

# SYNTHESE : IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA PICO-METHANISATION

---

## Table des matières

1. INTRODUCTION .....	<del>21</del>
2. PRESENTATION DE LA METHODE ACV .....	2
3. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA PICO-METHANISATION .....	<del>32</del>
3.1 Impact sur le changement climatique.....	<del>32</del>
3.1.1 Impact global.....	<del>32</del>
3.1.2 Fuites et pertes de biométhane .....	4
3.2 Autres impacts.....	<del>65</del>
3.3 Caractéristiques des digesteurs à l'impact le plus faible.....	<del>65</del>
4. LIMITES ET CONCLUSIONS .....	<del>76</del>
REFERENCES.....	<del>86</del>

# 1. INTRODUCTION

---

Les risques que font peser le changement climatique sur nos sociétés et sur le vivant de manière plus générale poussent les humains à décarboner leurs pratiques, et en particulier le secteur de l'énergie et des déchets. La méthanisation se place comme une solution de traitement de déchets organiques territoriaux (agricoles, ménagers, industriels...) et comme une source de production d'énergie renouvelable : le biogaz

En réponse à la diversité géographique des territoires, aux problématiques foncières et aux exutoires pour le digestat, différentes tailles de projet se développent, allant de projets collectifs de grande taille à des projets individuels de petite taille. Ce sont ces petits digesteurs, nommés micro-méthaniseur ou parfois pico-méthaniseur qui nous intéressent aujourd'hui.

Dans le cadre de la gestion des biodéchets alimentaires urbains, et en particulier de la loi AGEC obligeant tout producteur de biodéchet (et ainsi les collectivités pour les biodéchets ménagers) de mettre en place un tri à la source et trouver une solution de traitement, les pico-méthaniseurs sont considérés pour des projets d'économie circulaire en zone urbaine, là où manque l'espace disponible.

La définition de la notion de pico-méthanisation ne fait pas l'objet d'un consensus scientifique et est fixée arbitrairement. Dans cette synthèse, nous nous baserons sur la définition produite par l'APESA qui fixe le seuil de la pico-méthanisation aux installations dont le tonnage d'intrants est inférieur à 30 tonnes/an soit de l'ordre de 0,2 Nm<sup>3</sup>/h de méthane produit<sup>1</sup>.

Les projets de développement de ces petites unités commencent à émerger en France, et en dehors d'un cadre réglementaire contraignant car non-spécifique à ces échelles, peu de retours d'expériences existent pour appuyer la pertinence et la faisabilité de ces technologies. L'impact environnemental de la pico-méthanisation est questionné notamment au regard des différentes sources d'émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) que ces technologies peuvent représenter, en lien avec les fuites de biogaz. En effet, ces fuites sont mal connues pour unités de telles tailles et cela peut constituer un frein à leur développement.

L'objectif de cette synthèse est de rassembler des informations de la littérature internationale sur l'impact environnemental des pico-méthaniseurs à l'aide de la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) afin de mieux appréhender ces technologies et assurer un monitoring qualitatif des premières unités en développement. 8 articles dont les auteurs utilisent tous la méthode ACV seront analysés ici.

## 2. PRESENTATION DE LA METHODE ACV

---

La méthode ACV est une méthode d'évaluation d'impact environnemental global d'un produit, d'un service, d'un procédé, comprenant toutes les étapes de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières nécessaires pour sa mise en place, à son fonctionnement puis sa fin de vie. Cette méthode suit les normes ISO 14040 et 14044.

L'ACV permet ainsi de repérer les étapes les plus impactantes de la vie d'un système afin de revoir sa conception et de proposer des améliorations permettant de limiter ses impacts. Cette analyse peut aussi permettre de comparer deux systèmes ayant la même fonction, sur des critères environnementaux, afin de juger de la pertinence environnementale de la substitution de l'un par l'autre.

Les analyses reposent sur l'exploitation de bases de données spécialisées. Il est important de regarder quelle base de données utiliser en fonction du système évalué.

La mise en place de cette méthodologie nécessite la définition des objectifs de l'ACV, des frontières du système étudiés (ce qui est pris en compte ou non dans le bilan) et l'unité fonctionnelle du système. Cette

---

<sup>1</sup> Peyrelasse and al. Pico et Micro-méthanisation: domaines d'application et mise en œuvre. Projet ORHI : code 4908. France : APESA, 2021, 64 p.

dernière permet de quantifier la fonction du système (ex : pour un système de production d'énergie, tous les impacts pour être quantifié par kWh, qui est ainsi l'unité fonctionnelle).

L'analyse ACV est régulièrement soumise à un contrôle de sensibilité qui vise à déterminer l'influence de certaines hypothèses ou critères sur le système en les faisant varier légèrement.

Il existe de nombreux logiciels permettant de faire des ACV. SimaPro est un des plus utilisés mais est un logiciel propriétaire, tandis que OpenLCA est un logiciel libre.

## 3. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA PICO-METHANISATION

---

### 3.1 Impact sur le changement climatique

#### 3.1.1 Impact global

Comme tout produit, service ou procédé, le cycle de vie d'un pico-méthaniseur a un impact sur le climat. Les impacts sur le changement climatique sont généralement considérés sous l'angle des émissions de gaz à effet de serre pendant la durée de vie du produit, ces émissions seront ramenées sous l'unité *kg CO<sub>2</sub>eq* pour permettre l'homogénéisation des analyses.

Les études synthétisées ici s'appuient sur des modèles de pico-digesteurs et des contextes de pays du Sud où les conditions climatiques divergent. Les pico-méthaniseurs sont présents par centaines de milliers, parfois millions dans ces pays.

Dans la plupart des études, le biogaz généré dans le digesteur sert à la cuisson (alimentation humaine ou animale). Les intrants sont presque exclusivement des effluents d'élevages, les biodéchets alimentaires sont peu utilisés, les unités se trouvant principalement dans des fermes. Le rayon des intrants est souvent considéré comme proche (directement sur site à 5 km de distance). La durée de vie moyenne d'un pico-méthaniseur est d'environ 20 ans mais certains digesteurs low-cost, en plastique, peuvent avoir des durées de vie plus faibles (inférieures à 10 ans)<sup>2</sup>. Les digesteurs psychrophiles<sup>3</sup> produisent moins que les digesteurs mésophiles<sup>4</sup> même avec un volume de digesteur presque doublé.

Globalement, selon l'intégralité des études, la fabrication du pico-méthaniseur a un impact moindre sur les émissions, pesant entre 11 %<sup>5</sup> et moins de 5 %<sup>6</sup> des émissions totales sur son cycle de vie. Dans les différentes études, les émissions liées à la construction varient largement. Celles-ci dépendent en effet du mix-énergétique du territoire considéré et de la dimension locale de la production des matériaux nécessaires. On peut ainsi passer de 0,875 tCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup><sup>7</sup> à 0,038 tCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup><sup>8</sup>. En termes de comparaison, les émissions relatives à la construction d'un méthaniseur classique sont de l'ordre 0,37 tCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>.<sup>9</sup>

---

<sup>2</sup> Hou et al. Greenhouse Gas Mitigation of Rural Household Biogas Systems in China: A Life Cycle Assessment. *Energies*, Vol 10. n°239. Chine : Center for Resources, Environment and Food Security, 2016, 14 p.

<sup>3</sup> Dont les bactéries sont actives en dessous de 20°C

<sup>4</sup> Dont l'activité des bactéries est optimale entre 20 et 45°C

<sup>5</sup> Ioannou-Tfofa et al. Life cycle assessment of household biogas production in Egypt: Influence of digester volume, biogas leakages, and digestate valorization as biofertilizer. *Journal of Cleaner Production*, n°286. Egypt : University of Cyprus, Nireas-International Water Research Center, 2020, 14p

<sup>6</sup> Garfí and al. Evaluating environmental benefits of low-cost biogas digesters in small-scale farms in Colombia: a life cycle assessment. *Bioresource Technology*. Spain : Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech, Department of Civil and Environmental Engineering, 2018, 35 p.

<sup>7</sup> Rahman et al. Green-house gas mitigation capacity of a small scale rural biogas plant calculations for Bangladesh through a general life cycle assessment. *Waste Management & Research*. Royaume-Uni : Birmingham City University, Centre for Resilient Environments, 2017, 12 p.

<sup>8</sup> Hou et al. op. cit., 14 p.

<sup>9</sup> Yabe. Environmental and economic evaluations of centralized biogas plants running on cow manure in Hokkaido, Japan. *Biomass & Energy* n°49. Japan : Faculty of Environmental Earth Science, 2013, 9 p.

La grosse partie des émissions du pico-méthaniseurs auront lieu pendant son fonctionnement. Les sources d'émissions principales sont les stockages de digestat et d'effluents non-couvert mais aussi les fuites et relâchements intentionnels<sup>10</sup> de biogaz dans l'atmosphère. Les variations dans la ration des digesteurs affectent peu l'impact sur le changement climatique.

Les émissions sur la durée de vie totale du pico-méthaniseur sont variables en fonction des études. Elles sont néanmoins globalement inférieures à 5 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> de biogaz.

Il ressort que les pico-méthaniseurs ont plutôt un impact positif sur l'environnement, en permettant d'éviter des émissions liées au traitement des intrants et à l'utilisation de gaz d'origine fossile pour la cuisson. En comparant avec d'autres procédés équivalents, il ressort que le potentiel de contribution aux changements climatiques est réduit de 83 % par rapport à un système classique de cuisson à la biomasse (en économisant également le combustible)<sup>11</sup>. Pour la même énergie produite, un système de pico-méthanisation est jusqu'à 200 % moins impactant qu'un générateur diesel<sup>12</sup>. Par rapport à une situation de référence (stockage des intrants, utilisation de LPG pour la cuisson, fertilisation chimique), le digesteur permet de réduire de 80 % les impacts environnementaux<sup>13</sup>.

Cependant, lorsque la maintenance et la gestion de l'unité est défaillante, le bilan environnemental peut être compromis. En effet, l'impact peut même être négatif sur l'environnement et en particulier sur le climat<sup>14</sup>. La gestion du digestat mais aussi la gestion des fuites de biogaz jouent un rôle important. Le volume du digesteur joue un rôle minime dans le bilan environnemental. En revanche, un digesteur surdimensionné affecte le bilan environnemental car il oblige d'important relâchement de biogaz afin de garantir la sûreté de l'installation.

### 3.1.2 Fuites et pertes de biométhane

Comme évoqué précédemment, les fuites de biogaz sont les sources principales d'émissions pour un pico-digesteur. Une attention toute particulière doit être donnée à la recherche et à l'élimination de ces fuites afin de limiter l'impact sur les changements climatiques de l'utilisation des digesteurs. En minimisant les pertes de biogaz il est possible d'améliorer jusqu'à 60 % le bilan environnemental (fuites et relâchement intentionnels)<sup>15</sup>.

Les hypothèses pour les fuites de biogaz dans les différentes études sont généralement entre 3 et 10 %. Certaines études ont réalisé des analyses de sensibilité en testant plusieurs scénarios de fuites et de relâchements intentionnels de biogaz dont les plus mauvais montent jusqu'à 60 %<sup>16</sup> du biogaz perdu.

Hou et al, dans leur étude sur les pico-digesteurs en Chine ont particulièrement travaillé sur cette question<sup>17</sup>. Ils ont réalisé une expérience visant à mesurer les points de fuites les plus importants sur la structure du digesteur. Les mesures ont été réalisées sur 26 digesteurs dans 2 villages (13 dans chaque) d'un volume de 8 m<sup>3</sup> produisant environ 450 m<sup>3</sup> de biogaz par an et fonctionnant à une température moyenne de 10 °C. Toutes les unités ont été équipées de détecteur de gaz (PGM-50Q de RAE Systems) à chaque point de fuite pré-identifié. La figure suivante présente le schéma classique d'un digesteur enterré avec les points de fuites

---

<sup>10</sup> Les relâchements intentionnels de biogaz peuvent être dus à une non-correspondance des profils de consommation et de production du biogaz, couplé à une absence ou un faible stockage. Pour des raisons de sécurité le biogaz doit être alors relâché, avec ou sans brûleur.

<sup>11</sup> Rahman et al. op. cit. 12 p.

<sup>12</sup> Aberilla et al. Environmental sustainability of small-scale biomass power technologies for 2 agricultural communities in developing countries. Renewable Energy. Royaume-Uni : The University of Manchester, School of Chemical Engineering and Analytical Science, 2019, 27 p.

<sup>13</sup> Ibid

<sup>14</sup> Vu et al. Life Cycle Assessment of Biogas Production in Small-scale Household Digesters in Vietnam. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, Vol 28. n°5. Vietnam : National Institute of Animal Science, 2015, 14 p.

<sup>15</sup> Ioannou-Ttofa et al. op. cit. 14 p

<sup>16</sup> Ioannou-Ttofa et al. op. cit. 14 p

<sup>17</sup> Hou et al. op. cit., 14 p

communs qui sont souvent des emplacements de connexion entre deux parties du système. Le suivi a été réalisé sur 8 périodes de 4 jours à 45 jours d'intervalle chacune. Les mesures étaient faites à 10h le premier jour et répétée les 3 jours suivants. Une fuite était déterminée comme présente ou absente pour chacune des positions.

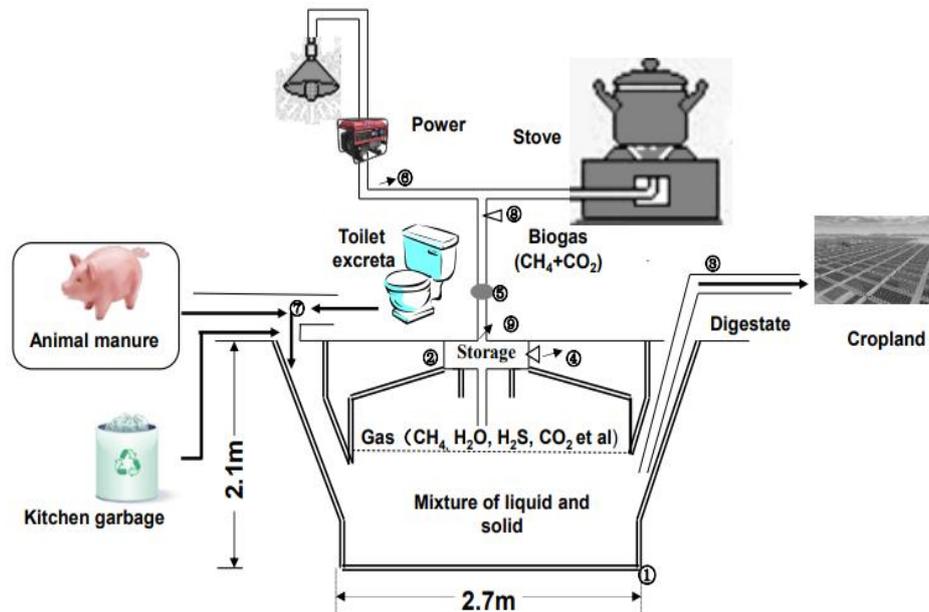


Figure 1: Digesteur enterré typique. 1: digesteur, 2: connecteur sur le toit du digesteur, 3: sortie du digestat, 4: soupape de sécurité, 5: purificateur, 6: raccord de tuyauterie (joint), 7: entrée des intrants, 8: commutateur de soupape (source : Hou et al)

La figure 2 présente les résultats des mesures de fuites dans les deux villages (Shu et Zhu). Dans le village de Zhu les fuites viennent majoritairement du connecteur du toit du digesteur (CTT) et du raccord de tuyauterie. Cela est principalement dû à une faible qualité des matériaux. Dans le village de Shu, les fuites proviennent majoritairement de la soupape de sécurité et donc de relargages intentionnels de biogaz. En effet 65 % du biogaz est relâché dans l'atmosphère pour des raisons de sécurité, afin d'éviter des surpressions. Ces relargages interviennent surtout en été lorsque la température est plus élevée et donc la production de biogaz plus importante. Les joints sont également des sources de fuites. Dans les deux villages, 35 à 40 % du biogaz produit est perdu sur une année (différence entre biogaz produit et consommé).

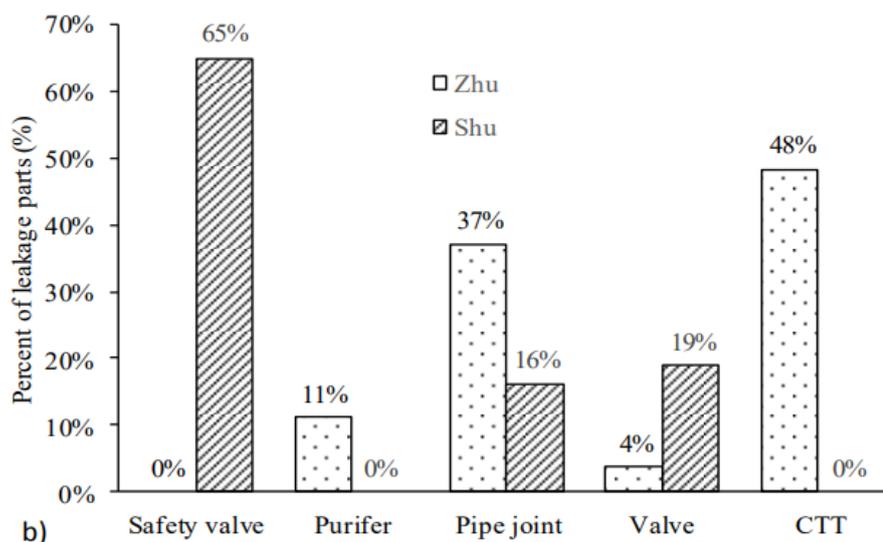


Figure 2 : Fuites de biogaz en fonction des différents points de mesure

### 3.2 Autres impacts

En plus des impacts sur le climat, la méthode ACV permet de quantifier d'autres impacts sur les écosystèmes. Les possibilités sont nombreuses : écotoxicité aquatique, destruction de la couche d'ozone, acidification des pluies...

La pico-méthanisation pourrait notamment contribuer au phénomène d'eutrophisation et d'écotoxicité marine dans le cas de rejets de digestat dans la nature (azote et phosphore) qui peuvent ensuite s'infiltrer dans les sols et les eaux souterraine et de surface. De plus, une cuve de digestat non-couverte augmenterait la production d'inorganique respiratoire et d'acidification des pluies. En revanche, le remplacement d'engrais de synthèse pourrait contribuer à réduire les polluants cancérigènes, l'utilisation d'énergie fossile et l'impact sur le changement climatique. La combustion du biogaz émet également des inorganiques respiratoire.

Plus généralement, la pico-méthanisation permet de réduire les odeurs liées à la gestion des déchets/effluents et de recycler les nutriments contenus dans la matière organique.

D'un point de vue économique, la pico-méthanisation permettrait de réduire les coûts d'activités des fermes. Sur l'ensemble de la durée de vie de l'unité, dans le cas de digesteurs low-cost, les coûts liés à la cuisson et à la fertilisation chimique pourraient être réduits de 80 %<sup>18</sup>.

Comparé à d'autres moyens de production d'énergie : charbon, gaz fossile et diesel, la pico-méthanisation a des impacts plus faibles en termes d'eutrophisation et de toxicité pour l'homme. En revanche son impact est légèrement plus élevé que le gaz fossile et le diesel pour l'acidification.

### 3.3 Caractéristiques des pico-digesteurs à l'impact le plus faible

Les différents articles permettent de dresser un début de liste de caractéristiques essentielles à un pico-méthaniseur pour éviter un impact trop important sur l'environnement.

Tout d'abord il est recommandé de **couvrir les stockages d'intrants mais aussi de digestat** pour éviter les émissions lors de leur exposition à l'air libre. **Augmenter le temps de séjour** pourrait aussi permettre de réduire la quantité de méthane et d'ammoniac émise par le digestat.

<sup>18</sup> Garfí and al. op. cit. 35 p.

Afin de limiter les émissions liées au biogaz, il faut **utiliser un stockage** afin de pouvoir être plus flexible sur l'utilisation du biogaz et en limiter la surproduction, surtout en été. Si du biogaz doit être relâché, il est nécessaire de le brûler avec une torchère pour limiter les émissions de méthane, dont le pouvoir réchauffant est 25 à 30 fois supérieur au CO<sub>2</sub>. Un petit générateur électrique pourrait également contribuer à superposer les courbes de consommation-production.

Pour limiter les émissions d'inorganiques respiratoires lors du brûlage du biogaz, **un filtre d'ammoniacque doit être installé**. De plus il est important de **désulfurer le biogaz** pour empêcher l'acidification des pluies.

De manière générale, il est primordial d'assurer une **maintenance et nettoyage régulier** des installations (comme la vérification des fissures) ce qui est souvent négligé par les utilisateurs. Cela n'affecte pas seulement la production de biogaz mais aussi l'empreinte carbone de l'installation. L'utilisation du digestat doit être aussi réfléchi et planifiée dans le but de limiter les rejets dans le milieu naturel. Un système de séparation pourrait permettre de mieux concentrer les nutriments, le digestat brut étant fortement dilué.

La mauvaise maintenance et le climat trop froid sont les premières raisons d'abandon des dispositifs. **Isoler le digesteur** permettrait ainsi d'assurer une meilleure production de gaz en hiver. Il faut également faire attention à l'effet rebond, qui conduirait à utiliser plus d'énergie et de fertilisant qu'avant la mise en place de l'unité et qui ternirait ainsi le bilan environnemental.

Enfin, l'utilisation de pico-méthaniseurs est recommandée sur des territoires **isolés ou difficile d'accès**. Autrement, des unités plus grosses ont une meilleure efficacité opérationnelle grâce à des coûts plus dispersés sur des plus gros volumes (économies d'échelle) et peuvent s'appuyer sur des infrastructures externes<sup>19</sup>.

## 4. LIMITES ET CONCLUSIONS

Cette synthèse a permis de mieux appréhender les impacts environnementaux de la pico-méthanisation. En particulier l'impact sur les changements climatiques et sur l'importance des fuites de biogaz dans ce dernier. Les unités de pico-méthanisation reste une solution intéressante d'un point de vue environnemental à condition d'avoir une gestion de l'unité irréprochable et de contrôler régulièrement la présence de fuite. Les unités collectives, plus grosses, sont préférables en territoires non-isolés. En revanche, le manque d'accès au foncier peut rendre pertinent le développement de ces petites unités.

Cependant, cette synthèse souffre de certains biais. En effet, les frontières des systèmes étudiés pour les ACV sont différentes en fonction des études. Par exemple, certaines comprennent l'utilisation du digestat et d'autres non (tout ce qui sort du système est exclu). Les hypothèses changent également d'une étude à l'autre comme le taux de recyclage des matériaux en fin de vie (plastiques et métaux). L'unité fonctionnelle, parfois différente, rend difficile la comparaison entre les études.

---

<sup>19</sup> Isola et al. Life cycle assessment of portable two-stage anaerobic digestion of mixed food waste and cardboard. Resources, Conservation & Recycling, n°139. United-States of America : South Dakota School of Mines & Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 2017, 8 p.

## REFERENCES

- Aberilla et al. Environmental sustainability of small-scale biomass power technologies for 2 agricultural communities in developing countries. *Renewable Energy*. Royaume-Uni : The University of Manchester, School of Chemical Engineering and Analytical Science, 2019, 27 p.
- Garfí and al. Evaluating environmental benefits of low-cost biogas digesters in small-scale farms in Colombia: a life cycle assessment. *Bioresource Technology*. Spain : Universitat Politècnica de Catalunya·BarcelonaTech, Department of Civil and Environmental Engineering, 2018, 35 p.
- Hou et al. Greenhouse Gas Mitigation of Rural Household Biogas Systems in China: A Life Cycle Assessment. *Energies*, Vol 10. n°239. Chine : Center for Resources, Environment and Food Security, 2016, 14 p.
- Ioannou-Ttofa et al. Life cycle assessment of household biogas production in Egypt: Influence of digester volume, biogas leakages, and digestate valorization as biofertilizer. *Journal of Cleaner Production*, n°286. Egypt : University of Cyprus, Nireas-International Water Research Center, 2020, 14 p.
- Isola et al. Life cycle assessment of portable two-stage anaerobic digestion of mixed food waste and cardboard. *Resources, Conservation & Recycling*, n°139. United-States of America : South Dakota School of Mines & Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 2017, 8 p.
- Peyrelasse and al. Pico et Micro-méthanisation: domaines d'application et mise en œuvre. *Projet ORHI : code 4908*. France : APESA, 2021, 64 p
- Rahman et al. Green-house gas mitigation capacity of a small scale rural biogas plant calculations for Bangladesh through a general life cycle assessment. *Waste Management & Research*. Royaume-Uni : Birmingham City University, Centre for Resilient Environments, 2017, 12 p.
- Vu et al. Life Cycle Assessment of Biogas Production in Small-scale Household Digesters in Vietnam. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol 28. n°5. Vietnam : National Institute of Animal Science, 2015, 14 p.
- William et al. Life cycle assessment of a small-scale anaerobic digestion plant from cattle waste. *Applied Energy*, n°102. Royaume-Uni : University of Bath, Department of Mechanical Engineering, 2012, 8 p.
- Yabe. Environmental and economic evaluations of centralized biogas plants running on cow manure in Hokkaido, Japan. *Biomass & Energy* n°49. Japan : Faculty of Environmental Earth Science, 2013, 9 p.

