gravimetric, electrometric methods and that of communicating vessels. On the basis of the Excel software, the application of the formulas for density, humidity, dry matter, organic matter, carbon and nitrogen, we obtained the following results : Density (5700 kg/m³), Humidity rate (58.29 %), Dry Matter rate (41.71 %), Organic Matter rate (76.25 %), Carbon rate (43.55 %), Nitrogen rate (1.95 %) and C/N ratio (22.33). Then two experiments on the bio-methanation of pig droppings were carried out, the first gave an average pH of 7.2 and an average temperature of 27°C following the electrometry method on the one hand and the second focused on the determination of the volume of biogas contained in 2 kg of pig droppings using the communicating vessels method with a production of 0.010191 m³ or 0.000237 m³/day of biogas and for a period of 43 days in anaerobic digestion. Thus, these results demonstrate that the production of biogas from pig droppings is one of the solutions for environmental protection and access to renewable energy.

Keywords : *Biogas, pig droppings, fossil fuels, renewable energies, bio-methanation.*

I - INTRODUCTION

L'accès à l'énergie est l'un des aspects essentiels du développement et de la croissance économique. Or, en dépit des réalisations remarquables accomplies dans le domaine de l'énergie pour répondre aux besoins de l'humanité, il est de plus en plus manifeste que les systèmes énergétiques actuels ne sont pas à même de fournir de l'énergie à toute la population dans des conditions durables et à des prix abordables. Selon les estimations, 1.6 milliards de personnes sont privées de l'accès à l'électricité et 3 milliards vivent encore avec des sources d'énergies traditionnelles comme le feu de bois [1]. La plupart résidant dans les zones rurales des pays en voie de développement sont loin des systèmes énergétiques centralisés. Depuis le début de l'ère industrielle, les activités humaines ont contribué considérablement à l'augmentation de la concentration des Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère. Le secteur de l'élevage est l'une des activités qui exerce une forte influence sur le milieu naturel, avec l'émission des trois principaux gaz à effet de serre (CO₂, CH₄ et N₂O). Le CH₄ représente près de 44 % de ces émissions [2 - 5]. Au niveau mondial, la concentration des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dues à l'énergie fossile dans l'atmosphère est passée de 280 parties par million (ppm) en 1750

à 390 (ppm) à l'heure actuelle [6]. En 2008 l'Union Européenne a publié un premier « paquet énergie » à atteindre pour 2020 qui avait pour objectif la réduction de 20 % des gaz à effet de serre par rapport à 1990, une augmentation de 20 % de l'utilisation des énergies renouvelables dans le mix énergétique et une réduction de 20 % de la consommation d'énergie globale. De même, en 2011, elle a publié une feuille de route qui vise à réduire les GES de 80 à 95 % d'ici 2050. Cela devrait aider à limiter l'augmentation de la température mondiale à un maximum de 2°C. Ainsi, pour atteindre cet objectif, les vecteurs énergétiques fossiles actuels doivent être remplacés par des énergies renouvelables, tel que le biogaz [3, 4, 7,8]. En Afrique subsaharienne, seules trois personnes sur 10 vivants ont accès à l'électricité, contre plus de 50 % en Asie du Sud et 90 % en Asie de l'Est. Les zones rurales restent les plus mal desservies au monde. Dans certains pays, moins de 5 % de la population rurale ont accès à l'électricité. L'inadéquation des réseaux électriques est certainement en cause, mais de nombreux pays n'ont tout simplement pas assez d'électricité à distribuer aux consommateurs potentiels. Le manque d'investissements en faveur de la capacité de production d'électricité est au cœur de la crise énergétique en Afrique [9]. En Guinée le potentiel énergétique est immense avec 612 000 tep en biomasse, 6000 MW hydroélectrique, une irradiation solaire moyenne de 4,8 kWh/m², mais la capacité de production électrique est encore insuffisante pour couvrir les besoins nationaux et répondre aux objectifs d'accélération de la croissance [10].

La consommation par habitant est de 0,5 tep/an, soit un taux d'accès énergétique compris entre de 8 - 12 %. Selon les données disponibles pour l'année 2012, presque 100 % des ménages ruraux ont exclusivement recours à du bois de chauffage et 20 % des ménages urbains ont recours à du bois de chauffage et/ou du charbon, parfois à la fois, pour la cuisine [11 - 13]. Ce recours massif à la biomasse contribue à la diminution rapide des ressources forestières du pays, favorisant la déforestation et le réchauffement climatique [14]. Par ailleurs la production d'énergie à partir de la matière organique de diverses origines : matière végétale, déjections animales, sous-produits de l'industrie agro-alimentaire, boues des stations d'épurations, ordures ménagères, etc., au moyen de procédés de fermentation anaérobie dans des digesteurs appropriés (*bio-méthanisation*) permettra une meilleure gestion des déchets, une préservation de l'environnement et un développement ainsi qu'une diversification des ressources énergétiques (*énergies alternatives*) [15]. L'élevage constitue après l'agriculture, la deuxième activité du monde rural guinéen. La valorisation de ces déjections animales pourrait être considérée comme une solution économique et écologique [2]. Les conditions environnementales, culturelles et socio-économiques favorisent l'élevage des porcs en Guinée Forestière et surtout dans la Préfecture de N'Zérékoré. Cet

élevage produit une importante quantité de crottes de porcs et de lisiers chaque année, dont la valorisation reste un problème majeur [16, 17]. Ainsi, l'objectif général de cette recherche est d'effectuer un essai de production du biogaz à partir crottes de porcs.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Présentation de la zone d'étude

La ville de N'Zérékoré, capitale de la région forestière est l'une des plus importantes agglomérations urbaines de la République de Guinée. Elle compte environ 423 951 habitants selon le RGPH de 2016. Située au sud du pays à 1005 Km de la capitale Conakry, elle comprend 22 quartiers à savoir Nakoyakpala qui est notre zone d'étude, Mohomou, Gbanghana, Commercial, Gonia I, Gonia II, Gonia III, N'Zébéla Topka, Nyen I, Nyen II, Nyensokoura I, Nyensokoura II, Horoya I, Horoya II, Gboyéba, Kwitèyapoulou, Koleyeba, Gorota I, Gorota II, Garrota III, Belle-vue, Wessoua, Tilepoulou. Elle couvre une superficie de 4 625 km², s'étend entre 7°25'-8°20' de latitude Nord et 8°35' - 9°15' de la longitude Ouest [18]. Elle est limitée :

- ✓ Au Nord par la sous-préfecture de Samoé
- ✓ A l'Est par la sous-préfecture de Yalenzou;
- ✓ Au Sud par la sous-préfecture de Bounouma
- ✓ A l'ouest par la sous-préfecture de Kobéla

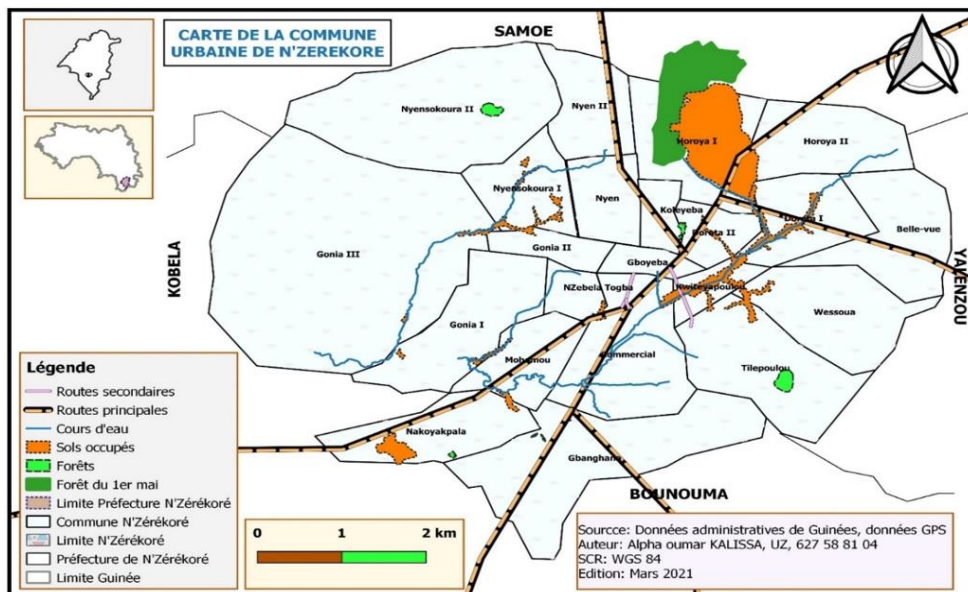


Figure 1 : Carte de la commune urbaine de N'Zérékoré

II-2. Matériel de travail

Le matériel de travail est composé de : bouteilles en plastiques de 5 litres, gants, balance analytique, tuyaux flexibles, colliers, colle liquide, bidon de 50 litres, pH-mètre multifonctions, four à moufle, étuve de séchage, deux chambres à air, balance mécanique, téflons, valves, flacons gradués, et des creusets.

II-3. Méthodes

Les données ont été collectées par l'application des méthodes volumétrique, gravimétrique, électrométrique et celle des vases communicantes.

II-4. Collecte des données

Les données issues de l'application des paramètres physicochimiques ci-dessus sont regroupées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Moyenne des paramètres physico-chimiques de la crotte de porcs

Msec (g)	MSI (g)	H%	MS%	MO%	Carbone Total (C %)	Azote Total (N%)	Rapport C/N(%)	Normes C/N	Masse Vol kg/m ³
3,2	0,77	58,29	41,71	76,25	43,55	1,95	22,33	15 - 20	5700

Ensuite pour l'expérience de la production, la méthodologie appliquée consiste à la réalisation des bio-digesteurs, suivi de l'évolution de la température et du pH à travers la méthode électrométrique. Le volume du biogaz produit a été déterminé par la méthode des vases communicantes. Le **Tableau 2** regroupe les valeurs de la quantité de biogaz produit, du pH et de la température.

Tableau 2 : Valeurs des températures, du pH et du volume de biogaz

N°	Dates	Températures de l'air (C°)	pH	Température du digesteur (C°)	Volume du biogaz (mL)
1	30/09/2022	25,9	7,0	26	0
2	31/09/2022	25	7,0	27	0
3	1er/10/2022	25,5	7,0	27	0
4	02/10/2022	25,2	7,0	26	10
5	03/10/2022	25,4	7,0	26	51
6	04/10/2022	25,4	7,0	25	100
7	05/10/2022	25,4	7,0	25	237
8	06/10/2022	24,7	5,5	25	251
9	07/10/2022	25,1	5,5	25	321
10	08/10/2022	26,5	6,3	25	334
11	09/10/2022	27,4	7,0	26	396

12	10/10/2022	26,7	7,0	25	387
13	11/10/2022	27,3	7,2	27	390
14	12/10/2022	27	7,0	26	389
15	13/10/2022	25,1	7,3	28	390
16	14/10/2022	26,4	6,8	26	391
17	15/10/2022	27,2	7,2	27	390
18	16/10/2022	27,9	7,0	28	379
19	17/10/2022	26,8	7,0	27	390
20	18/10/2022	25,4	7,3	27	381
21	19/10/2022	26	7,1	28	380
22	20/10/2022	26	7,2	28	370
23	21/10/2022	27,4	7,0	29	350
24	22/10/2022	27,8	7,3	30	360
25	23/10/2022	28,2	7,2	29	350
26	24/10/2022	27	7,3	28	351
27	25/10/2022	29,8	7,4	29	360
28	26/10/2022	29,8	7,0	27	351
29	27/10/2022	30	7,6	30	330
30	28/10/2022	31	7,6	27	301
31	29/10/2022	28,2	7,5	29	241
32	30/10/2022	28,2	7,5	30	251
33	01/11/2022	29,8	7,5	28	300
34	02/11/2022	27,8	7,6	29	200
35	03/11/2022	29,8	7,6	28	153
36	04/11/2022	27,8	7,7	30	100
37	05/11/2022	28,2	7,5	32	101
38	06/11/2022	27,8	7,6	28	100
39	07/11/2022	28,2	7,7	29	15
40	08/11/2022	26	7,6	32	25
41	09/11/2022	27,8	7,6	29	5
42	10/11/2022	29,8	7,6	28	0
43	11/11/2022	28,2	7,5	30	0

II-5. Méthodes de traitement

Sur la base du logiciel Excel, les *Formules* de masse volumique, du taux d'humidité, du taux de matière sèche, du taux de matière organique, du taux de carbone et celui d'Azote ont été utilisées :

✓ *Masse volumique*

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

✓ *Taux de Matière sèche*

$$MS (\%) = 100 - H (\%) \quad (2)$$

✓ *Taux d'humidité*

$$H (\%) = \left[\frac{M_o - M_{Sec}}{M_o} \right] \times 100 \quad [19] \quad (3)$$

✓ *Taux de Matière Organique*

$$MO = \left[\frac{M_{sec} - M_{SI}}{M_{Sec}} \right] \times 100 \quad [15] \quad (4)$$

✓ *Taux de Carbone*

$$C = \frac{MO}{1,725} \quad (NF) \quad (5)$$

✓ *Taux d'Azote*

$$N (\%) = V_{Titration} \times 0,195 \times \text{Masse de prise d'essai} \quad (6)$$

De même, les données de l'expérience sont représentées en courbe de volume de biogaz, de pH et de température (*Figures 4, 5 et 6*).

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Paramètres physico-chimiques des crottes de porcs

Le *Tableau 1* présente la moyenne des paramètres physico-chimiques de la crotte de porcs obtenue à partir des analyses du laboratoire. Ainsi les (58,29 %) du taux d'humidité obtenu signifient que l'hydrolyse qui est la première étape de la bio-méthanisation peut se dérouler normalement. Si au contraire l'humidité est insuffisante (inférieure à 50 %), l'acidification se fait trop vite au détriment de la bio-méthanisation. Le taux de la matière sèche (41,71 %) est très proche aux résultats des études menées par le laboratoire national de la métrologie et d'essai (LNE). Nous avons obtenu (76,25 %) de

matière organique. Cette valeur est appréciable car elle signifie que dans notre échantillon de crotte de porcs il existe 76,25 % de matières qui peuvent être dégradés par les micro-organismes. Ce résultat se situe dans la gamme de (60 à 85 %) de valeurs des études réalisées par M. TCHA-TCHOM dans sa thèse recherche d'une filière durable pour la méthanisation des déchets de fruits et d'abattoirs du Togo. Par rapport au taux de carbone, nous avons obtenu (43,55 %) par déduction à partir de la matière organique. Cette valeur se situe aussi dans la gamme des teneurs en carbone favorisant l'augmentation et l'accroissement des micro-organismes dans le substrat soit 20 % à 70. Le rapport C/N nous a donné (22,23 %), cette valeur étant comprise entre 15 et 30 optimums (Norme Française), ce qui signifie que l'intrant analysé est utilisable pour la production du biogaz. Ce rapport C/N est très important pour la stabilité du processus de bio-méthanisation car si ce rapport est trop élevé, le carbone a du mal à être complètement dégradé et un rapport trop faible peut entraîner une production importante d'ammoniac qui inhibe les bactéries.

III-2. Expériences de production du biogaz

III-2-1. Production du biogaz en fonction du volume

Au sujet des expériences de production du biogaz, la **Figure 2** montre que la transformation des crottes de porcs en biogaz s'est effectuée sur une durée de 43 jours. Cette transformation comprend 4 phases à savoir l'hydrolyse, l'acidogène, cétogène et la méthanogène qui est responsable de la production du biogaz [20]. La production journalière a commencé le 4^{ème} jour après la charge du bio-digester et elle est restée croissante jusqu'au 11^{ème} jour où elle obtient son maximum (396 mL). Elle reste pratiquement stable jusqu'au 28^{ème} jour et une décroissance au 41^{ème} jour qui correspond à la fin de la production. Cette décroissance de la productivité est causée par l'épuisement du substrat de digestion constituant la source nutritive et énergétique de la flore microbienne du milieu réactionnel [21, 22]. Par ailleurs, la production moyenne journalière était de 237 mL soit 0,000237 m³/ jour. La quantité de crotte de porc (2 kg) a produit 0,010191 m³ (**Figure 2**).

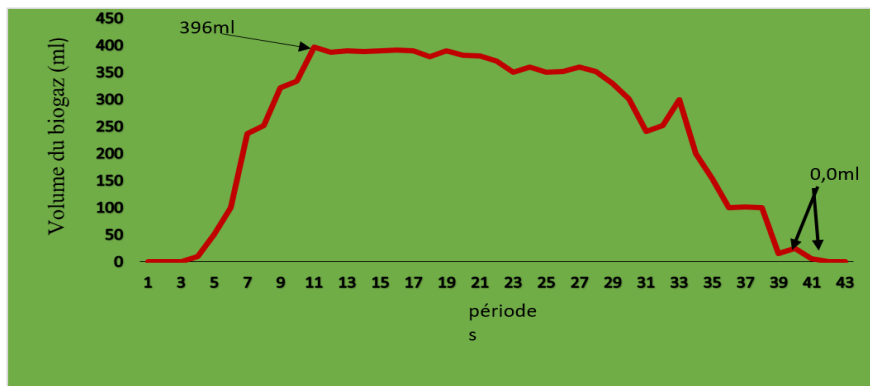


Figure 2 : Courbe de volume du biogaz en fonction du temps

III-2-2. Évolution du pH en fonction du temps

Le premier indicateur de la stabilité de l'environnement réactionnel d'un milieu anaérobie est le potentiel d'hydrogène (pH). Un pH compris entre 4 et 9 favorise la croissance des microorganismes. Le pH moyen au cours de cette expérience est 7,2 ce résultat est conforme à la littérature des travaux de M. TCHA-TCHOM, soit dans la gamme 6 à 8,5. Du 8 au 9^{ème} jour de la production, on a enregistré un abaissement de pH égal à 5,5. Cette variation de pH est due à la formation des acides gras volatils par les bactéries fermentatives acidogènes pendant la 2^{ème} étape de production. Cette variation du pH n'affecte pas le processus de production car ces bactéries produisant des acides gras volatils et les alcools tolèrent des pH relativement bas allant jusqu'à 5. Mais de toutes les bactéries du processus de digestion anaérobie, les bactéries méthanogènes sont les plus sensibles aux variations de pH (**Figure 3**).

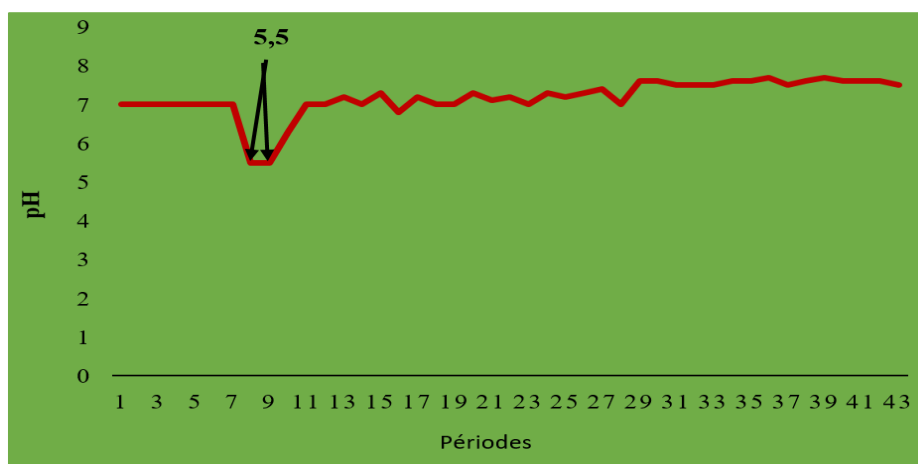


Figure 3 : Évolution du pH en fonction du temps

III-2-3. Évolution de la température en fonction du temps

La température moyenne du bio-digesteur était de 27°C. Ainsi après les 5 premiers jours de l'expérience, la température est restée pratiquement stable (25°C) jusqu'au 10^{ème} jour. Ensuite, le 37^{ème} et 40^{ème} jour la température atteint son maximum (32°C). Ainsi les températures de l'expérience nous ont permis de conclure que nous avons travaillé dans la plage mésophile à température moyenne comprise entre 20°- 45°C. Ce résultat corrobore avec les travaux de F. BELINE, P. PEU dans son article méthanisation en milieu rural et ses perspectives de développement en France. Sciences Eaux et Territoires.

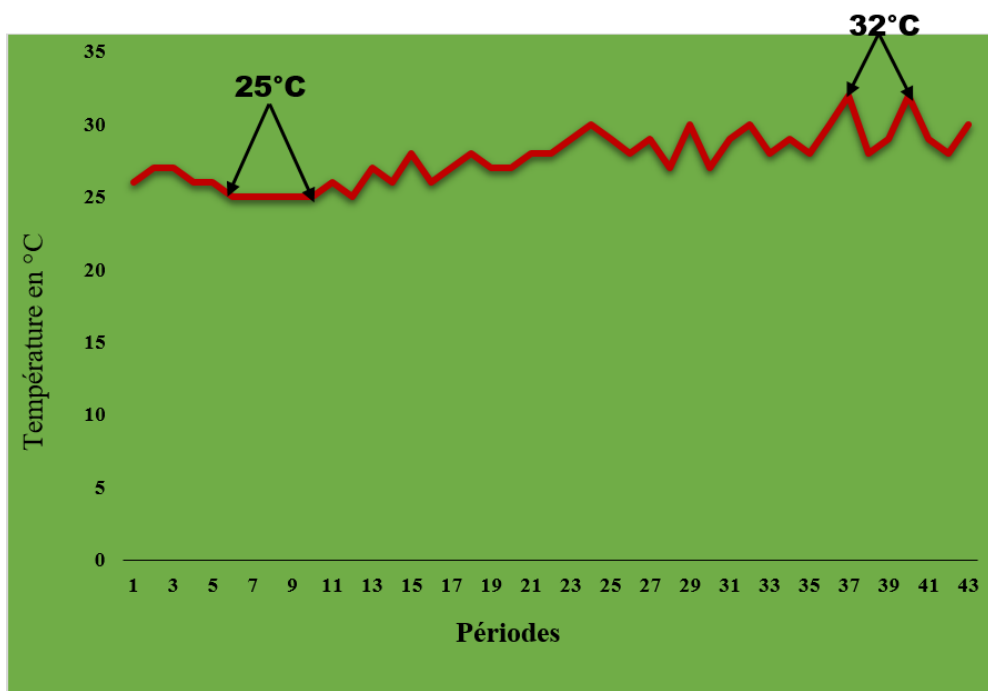


Figure 4 : Évolution la température en fonction du temps

IV - CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons déterminé les paramètres physicochimiques des crottes de porcs (la masse volumique, l'humidité relative, le taux de matière sèche, le taux de matière organique, le taux de carbone, la teneur en azote et le rapport C/N). Deux expériences sur la bio-méthanisation des crottes de porcs ont été réalisées, la première a donné un pH moyen de 7,2 et une température moyenne de 27°C suite à la méthode électrométrique et la deuxième a porté sur la détermination du volume de

biogaz contenu dans 2 kg de crottes de porcs. Grâce à la méthode des vases communicantes, les 2 kg ont produit 0,010191 m³ soit 0,000237 m³/ jour de biogaz et pour une durée de 43 jours en digestion anaérobie. Ces résultats obtenus nous permettent de conclure que la température moyenne de l'expérience correspond à la plage mésophile et les différentes valeurs du pH sont favorables aux bactéries de la bio-méthanisation. La première a donné un pH moyen de 7,2 et une température moyenne de 27°C suite à la méthode électrométrie d'une part et la seconde a porté sur la détermination du volume de biogaz contenu dans 2kg de crottes de porcs grâce au principe des vases communicants avec une production de 0,010191 m³ soit 0,000237 m³/ jour de biogaz et pour une durée de 43 jours en digestion anaérobie. Ainsi, ces résultats démontrent que la production du biogaz à partir des crottes de porcs est l'une des solutions de la protection de l'environnement et de l'accès à l'énergie renouvelable.

RÉFÉRENCES

- [1] - Energies renouvelables au service d'une croissance pro-pauvre, Enjeux économiques et politiques, Ed. OCDE Paris, (2009) 162 p., consulté le 11 Octobre 2022 sur <https://doi.org/10.1787/978926404184414-fr>
- [2] - A. SAKOUVOGUI, M. KAMANO, Production du biogaz à partir du lisier de porc et de la bouse de vache en mono et en codigestion à l'Université de N'Zérékoré, République de Guinée. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 38 (2021) 281 - 295 ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>
- [3] - A. SAKOUVOGUI, Evaluation du potentiel énergétique des déjections animales et des émissions de méthane en vue de la réalisation et de l'expérimentation d'un digesteur à Mamou/ République de Guinée, Thèse de doctorat de l'Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, (2019) 110 p.
- [4] - D. MILLS and M. MA, "Climate Change, Extreme Weather Events, and US Health Impacts : What Can We Say?". *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 51 (1) (2009) 26 - 32
- [5] - Laboratoire National de métrologie et d'Essai "Mise au point d'une méthode standardisée de l'évaluation d'efficacité des produits visant à lutter contre les émissions et les odeurs gazeuses en élevage" (République Française) - Rapport final-MEEDDL, (2012) 8 p.
- [6] - W. NORDHAUS, "le casino climatique : risque, incertitude et solution économique face au monde en réchauffement", (2019) ; Ed. Nouvel Horizon (Africa Régional Services), disponible sur <https://fr.usembassy.gov>, consulté le 02 décembre 2022
- [7] - J. H. KEPLER, "Union Européenne et sa politique énergétique", Politique étrangère, publié dans l'Institut française des relations

- internationales, Automne, (3) (2007) 529 - 543. En ligne sur <https://www.cairn.info/10.3917/pe.073.0>
- [8] - DOMINIQUE RISTORI, « Enjeux et déficit de la politique énergétique en Europe » *Géo-économie en ligne*, N° 73 (Janvier 2015) 45 - 58 p.
- [9] - A. EBERHARD et al., Garantir l'accès à l'électricité en Afrique : les défis à relever en matière de financement et de réformes, De Boeck Supérieur | « Revue d'économie du développement, Vol. 23, (3) (2015) 43 - 53 p. ISSN 1245 - 4060 ISBN 9782807300811 DOI 10.3917/edd.293.0043. Article disponible en ligne à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-d-economie-du-developpement>
- [10] - Biogaz en Guinée / Ministère de l'Énergie et du Développement Durable, (2019), en ligne sur <https://medd-guinée.org/biogaz-en-guinée> consulté le 02 décembre 2022
- [11] - Ministère d'Etat chargé de l'énergie/ Guinée, (2012), disponible sur le lien sur <https://www.ecowrex.org/> consulté le 02 décembre 2022
- [12] - Direction nationale de l'énergie–Bureau de stratégie et de développement, (2019). <https://www.investi.gov.gn> consulté le 15 Novembre 2022
- [13] - M. KEÏTA, D. L. TRAORE, A. SAKOUVOUI, 'Etude des possibilités d'utilisation des microcentrales hydroélectriques pour des usages agroindustriels en zones rurales guinéennes'. *Revue Scientifique de l'Université Kankan*, Guinée, N°012 (2013) 93 - 97 p.
- [14] - G. V. BRANDOLINI et F. F. BOUROUNO, Evaluation Finale du « Projet de Création d'un marché pour le développement et l'utilisation des ressources de biogaz en Guinée » -PIMS 4780, (2021)
- [15] - Y. M'SADAK et A. BEN M'BAREK, "Caractérisation physico-hydrique des substrats de culture à base de méthacompost avicole pour une meilleure valorisation"(Tunisie), *Larhyss Journal*, ISSN 1112 - 3680, N°20 (2014) 167 - 187 p.
- [16] - A. SAKOUVOGUI, M. KAMANO, M. KEITA, "Assessment of the energy potential of pig dung by the production of biogas in the urban municipality from N'Zérékoré in Guinea". *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, Vol. 2, Issue 4 (2021) 374 - 376
- [17] - S. IGOUD, I. TOU et al., "Production du Bio-méthane à partir des déjections animales" *Revue des Energies Renouvelables*, N° spécial : Biomasse, Production et Valorisation, (2001) 103 - 108 p.
- [18] - (wfr. [wikipedia.org/wiki-N 'Zérékoré](https://fr.wikipedia.org/wiki/N'Zérékoré)) consulté le 20 octobre 2021
- [19] - M. TCHA-TCHOM, Recherche d'une filière durable pour la méthanisation des déchets de fruits et d'abattoirs du Togo : Evaluation du potentiel agronomique des digestas sur les sols de la région de la Kara, Thèse doctorale, (2019) 9 - 14

- [20] - R. PARRA, E. El. GONZALEZ and A. ESCOBAR, “ Potencial de los recursos agrícolas fibroso”s. *Jornadas Agronomicas*, Maracay (Venezuela), Vol. 11, (1977) 12 - 15 p.
- [21] - S. IGOUD, I. TOU, S. KEHAL et al., “ Première approche de la caractérisation du biogaz produit à partir des déjections bovines”. *Revue des Energies Renouvelables*, (5) (2002) 123 - 128
- [22] - A. SAKOUVOGUI, Y. M. BALDE et al., ”Evaluation du potentiel en biogaz de la bouse de vache, de la fiente de poule et en Codigestion à Mamou, République de Guinée” *Afrique Science*, 14 (5) (2018) 147 - 157, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>