

Contribution au développement d'une installation de biométhanisation adaptée à l'utilisation rurale au Burkina Faso

Ing. N. ZIMMERMANN
Charles D. KONSEIBO
Ir. C. CHARLIER
CEAS Burkina
GRAMME – Liège

Cet article traite du développement d'un biodigester en voie humide à petite échelle qui doit également être abordable pour les populations rurales du Burkina Faso. Le passage à l'utilisation du biogaz constitue une solution renouvelable aux enjeux énergétiques locaux, tout en y impliquant aussi la gestion des déchets.

Mots-clefs : biodigester, voie humide, Burkina Faso, biogaz, gestion des déchets.

This article presents the development of a wet process biodigester at a small scale which has also to be affordable for the rural populations of Burkina Faso. The transition to the use of biogas stands as a renewable answer to the local energy issues, while including also the waste treatment.

Keywords: biodigester, wet process, Burkina Faso, biogas, waste treatment.

1. Introduction

La méthanisation ou digestion anaérobie est un procédé microbiologique complexe et relativement fragile : il s'agit d'une fermentation en absence d'oxygène qui est possible sur 3 plages de température plus ou moins larges [1]. Elle a lieu naturellement dans les marais, les sols, les décharges municipales mais aussi dans les intestins des animaux.

Ce processus est assuré par plusieurs familles de microorganismes qui vont se relayer pour digérer la matière organique. La composition de ces groupes de bactéries productrices de biogaz dépend de nombreux facteurs comme la température, l'état d'avancement de la digestion, la nature du substrat. Dans la plupart des cas, le substrat est composé d'une grande variété de molécules différentes. Cependant, les graisses usagées par exemple ont un plus grand pouvoir méthanogène. A contrario, les déjections animales (plus particulièrement de source bovine) sont plus facilement dégradables étant donné l'apport de microorganismes adaptés à la digestion anaérobie mais elles produisent de plus faibles quantités de biogaz [2]. Il est également intéressant de noter que la réaction de méthanisation est endothermique, par conséquent, elle nécessite un apport de chaleur.

Les produits de cette transformation sont d'une part le biogaz composé majoritairement de méthane, et d'autre part le digestat, c'est-à-dire un produit humide riche en minéraux partiellement stabilisé et utilisable comme engrais.

L'attrait principal de la biométhanisation est de fournir une source d'énergie locale et renouvelable tout en valorisant les déchets organiques, ce qui en fait une alternative aux énergies fossiles polluantes et limitées. Le milieu de l'agriculture trouve également son compte dans ce procédé en disposant d'un engrais efficace qui peut représenter une source potentielle de revenu.

2. Composition du biogaz

Le biogaz est majoritairement composé de méthane, qui constitue la partie énergétique utile de ce gaz. Le tableau 1 rassemble les composés complétant le mélange dont le dioxyde de carbone qui est le deuxième plus représenté [3]. On trouve également des traces de sulfure d'hydrogène, qui est un gaz toxique et corrosif. Il va de soi que la composition du biogaz varie d'un substrat à l'autre mais elle dépend aussi des conditions de la digestion anaérobie.

Composé	Pourcentage du volume
Méthane (CH ₄)	55 – 65
Dioxyde de carbone (CO ₂)	35 – 45
Vapeur d'eau (H ₂ O)	0 – 5
Azote (N ₂)	0 – 3
Oxygène (O ₂)	0 – 2
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	0 – 1
Hydrogène (H ₂)	0 – 1
Ammoniac (NH ₃)	0 – 1

Tableau 1 : Composition typique du biogaz ([1] et [3])

Le méthane possède un pouvoir calorifique d'environ 10 kWh/Nm³. Le biogaz étant habituellement composé de 60 % de méthane, son pouvoir calorifique potentiel est donc de 6 kWh/Nm³.

3. Contexte

L'accès à l'énergie est un problème majeur pour les pays en voie de développement. Etant situé dans la zone du Sahel, le Burkina Faso fait en plus face à la désertification progressive, accélérée par l'utilisation généralisée du bois pour la cuisine aussi bien dans les campagnes que dans les villes. En effet, les bonbonnes à gaz ainsi que le système de brûleurs représentent souvent des investissements trop importants, voire complexes, pour les populations rurales. Par ailleurs, l'utilisation de gaz propane ou butane reste un problème économique et environnemental vu que ces ressources ne sont ni gratuites, ni renouvelables.

La population burkinabée étant majoritairement rurale (plus de 70% de la population active), il n'est pas rare qu'une famille possède plusieurs animaux et/ou cultive des fruits et légumes. L'apport en déchets organiques est donc quasi quotidien, ce qui représente un réel gisement à exploiter. Ainsi, à l'aide d'une unité de biométhanisation, ces déchets pourraient être valorisés en énergie et en fertilisant. Le coût de l'installation a bien évidemment une importance cruciale pour ces populations, c'est pourquoi il faut réaliser un système très simple en termes d'installation et d'utilisation.

4. Unités de biométhanisation

Il existe une grande variété d'installations de biométhanisation allant habituellement de plusieurs milliers de mètres cubes pour le traitement des boues de stations d'épurations à 4 à 10 mètres cubes pour les petites unités domestiques. La plupart des installations fonctionnent en régime de température mésophile, c'est-à-dire entre 30 et 42°C, avec un optimum à 38°C. Sortir de cette plage de température ne constitue cependant pas de problème majeur pour les microorganismes, ce qui permet dans certains cas de se passer d'un système de régulation de température.

Le processus peut être continu, semi continu, ou fonctionner en batch (c'est-à-dire de manière discontinue). Le taux de matière sèche a une grande influence sur les types de technologies rencontrées. D'autres facteurs tels que le temps de rétention de la matière, le régime de température ou le type de substrat diversifient également les caractéristiques des unités de production.

Dans les pays en voie de développement, la biométhanisation s'effectue principalement en voie humide. Le taux de matière sèche dans le substrat utilisé est alors inférieur à 15 %. On distingue deux types d'unités de production de biogaz domestique [4] :

- le système enterré, réalisé en recouvrant une fosse d'une bâche en plastique. Bien qu'elles soient peu onéreuses, ces installations sont relativement fragiles et éphémères, leur fiabilité est faible.
- Les digesteurs sous forme de dômes semi-enterrés en briques ou briquettes sont quant à eux plus fiables mais nécessitent un investissement plus important.

Ces deux catégories de digesteurs fonctionnent de manière continue et requièrent un apport important de substrat (par exemple un minimum de 20 kg de bouse de vache par jour pour une unité de 4 m³).

5. Biodigesteur à barrique

Afin de présenter une alternative aux systèmes fragiles ou trop coûteux déjà répandus dans les pays en voie de développement, des barriques métalliques de 200 litres ont été quelque peu modifiées afin d'assurer l'étanchéité du système mais aussi dans le but de permettre un fonctionnement semi-continu. Par ailleurs, il apparaît nécessaire de développer cette unité en tenant compte des matériaux et substrats facilement disponibles au Burkina Faso.

En ce sens, les barriques en métal sont particulièrement peu coûteuses et relativement répandue dans le pays. Leur volume limité à 200 litres est leur principal inconvénient.

La figure 1 représente l'un des deux biodigesteurs réalisés lors de ce travail. L'étanchéité est d'une importance cruciale, c'est pourquoi chaque connexion est dans un premier temps soudée, pour être ensuite renforcée à l'aide de mastic. Le système d'admission est composé d'un bac ainsi que d'un tuyau plongeant dans la barrique et immergé lorsque la digestion anaérobie est en cours. Ainsi, l'ajout de matière dans le biodigesteur peut se faire sans y introduire de l'oxygène, inhibiteur de la réaction. On peut alors renouveler la matière à digérer tous les 20 à 30 jours et soutirer une partie du substrat digéré grâce à la vanne inférieure.

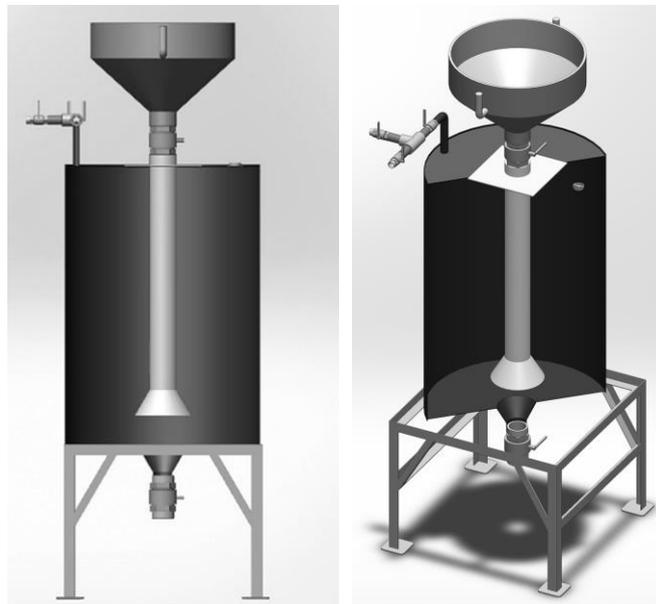


Figure 1 : Coupes partielles représentant le digesteur réalisé lors de ce projet

L'ensemble du système est scellé par deux vannes de plomberie de 1,5 pouces. Il est également nécessaire de prévoir une voie d'échappement pour le biogaz, afin de le stocker ou éventuellement de le consommer directement.

5.1. Analyse qualitative du biogaz

Les analyses qualitatives du biogaz ont été réalisées à l'aide d'un analyseur de gaz GEMBIO, permettant d'avoir les concentrations en méthane, dioxyde de carbone, oxygène et sulfure d'hydrogène.

Après avoir réalisé les vérifications quant à l'étanchéité du système, les biodigesteurs ont pu être alimentés. Le choix du substrat s'est d'abord porté sur de la bouse de vache et s'est ensuite élargi à des résidus de fruits.

Substrat homogène

La figure 2 présente l'évolution de la composition du biogaz en pourcents dans le premier digesteur. Le substrat de départ était constitué de 15 kg de bouse de vache mélangé à 20 kg d'eau (nécessaire pour des raisons pratiques uniquement). Durant les premiers jours de la réaction, les microorganismes ont consommé l'oxygène présent initialement dans le digesteur, et ont alors produit principalement du CO₂. A partir du dixième jour, le taux d'oxygène est resté inférieur à 0,1% et le taux de méthane n'a cessé d'augmenter pour atteindre des valeurs comprises entre 55 et 60%.

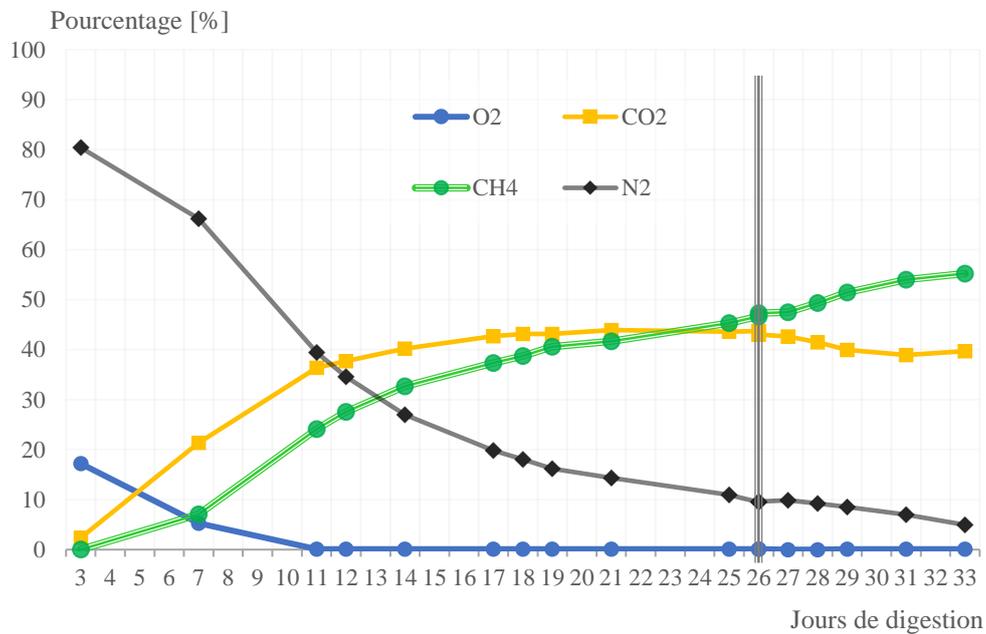


Figure 2 : Évolution de la composition du biogaz, substrat homogène

Il est également intéressant de constater que la réintroduction de substrat (marqué par la ligne verticale, cf. fig. 2) a pu maintenir les conditions anaérobies, ce qui prouve l'efficacité du système d'admission. De plus, le taux de méthane a par la suite continué à augmenter grâce à cet apport de matière facilement méthanisable. Enfin, il a été constaté que la quantité de sulfure d'hydrogène est restée inférieure à 15 ppm tout au long de l'expérience, et ce également pour le second digesteur.

Substrat hétérogène

A l'instar du premier digesteur, l'expérience réalisée sur le second système a également été démarrée au départ d'un substrat homogène, soit de la bouse de vache. Une combinaison entre la bouse de vache et des résidus de fruits (peaux de

bananes, mangues impropres à la consommation) a été expérimentée lors du second rechargement.

Comme on peut le constater à la figure 3 (à partir du 42^{ème} jour), la qualité de la production a été quelque peu détériorée en raison de l'ajout de matière hautement fermentescible, qui a dans un premier temps dégagé beaucoup de CO₂.

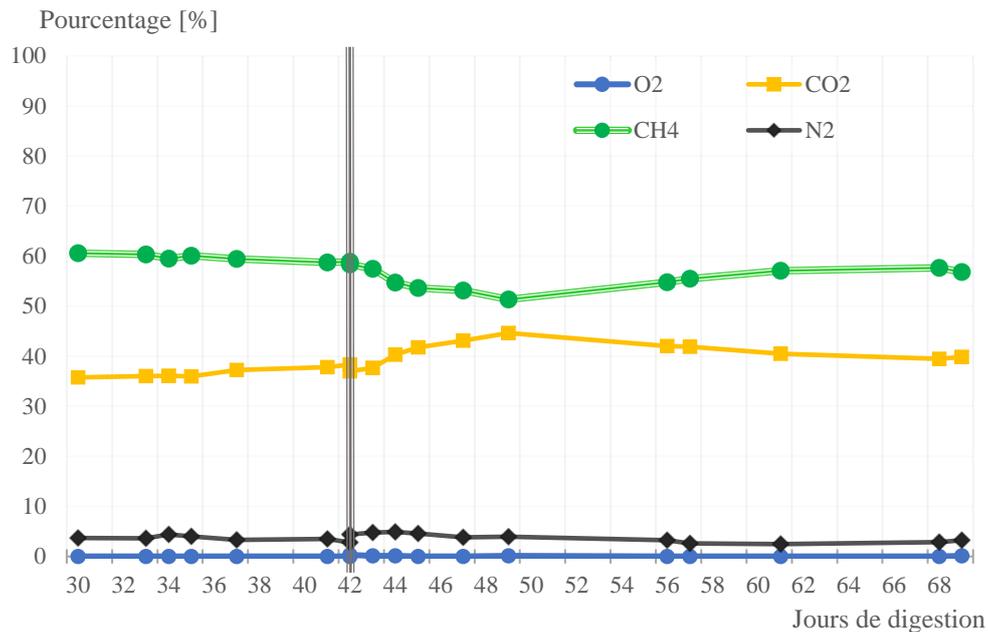


Figure 3 : Évolution de la composition du biogaz, substrat hétérogène

Le système d'admission a une nouvelle fois démontré son efficacité en permettant l'alimentation et le soutirage sans introduction d'air.

5.2. Analyse quantitative de la production

La figure 4 représente l'évolution de la pression relative interne des deux unités, réalisée à l'aide de l'analyseur de gaz GEMBIO. Etant donné que l'analyseur pompe une certaine quantité de gaz pour réaliser l'analyse, on peut remarquer sur ce graphique des diminutions de pression ayant lieu lors de chaque prise de mesure. On constate également plusieurs grosses chutes de pression, le 3 mai et le 11 mai notamment. Celles-ci correspondent à la consommation ou au stockage du biogaz.

En outre, le premier biodigesteur a atteint une pression relative maximale de plus de 600 mbar, qu'il ne faut pas dépasser en raison de la résistance mécanique des barriques en métal. En effet, à cette pression, la partie supérieure du digesteur avait drastiquement enflé et menaçait de se fissurer.

Plusieurs facteurs influencent la pression relative interne :

- la production de biogaz connaît un optimum à une température de 38°C et un léger ralentissement autour de 45°C. Or, étant donné l'absence de régulation de température, la température du système est imposée par les conditions extérieures.
- Le second digesteur a été lancé ultérieurement au premier digesteur. Ainsi, la quantité de microorganismes était moindre et, bien que ces derniers produisent un biogaz de qualité, la quantité était légèrement inférieure.
- Il est également possible qu'il soit resté un léger excès de substances inhibitrices qui ont freiné la production du second digesteur

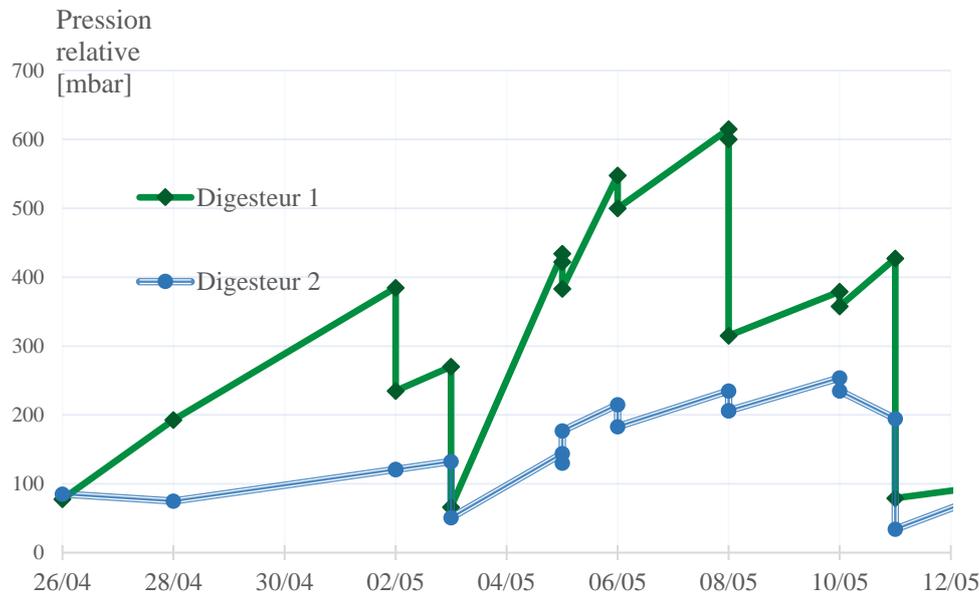


Figure 4 : Évolution de la pression interne relative des biodigesteurs

Cette analyse de la pression permet de confirmer l'étanchéité des digesteurs, mais ne permet pas d'avoir une idée exacte sur le volume de biogaz produit. Pour ce faire, la production a été évaluée en remplissant des chambres à air de 200 litres. Ainsi, en 10 jours, et quasi exclusivement grâce à la production du premier digesteur, il a été possible de remplir 3 fois une chambre à air de 200 litres sans précaution particulière.

En utilisant des biodigesteurs à barriques parfaitement fonctionnels et dont la phase de démarrage est passée (à l'instar du premier digesteur), on peut estimer que la production serait donc d'environ 1600 litres (soit 2 * 4 chambres à air de 200 litres) en 10 jours.

En supposant qu'une famille de 5 personnes cuisine 2h30 par jour [5], et que 200 litres de biogaz contenant 60% de méthane permettent de cuisiner 45 minutes, une production quotidienne de 200 litres par jour représenterait donc près d'un tiers des besoins d'une famille. Ces données sont cependant à considérer avec précautions étant donné qu'elles dépendent de plusieurs paramètres comme le type de cuisine (chauffer de l'eau ou réchauffer des aliments ne demande pas la même quantité d'énergie), l'efficacité du brûleur (à garantir), la quantité de méthane dans le biogaz (à stabiliser), etc.

6. Unités de production envisagée

L'objectif étant de réaliser une unité accessible aux fermes et éventuellement aux familles modestes des pays en voie de développement, ce travail s'est axé sur la conception d'un système peu coûteux, simple à réaliser et à utiliser.

6.1. Simple barrique

Ce procédé utilisant une seule barrique est à priori le moins complexe. Cependant, afin d'avoir une production continue, l'installation doit intégrer un système d'alimentation permettant l'ajout le plus aisé possible de matière organique, mais aussi un système de soutirage efficace.

Ce modèle comporte un problème de taille : en cas de fonctionnement continu, la matière ajoutée étant plus fraîche, elle relâche dans un premier temps toute une série de composés (CO_2 , acides gras volatils, etc.) et détériore donc grandement la qualité du biogaz. En effet, seul le méthane est énergétiquement utile énergétiquement, or la décomposition de substrat frais s'accompagne dans un premier temps par une forte production de CO_2 , comme l'a démontré le point 5.1.

6.2. Plusieurs barriques en parallèle

Dans ce cas, l'unité est composée d'un minimum de trois digesteurs fonctionnant de manière discontinue et contenant de la matière organique à différents stades de maturation afin d'avoir une production suffisamment linéaire (stabilisée), comme le présente la figure 5.

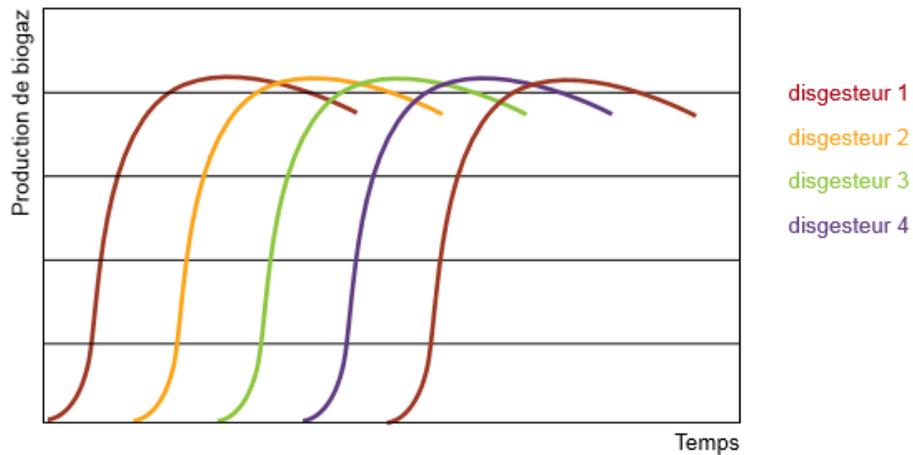


Figure 5 : Production continue réalisée grâce à plusieurs digesteurs en parallèle

Ce principe permettrait d'obtenir des quantités variables de biogaz en fonction du nombre de digesteurs en parallèle, chacun étant à un stade de maturation différent. De plus, la quantité de biogaz produite par une barrique de 200 litres est relativement limitée. En utilisant un minimum de 3 barriques, on a donc une production cumulée plus importante.

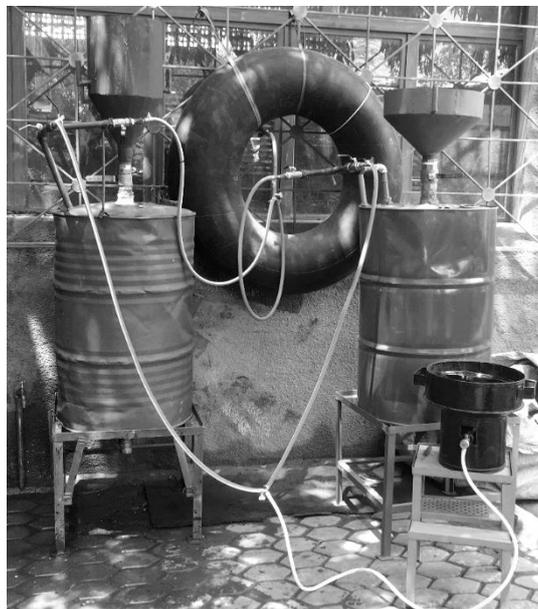


Figure 6 : Système de deux barriques en parallèle réalisé durant ce travail au CEAS

La figure 6 représente l'installation réalisée durant ce travail. On distingue deux biodigesteurs à barrique utilisés en parallèle et connectés d'une part à une chambre à air et d'autre part à un brûleur.

Ce dernier nécessite dans de nombreux cas une adaptation à l'utilisation du biogaz. En effet, afin que la flamme puisse se maintenir et donc éviter un décollement, il est nécessaire que le biogaz ne soit pas amené à un débit trop haut. Or, ce débit est principalement fonction du diamètre du gicleur (assimilable à un tube de venturi) ainsi que de la pression du gaz. Le gicleur d'origine, destiné à l'utilisation du butane – propane, a donc été élargi de 0,7 à 2 mm.

7. Pistes d'améliorations

Suite à l'utilisation des deux barriques, de nombreuses optimisations nous sont venues à l'esprit. Il serait par exemple possible de souder deux barriques afin d'avoir un digesteur de 400 litres.

Par ailleurs, il s'avère nécessaire de soutenir davantage les barriques car après 3 mois d'utilisation, la paroi inférieure du premier digesteur s'est légèrement affaïssée sous le poids du mélange bouse de vache/eau (plus de 50 kg tout de même).

Il pourrait être intéressant de prévoir un fond de barrique conique afin de faciliter la vidange des digesteurs. Néanmoins, cela nécessiterait un usinage supplémentaire, ce qui se traduirait par un coût plus élevé, problématique dans le contexte évoqué.

Les bacs d'admission des trois digesteurs réalisés durant ce travail ont été fixés fermement au tuyau et à la vanne d'admission, cependant, on pourrait utiliser le même bac d'admission amovible pour chaque digesteur.

8. Conclusion

Fort des travaux réalisés au Centre Ecologique Albert Schweitzer du Burkina Faso ainsi que des expériences menées à bien à l'unité de laboratoire de l'Institut Gramme, ce travail a permis de contribuer au développement d'une unité de biométhanisation en voie humide dans le contexte du Burkina Faso.

Afin d'être accessible aux populations rurales de ce pays de l'Ouest Africain, la question du coût de l'unité était centrale. En effet, diverses technologies permettent déjà de produire du biogaz à des fins domestiques, néanmoins, celles-ci requièrent des investissements conséquents. L'objectif était donc de réaliser un biodigesteur simple d'utilisation permettant in fine de fournir suffisamment de biogaz pour

subvenir aux besoins d'une famille burkinabée pour tout simplement cuisiner un repas quotidiennement.

Ainsi, la réutilisation de barriques de 200 litres a été privilégiée car leur présence est largement répandue à travers le Burkina Faso et dans les pays en voie de développement en général. De plus, le coût de ces contenants est relativement bas (10 000 franc CFA, soit 15 €), ce qui permet de les optimiser par l'ajout d'un système d'admission et de vidange, ainsi que de prévoir un système de stockage qui s'avère nécessaire.

Deux biodigesteurs sous forme de barriques et alimentés principalement par des déjections bovines ont produit du biogaz utilisable directement par l'intermédiaire d'un brûleur adapté. Afin de fournir suffisamment de biogaz et de disposer d'une production relativement constante, il est alors nécessaire de placer plusieurs barriques en parallèle. Les estimations ont débouché sur un nombre de trois voire quatre biodigesteurs, ce qui permettrait alors de pourvoir quotidiennement un minimum de 300 litres de gaz.

Durant 3 mois, l'installation à simples barriques utilisées en parallèle a fait ses preuves. Dès lors, nous pouvons considérer que ce système est utilisable et qu'il peut être installé dans une ferme afin de l'éprouver dans une utilisation quotidienne.

Qu'elle soit en voie sèche ou humide, à grande échelle ou plus modeste, la biométhanisation est une source d'énergie qui a de grandes chances de se développer dans les prochaines années, et ce d'autant plus dans les pays en voie de développement tel que le Burkina Faso, où la question de l'énergie, liée à celle de l'environnement est à la fois essentielle et prioritaire.

9. Sources

- [1] AL SEADI, T. *et al.*, *Biogas Handbook*
University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.
- [2] FULFORD, D., *Running A Biogas Programme : A Handbook*
Londres, Intermediate Technology Publications, 1988.
- [3] GRODENT, Simon, *Extension du développement de la biométhanisation en voie sèche en containers maritimes avec recirculation des percolats*, Mémoire de master, Liège, Belgique : HELMo Gramme, juin 2016.
- [4] RAKOTOJANO, Loïc, (mis en ligne en juillet 2013), *Domestic biogas development in developing countries*.
Adresse URL : <http://www.enea-consulting.com/>

- [5] VÖGELI, Y. & LOHRI, C., *Renewable Energy from Kitchen Waste*, Sandec News, 10, juillet 2009, p. 15.
- [6] CHARLIER, C. *REmploi des combustibles*, Note de cours, 2016.
- [7] LOHRI C., *Research on Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste at Household Level in Dar Es Salaam, Tanzania*, Zurich University of Applied Sciences, 2009.