

Analyse environnementale d'installations de méthanisation agricole en élevages bovins

GAC A. (1), LORINQUER E. (1), WILFART A. (2), ESPAGNOL S. (3)

(1) Institut de l'Élevage, Monvoisin, BP 85225, 35652 LE RHEU CEDEX

(2) UMR SAS, INRA, Agrocampus, 65 rue de Saint Brieuc, 35000 RENNES

(3) IFIP Institut du porc, La Motte au Vicomte, 35650 LE RHEU

RESUME

Dans le cadre d'une évaluation de la performance environnementale de la production de biogaz agricole, quatre scénarios de méthanisation impliquant des effluents d'élevage bovin ont été étudiés : en production laitière et allaitante, en micro-méthanisation (50 kW de puissance installée) ou méthanisation à la ferme avec co-substrats (200 kW), avec ou sans traitement du digestat. Leurs bilans environnementaux ont été évalués par Analyse de Cycle de Vie au regard de deux objectifs distincts : la production d'énergie renouvelable et la réduction des impacts environnementaux des élevages. Les résultats confirment l'intérêt de la méthanisation comme source d'énergie verte comparativement au mix électrique français. En ce qui concerne les effets sur les bilans environnementaux des élevages, les résultats sont moins tranchés. Sur les situations étudiées, les installations de 200 kW sont plus performantes pour produire de l'énergie, mais peuvent engendrer des impacts supplémentaires par rapport à un élevage sans méthanisation, du fait d'étapes supplémentaires dans la gestion des déjections (traitement des digestats). La micro-méthanisation, technologie plus récente est encore peu optimisée. Des ouvertures sont proposées sur les leviers d'amélioration et sur des développements méthodologiques futurs.

Environmental assessment of agricultural biogas plants in cattle systems

GAC A. (1), LORINQUER E. (1), WILFART A. (2), ESPAGNOL S. (3)

(1) Institut de l'Élevage, Monvoisin, BP 85225, 35652 LE RHEU CEDEX

SUMMARY

Within the framework of an environmental assessment of the agricultural biogas production, four scenarios of methanation involving cattle manure were studied, coupling dairy and suckler beef systems, micro-methanation (50 kW of installed power) and on-farm plants with co-substrates (200 kW), with or without treatment of the digestate. Their environmental balance were estimated by Life Cycle Assessment with regard to two different objectives: the renewable energy production and the reduction of the environmental impacts of the farms. The results confirm the interest of the methanation as a green source of energy compared with the French electric mix. Concerning the effects on environmental balance of the farms, results are less clear. On the studied situations, the 200 kW plants are more efficient to produce energy, but can engender additional impacts compared with livestock production without biogas plant, because of additional stages in the manure management. The micro-methanation units, a new technology, are still few efficient. Openings are proposed on the levers of improvement and on future methodological developments.

INTRODUCTION

L'intérêt pour la méthanisation est croissant depuis quelques décennies, pour sa capacité à produire de l'énergie renouvelable à partir de la digestion anaérobie de la biomasse (Poeschl et al., 2010, Lijo et al., 2014). Le nombre d'installations de méthanisation à la ferme, à partir de biomasse agricole, en association ou non avec des déchets organiques, est en augmentation depuis une dizaine d'année (Bacenetti et al., 2016; Venanzi et al., 2018) et atteint 239 unités en France en 2017 (Sinoe, 2017).

Les intérêts de la méthanisation dans le secteur agricole sont de différents ordres. Le biogaz peut être utilisé pour produire de l'électricité et de la chaleur par cogénération ou être injecté dans un réseau dédié pour être utilisé en remplacement du gaz naturel ou comme carburant (Poeschl et al., 2012). La digestion anaérobie des matières organiques peut aussi contribuer à améliorer l'efficacité du cycle des nutriments, en valorisant les ressources du territoire et par la transformation de la forme azotée, ou en limitant les émissions de gaz à effet de serre, en particulier le méthane, liées au stockage des effluents d'élevage (Pellerin et al., 2013). Il peut s'agir également d'une opportunité de développement d'une activité complémentaire et l'apport d'un revenu supplémentaire à l'éleveur.

L'évaluation des performances environnementales de la production de biogaz agricole a déjà fait l'objet de travaux et

de développement d'outils, tels que DIGES (Bioteau & Dabert, 2009). Utiliser l'approche de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) peut s'avérer utile pour aborder les différents intérêts que peuvent avoir les installations de méthanisation agricole. Des périmètres d'évaluation et des unités fonctionnelles différents peuvent alors être utilisés pour éclairer les différents aspects (van Huylbroeck et al., 2007).

Cet article propose d'évaluer par ACV les performances environnementales de 4 scénarios de méthanisation agricole en élevage bovin, pour répondre à deux questions : Quel est le bilan environnemental de la production d'énergie par méthanisation ? et Quel est le bilan environnemental des élevages bovins qui intègrent la méthanisation ?

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. EVALUATION DE 4 SCENARIOS DE METHANISATION A LA FERME

Quatre scénarios de méthanisation impliquant des effluents d'élevage bovin ont été étudiés : S1-micro-méthanisation de lisier de bovin laitier (50 kW de puissance installée), S2-micro-méthanisation de fumier de bovin viande, menues paille et déchets de tonte (50 kW), S3-méthanisation de lisier et fumier de bovin lait avec cultures énergétiques et déchets d'industries agro-alimentaires et de collectivités (200 kW) sans traitement et S4-avec traitement du digestat (séparation de phase par vis compacteuse) (Tableau 1). L'ensemble des paramètres de

fonctionnement des unités ont été spécifiées à partir de données techniques recueillies sur des installations existantes, des références techniques et bibliographiques, et auprès de constructeurs (Levasseur., 2017) : quantité et composition d'effluents et de cosubstrats, quantité et composition du

biogaz, taux de perte, énergie primaire produite, puissance et rendement des équipements, autoconsommation électrique, infrastructures, durée de vie des équipements, amortissement, etc.

N° Scenario	Production	Puissance installée (kW)	Effluents de l'élevage (tMB/an)	Cosubstrats de l'élevage (tMB/an)	Cosubstrats extérieurs (tMB/an)	Gestion du digestat
S1	Bovin lait	50	Lisier : 1247	0		Epandage sur surfaces en propre
S2	Bovin viande	50	Fumier : 900	Menue paille : 100	Tontes : 200	Epandage sur surfaces en propre
S3	Bovin lait	200	Lisier : 5475 Fumier : 2990	Maïs ensilage : 553 Ensilage herbe : 252 Refus pâturage : 680 Interculture : 151 Refus alimentation : 109	Graisses et boues de flottation (IAA) : 1852 Déchets céréales : 114 Marc pommes : 1466 Déchets fabricants aliments : 76	Epandage sur surfaces extérieures supplémentaires (plan d'épandage)
S4	Bovin lait	200	Idem S3	Idem S3	Idem S3	Séparation de phase (vis compacteuse) et épandage

Tableau 1 Caractéristiques des quatre unités de méthanisation à la ferme étudiées

Ces unités s'insèrent dans deux élevages bovins du Grand Ouest, l'un laitier, l'autre allaitant, basés sur des cas-type Inosys-Réseau d'élevage, dont les caractéristiques techniques sont présentées dans le tableau 2. Deux scénarios témoins sont également considérés pour comparer les performances environnementales des élevages avec et sans méthanisation.

Production	Bovin lait	Bovin viande
Système	Laitier spécialisé de plaine, herbe-maïs, Bretagne	Naisseur-engraisseur de charolais, Pays de la Loire Semi-intensif
Taille	63 vaches laitières (9000L/VL/an), 76 ha de SAU	70 vaches allaitantes, engraissement de 32 taurillons, 85 ha de SAU
Type d'effluent	Lisier (VL) + fumier (génisses) eaux vertes et blanches	Fumier
Stockage des effluents	Lisier et eaux vertes et blanches : Fosse extérieure non couverte; Fumier : fumièr	Fumièr

Tableau 2 Caractéristiques des élevages bovins étudiés

1.2. EVALUATION PAR ACV

Le bilan environnemental de chaque scénario a été évalué par Analyse de Cycle de Vie (ACV ; ISO, 2006). Les impacts environnementaux quantifiés sont le changement climatique, l'eutrophisation potentielle, l'acidification potentielle, l'occupation de surfaces et la demande en énergie non renouvelable. Les méthodes de caractérisation des impacts choisis sont CML 2001, RECIPE et CED (v1.8), les plus couramment utilisées dans les ACV de productions agricoles (Wilfart et al. 2016).

Pour aborder les deux fonctions des unités de méthanisation à la ferme retenues (production d'énergie renouvelable, réduction des impacts environnementaux des élevages), deux périmètres ont été définis (Figure 1) et deux types d'unités fonctionnelles utilisées pour exprimer les impacts : par kWh valorisé (somme de l'électricité vendue et de la chaleur utilisée, hors autoconsommation pour le digesteur) et par kg de lait corrigé sur la matière grasse et protéique (FPCM – Fat and Protein Corrected Milk) et/ou kg de poids vif pour la production de viande à la porte de la ferme pour l'activité d'élevage. En élevage laitier, la répartition des impacts entre le lait et la viande est réalisée selon la règle d'allocation biophysique (Koch & Salou, 2016). Pour évaluer la fonction de gestion des

effluents, le périmètre prend en compte l'ensemble de l'atelier animal (et ses intrants) et la gestion des déjections par méthanisation. Dans le cas d'utilisation de cosubstrats, seule une part des impacts de la méthanisation est à attribuer aux productions animales. Une allocation des impacts liés au processus de méthanisation est réalisée en fonction du pouvoir méthanogène des intrants.

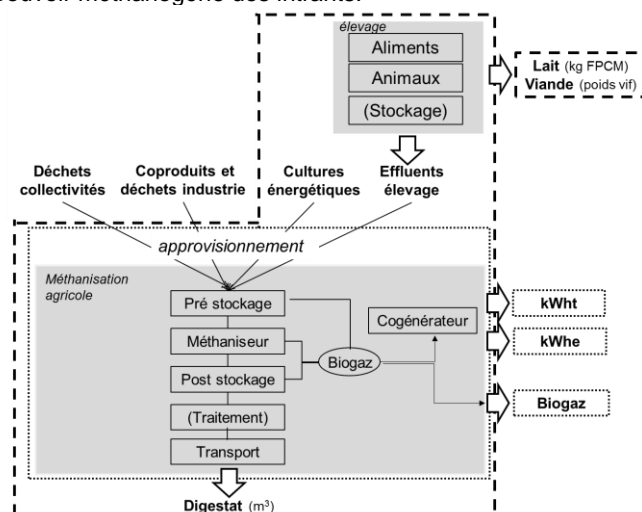


Figure 1 Les deux périmètres considérés et les unités fonctionnelles correspondantes (points : périmètre Méthanisation et production d'énergie ; tirets : périmètre Elevage et production de lait et viande)

2. RESULTATS

2.1. LA METHANISATION POUR PRODUIRE DE L'ENERGIE RENOUVELABLE

La figure 2 présente les impacts ACV des kWh valorisés, produits par les différents scénarios de méthanisation, en comparaison du kWh moyen produit en France (mix énergétique, prenant en compte les différentes sources d'énergie mobilisées, avec la prédominance du nucléaire). Produire 1 kWh par méthanisation agricole mobilise entre 2.5 et 17 fois moins d'énergie fossile que le mix électrique français (dans l'ordre S2, S1, S4, S3). La méthanisation agricole est cependant moins performante sur d'autres enjeux environnementaux, comme la qualité de l'air (proche pour S3 ; 14 fois plus pour S2) et le changement climatique (négligeable pour S3, 10 fois plus pour S2).

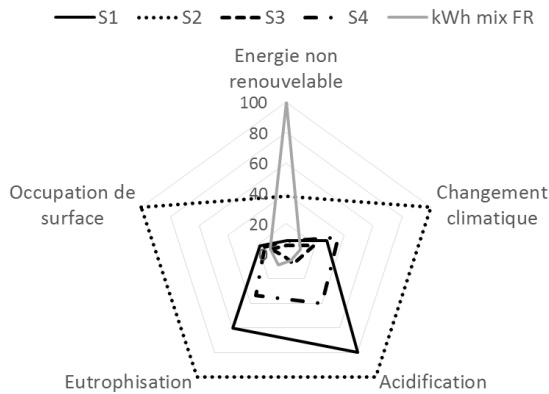


Figure 2 Impacts ACV relatifs des kWh valorisés produits par les différents systèmes de méthanisation en élevage bovin (en % de la valeur maximale pour chaque impact) comparés à la production d'un kWh avec le mix énergétique français

Ceci est lié à l'utilisation de ressources organiques issues des exploitations agricoles, des industries et collectivités. La micro-méthanisation (S1 et S2) se distingue par des performances énergétiques moindres (ration moins méthanogène et rendement moteur plus faible) par rapport aux unités de codigestion plus grandes (S3 et S4) (systèmes développés depuis plus longtemps et plus optimisés, avec une ration plus énergétique), et par voie de conséquence, des impacts environnementaux plus élevés lorsqu'ils sont rapportés au kWh valorisé.

2.1. LA METHANISATION POUR REDUIRE LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ELEVAGES

Envisager la méthanisation comme une voie de réduction des impacts des élevages et de leurs produits dépend des scénarios (Figures 3 et 4).

La méthanisation permet de maintenir ou de diminuer l'impact sur les consommations d'énergie fossiles pour les scénarios qui valorise la chaleur (pour chauffer les bureaux et l'eau de la salle de traite pour S1). La méthanisation réduit généralement l'empreinte carbone du lait et de la viande (indicateur similaire ou réduit jusqu'à 17%), sauf pour le scénario S4, qui introduit une étape supplémentaire dans la chaîne de gestion des déjections (gestion du digestat solide issu de la séparation de phase), induisant des émissions et pour le scénario de micro-méthanisation dont la performance technique est moindre.

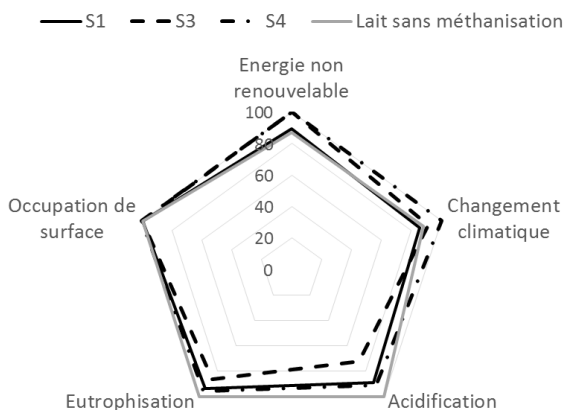


Figure 3 Impacts ACV des kg de lait produits par les élevages laitiers avec et sans méthanisation

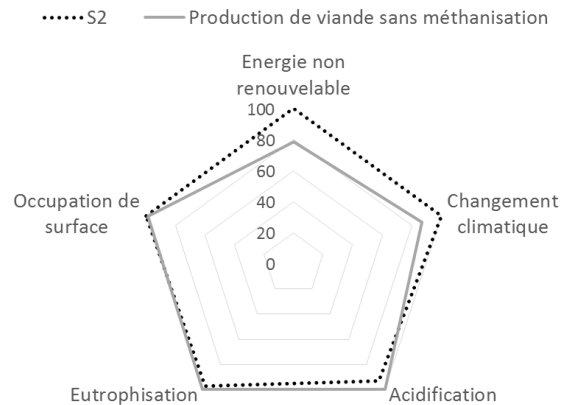


Figure 4 Impacts ACV des kg de viande bovine produits par l'élevage allaitant avec et sans méthanisation

Globalement, la performance environnementale des installations dépend de la qualité de la ration en entrée de méthanisation et des modalités de stockage et de gestion des intrants et des digestats (dont utilisation ou non de couverture). C'est le système S3, pour lequel les étapes de stockage sont courtes ou couvertes, qui présente les impacts les plus faibles, à la fois sur le climat, l'acidification et l'eutrophisation.

3. DISCUSSION

Cette évaluation a été menée dans le cadre du projet CASDAR METERRI qui a également établi des ACV sur des systèmes d'élevage porcins avec méthanisation. Les conclusions sont similaires sur ces unités.

Comme attendu, le choix de l'unité fonctionnelle influence grandement les conclusions, puisque certains scénarios présentent l'impact le plus bas avec une unité fonctionnelle, mais le plus haut avec un autre. Par exemple les unités de 200 kW (S3, S4 en lait et en élevage porcins) présentaient des impacts de changement climatique parmi les plus bas par kWh produit, mais parmi le plus haut par kg de produit animal.

En termes de modèle de méthanisation, la micro-méthanisation (S1, S2) se distingue des installations plus grandes avec des performances énergétiques moindres, et par voie de conséquence, des impacts environnementaux plus élevés lorsqu'ils sont rapportés au kWh valorisé comme aux kg de produits agricoles. Pour ces systèmes, la recherche de la performance énergétique n'est pas centrale ; d'autres intérêts sont recherchés (autonomie en chaleur, intérêt agronomiques, etc.). L'unité d'expression des impacts par kWh valorisé n'est pas suffisante pour analyser tout l'intérêt environnemental de ces systèmes.

Envisager la méthanisation comme une voie de réduction des impacts des élevages dépend des systèmes. En ce qui concerne la consommation d'énergie fossile, la situation est plus favorable avec une unité de méthanisation si l'élevage réutilise une part de la chaleur produite de manière suffisante (chauffage en grange, eau chaude salle de traite). Sinon, la méthanisation introduit une consommation électrique supérieure au niveau de la chaîne de gestion des déjections. Sur les autres impacts, les situations sont contrastées : dans certains cas, la méthanisation permet de réduire jusqu'à près de 20% les émissions de gaz à effet de serre, dans d'autres, les impacts acidification ou eutrophisation sont augmentés dans les mêmes proportions. Les scénarios testés ne sont pas des situations optimisées mais se rapprochent de cas réels, tant au niveau des technologies mises en œuvre (rendement moteurs) que sur les rations (pouvoir méthanogène des effluents), sur la valorisation de l'énergie produite (peu de valorisation de chaleur possible en système bovins), ou sur la gestion des intrants et des digestats (durée de stockage, absence de couverture de la fosse stockant le digestat...). Ces résultats mitigés sur l'impact environnemental de la

méthanisation agricole en système bovin illustrent également que la méthanisation est un nouveau métier pour l'agriculteur qui, pour être optimisé, nécessite des investissements importants à la fois de main d'œuvre et économiques, alors que la majorité des élevages ne produit pas des effluents toute l'année (période de pâturage).

Au-delà de ces résultats, des leviers peuvent être mis en évidence pour améliorer la performance environnementale des unités de méthanisation agricole, valables sur l'ensemble des modèles et des impacts environnementaux : équilibre du ratio N/ potentiel méthanogène de la ration, valorisation optimisée de la chaleur, couverture des ouvrages.

D'un point de vue méthodologique, pour ce qui concerne l'évaluation des pertes et émissions gazeuses, peu d'informations sont disponibles dans la bibliographie sur les facteurs d'émissions. Les facteurs mobilisés sont d'origine diverses (calculateur DIGES, recherches bibliographiques) et des approximations ont dû parfois être réalisées, notamment pour les issues de traitement des digestats (assimilés à des digestats). Cela pose des interrogations sur le recouvrement et sur la finesse des facteurs d'émissions. Ainsi, le facteur d'émissions au préstockage (issu de DIGES) est commun à tous les intrants agricoles (lisier, fumier et quelle que soit la composition) or le flux calculé détermine la quantité de carbone disponible en entrée de méthanisation. D'autres interrogations fortes pèsent sur les taux de fuite au niveau du digesteur : ils sont de 1 % à 11%, voire 15 % selon les données de l'Irstea. Un taux de 3% a été retenu par défaut pour toutes les unités évaluées ici. Ce taux a une influence forte sur le bilan environnemental et le rôle de la méthanisation sur la réduction de l'impact environnemental. Une interrogation similaire concerne le taux de perte en torchère (fixé à 2 %). A l'avenir, il serait utile de disposer de mesures plus précises au niveau de digesteurs existants avec un bilan de masse tout au long des étapes d'un système de méthanisation. Un autre point d'amélioration déjà connu est de pouvoir disposer de mesures de potentiels méthanogènes des différents intrants (qui semblent souvent sur-estimés). Ces potentiels méthanogènes ont été utilisés pour réaliser une allocation des impacts, lorsque la méthanisation est envisagée comme une voie de réduction des émissions de GES des déjections. Cependant, ce paramètre est en lien uniquement avec le contenu carboné des co-substrats et les impacts plus directement liés aux émissions azotées, en particulier l'acidification et l'eutrophisation, n'y sont pas corrélés. Une allocation sur des paramètres qui lient davantage les caractéristiques des substrats en entrée et les effets environnementaux, comme le suggère la norme ISO (2006) aurait été souhaitable, mais aucune autre solution n'est apparue comme idéale. Pour conforter nos conclusions, une étude de sensibilité sur les facteurs et hypothèses de calcul les plus susceptibles d'avoir un effet sur les résultats aurait été utile (notamment, une allocation sur le contenu azoté des co-substrats), ainsi que la confrontation avec d'autres études et publications. A ce stade, il n'est pas aisé d'affirmer quels sont les modèles d'unités à

privilégier ou les conditions pour maximiser la performance environnementale des unités de méthanisation, car les résultats sont dépendant des caractéristiques des cas étudiés et d'hypothèses de calcul.

CONCLUSION

L'analyse environnementale conduite sur les différents modèles de méthanisation agricoles ont permis d'éclairer leur performance environnementale au regard de deux objectifs distincts : la production d'énergie renouvelable et la réduction des impacts environnementaux des élevages. Cette étude met en évidence l'utilité d'exprimer des impacts selon plusieurs unités fonctionnelles et de considérer plusieurs périmètres, dans le cas d'évaluations de systèmes multifonctionnels. La digestion anaérobie est généralement présentée comme une façon de produire de l'énergie renouvelable, mais pour des systèmes d'élevage, c'est aussi une façon de gérer les effluents et en fin de compte de diminuer l'empreinte carbone des produits animaux. Sur les scénarios étudiés, les installations de 200 kW seraient plus performantes pour le 1^{er} aspect et la micro-méthanisation pour le 2^{ème}. L'application de l'ACV à des unités de méthanisation agricole est encore peu répandue, ce qui laisse ouvertes des perspectives de travaux pour le développement et la consolidation des méthodes.

Les auteurs remercient Lynda Aissani (Irstea) qui a apporté un appui méthodologique sur le choix d'hypothèses pour la réalisation des ACV ainsi que les financeurs et partenaires du projet CASDAR METERRI.

- Bacenetti, J., Sala, C., Fusi, A., Fiala, M., 2016.** Applied Energy 179, 669-686
- Bioteau T., Dabert P., 2009.** Cemagref, ADEME.
- ISO, 2006.** ISO 14044 : 2006. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- Koch P., Salou T., 2016.** Ed ADEME, Angers. 343 p.
- Lijo, L., Gonzalez-Garcia, S., Bacenetti, J., Fiala, M., Feijoo, G., Lema, J.M., Moreira, M.T., 2014.** Renewable Energy 68, 625-635
- Levasseur P., 2017.** Compte rendu CASDAR n°5344
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I., Pardon, L., 2013.** 455 p.
- Poeschl, M., Ward, S., Owende, P., 2010.** Renewable & Sustainable Energy Reviews, 14, 1782-1797
- Poeschl, M., Ward, S., Owende, P., 2012.** J. Cleaner Prod. 24, 168-183.
- Sinoe, 2017.** www.carto.sinoe.org consulté le 15/4/2017
- van Huylbroeck, G., Vandermeulen, V., Mettepenningen, E., Verspecht, A., 2007.** Living Reviews in Landscape Research 3.
- Venanzi, S., Pezzolla, D., Cecchini, L., Pauselli, M., Ricci, A., Sordi, A., Torquati, B., Gigliotti, G., 2018.** Science of the Total Environment 627, 494-505
- Wilfart, A., Tailleur, T., Dauguet, S., 2016.** Rapport Ifip. 206 pp.