



**HAL**  
open science

# Principes et application de la digestion anaérobie pour la production d'énergie

Nicolas Bernet

► **To cite this version:**

Nicolas Bernet. Principes et application de la digestion anaérobie pour la production d'énergie. Colloque International “ Biodiversité et changements globaux : valorisation des effluents des industries, des résidus agro-pastoraux et forestiers ”, Agence Universitaire de la Francophonie (AUF). FRA., Jul 2015, Ngaoundéré, Cameroun. hal-02743093

**HAL Id: hal-02743093**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02743093>**

Submitted on 3 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## PRINCIPES ET APPLICATION DE LA DIGESTION ANAÉROBIE POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE

Nicolas BERNET

INRA, UR0050, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, F-11100 Narbonne, France  
email: [nicolas.bernet@supagro.inra.fr](mailto:nicolas.bernet@supagro.inra.fr)

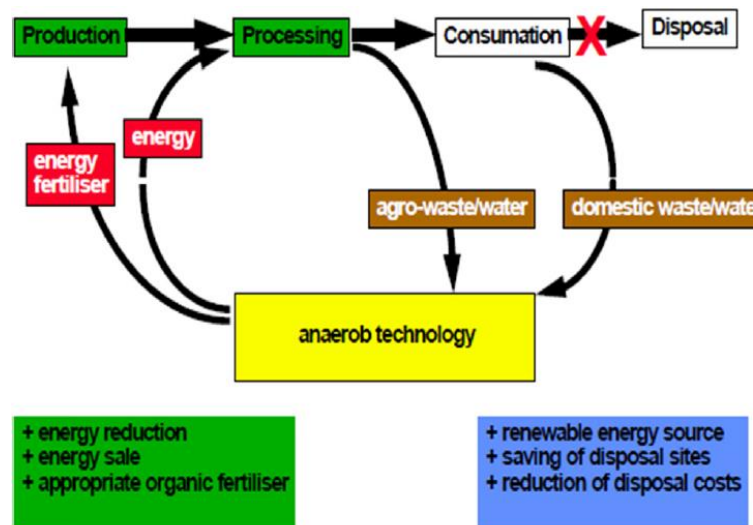
### Résumé

La digestion anaérobie est un processus naturel par lequel la matière organique est transformée en un biogaz qui contient environ 2/3 de méthane et 1/3 de dioxyde de carbone. Elle résulte de l'activité d'un écosystème microbien anaérobie complexe. Le biogaz est une source d'énergie qui peut être utilisée directement en remplacement du gaz naturel, pour produire de la chaleur et de l'électricité par cogénération ou encore comme carburant pour véhicules. Ainsi, la domestication par l'homme de ce processus naturel permet de traiter les eaux usées et les déchets tout en récupérant une source d'énergie renouvelable. La récupération de ce biogaz qui peut être émis lors de la dégradation naturelle de la matière organique contribue également à réduire les émissions de gaz à effet de serre auxquelles le méthane contribue fortement. Après une présentation des principes généraux de la digestion anaérobie et des principaux paramètres de fonctionnement, cette communication s'intéressera aux différentes technologies existantes et à leur domaine d'application, notamment dans les pays en voie de développement.

**Key words:** Biogaz ; Digestion anaérobie ; Energie ; Méthane

### I Introduction

La digestion anaérobie ou méthanisation est un procédé biologique qui exploite la capacité de certains microorganismes à dégrader la matière organique en l'absence d'oxygène pour produire un biogaz riche en méthane, utilisable comme source d'énergie. Le méthane, s'il n'est pas récupéré et valorisé, est également un gaz à effet de serre important qui a un potentiel de réchauffement global (PRG) 25 fois supérieur au CO<sub>2</sub>. Plus de 60% des émissions de méthane sont d'origine anthropique (agriculture, énergie, secteur des déchets) [1]. Dans un contexte de réduction des gaz à effet de serre et de développement des bioénergies, la méthanisation connaît un développement important, tant dans les pays industrialisés que dans les pays émergents ou en développement. Elle peut être appliquée au traitement d'effluents pour en réduire la pollution organique comme à la production de biogaz à partir de matière organique résiduaire d'origine urbaine, agricole ou industrielle. La méthanisation permet de valoriser énergétiquement la matière organique des déchets et de recycler la matière organique résiduelle et les éléments minéraux associés présents dans le digestat par un retour au sol (Figure 1).



**Figure 1** : Intégration de la digestion anaérobie comme système de recyclage d'énergie et de matières organiques et fertilisantes [2]

Après un rappel des principes de la digestion anaérobie, seront abordés les principaux gisements disponibles, notamment en Afrique subsaharienne, les procédés pouvant être mis en place et la valorisation du biogaz et du digestat.

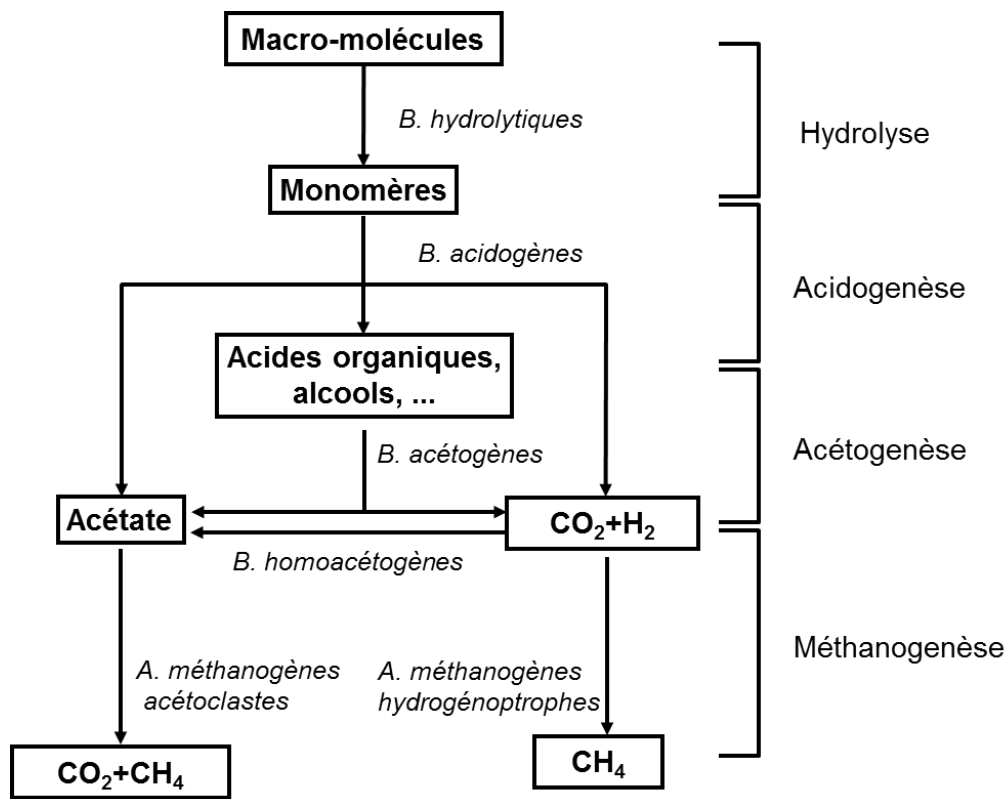
## II Principes de la digestion anaérobie

### 1. Etapes de la digestion anaérobie

La digestion anaérobie met en œuvre un écosystème microbien anaérobie complexe qui décompose la matière organique en quatre étapes successives pour aboutir au biogaz, mélange composé à 50-70% de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et 30-50% de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) (Figure 2).

Une description détaillée de ces étapes et des microorganismes associés peut être trouvée dans [3]. La première étape est l'hydrolyse qui dégrade les macromolécules organiques (polysaccharides, protéines, lipides) en monomères (sucres simples, acides aminés, acides gras,...). Cette étape est limitante dans le cas de la méthanisation de substrats solides complexes. Les monomères ainsi obtenus sont ensuite fermentés lors de l'étape d'acidogenèse en acides organiques, alcools, hydrogène et dioxyde de carbone. L'acétogenèse est une étape clé qui permet de convertir les molécules produites précédemment en précurseurs de la méthanogenèse : acétate, hydrogène et dioxyde de carbone. D'un point de vue thermodynamique, les réactions aboutissant à la production d'hydrogène ne sont possibles que si cet hydrogène est consommé au fur et à mesure pour maintenir une pression partielle basse. C'est le rôle de la méthanogenèse hydrogénotrophe qui utilise l'hydrogène pour réduire le  $\text{CO}_2$  en méthane. Une autre voie, la méthanogenèse acétoclaste, permet la production de méthane et de  $\text{CO}_2$  à partir d'acétate. Les deux voies

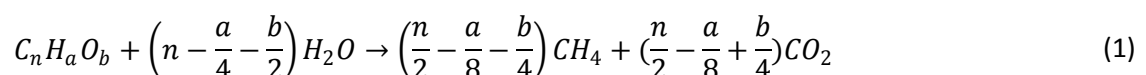
de la méthanogénèse sont réalisées par des microorganismes anaérobies stricts appartenant au domaine des *Archaea*.



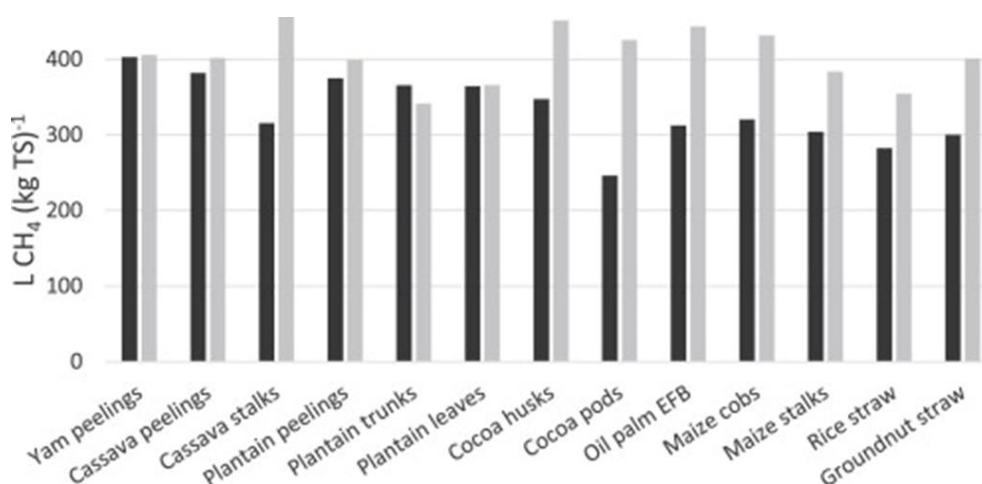
**Figure 2** : Principales étapes de la digestion anaérobie (B. : bactéries ; A. : Archées)

## 2. Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre de la digestion anaérobie démarre par le choix d'un procédé, fortement conditionné par les caractéristiques physico-chimiques du ou des substrats. Il est donc essentiel de caractériser ces substrats (effluents, résidus solides) pour connaître notamment leur teneur en matière organique (demande chimique en oxygène (DCO) ou matières volatiles (MV)) et leur biodégradabilité anaérobie. Cette dernière peut être mesurée par un test BMP (Biochemical Methane Potential) qui permet d'évaluer la quantité maximale de méthane que peut produire leur dégradation [4]. Il est aussi possible d'estimer un potentiel théorique à partir de la formule de Buswell (Equation 1) ou d'une mesure de la DCO [5].



Thomsen *et al.* [5] ont ainsi évalué le potentiel méthanogène de 13 résidus agricoles d'Afrique de l'Ouest (Figure 3).



**Figure 3** : Potentiel méthanogène théorique de résidus agricoles d'Afrique de l'Ouest calculés d'après la formule de Buswell (noir) ou à partir de la DCO (gris) [5].

Comme tout processus biologique, la méthanisation est sensible à la température. La plupart des procédés fonctionnent en mode mésophile (30-40°C). Le mode thermophile (50°C-65°C), plus coûteux en énergie, a toutefois l'avantage, d'une part d'accélérer l'hydrolyse des substrats organiques solides malgré une stabilité moindre comparé au mode mésophile, et d'autre part d'améliorer l'abattement en organismes pathogènes. Une partie du méthane produit peut être utilisée pour chauffer le digesteur et le maintenir à la température souhaitée. Il est parfois possible de fonctionner sans chauffage, en particulier dans les pays tropicaux, ce qui permet alors d'appliquer la digestion anaérobie au traitement des eaux résiduaires urbaines.

### III Les gisements en Afrique subsaharienne

L'Afrique dispose de nombreux gisements de matière organique pouvant être valorisés par digestion anaérobie. Leur biodégradabilité anaérobie sera très dépendante de leur composition biochimique. Ainsi, dans le cas des biomasses lignocellulosiques, un prétraitement pourra permettre d'améliorer sensiblement le BMP. Il existe une large gamme de prétraitements physiques, chimiques ou biologiques [6]. Il est primordial de prendre en compte l'impact du prétraitement sur le rendement énergétique global du procédé, son coût et son impact environnemental. On peut distinguer trois applications de la digestion anaérobie en fonction du gisement considéré : la méthanisation urbaine, la méthanisation rurale et la méthanisation industrielle.

#### 1. Méthanisation urbaine

La méthanisation urbaine peut contribuer à résoudre deux problèmes importants de la croissance des villes africaines : le premier lié à la gestion des déchets organiques urbains qui sont à l'origine de problèmes sanitaires et environnementaux, le second à l'approvisionnement énergétique. Il est toutefois important, avant de démarrer un projet de méthanisation, d'analyser conjointement la faisabilité technique, la viabilité économique et écologique et l'acceptabilité sociale. La mise en œuvre de la méthanisation est très

**Colloque international sur le thème « Biodiversité et changements globaux: valorisation des effluents des industries, des résidus agro-pastoraux et forestiers»  
Du 21 au 23 juillet 2015 à l'Université de Ngaoundéré, Cameroun**

---

dépendante du contexte socio-politique et institutionnel local et d'une volonté politique en faveur de son développement [7].

## **2. Méthanisation rurale**

L'agriculture est la principale source de gisement avec notamment les déjections d'élevage et les résidus de cultures qui peuvent présenter un potentiel intéressant (Figure 3). Les communautés rurales pourront également y ajouter les déchets ménagers.

## **3. Méthanisation industrielle**

Les effluents et résidus des industries agro-alimentaires (sucrierie, brasserie) peuvent être traités par digestion anaérobie. Dans le cas des effluents, l'objectif est le traitement à un coût inférieur aux traitements aérobies énergivores. Le méthane peut être valorisé sur place ou brûlé dans une torchère. Le traitement des résidus organiques peut permettre de produire de l'énergie valorisable sur place, notamment sous la forme de chaleur. La méthanisation peut également être couplée à la production de bioéthanol pour produire du biogaz à partir de la biomasse résiduelle non transformée en éthanol (bagasse).

## **IV Les procédés**

Il existe de nombreuses technologies de méthanisation, adaptées au traitement d'effluents liquides ou de substrats organiques solides, de tailles très diverses.

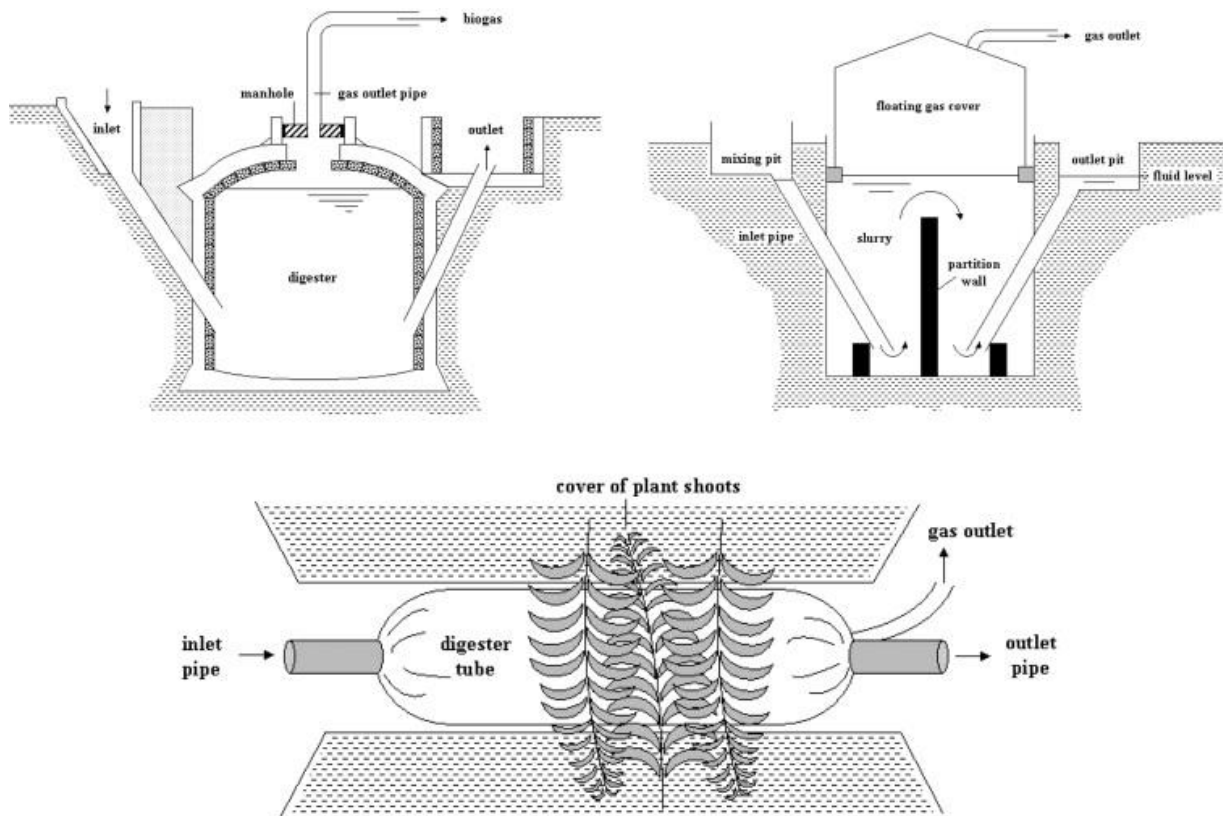
Dans les procédés anaérobies de traitement d'effluents, l'alimentation est effectuée en continu et il est nécessaire de dissocier le temps de séjour hydraulique de l'eau usée, généralement de quelques heures, de celui de la biomasse méthanogène qui est plus long. On utilise donc des procédés permettant une rétention de la biomasse sous la forme de granules (procédés de type UASB et dérivés) ou de biofilm (lit fixes, lits fluidisés) [8].

Parmi les réacteurs de méthanisation de biomasses solides, on distingue les procédés de digestion humide, dans lesquels on a 10 à 15% de matière sèche, et les procédés de digestion sèche dans lesquels la teneur en solide peut atteindre 40%. Ces derniers connaissent un développement important. Leur mode de fonctionnement peut être continu ou discontinu (batch).

Le succès de la méthanisation en Afrique sub-saharienne dépend du développement de technologies simples, fiables et bon marché ; simples pour pouvoir être utilisées et maîtrisées sans une formation importante, fiables pour assurer un fonctionnement sûr sans une maintenance excessive, bon marché pour un développement rapide de la technologie. Les trois principaux types de digesteurs utilisés dans les pays en voie de développement sont présentés sur la Figure 4 [9].

Les avantages de la digestion anaérobie, en particulier vis-à-vis de la réduction des GES, peuvent être annulés par des procédés mal gérés et non fiables générant des émissions de méthane à l'atmosphère. Une étude récente, menée sur les petits digesteurs domestiques développés dans une grande partie de l'Asie, montre que le seuil d'émission de biogaz au-

delà duquel l'impact d'un méthaniseur sur le réchauffement global atteint celui obtenu avec la source d'énergie fossile qu'il remplace varie de 3% à 51% du biogaz produit, en fonction du type d'énergie fossile [10].



**Figure 4** : Trois types de digesteurs dans les pays en développement. En haut à gauche : digesteur à dôme fixe. En haut à droite : digesteur à dôme flottant. En bas : digesteur tubulaire en polyéthylène [9].

## V Valorisation du biogaz et du digestat

Le biogaz peut être utilisé pour diverses applications, en fonction du contexte socio-économique local. Ainsi, en Europe, il est principalement utilisé dans des moteurs de cogénération pour produire de l'électricité et de la chaleur, l'électricité pouvant être revendue à un tarif avantageux subventionné. Cette application n'est possible que pour les grosses installations. D'autres applications telles que l'injection dans le réseau de gaz de ville ou l'utilisation comme carburant automobile se développent. Une étude récente recense les applications du biogaz en Afrique subsaharienne [11]. L'application la plus utilisée est le réchaud à biogaz pour cuisiner, devant l'éclairage et l'alimentation de moteurs, réfrigérateurs et appareils de chauffage.

Le digestat est un co-produit qui a souvent une valeur agronomique intéressante, à la fois comme amendement organique et comme fertilisant. En effet, la digestion anaérobie transforme une partie de la matière organique en biogaz mais préserve l'essentiel des

**Colloque international sur le thème « Biodiversité et changements globaux: valorisation des effluents des industries, des résidus agro-pastoraux et forestiers »**  
**Du 21 au 23 juillet 2015 à l'Université de Ngaoundéré, Cameroun**

---

éléments fertilisants (N, P, K) que l'on retrouve dans le digestat. Ce digestat peut être valorisé directement ou après compostage pour assurer sa stabilisation. L'application de digestat ou de compost sur les cultures assure une meilleure utilisation des éléments fertilisants par rapport à l'utilisation de matière organique brute non traitée [12].

## **VI Conclusion**

La méthanisation est un procédé couplant la production d'énergie renouvelable et le traitement des déchets. Elle peut contribuer notablement à la réduction des émissions de gaz à effet de serres, à l'amélioration de la fertilité des sols, ainsi qu'à la réduction de la déforestation en Afrique en offrant un combustible alternatif au bois pour diverses applications telles que la cuisine et le chauffage.

## **VII Remerciements**

Cette communication est réalisée avec le soutien financier de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF).

## **References**

1. Abbasi, T., Tauseef, S.M. and Abbasi, S.A. (2012) Anaerobic digestion for global warming control and energy generation-An overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 16: 3228-3242.
2. Tiwary, A., Williams, I.D., Pant, D.C. and Kishore, V.V.N. (2015) Emerging perspectives on environmental burden minimisation initiatives from anaerobic digestion technologies for community scale biomass valorisation. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 42: 883-901.
3. Moletta, R. (2015) *La méthanisation*, 3<sup>e</sup> édition, Editions Tec&Doc, Lavoisier, Paris.
4. Angelidaki, I. and Sanders, W. (2004) Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 3: 117-129.
5. Thomsen, S.T., Kádár, Z. and Schmidt, J.E. (2014) Compositional analysis and projected biofuel potentials from common West African agricultural residues. *Biomass and Bioenergy* 63: 210-217.
6. Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F. and Li, Y. (2014) Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science* 42: 35-53.
7. Gebreegziabher, Z., Naik, L., Melamu, R. & Balana, B.B. (2014) Prospects and challenges for urban application of biogas installations in Sub-Saharan Africa. *Biomass & Bioenergy* 70: 130-140.
8. Bernet, N., Buffière, P. (2015) Caractérisation de la mise en œuvre de la méthanisation. Dans *La méthanisation*, 3<sup>e</sup> édition, Editions Tec&Doc – Lavoisier, Paris, pp. 39-68.
9. Cheng S., Li Z, Mang H-P & Huba E-M (2013) A review of prefabricated biogas digesters in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 738-748.
10. Bruun, S., Jensen, L.S., Vu, V.T.K. and Sommer, S. (2014) Small-scale household biogas digesters: An option for global warming mitigation or a potential climate bomb? *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 33: 736-741.
11. Tumwesige, V. Fulford, D. and Davidson, G.C. (2014) Biogas appliances in Sub-Sahara Africa. *Biomass & Bioenergy* 70: 40-50.
12. Smith, J., Abegaz, A., Matthews, R.B., Subedi, M., Orskov, E.R., Tumwesige, V. and Smith, P. (2014) What is the potential for biogas digesters to improve soil fertility and crop production in Sub-Saharan Africa? *Biomass & Bioenergy* 70: 58-72.