

Évaluation du potentiel spécifique en biogaz des résidus agricoles au Bénin: cas de la pomme d'anacarde

Dimitri CHINCOUN¹, Gontrand Comlan BAGAN¹

(Reçu le 12/02/2025; Accepté le 20/03/2025)

Résumé

La connaissance du potentiel méthanogène est un paramètre clé dans l'étude de faisabilité de projets de valorisation énergétique par bio-méthanisation. Dans un contexte de laboratoires faiblement équipés, cette étude visait à développer une méthode simple et fiable pour mesurer le potentiel méthanogène de la pomme d'anacarde, l'un des résidus agricoles abondants dans la Zone Agro-écologique 5 (ZAE05) au Bénin. Un dispositif expérimental basé sur l'utilisation de mini-digesteurs a été mis en place, calibré avec un substrat standard (cellulose) selon les protocoles méthodologiques établis pour l'évaluation du potentiel méthanogène. Des essais en triplicate ont permis d'évaluer la variabilité de l'*inoculum* et d'assurer la reproductibilité des mesures. Les résultats ont montré une faible variabilité, avec un coefficient de variation de 1,7 % pour l'*inoculum* et de 4 % pour les tests sur la pomme d'anacarde. La production spécifique en biogaz de la pomme d'anacarde a été estimée à 163 Nml/gVS, une valeur en accord avec les références disponibles. Ces résultats démontrent la robustesse et la reproductibilité du protocole proposé, attestant de sa pertinence pour obtenir des mesures fiables dans des laboratoires aux ressources limitées, avec des implications en termes de généralisation et de perspectives de recherche.

Mots clés: Digestion anaérobie, Méthane Biochimique, cellulose

Assessment of the specific biogas potential of agricultural residues in Benin: the case of cashew apples

Abstract

Methanogenic or biogas potential is a key parameter in assessing the feasibility of energy recovery through anaerobic digestion. In the context of under-equipped laboratories, this study aimed to develop a simple and reliable method for measuring the biogas potential of cashew apple, one of the abundant agricultural residues in Agro-ecological zone 5 (ZAE05), Benin. An experimental setup based on mini-digesters was implemented and calibrated with a standard substrate (cellulose) following established methodological protocols for methanogenic potential evaluation. Triplicate tests were conducted to assess *inoculum* variability and ensure measurement reproducibility. The results showed low variability, with a coefficient of variation of 1.7% for the *inoculum* and 4% for the cashew apple tests. The specific biogas yield of cashew apple was estimated at 163 Nml/gVS, a value consistent with available references. These findings demonstrate the robustness and reproducibility of the proposed protocol, confirming its relevance for obtaining reliable measurements in resource-limited laboratories, with implications for generalization and future research perspectives.

Keywords: Anaerobic digestion, Biochemical Methane Potential, cellulose

INTRODUCTION

De par leur composition importante en matières organiques, les résidus agricoles constituent un potentiel énergétique bien souvent négligé, notamment dans les pays les moins développés (Lacour, 2012). Au Bénin, Chincoun *et al.*, (2025) ont évalué à plus de deux millions de tonnes la quantité annuelle de matières sèches de résidus générés en moyenne entre 2018 et 2021 dans la zone agro-écologique 5. Ces résidus sont très peu exploités et même en tenant compte des quantités minimales nécessaires à la conservation des sols, environ 71% des résidus produits pourraient être valorisés.

Il existe plusieurs voies de valorisation énergétique de la biomasse dont fait partie les résidus agricoles à savoir: les voies thermo-chimiques, et les voies biochimiques. Les voies thermo-chimiques comprennent la combustion, la gazéification et la carbonisation par pyrolyse et les voies biochimiques comprennent la fermentation alcoolique et la digestion anaérobie (Couhert, 2007). La digestion anaérobie encore appelée méthanisation, a l'avantage d'être une technologie simple et déjà éprouvée, qui permet à la fois de produire de l'énergie et des fertilisants ou amendements naturels (Lacour *et al.*, 2011; Afilal *et al.*, 2014). Elle transforme la matière organique en biogaz, un mélange de méthane et de dioxyde de carbone qui peut être brûlé pour produire de l'énergie. Elle nécessite une infrastructure de base, le digesteur qui peut être mis en œuvre tant à grande échelle qu'à petite

échelle (Yusuf, *et al.*, 2011; Beyene *et al.*, 2014). Il pourrait ainsi permettre une valorisation locale des résidus et réduire les contraintes liées au transport des résidus sur de longues distances, facteur qui jusqu'à présent ne facilite pas leur valorisation (Solagro et Inddigo, 2013).

Cependant, tout projet de digestion anaérobie nécessite une connaissance préalable des quantités d'intrants disponibles et de leur potentiel méthanogène (Pham *et al.*, 2013; Escalante *et al.*, 2016). En ce qui concerne l'évaluation du potentiel méthanogène ou en biogaz deux catégories de méthodes existent: les méthodes théoriques et les méthodes expérimentales (Jingura and Matengaifa, 2008). Les valeurs théoriques sont souvent des surestimations par rapport au potentiel réel car elles ne tiennent pas compte de la consommation propre des microorganismes responsable de la digestion anaérobie et encore moins des conditions de fermentation (Raposo *et al.*, 2011). Les méthodes expérimentales sont donc souvent utilisées. Celles-ci peuvent être manuelles ou automatiques et nécessitent parfois des équipements complexes. Le sous-équipement des laboratoires des pays les moins avancés amène à privilégier les méthodes les plus simples c'est-à-dire les plus accessibles pour effectuer les tests de BMP ou SBP (Justesen *et al.*, 2019). Ces méthodes doivent être cependant bien maîtrisées et rigoureusement mises en œuvre pour des résultats satisfaisants (Holder *et al.*, 2019).

¹ Laboratoire de Génie Rural, Université Nationale d'Agriculture, Cotonou, Bénin

La présente étude avait pour objectif de tester à travers une étude de cas sur les pommes d'anacarde, une méthode simple pour la détermination des potentiels méthanogènes des résidus agricoles dans le contexte du Bénin et suivant les conditions de validité et des recommandations de Holliger *et al.*, (2016) et Pham *et al.*, (2013) qui s'inspirent de la norme VDI-4630 (Verein Deutscher Ingenieure, 2006). Il s'agissait spécifiquement de: i) mettre en place le dispositif expérimental, ii) déterminer la production spécifique en biogaz des pommes d'anacarde et iii) examiner la validité de la méthode.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était constitué d'une série de mini-digesteurs dont le modèle est représenté par la Figure 1. Chaque mini-digesteur était composé d'une bouteille de méthanisation de 500 mL [1] dans laquelle le processus de digestion a eu lieu, d'une bouteille de 500 mL servant de gazomètre [2] qui stock le gaz et permet de mesurer la quantité produite, et d'une burette de récupération [3] de l'eau du gazomètre. La bouteille de méthanisation a été munie d'un tuyau de prélèvement du substrat [5] pour la mesure de pH. Un tuyau de transfert [7] reliait la bouteille de méthanisation et le gazomètre et permettait de transférer le gaz de la première bouteille à la deuxième. En effet, l'arrivée du gaz dans le gazomètre provoquait l'évacuation d'un volume égal d'eau par le tuyau de transvasement [4] qui débouchait dans la burette graduée [3] servant à mesurer le volume d'eau collectée équivalente au volume de gaz produit. L'orifice 6 permettait de brûler le gaz stocké dans le gazomètre lorsqu'il est évacué au moment du complément d'eau dans le gazomètre par l'orifice 4. Les tuyaux 5, 6 et 7 étaient munis de vannes permettant de les ouvrir ou fermer selon le besoin. En fonctionnement normal, les vannes 5 et 6 étaient fermées tandis que la vanne 7 restait ouverte. Dans la phase expérimentale, les bouteilles étaient disposées dans des caisses en bois avec couvercle pour limiter l'exposition aux fluctuations de température. La température dans la caisse couverte a été mesurée par une sonde DS18B20 reliée à une carte Arduino et elle-même reliée à un ordinateur qui a servi de pour l'enregistrement des données.

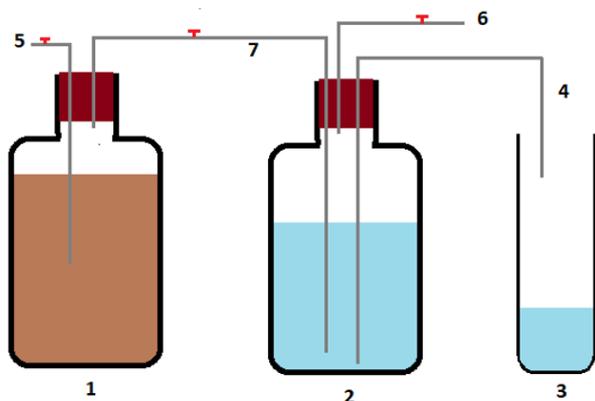


Figure 1: Modèle du digesteur expérimental (ensemble digesteur gazomètre et burette)

Contrôle et calibrage du dispositif expérimental

Le test de contrôle a permis de s'assurer de la qualité des mesures effectuées avec le dispositif expérimental et de le calibrer pour les essais proprement dit. En effet, les tests préliminaires effectués avaient révélé de nombreuses

contraintes pratiques dans la mise en œuvre des essais BMP avec ce dispositif expérimental. Les écart type entre les triplicatas peuvent parfois être très importants. D'après Hansen *et al.*, (2004) cela peut être lié à la non utilisation d'*inoculum* standardisé et homogène. La même source d'*inoculum* peut ainsi donner lieu à des variations lors de la répartition dans les différents digesteurs. La densité microbienne des inocula dans les digesteurs peut s'avérer également faible conduisant à une faible dégradation des substrats. Des inocula à potentiel de biogaz élevé peuvent aussi influencer la qualité des mesures (Pham *et al.*, 2013). Les essais étant effectués en triplicata, le test de contrôle a permis d'évaluer dans un premier temps l'uniformité des inocula dans les différents triplets et dans un second temps de vérifier le potentiel d'un substrat standard. Les feuilles de cellulose ont été utilisées comme substrat de contrôle dans la présente étude.

Source et répartition de l'*inoculum*

Le jus de rumen de bœuf a été utilisé comme *inoculum*. Il a été collecté à l'abattoir et traité le même jour. Le jus de rumen a été filtré avec un voile pour séparer les éléments solides du jus. Le jus ainsi obtenu a été réparti par triplet, par petite quantité et alternativement dans les digesteurs. La répartition a été faite avec une louche et le jus était remué avant chaque prélèvement. Trois triplets de digesteurs ont été ainsi remplis de 231 g de jus de rumen et laissés en fermentation anaérobie.

Choix des triplicatas de digesteur

La production journalière de biogaz des inocula a été suivie jusqu'à la phase terminale. Les digesteurs étaient remués manuellement au moins une fois par jour. Les données ainsi collectées ont été évaluées par une analyse de variance (ANOVA) suivi d'un test de Kruskal pour la structuration des moyennes. Le triplet présentant le coefficient de variation inférieur le plus faible a été retenu pour la suite des tests.

Test de contrôle positif

Le test de contrôle permettait d'évaluer la fiabilité de la mesure du potentiel de biogaz. Les digesteurs du triplet d'*inoculum* retenu ont été chargés de 2g de feuille de cellulose commerciale chacun. Les productions journalières des digesteurs ont été suivie et enregistrées. La fiabilité de la mesure a été évaluée suivant deux paramètres, à savoir le coefficient de variation et le taux de production spécifique de biogaz par rapport au potentiel théorique de la cellulose. D'après Holliger *et al.* (2016), le coefficient de variation pour un mélange non homogène ne devait pas dépasser 5% et celui d'un mélange hétérogène 10%. Les feuilles de cellulose qui ont été utilisées ne sont pas totalement soluble et le substrat était considéré comme hétérogène. La production spécifique de biogaz devait être comprise entre 85 et 100% des valeurs théoriques de la cellulose.

Caractérisation et incubation du substrat

Les pommes fraîches ont été collectées à Djidja au pied des anacardières. Le taux de matières sèches a été déterminé par analyse gravimétrique sur trois échantillons. Les pommes ont été séchées à 105°C dans une étuve jusqu'à stabilisation de leur poids. Les échantillons secs ont été conditionnés en bouteille et envoyés au laboratoire de l'Institut National de Recherche Agricole du Bénin (INRAB) pour la détermination du taux de matière organique.

Les pommes sèches ont été pilées et tamisées (Figure 2). La partie fine a été utilisée pour le test afin de garantir une bonne surface de contact microbien pour une bonne dégradation de la matière. Les digesteurs du triplet calibrés à la suite du test de la cellulose ont été chargés chacun de 10g de pommes sèches et laissés en incubation. Ce chargement correspond à un taux de charge de 2gVS/100 mL comme recommandé par Hansen *et al.*, (2004).

Traitement des données

Le taux de matières sèches de chaque échantillon a été déterminé par l'équation 1.

$$\%MS = 1 - \frac{MI_{R+R} - MF_{R+R}}{MI_R} \quad (1)$$

Avec: %MS: taux de matière sèche du résidu, MI_{R+R} : masse initiale récipient + résidu, MF_{R+R} : masse finale récipient + résidu, MI_R : masse initiale de résidu

Le taux de matière sèche de la pomme d'anacarde était égal à la valeur moyenne des trois échantillons.

Les volumes journaliers de gaz produit ont été compilés dans une feuille de calcul. Le cumul des volumes journaliers était calculé pour chaque digesteur et la valeur finale correspondait au volume total de biogaz produit. La production spécifique de biogaz (SBP) a été déterminée en (L/kgMS) par l'équation 2.

$$SBP = \frac{V_{tot}}{\Sigma MS} \quad (2)$$

Avec: MS la masse de matière sèche incubée et V_{tot} le volume cumulé de gaz produit.

Une analyse de variance permet de comparer les productions de gaz des différents triplets de digesteurs. La SBP du substrat est donné par l'équation:

$$SBP_s = SBP_{t/moyen} \pm SD_t$$

Avec: SBP_s : production spécifique de biogaz du substrat en L/kgVS, $SBP_{t/moyen}$: production spécifique moyenne du triplet L/kgVS, SD_t : écart type des productions spécifiques du triplet.

Les courbes de production des substrats sont ajustées par le modèle de régression non linéaire SGompertz du logiciel OriginPro 8.5.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques physico-chimique de la pomme d'anacarde

Le taux de matière sèche (MS) moyen de la pomme d'anacarde était de 14,5% avec un écart type de 1% pour les trois échantillons. Le taux de matière organique par rapport à la matière sèche a été évalué à 97,5%.

Analyse comparative de production de biogaz par les différents triplets

L'analyse de variance des trois triplets de digesteurs chargés d'*inoculum* a montré que la différence entre les moyennes n'était pas très significative (p-value supérieur à 5%). L'influence du pH du gazomètre n'était pas non plus statistiquement significative. Tous les digesteurs du triplet 3 avaient cependant des productions de gaz supérieures aux autres digesteurs et la valeur moyenne du triplet 3 était plus importante que celle des deux autres triplets (Tableau 1).

Tableau 1: Résultats analyse de variance des triplets d'*inoculum*

Groupes	pH gazomètre	Nombre d'échantillons	Moyenne	Écart type	CV
Triplet 1	10	3	250	4,16	1,7%
Triplet 2	10	3	196	36,5	18,6%
Triplet 3	7	3	422	199	47,1%

p-value = 0,12

Le triplet 1 a présenté le coefficient de variation le plus faible. Les deux autres avaient des coefficients de variation élevés. Ceci peut être due soit à une charge en matière organique plus élevée dans certains digesteurs ou à une concentration microbienne plus importante. Les courbes de production ont montré cependant une cinétique de production normale pour les trois (Figure 3); ce qui suggère une activité de digestion normale sans effet d'inhibition notoire. L'hypothèse d'une différence de charge en matière organique était plus probable.

Le coefficient de variation de 1,7% du triplet 1 indiquait que les trois digesteurs avaient des contenus similaires et étaient bien calibrés pour un test de mesure en triplicata. La consistance de l'activité microbienne reste toutefois à évaluer à travers la digestion du substrat standard. Sur les trois triplets, un seul a présenté des caractéristiques conformes aux normes et recommandations malgré les précautions de

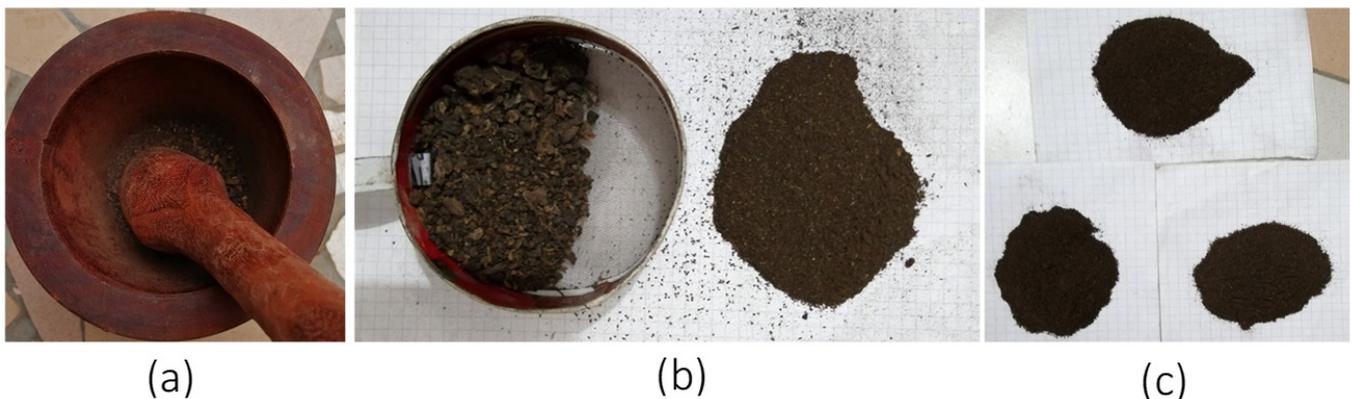


Figure 2: Échantillonnage du substrat de pomme sèche (a) pilon et mortier utilisés (b) tamis et produits de tamisage (c) échantillons à incuber

chargement de l'*inoculum*. Ce résultat confirme la nécessité de cette étape dans le processus de test expérimental de détermination du potentiel méthanogène d'un substrat.

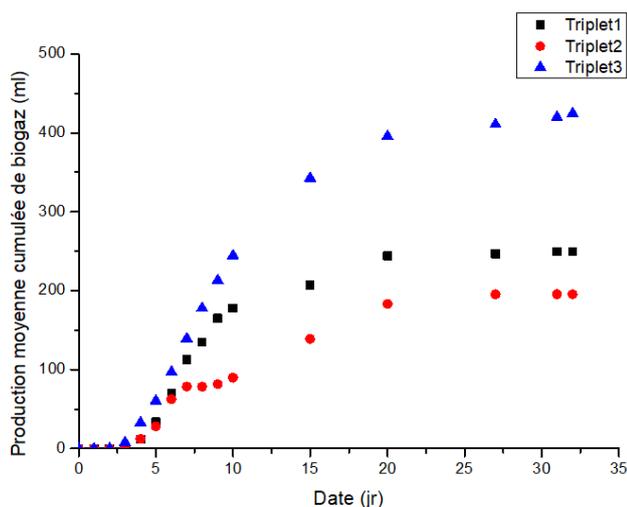


Figure 3: Production cumulée de biogaz des chargements d'inoculum

Résultats test du contrôle positif

La production spécifique moyenne obtenue était de 412 ml/gMS au bout de 50 jours (Tableau 2). Elle équivalait à 60% du potentiel théorique en biogaz de la cellulose. Cette valeur était en dessous des 85% minimum indiquée par Holliger *et al.* (2016), même si elle est supérieure aux résultats obtenus par certains laboratoires (Pham *et al.*, 2013).

Tableau 2: Production cumulée et spécifique du contrôle positif

Digesteur	Production cumulée de biogaz (ml)	Production spécifique de biogaz (ml/gMS)
D11	669	335
D12	877	439
D13	923	462
Moyenne	823	412
Écart type		55
CV		13%

Cette différence peut être liée à la nature du substrat utilisé. En effet, pour les tests cités, la cellulose microcristalline a été utilisée. Elle est totalement soluble dans l'eau. Dans la présente étude la cellulose papier a été utilisée. Le taux de dégradation serait donc faible par rapport à la cellulose microcristalline. Cette hypothèse concorde avec les résultats de Hansen *et al.*, (2004) qui ont utilisé les déchets de sac en papier comme substrats assimilés à la cellulose et ont obtenu 63% du potentiel théorique de celle-ci.

La courbe de production cumulée avait les caractéristiques conformes à celle indiquées par Koch *et al.* (2019) et suivait correctement le modèle de Gompertz avec un coefficient de régression (R^2) de 0,99 (Figure 4). La performance du dispositif est donc acceptable.

Production spécifique en biogaz des pommes d'anacarde

La production de biogaz a commencé dès le premier jour et a duré 80 jours. La production cumulée moyenne était de 1790 ml avec un coefficient de variation de 4% (Tableau 3).

La courbe de production était monotone et croissante sans ondulation (Figure 5). Elle a suivi correctement le modèle de Gompertz avec un coefficient de régression (R^2) de 0,98.

Les résultats ainsi obtenus présentent un niveau de fiabilité élevé. Le potentiel spécifique en biogaz de la pomme d'anacarde sèche peut donc être évalué à 163 ± 7 Nml/gVS. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Santos *et al.* (2020). Ces derniers ont trouvé des SBP de 173 Nml/gVS et 160 Nml/gVS en utilisant respectivement des boues industrielles et d'épuration comme *inoculum* pour la digestion de la bagasse de pomme d'anacarde. Prabhudessai *et al.*, (2013) ont également trouvé des résultats similaires variant de 130 à 142 Nml/gVS en utilisant des pommes fraîches en digestion bi-phasique. Ce potentiel quoique considérable est cependant relativement faible par rapport aux potentiel des déchets de fruits qui varient de 200 à 600 ml/kgVS d'après les travaux de Aybek and Üçok (2017). Les résultats ainsi obtenus présentent un niveau de fiabilité satisfaisant validant ainsi le processus utilisé.

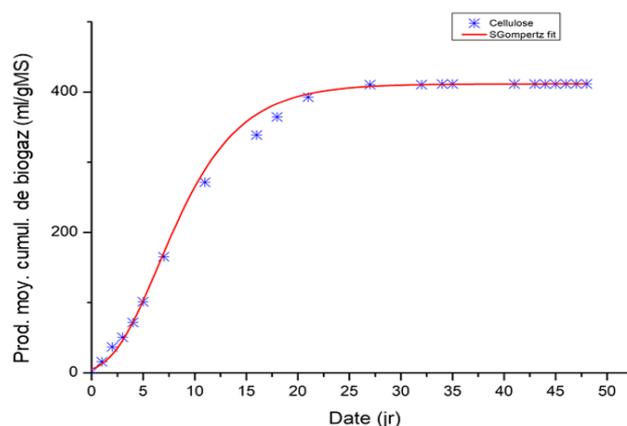


Figure 4: Production spécifique moyenne cumulée de biogaz par la cellulose

Tableau 3: Production cumulée et spécifique de pomme d'anacarde sèche

Digesteur	Production cumulée de biogaz (ml)	Production spécifique de biogaz (SBP) (ml/gMS)	SBP normalisé (Nml/gVS)
D11	1721	172	157
D12	1899	190	173
D13	1749	175	160
Moyenne	1790	179	163
Écart type	78	7,8	7,14
CV			4%

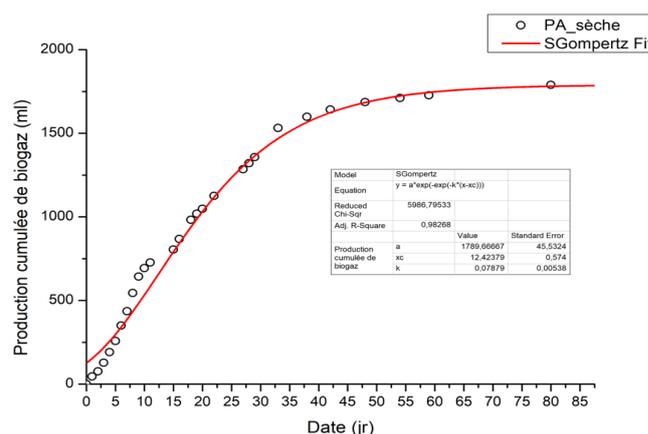


Figure 5: Production cumulée de biogaz par la pomme d'anacarde sèche

CONCLUSION

L'étude démontre que la méthode expérimentale développée permet d'évaluer de façon fiable et reproductible le potentiel méthanogène de la pomme d'anacarde, résidu agricole abondant dans la ZAE05 du Bénin. Les résultats, caractérisés par une faible variabilité et une production spécifique en biogaz comparables aux résultats d'autres travaux, attestent de la fiabilité de l'approche proposée. Ce protocole, adapté aux laboratoires aux ressources limitées, offre ainsi une alternative méthodologique pertinente pour l'analyse du potentiel de bio-méthanisation, tout en offrant une base solide pour d'éventuelles optimisations et applications sur d'autres substrats. Toutefois, l'étude présente certaines limites, notamment liées à la variabilité intrinsèque des substrats et aux incertitudes quant à la transposition des conditions de laboratoire à une échelle pilote ou industrielle. Ces faiblesses soulignent la nécessité d'optimiser les paramètres de digestion et de tester la méthode sur d'autres résidus afin d'en affiner la généralisation et l'applicabilité. En définitive, cette recherche ouvre de nouvelles perspectives pour l'amélioration des procédés de valorisation énergétique et encourage la poursuite d'études complémentaires visant à renforcer l'efficacité et la portée des technologies de bio-méthanisation dans le contexte d'un développement durable.

RÉFÉRENCES

- Afilal M.E., Elasi O. and Merzak Z. (2014). Caractérisation des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5: 1160-1169.
- Aybek A., Üçok S. (2017). Determination and evaluation of biogas and methane productions of vegetable and fruit wastes with Hohenheim Batch Test method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10: 207–215.
- Beyene A., D. Yemane, T. Addis, A.A. Assayie, L. Triest (2014). Experimental evaluation of anaerobic digestion for coffee wastewater treatment and its biomethane recovery potential. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 11: 1881–1886.
- Chincoun D.G., Bagan G.C., Sèwadé C. (2025). Évaluation de la disponibilité du potentiel valorisable de résidus agricoles de la zone agro écologique 5 au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 35: 199–217.
- Couhert C. (2007). Pyrolyse flash à haute température de la biomasse ligno-cellulosique et de ses composés: production de gaz de synthèse. Thèse de Doctorat, École Nationale des Mines de Paris.
- Escalante H., Castro L., Gauthier-Maradei P., De La Vega R.R. (2016). Spatial decision support system to evaluate crop residue energy potential by anaerobic digestion. *Bioresource technology*, 219: 80-90.
- Hansen T.L., Schmidt J.E., Angelidaki I., Marca E., Jansen J., Mosbæk H., Christensen T.H. (2004). Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste management*, 24: 393-400.
- Holder N., Mota-Meira M., Born J., Sutrina S.L. (2019). New small scale bioreactor system for the determination of the biochemical methane potential. *Waste and Biomass Valorization*, 10: 1083-1090.
- Holliger C., Alves M., Andrade D., Angelidaki I., Astals S., Baier U., Wierinck I. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, 74: 2515-2522.
- Jingura R.M., Matengaifa R. (2008). The potential for energy production from crop residues in Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy*, 32: 1287–92.
- Justesen C.G., Astals S., Mortensen J.R., Thorsen R., Koch K., Weinrich S., Hafner S.D. (2019). Development and validation of a low-cost gas density method for measuring biochemical methane potential (BMP). *Water*, 11: 2431.
- Koch K., Hafner S.D., Weinrich S., Astals S. (2019). Identification of critical problems in biochemical methane potential (BMP) tests from methane production curves. *Frontiers in Environmental Science*, 7: 178.
- Lacour J., Bayard R., Emmanuel E., Gourdon R. (2011). Évaluation du potentiel de valorisation par digestion anaérobie des gisements de déchets organiques d'origine agricole et assimilés en Haïti. *Déchets, sciences et techniques*, 60: 31–41.
- Lacour J. (2012). Valorisation de la fraction organique de résidus agricoles et autres déchets assimilés à l'aide de traitements biologiques anaérobies. Doctoral dissertation, INSA de Lyon, Université Quisqueya (Port-au-Prince, Haïti).
- Pham C.H., Triolo J.M., Cu T.T.T., Pedersen L., Sommer S.G. (2013). Validation and recommendation of methods to measure biogas production potential of animal manure. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26: 864–873.
- Prabhudessai V., Ganguly A., Mutnuri S. (2013). Biochemical Methane Potential of Agro Wastes. *Journal of Energy*, 2013: 350731.
- Raposo F., Fernández-Cegri V., De la Rubia M.A., Borja R., Béline F., Cavinato C., De Wilde V. (2011). Biochemical methane potential (BMP) of solid organic substrates: Evaluation of anaerobic biodegradability using data from an international interlaboratory study. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 86: 1088–1098.
- Santos dos L.A., Valença R.B., da Silva L.C.S., de Barros Holanda S.H., da Silva A.F.V., Jucá J.F.T., Santos A.F.M.S. (2020). Methane generation potential through anaerobic digestion of fruit waste. *Journal of Cleaner Production*, 256: 120389.
- Solagro and Inddigo (2013). Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation. Edited by ADEME.
- Verein Deutscher Ingenieure (2006). VDI 4630: Fermentation of organic materials - Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. VDI Handbuch Energietechnik Berlin: Beuth Verlag GmbH:44-59.
- Yusuf M.O.L., Debora A., Ogheneruona D.E. (2011). Ambient temperature kinetic assessment of biogas production from co-digestion of horse and cow dung. *Research in Agricultural Engineering*, 57: 97–104.