

Influence du prétraitement mécanique et biologique des feuilles mortes de neem (*azadirachta indica*) sur la production du biogaz

[Influence of mechanical and biological pretreatment of dead neem leaves (*azadirachta indica*) on biogas production]

Joël Koda TIZE¹, Darman Roger DJOULDE², and Albert NGAOU³

¹Département des Energies Renouvelables(ENREN), Université de Maroua BP.46, Maroua, Cameroun

²Département d'Agriculture, Elevage et Produits Dérivés (AGEPD) Université de Maroua, Maroua, Cameroun

³Département de Sciences Biologiques, Université de Ngaoundéré BP. 454, Ngaoundéré, Cameroun

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The potentials of dead neem leaves for the production of the biogas was investigated as key measure to reduce the deforestation mainly caused by firewood cuttings in the Far-North Cameroon. Biomass collected was allowed to undergo biological pretreatment to facilitate its hydrolysis during anaerobic co-digestion with the cow dung. Samplings of dead neem leaves were taken after 0, 5, 10, 15, 20 and 30 days of pretreatment. Collected substrates from the pretreatment unit were used to feed 1.5L micro-bioreactors in three doses namely 5%, 15% and 25%. The gross volume and flammable gas produced was evaluated. The pH of the various treatments was measured. Data on production were analyzed using SPSS 20.0 software at 5% level of significance. It appears from this study that the pretreated leaves supplied biogas just as from 4 days after digestion, while those which did not undergo this pretreatment started producing biogas after more than 3 weeks. In terms of the amount of the generated biogas, the 15 days pretreated substrate produced 3158 ml which was 22%, 35% and 94% higher than those of non-pretreated leaves, mechanically pretreated leaves and cow dung respectively. With regard to the change in pH within the bioreactors, pH dropped to 4 during the co-digestion of non-biologically pretreated leaves. At the same time in bioreactors where the substrate was biologically pretreated, the pH was more stable and appropriate for the biogas production and varied around 6 and 7.

KEYWORDS: Biogas, biological pretreatment, mechanical treatment, anaerobic digestion, dead neem leaves.

RESUME: Cette étude cible la valorisation des feuilles mortes de neem pour la production du biogaz afin réduire la déforestation causée essentiellement par la coupe du bois de chauffage dans l'extrême nord du Cameroun. La biomasse des feuilles collectées a subi un prétraitement biologique pour faciliter son hydrolyse lors de la co-digestion anaérobie avec la bouse de vache. Les échantillons de feuilles mortes de neem ont été prélevés après 0, 5, 10, 15, 20 et 30 jours de prétraitement. Les substrats ainsi prélevés ont alimenté des micro-bioréacteurs de 1,5 litre suivant trois doses à savoir 5%, 15% et 25%. Le volume des productions brute et inflammable a été évalué. Le pH des différents traitements a été mesuré. Les données relatives à la production ont été analysées grâce au logiciel SPSS 20.0 au seuil de signification de 5%. Il ressort de cette étude que les feuilles prétraitées ont produit du biogaz dès le 4^e jour de digestion, alors que celles n'ayant pas subi ce type de prétraitement passaient plus de 3 semaines avant d'en fournir. En terme de quantité du biogaz généré, on constate que le substrat prétraité pendant 15 jours a une production de 3158ml soit 22%, 35% et 94% supérieure à celles des feuilles non prétraitées, mécaniquement prétraitées et du témoin bouse de vache respectivement. En ce qui concerne de l'évolution du pH dans les bioréacteurs, on constate qu'il chute jusque 4 pendant la co-digestion des feuilles non prétraitées

biologiquement. Dans les bioréacteurs où le substrat a subi un prétraitement biologique, le pH est plus stable et plus approprié pour la production du biogaz. Il fluctue autour de 6 et 7.

MOTS-CLEFS: Biogaz, digestion anaérobie, Prétraitement biologique, Prétraitement mécanique, Feuilles mortes de neem.

1 INTRODUCTION

L'utilisation des énergies modernes en Afrique représente 3% de la consommation mondiale d'énergie moderne[1]. Cette situation continue à retarder le développement industriel du continent noir. Elle contribue par ailleurs à l'épanouissement de la pauvreté surtout en zone rurale où le bois énergie représente 86% de la consommation énergétique [2], [3]. Au Cameroun, on estime à moins de 20% la population ayant accès au gaz domestique. Cette proportion apparaît plus critique dans la partie septentrionale du pays où on estime à moins de 2% de la population qui cuisine au gaz. Or l'inaccessibilité aux formes d'énergie de cuisson moderne rend plus difficile les conditions de vie des populations, surtout celles des femmes à qui incombe généralement la responsabilité de la collecte du bois de chauffage dans les pays sous développés. La collecte du bois de chauffe est par ailleurs l'une des principales causes de déforestation et par ricochet la dégradation des terres arables [4]. Ce qui accroît l'intérêt de faire recours au biogaz comme source d'énergie écologique pour la cuisson. Malheureusement, les substrats fréquemment utilisés pour sa production à l'échelle familiale sont les déjections animales disposant un faible potentiel biométhane. En outre, l'usage des denrées alimentaires pour en produire favorise l'insécurité alimentaire. Il est urgent et plus judicieux de faire recours aux substrats de production qui n'affectent pas négativement l'alimentation humaine. Dans la zone sahélienne et en particulier au Nord du Cameroun, l'utilisation de la biomasse des feuilles mortes de neem, la plante la plus répandue en milieu urbain en est un exemple [5]. Ces arbres perdent de grande quantité de biomasse constituée principalement des feuilles mortes durant la saison sèche qui dure plus de sept mois. Cette biomasse en zone urbaine est balayée comme déchets et déversée dans les décharges par les services d'hygiène et salubrité ou bien, elle est brûlée simplement à l'air libre tel que vécu dans la ville de Maroua au Cameroun. Cette étude cible sa valorisation pour la production du biogaz. Des études récemment réalisées ont classé de façon générale les feuilles mortes des arbres parmi les matières lignocellulosiques et donc le recours au prétraitement des feuilles mortes de neem pourrait améliorer sa productivité [6], [7], [8]. Deux techniques de prétraitement à savoir le prétraitement biologique et le prétraitement mécanique ont été choisies en fonction de leur accessibilité sur le plan technico-économique. Ce sont également des techniques très écologiques qui présentent une facilité de mise en œuvre à l'échelle familiale.

Le prétraitement biologique permet de réduire voire éliminer la résistance de la structure complexe de la lignocellulose à la biodégradation afin de faciliter l'action des enzymes surtout durant la phase de l'hydrolyse. Quant au prétraitement mécanique, il augmente la capacité d'attaque des microorganismes favorisant une hydrolyse plus rapide [7], [9]. A partir de ces techniques, il est donc question de circonscrire les principaux paramètres de production d'un substrat à base des feuilles mortes de neem générant la plus grande quantité de biogaz. De façon spécifique, il a consisté à évaluer la production de biogaz des feuilles mortes de neem en fonction du type de prétraitement qu'elles ont subi et d'estimer l'influence du prétraitement des feuilles mortes de neem sur le pH du substrat en digestion anaérobie.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 LES PRETRAITEMENTS BIOLOGIQUE ET MECANIQUE

Le prétraitement biologique adopté dans cette étude a été mis en œuvre lors de la biodégradation de la matière lignocellulosique pour la production du biocarburant [10]. Quant aux microorganismes, une source spécifique n'a pas été ciblée. En effet, il a relevé une bonne performance de la biodégradation du substrat lorsqu'on utilise diverses souches de microorganismes [9]. A cet effet, la bouse fraîche de vache a été utilisée comme source de microorganisme. Le prétraitement biologique a été conduit dans des seaux plastiques de 15 litres. Nous y avons mélangé 1kg de feuilles mortes sèches et 1 kg de bouse fraîche dans 1,5 litre d'eau. Le mélange a été fermé avec un couvercle perforé permettant d'alimenter l'enceinte en oxygène. Quant au prétraitement mécanique, les feuilles mortes de neem ont été émiettées manuellement. La masse obtenue a été tamisée à l'aide d'un tamis de 4mm de maille.



Fig. 1. Techniques de prétraitement montrant (a) le traitement biologique: feuilles de neem mélangées à la bouse fraîche de vache, (b) le traitement mécanique: feuilles de neem émietées en particules de 4 mm.

2.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le test de biométhanisation a été réalisé en co-digestion avec la bouse de vache. Les substrats dans les unités de prétraitement ont été prélevés après un temps de séjour de 5, 10, 15, 20 et 30 jours. Chaque prélèvement a servi à alimenter en trois doses (5%, 15% et 25%) des micro-bioréacteurs de 1,5 litre de capacité. Les feuilles mécaniquement prétraitées et celles non prétraitées ont alimenté aussi les micro-bioréacteurs selon les doses ci-dessus. Les trois doses sont 15g, 45g et 75g de feuilles mortes et sèches de neem complétées à 300 g avec la bouse de vache fraîche, puis homogénéisés dans 1,2 litre d'eau. La bouse de vache a été utilisée comme témoin. Ainsi, le dispositif expérimental compte 24 traitements répétés chacun 4 fois.

2.3 EVALUATION DU BIOGAZ PRODUIT

Le biogaz généré par chaque traitement a été mesuré en utilisant les sachets polyéthylènes pour collecter le gaz produit par chaque bioréacteur. Le sachet contenant du gaz a été soigneusement attaché et mis dans un bécher de 1000 ml, puis maintenu au fond de celui-ci par un entonnoir. Le gaz du plastique occupe un certain volume du bécher. Le volume du bécher a été complété à 1000 ml (V1) avec de l'eau de robinet, pendant que le sachet contenant le gaz a été submergé. Après avoir retiré le sachet contenant du gaz et l'entonnoir, le niveau d'eau a baissé dans le bécher (V2). La différence de volume correspond à celui occupé par le gaz, le sachet contenant le gaz et l'entonnoir (V). Ainsi, un sachet vide de même nature et l'entonnoir sont à nouveau placés au fond du bécher et occupe un volume (V3). Avec une quantité d'eau connue dans une éprouvette, le volume est ajusté à nouveau à 1000 ml (V4). La quantité d'eau utilisée dans ce dernier cas constitue le volume du gaz (Vg) contenu dans le plastique [11]. Elle est traduite par l'équation suivante : $Vg = V4 - V3$

La production a été suivie et régulièrement quantifiée durant tout le cycle de la digestion anaérobie. Le test d'auto-inflammabilité du gaz produit a été effectué à chaque quantification de la production.

2.4 DETERMINATION DU PH DE DIGESTION DANS LES BIOREACTEURS

Deux fois par semaine, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de marque *METTLER TOLEDO*. Nous introduisons la sonde dans la solution du bioréacteur à travers une conduite qui y est aménagée et la valeur du pH est affichée 2 minutes plus tard. Grâce au logiciel Excel 2013, les courbes de variation des pH dans les différents bioréacteurs combinées aux histogrammes illustrant la cinétique de production du biogaz ont été appréciées. Seule la courbe associée à l'histogramme du meilleur prétraitement biologique ont été illustrés.

2.5 ANALYSES STATISTIQUES

Les données collectées ont fait l'objet d'une analyse de la variance en utilisant le logiciel SPSS.20 au seuil de signification 5% [11]. Les moyennes de différents traitements ont été séparées par le test multiple de Duncan.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 ANALYSE DU BIOGAZ BRUTE

Au terme des cycles de production des différents traitements, les volumes de gaz brut produit sans tenir compte de leur état d'inflammabilité sont récapitulés dans le tableau 1.

Tableau 1. Productions de biogaz brute (ml) en fonction des traitements après digestion complète

Traitements	25%	15%	5%	Durée de la digestion (jours)
TB	1846±320 ^{aA}	1982±191 ^{aA}	2131±16 ^{bA}	71
FNB	3398±453 ^{dA}	3891±168 ^{cA}	2831±84 ^{cB}	71
FNEB	3378±164 ^{dA}	3603±535 ^{cA}	3109±257 ^{cA}	71
FNBP5	3520±331 ^{dA}	2853±22 ^{bb}	1083±241 ^{aC}	66
FNBP10	2469±318 ^{abcA}	2337±441 ^{aA}	2403±490 ^{bA}	57
FNBP15	3158±477 ^{cdA}	2968±344 ^{bA}	2210±30 ^{bb}	57
FNBP20	2272±556 ^{abA}	1807±247 ^{aAB}	1342±42 ^{aB}	45
FNBP30	2648±223 ^{bca}	2421±234 ^{abA}	1376±166 ^{aB}	45
Moyenne	2835±647	2733±807	2060±661	60±13

Les lettres minuscules comparent les productions des traitements à une dose fixée. Les lettres majuscules comparent les différents traitements d'un type de substrat fixe. Les productions qui sont statistiquement homogènes portent la même lettre.

TB témoin bouse de vache, FNB feuilles de neem bouse de vache ; FNEB feuilles de neem émietées bouse de vache, FNBP, feuilles de neem bouse de vache prétraitées à i jours.

Le tableau 1 indique que les bioréacteurs témoins bouse de vache ont fourni moins de gaz brut comparés aux traitements principaux. La plus forte production de TB est de 69% et 83% inférieure à celles des substrats mécaniquement prétraités et non prétraités respectivement. Elle est de 65% plus faible que la meilleure production des substrats biologiquement prétraités (FNBP5). Ce qui atteste que les feuilles mortes de neem génèrent substantiellement du gaz brut. En outre, on constate que le recours aux prétraitements mécanique et biologique des feuilles n'a pas permis d'améliorer la production brute. Ces résultats confirment ceux stipulant que les feuilles mortes de neem n'ayant pas subi de prétraitement génèrent une plus forte production du gaz brute pendant la première semaine de la digestion. Malheureusement, cette production n'est pas inflammable [11]. Il a été également relevé que la production brute des feuilles de neem mortes et sèches à une dose de 10% est légèrement supérieure à celles des feuilles prétraitées (2110 ml contre 2086ml) [6]. Cependant, il ressort de cette étude que le prétraitement biologique raccourcit la durée du cycle de la digestion anaérobie. Dans ce cas, la codigestion avec la bouse de vache a fait réduire de 20% et 36% la durée de la digestion lorsque les substrats ont subi un prétraitement pendant 15 jours et 30 jours respectivement. Ces résultats attestent l'intérêt du prétraitement qui en déstructurant les polymères, réduit la durée de l'hydrolyse. Cette première étape de par sa durée, est généralement le facteur limitant de la méthanisation [12], [13].

En définitive, seule la qualité du gaz obtenue constitue la meilleure clé d'appréciation de chaque production enregistrée. Le test d'inflammabilité du gaz permettrait donc d'avoir une idée plus précise sur la nature du gaz, c'est-à-dire de reconnaître si le gaz obtenu est bel et bien du biogaz.

3.2 ANALYSE DU BIOGAZ INFLAMMABLE

A l'issu des différents tests d'inflammabilité, il en ressort que toute les productions ne brûlent pas. Une partie de la production brute est inerte. Cette proportion a été enregistrée pendant les premiers jours de production. Ce phénomène est quasi-total pour les traitements qui ne sont pas biologiquement prétraitées. Le tableau 2 récapitule les résultats d'analyse de toutes les productions inflammables ou biogaz.

Tableau 2. Productions Inflammables (ml) et leur proportion par rapport à la production brute des traitements feuilles mortes de neem enrichis aux bouses de vache

Traitements	25%	Proportion	15%	Proportion	5%	Proportion
TB	1433±273 ^{cAB}	78%	1630±241 ^{aB}	82%	1034±34 ^{aA}	48%
FNB	2596±389 ^{abA}	76%	2565±203 ^{bCA}	66%	1670±91 ^{bB}	59%
FNEB	2361±141 ^{aB}	69%	1762±136 ^{aA}	48%	2331±284 ^{cB}	76%
FNBP5	3050±325 ^{bA}	87%	2443±352 ^{bB}	86%	688±144 ^{aC}	63%
FNBP10	2453±318 ^{aA}	99%	2322±449 ^{bA}	99%	2392±490 ^{cA}	99%
FNBP15	3158±477 ^{bA}	100%	2968±344 ^{cA}	100%	2210±30 ^{cB}	100%
FNBP20	2272±556 ^{aA}	100%	1807±247 ^{aAB}	100%	1342±42 ^{abB}	100%
FNBP30	2648±223 ^{abA}	100%	2421±234 ^{bA}	100%	1376±166 ^{abB}	100%
Moyenne	2496±581	89%	2239±523	85%	1633±556	83%

Les lettres minuscules comparent les productions des traitements à une dose fixée. Les lettres majuscules comparent les différents traitements d'un type de substrat fixe. Les productions qui sont statistiquement homogènes portent la même lettre.

D'après le tableau 2 le substrat mécaniquement prétraité est le moins productif en dehors du témoin. Sa meilleure production qui est obtenue à la dose de 5% a généré la plus faible proportion de gaz inflammable. Tous les autres traitements à base des feuilles ont fourni leur plus forte production à la dose de 25%. Ce qui laisse prétendre que le taux de charge maximal de ces derniers n'a pas été atteint. De façon générale, les substrats prétraités biologiquement sont ceux qui fournissent les meilleures productions. Après 15 jours de prétraitement, le substrat a généré 3158 ml de biogaz soit une production qui est 22%, 35% et 94% supérieure à celles des traitements les plus productifs des feuilles non prétraitées, émietées et de bouse de vache pure respectivement. Plusieurs études attestent des améliorations similaires en faisant recours au prétraitement biologique. Ainsi, il a été noté une augmentation de 46% du biogaz à l'issue de la digestion anaérobie des résidus de la culture du riz préalablement prétraités à l'aide de *Phanerochaete chrysosporium* [14]. En prétraitant plutôt ceux du maïs à l'aide de la souche *Pleurotus florida* (champignon), il a été enregistré une augmentation de 120% et 151% après 30 jours et 60 jours de prétraitement respectivement [14]. Des augmentations de la production du biogaz de 43% et de 14% en utilisant les feuilles décomposées de *Ageratum sp* et *Euphorbia tirucalli*, respectivement et la bouse de vache ont aussi été enregistrées [15]. Des observations similaires ont été faites lors d'une digestion anaérobie des feuilles mortes de neem [6].

Environ 100% des productions brutes issues des substrats biologiquement prétraités sont inflammables tandis que cette proportion est inférieure à 80% pour ceux n'ayant pas subi un prétraitement. On constate par exemple que 30% de la meilleure production des feuilles émietées n'a pas brûlé. De ce fait, le prétraitement mécanique à 4mm des feuilles mortes de neem est moins efficace en codigestion avec la bouse de vache.

Une autre dimension d'appréciation de la production du biogaz est le dynamisme du processus dans le temps. C'est un facteur fondamental dans la conception des unités continues de production du biogaz à grande échelle. A cet effet, la cinétique de production du biogaz des feuilles mortes de neem en co-digestion avec la bouse de vache est illustrée par la figure 2. Il se dégage deux groupes de substrat en fonction du temps d'entrée en production du biogaz : substrat biologiquement prétraité et celui n'ayant pas subi ce type de prétraitement. Il convient de signaler que les feuilles mortes biologiquement prétraitées produisent du gaz inflammable à moins de quatre jours de rétention hydraulique.

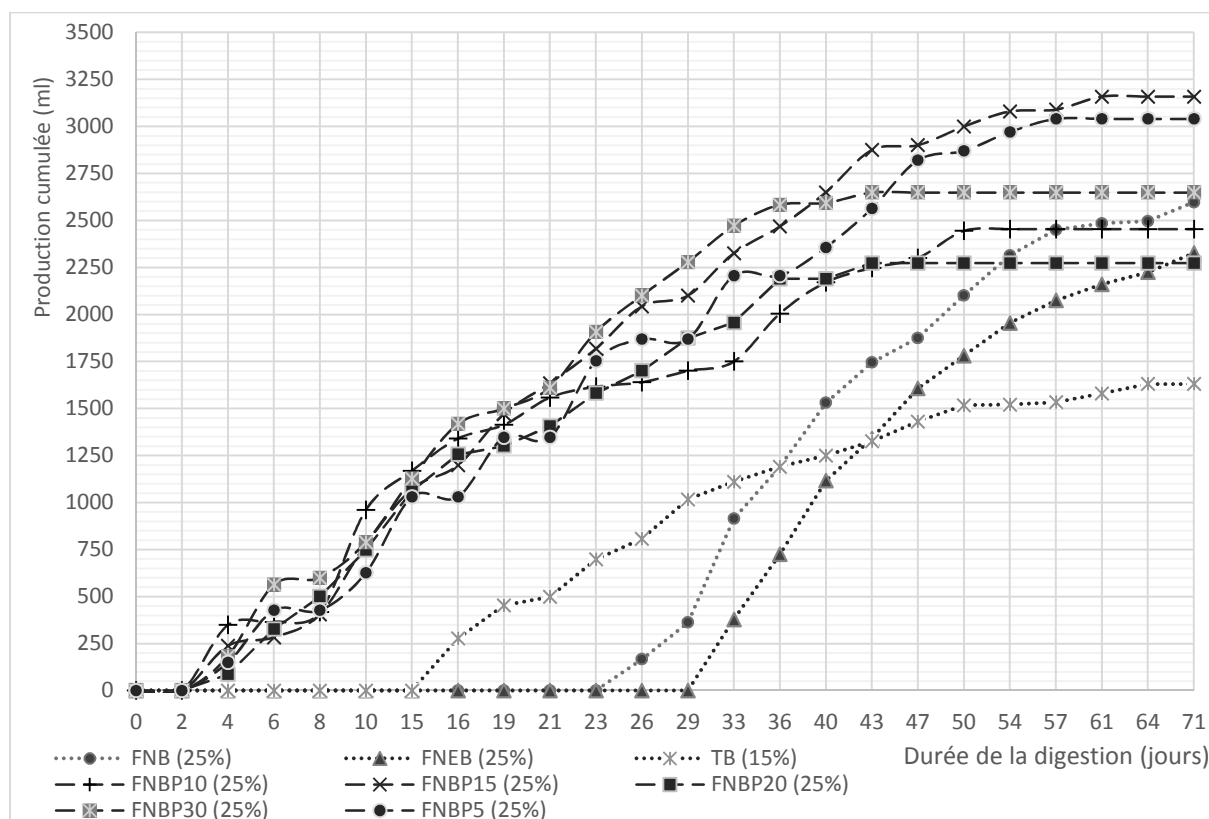


Fig. 2 Evolution des meilleures productions cumulées du biogaz en fonction des différents traitements des feuilles mortes de neem en co-digestion avec bouse de vache

Pendant les trois premières semaines, l'effet de la durée du prétraitement sur la date d'entrée en production du biogaz n'est pas perceptible. Sur cette base, il peut être recommandé un prétraitement de 05 jours des feuilles mortes de neem pour sa biométhanisation. Cependant, cet effet est substantiel quand il faut comparer les feuilles ayant subi le prétraitement biologique avec les traitements FNB, FNEB et les témoins. Ainsi, la phase de latence des substrats non biologiquement prétraités est plus longue, d'environ 23 et 29 jours pour les substrats FNB et FNEB respectivement. Cette variation de la durée des phases a également été observée lors de la digestion anaérobie des effluents d'une usine de transformation du manioc [16], avec une phase latente de 50 jours lorsque la digestion portait essentiellement sur les effluents enrichis à la bouse de vache. Par contre, lorsque les urines humaines ont été ajoutées dans certains bioréacteurs, le gaz inflammable a été enregistré dès le 4^e jour de la digestion, soit un temps de latence de 3 jours. Les urines dans les bioréacteurs participeraient au prétraitement chimique du substrat [13], [17]. En outre, pendant la digestion anaérobie des déchets ménagers verts, une phase de latence d'environ 60 jours a été obtenue. Lorsque du bicarbonate de sodium a été ajouté au substrat, cette phase a été réduite à 25 jours [18].

La variation de la phase latente s'explique d'une part par la présence de la lignine créant un obstacle aux microorganismes hydrolytiques qui sont à l'origine de la production des premiers produits de la biométhanisation. La destruction de la lignine dans des conditions anaérobies est par conséquent très lente [19], [20]. D'autre part, le faible rapport C/N du substrat peut favoriser la formation des substances créant un dysfonctionnement dans le bioréacteur et retardant l'émission du méthane [8], [21]. Ce dernier cas est peu probable dans cette étude car les feuilles sèches et la bouse de vache ont généralement un rapport C/N élevé [7].

3.3 INFLUENCE DU PRETRAITEMENT DES FEUILLES MORTES DE NEEM SUR LE PH DE DIGESTION

Pendant la digestion anaérobie des feuilles mortes de neem, il ressort que la fluctuation du pH varie selon le type de prétraitement qu'elles ont subi (figure 3).

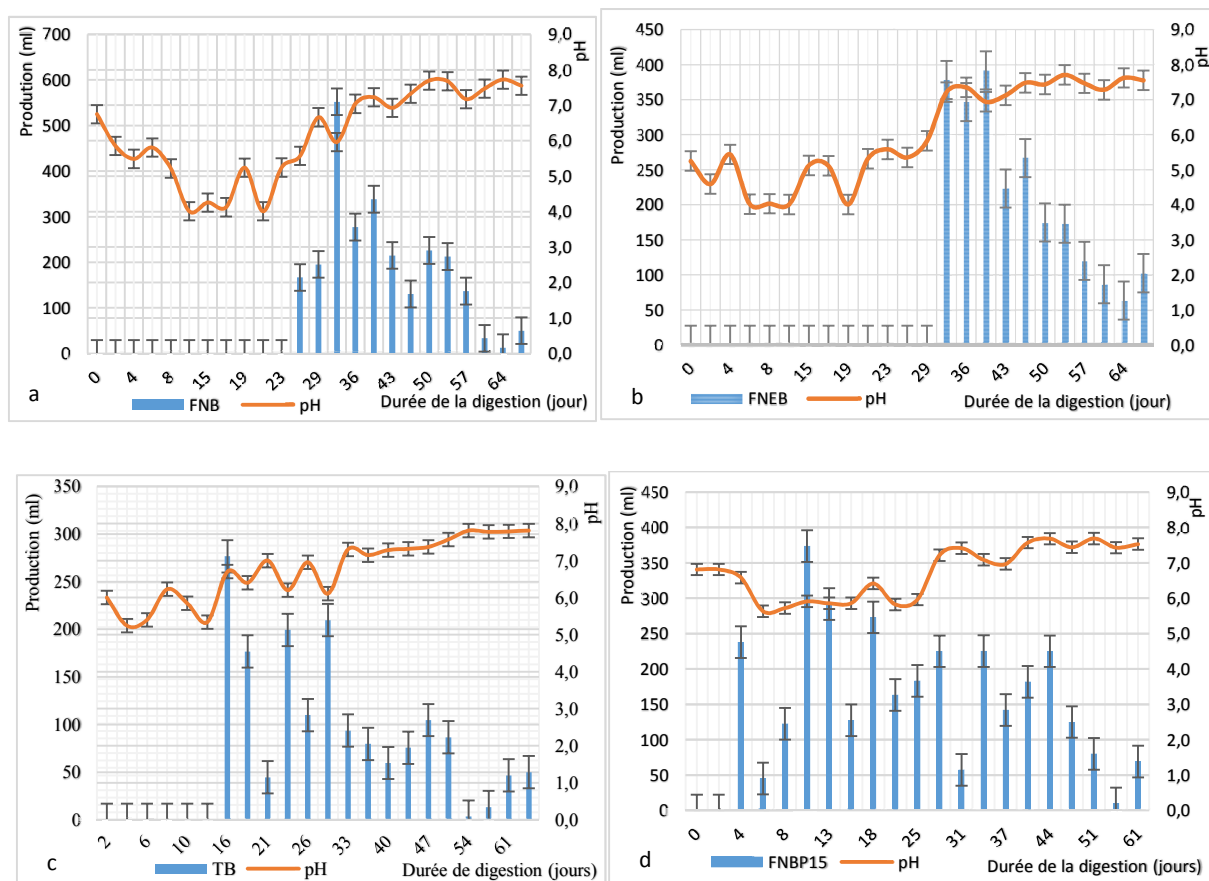


Fig. 3. Variation du pH et des histogrammes des différents traitements des feuilles mortes de neem : (a) feuilles mortes de neem sans prétraitement, (b) feuilles mortes de neem mécaniquement prétraitées, (c) bouse de vache et (d) feuilles mortes de neem biologiquement prétraitées pendant 15 jours.

Le pH dans des bioréacteurs est fortement influencé par la nature des feuilles sèches de neem. La tendance générale de toutes ces courbes se résume en quatre phases: la chute du pH pendant les premiers jours de la digestion, la stabilisation du pH au terme de sa chute, la remontée du pH suivie à nouveau d'une stabilisation. L'influence du type de prétraitement qu'a subi le substrat se manifeste au niveau de la durée de chaque phase et de l'amplitude des variations du pH. Lorsque les feuilles ne sont pas biologiquement prétraitées, on assiste à une forte chute du pH qui atteint la zone de 4 avant de se stabiliser. Ces deux phases durent environ trois semaines et sont caractérisées par une absence de production du biogaz. Au-delà de la troisième semaine, le pH croît progressivement pour se stabiliser dans la zone de 7 et 8 après un mois de digestion. La remontée du pH est suivie par l'entrée en production du biogaz des bioréacteurs. Les feuilles de neem non prétraitées peuvent fournir du biogaz à un pH d'environ 5,5, alors que celles mécaniquement prétraitées nécessitent un pH plus élevé (6.5 à 7). Dans le même temps, les traitements témoins et ceux des feuilles biologiquement prétraitées connaissent une baisse de pH, mais de faible amplitude et ce stabilisant dans la zone de pH 5 et 6. Ces phases durent deux semaines soit 50% plus courtes que celles correspondantes à celles de FNB et FNEB. De ces observations, il se dégage que le prétraitement biologique des feuilles mortes de neem limite la baisse du pH créant un milieu plus approprié pour leur digestion anaérobie. En outre, pH a tendance à se stabiliser dans la zone de 7 et 8 après un mois de digestion. Ce temps est substantiellement plus court lorsque les feuilles ont subi un prétraitement biologique de supérieur ou égal à 20 jours.

Des oscillations similaires du pH ont été observées lors de la digestion des effluents du manioc [16]. Dans les bioréacteurs où s'opère uniquement la digestion des déchets du manioc ou enrichie à la bouse de vache sans ajout d'urine, le pH a été très faible variant entre 3,71 et 4,68. Lors que ces bioréacteurs ont été enrichis aux urines humaines, le pH a été plus élevé et oscillé autour de la zone de 7 et 10. Les urines ont une action sur le pH similaire à celle du prétraitement biologique mise en évidence dans cette étude [16]. Ceci confirme également des fluctuations du pH enregistrées pendant la digestion des déchets ménagers verts. Il a été observé une chute du pH de 6,5 jusqu'à environ 3,5 pendant la première semaine de digestion. Après 20 jours de méthanisation, il a amorcé une remontée atteignant une zone de pH 5,5 au bout de 65 jours de digestion [18].

4 CONCLUSION

La méthanisation des feuilles mortes de neem peut constituer une alternative de production du biogaz. Cependant, le recours prétraitement biologique permet d'améliorer leur rendement. Les feuilles prétraitées pendant 15 jours fournissent 3158 ml de biogaz soit 22%, 35% et 94% supérieurs aux productions de feuilles non prétraitées, émietées et de bouse de vache respectivement. Le prétraitement biologique écourte le cycle de la digestion anaérobie de 71 jours à 45 jours. Il favorise une rapide entrée en production du gaz inflammable. En outre, pendant la digestion des feuilles mortes biologiquement prétraitées, le pH est plus stable et se situe dans la zone de 6 et 8. Par contre, celui des feuilles n'ayant pas subi ce type de prétraitement chute à pH 4, inhibant ainsi la méthanogénèse.

REFERENCES

- [1] E. Uyigue and O.E. Archibong, "Scaling-up renewable energy technologies in Africa," *Journal of Engineering and Technology Research*, vol. 2, no. 8, pp. 130-138, 2010.
- [2] G. Jan, M. A. Khan, A. Khan, F. G. Jan, R. K., M. Ahmad, A. Rehman, M. Danish, M. Asif, s. khan, M. Zafar and M. Jan, "An Ethnobotanical Survey on Fuel Wood and Timber plant Species of Kaghan Valley, Khyber pakhtoonkhwa Province," *Pakistan African Journal of Biotechnology*, vol. 10, no. 82, pp. 19075-19083, 2011.
- [3] K. O. Oloruntegbe, A. M. Akinsete, E. O. Ayeni, M. O. Odutuyi and G. M. Alam, "Rethinking development and sustainability of African economy: The roles of science education," *African Journal of Business Management*, Vol. 4, no.6) pp. 811-819, 2010.
- [4] D. P. Folefack et S. Abou, "Commercialisation du bois de chauffe en zone sahélienne du Cameroun," *Sécheresse*, vol. 20, no. 3, pp. 312-318, 2009.
- [5] M. Faye, *Nouveau procédé de fractionnement de la graine de neem (Azadirachta indica A Juss) Sénégalais: production d'un bio-pesticide d'huile de tourteau*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique, Université de Toulouse, 2010.
- [6] K. Tizé, D. Djouldé et A. Ngakou, "Valorization of neem dead leaves (*Azadirachta indica*) by the production of biogas," *American Open Renewable & Sustainable Energy Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 15-22, 2013.
- [7] J. Lacour, *Valorisation des résidus agricoles et autres déchets organiques par digestion anaérobie en Haïti*, Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon et Université de Quisqueya –Haïti, 2012.
- [8] W. Mussoline, *Enhancing the methane production from untreated rice straw using an anaerobic co-digestion approach with piggery wastewater and pulp and paper mill sludge to optimize energy conversion in farm-scale biogas plants*, Thèse de Doctorat, Science et Technique de l'Environnement, Université de Paris-Est, 2013.
- [9] A. Mshandete, L. Björnsson, K. Kivaisi, T. Rubindamayugi and B. Mattiasson, "Two-stage anaerobic digestion of aerobic pre-treated sisal leaf decortication residues: hydrolases activities and biogas production profile", *African Journal of Biochemistry Research*, vol. 2, no. 11, pp. 211-218, 2008.
- [10] D. Kpogbemabou, *Procédé de fabrication de biocarburants à partir de biomasse lignocellulosique biologiquement déstructurée*, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, Université du Poitiers, 2011.
- [11] K. Tizé, *Valorisation des feuilles mortes de neem (Azadirachta indica) par la production du biogaz*, mémoire de master, Ecole Normale Supérieure, Université de Maroua, Cameroun, 2012.
- [12] J. J. Godon, *Aspects biochimiques et microbiologiques de la méthanisation*, In : La méthanisation, Éd. Tec & doc Lavoisier, 2011.
- [13] G. Brodeur, E. Yau, K. Badal, J. Collier, K. B. Ramachandran et S. Ramakrishnan, "Chemical and Physicochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass" *Research Enzyme Research*, 17 pages, 2011.
- [14] K. Stamatelatou, G. Antonopoulou, I. Ntaikou and G. Lyberatos, *The Effect of Physical, Chemical, and Biological Pretreatments of Biomass on its Anaerobic Digestibility and Biogas Production* In: *Biogas Production Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*, 313 pages, 2012.
- [15] Yadvika, Santosh, T. R. Sreekrishnan., S.K. and V. Rana, "Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques," *Bioresource Technology*, 10 pages 2004.
- [16] N. E. Kpata-Konan, K. F. Konan, M. Kouame Kouame, Y. F. Kouame, T. Gnagne et K. Tano, "Optimisation de la biométhanisation des effluents de manioc issus de la filière de fabrication de l'attiéké (semoule de manioc)" *International Journal of Biological Chemical Sciences*, vol.5, no.6, pp. 2330-2342, 2011.
- [17] I. Angelidaki, M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J. L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek and J. B., Van Lier, "Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays," *Water Science & Technology—WST*, pp.924-934, 2009.

- [18] S. Kalloum, M. Khelafi, M. Djaafri, A. Tahri et A., "Touz, Etude de l'influence du pH sur la production du biogaz à partir des déchets ménagers," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 10, no. 4, pp. 539 – 543, 2007.
- [19] M.Taherzadeh, J. and K. Keikhosr, "Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 9, no. 9, pp.1621-1651, 2008.
- [20] B. Yang, Z. Dai, S. Ding and C. Wyman, "Enzymatic hydrolysis of cellulosic biomass," *Biofuels*, vol. 2, no.4, pp.421-450, 2011.
- [21] V. Nordmann, *Caractérisation et impact des différentes fractions d'une biomasse lignocellulosique pour améliorer les prétraitements favorisant sa méthanisation*, Thèse de doctorat, Chimie organique, Université Bordeaux 1, 2013.