



## Déchets de papier/carton comme co-substrat pour stabiliser la digestion anaérobie des biodéchets alimentaires commerciaux

Gabriel Capson Tojo, M. Rouez, M. Cresti, Eric Trably, Nicolas Bernet, Jean-Philippe Steyer, Jean-Philippe Delgenès, Renaud Escudie

### ► To cite this version:

Gabriel Capson Tojo, M. Rouez, M. Cresti, Eric Trably, Nicolas Bernet, et al.. Déchets de papier/carton comme co-substrat pour stabiliser la digestion anaérobie des biodéchets alimentaires commerciaux. Journées Recherche et Industrie biogaz méthanisation - JRI 2017, Association Technique Energie Environnement (ATEE). FRA., Apr 2017, Beauvais, France. hal-01604898

**HAL Id: hal-01604898**

**<https://hal.science/hal-01604898>**

Submitted on 2 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.

2017  
**JRI**  
**biogaz méthanisation**  
11-13 avril 2017 - UniLaSalle Beauvais



# Recueil des Résumés JRI 2017

Journées organisées avec le soutien de :

# Sommaire

## SESSION 1 – MOBILISATION DES RESSOURCES

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Stockage avant méthanisation : modalités et bonnes pratiques pour la conservation du pouvoir méthanogènes des fumiers et des CIVEs.....                                          | 5  |
| Etat des lieux des prétraitements biologiques pour la production de biogaz : du laboratoire vers une échelle industrielle ?.....                                                 | 6  |
| Prétraitement innovant afin d'augmenter l'accessibilité la cellulose de la paille de colza en trois jours: une nouvelle approche pour la valorisation des résidus agricoles..... | 7  |
| Stratégie de traitement et de valorisation des boues urbaines du SIAAP et actions R&D du programme de recherche Mocopée pour le déploiement d'outils adaptés.....                | 9  |
| Caractérisation des fauchages de bord de route pour la méthanisation (CARMEN).....                                                                                               | 10 |
| Utilisation de la spectroscopie proche Infrarouge pour la détermination du potentiel méthanogène des intrants de méthanisation.....                                              | 11 |
| Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) de substrats solides.....                                                                                                  | 13 |

## SESSION 2 – PROCEDES DE METHANISATION

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Codigestion d'herbages fauchés issus de bas-côtés de routes et de fumier bovin par digestion anaérobie en voie sèche discontinu à l'échelle pilote (60 L).....                 | 15 |
| Méthanisation en 3 étapes pour l'amélioration de la production de biogaz : comparaison de procédés physicochimiques et impact du digestat sur les performances du procédé..... | 17 |
| Déchets de papier/carton comme co-substrat pour stabiliser la digestion anaérobie des biodéchets alimentaires commerciaux.....                                                 | 20 |
| Traitement par UASB du percolat d'ordures ménagères : impact de la température et de la charge organique.....                                                                  | 21 |
| Sécurisation des performances et optimisation de l'alimentation des unités de méthanisation.....                                                                               | 22 |
| Métagénomique et transcriptomique appliqués au management des écosystèmes de méthanisation.....                                                                                | 23 |

## SESSION 3 - ANALYSE, TRAITEMENT ET VALORISATION DU BIOGAZ

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Revue des procédés d'épuration existants et émergents.....                                                                   | 25 |
| Comparatif expérimental des méthodes de détermination du silicium total dans un biogaz et un biométhane (projet RECORD)..... | 27 |
| Générateur d'oxygène bas débit pour le traitement de l'H <sub>2</sub> S.....                                                 | 29 |
| AgriGNV®, petit unité de production/distribution de bioGNV.....                                                              | 31 |
| Projet HYCABIOME : Potentialités de couplage Méthanisation / Méthanation biologique.....                                     | 33 |

## SESSION 4 – DIGESTATS ET AGRONOMIE

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quelles réglementations pour la mise sur le marché des fertilisants issus de sites de méthanisation ?.....                        | 35 |
| Quelle efficacité azotée du digestat brut de méthanisation aux champs ?.....                                                      | 36 |
| Valorisation agronomique des digestats provenant d'unités de méthanisation en voie épaisse : essais d'efficacité sur plantes..... | 37 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Impact des stratégies de post-traitement des digestats sur les émissions gazeuses à l'échelle de la filière.....                                | 39 |
| Typologie des digestats de méthanisation à partir de paramètres usuels de valeur amendement/fertilisante.....                                   | 40 |
| Estimation du potentiel de nutriments mobilisables dans les digestats : Mise en place d'une méthode BNP.....                                    | 41 |
| Projet Omix : filières de fractionnement des digestats en eau d'irrigation et en fertilisants renouvelables pour une méthanisation durable..... | 42 |
| Devenir de l'azote lors de la dégradation anaérobie de la matière organique : potentiel et cinétique de minéralisation de l'azote.....          | 43 |

## **SESSION 5 - ECONOMIE DES FILIERES, ACCEPTABILITE SOCIALE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Projet STOCKACTIF : Peut-on rendre la matière ligneuse plus facile à transformer en accélérant et en contrôlant un processus naturel de décomposition raisonnée pendant le temps de stockage en amont d'une unité de méthanisation. Résultats économiques et environnementaux..... | 46 |
| La concertation, ou comment faciliter la transition vers la méthanisation.....                                                                                                                                                                                                     | 47 |
| Faciliter le dialogue autour d'un projet de méthanisation, présentation de l'outil « Méthascope » comme dispositif d'évaluation à l'usage des associations.....                                                                                                                    | 48 |
| Produire biodégradable pour valoriser les coproduits sous procédés anaérobies.....                                                                                                                                                                                                 | 49 |
| WABEF : une boîte à outils pour promouvoir la méthanisation des résidus organiques en Afrique de l'Ouest.....                                                                                                                                                                      | 50 |
| L'acceptation territoriale des projets de méthanisation.....                                                                                                                                                                                                                       | 51 |

## **SESSION POSTER / FLASH PRESENTATION - PROGRAMMES DE RECHERCHE ET INITIATIVES DE SOUTIEN, DE PROMOTION ET D'APPUI A LA FILIERE BIOGAZ & METHANISATION**

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Présentation du projet MéthaPolSol : Quelles stratégies territoriales de METHAnisation pour combiner lutte contre le changement climatique, lutte contre les POLLutions diffuses azotées et amélioration de la qualité des SOLs.....        | 53 |
| Plan Biogaz Bretagne Pays de la Loire : état des lieux et perspectives de la filière dans l'Ouest.....                                                                                                                                      | 54 |
| Un système de gestion décentralisé pour la valorisation innovante des biodéchets urbains (EU project, Horizon 2020 WASTE-2015).....                                                                                                         | 55 |
| Une plateforme mutualisée de R&D reconnue « Projet Industriel d'Avenir » pour développer une filière méthanisation efficace, pérenne et créatrice de valeur pour les territoires, en France.....                                            | 57 |
| Evaluation de l'effet des Champs Electriques Pulsées (CEP) sur la production de biogaz à partir de déchets organiques.....                                                                                                                  | 60 |
| Optimisation de la production de biogaz et de l'utilisation du digestat provenant d'un processus de méthanisation voie sèche type garagesMéthanisation à température ambiante grâce à une couverture flottante récupératrice de biogaz..... | 63 |
| Projet ECauxTech – Suivi du fonctionnement et optimisation des performances de l'unité de méthanisation de Brametot.....                                                                                                                    | 64 |



## SESSION 1 – MOBILISATION DES RESSOURCES

Fortement liée à la notion de territoire par la nécessité d'un approvisionnement de proximité en substrats, la méthanisation doit impliquer les acteurs locaux, publics ou privés, qui bénéficieront en retour des avantages des projets : traitement de coproduits et/ou de déchets, production de digestats ou composts à intérêt agronomique, vente d'énergie.

L'introduction de nouvelles matières organiques dans les méthaniseurs nécessite de caractériser ces matières pour les intégrer dans une recette contrôlée, parfois après un prétraitement adapté.

De plus, les recettes utilisées pour alimenter les digesteurs conditionnent les caractéristiques intrinsèques des digestats ; prédire les mélanges de substrats peut permettre de mieux contrôler la qualité de ces derniers.

***Thèmes abordés : ressources, substrats et coproduits, caractérisation biochimique, prétraitements, potentiel méthanogène, modélisation, système d'information géographique (SIG), etc.***

## **Stockage avant méthanisation : modalités et bonnes pratiques pour la conservation du pouvoir méthanogènes des fumiers et des CIVEs**

R. TEIXEIRA FRANCO<sup>1</sup>, P. BUFFIERE<sup>1</sup>, R. BAYARD<sup>1,\*</sup>, C. PEYRELASSE<sup>2</sup>, M. LALANNE<sup>2</sup>, P. POUECH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ Lyon, INSA-Lyon, laboratoire DEEP, 9 rue de la Physique 69621 Villeurbanne cedex.

<sup>2</sup> APESA, Hélioparc, 2 av. Pierre Angot 64053 Pau cedex 09;

\*Correspondance : remy.bayard@insa-lyon.fr.

Cette présentation s'inscrit dans le cadre des travaux réalisés au sein du Projet DOSTE-SAM « Stockage Avant Méthanisation » financé par l'ADEME et coordonné par l'INSA de Lyon. Une enquête préliminaire réalisée durant le projet auprès des acteurs de la filière a permis de collecter des informations sur les pratiques actuelles de conservation de la biomasse avant méthanisation. Les cultures intermédiaires à vocations énergétiques (CIVEs) sont conservées selon le mode de l'ensilage, en revanche une absence généralisée de stratégie et de pratiques pour la conservation de fumiers a été notée. Aujourd'hui, le stockage à l'air libre demeure la principale pratique et il est clair qu'une perte importante de pouvoir méthanogène intervient dans ce cas. Etant donné que les fumiers et lisiers et dans une moindre mesure les CIVES demeurent des ressources majoritaires pour les installations de méthanisation, les recherches laboratoires et terrains ont été orientées vers l'optimisation des conditions de stockage de ces substrats.

L'INSA a réalisé des essais en laboratoire afin de tester différentes modalités de stockage de fumiers et de CIVEs. Dans tous les cas, la présence d'air lors du stockage entraîne une perte rapide et considérable de la masse et du potentiel méthanogène (60% de pertes de BMP à 28 jours pour les CIVEs, 40% pour les fumiers). Le stockage confiné (ensilage) des CIVEs permet de conserver le potentiel méthanogène, cependant les conditions de préparations (notamment le pré-fanage avant ensilage) doivent être optimisées afin d'assurer la stabilité du stockage sur le long terme. Le stockage du fumier en conditions confinées conduit à une lente dégradation du BMP (avec une perte de 50 % du BMP en 120 jours). Le co-stockage de fumiers avec d'autres sources de matière organique fermentescible (notamment des composés riches en sucres) permet de générer la fermentation lactique nécessaire à la chute du pH et à la stabilisation du mélange (on relève même une augmentation de 7% du BMP du mélange après un mois de co-stockage avec 10% de sucre en poids brut).

L'APESA a réalisé des essais sur le terrain pour des pratiques courantes de stockage des fumiers, lisiers et CIVEs. Les premiers résultats montrent une perte de matière organique (jusqu'à 35%) et de potentiel méthane pour le stockage du fumier sous bâche. Après 90 jours de stockage, ces pertes s'élèvent à 20% pour le potentiel méthane (exprimé en  $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{tPB}$ ). Le fumier frais produit un biogaz à 67% de méthane contre 74 et 75% après respectivement 30 jours et 90 jours de stockage.

Au contraire, les CIVES permettent une bonne conservation de la matière voire une augmentation du potentiel méthane pendant l'ensilage. En effet, les essais menés sur 90 jours ont montré une bonne stabilité du pH autour de 4,4 et une perte de la matière organique inférieure à 10%. Les essais de potentiels méthanogènes montrent des valeurs de  $316 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4/\text{tMO}$  pour le produit brut et  $348 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4/\text{tMO}$  à 28 jours d'ensilage.

Des essais de co-stockage de CIVEs et de fumier ont été réalisés en mélangeant ces deux substrats à 50% en volume. Les résultats montrent une amélioration de la conservation de la matière après 15 à 30 jours de stockage. Le potentiel méthane de la matière en co-stockage (exprimée en  $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{tPB}$ ) est supérieur à celui du mélange théorique CIVE/fumier de 30% et 12% respectivement pour 15 jours et 30 jours de stockage. En revanche, après 90 jours de stockage, le bénéfice du co-stockage n'est plus notable tant en terme de matière organique que de potentiel méthane.

En parallèle, des essais de stockage de maïs et de sorgho ensilage sont en cours sur la ferme expérimentale de l'AGROSITE de Montardon et les résultats de pertes de carbone et de potentiel méthanogènes seront présentés.

## **Etat des lieux des prétraitements biologiques pour la production de biogaz : du laboratoire vers une échelle industrielle ?**

U. BREMOND<sup>1,2</sup>, R. GREGORY<sup>1</sup>, J.P. STEYER<sup>2</sup>, H. CARRERE<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Air Liquide, Centre de Recherche Paris Saclay, 1 Chemin de la Porte des Loges BP 126, Les Loges en Josas – 78354 Jouy en Josas Cedex, France.

<sup>2</sup> INRA, UR0050, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE), 102 Avenue des Etangs – 11100 Narbonne, France.

\*Correspondance: helene.carrere@inra.fr, +33 468425168.

Lors du colloque « méthanisation : biomasse et prétraitements » du Club Biogaz (ATEE) en octobre 2016, la question du prétraitement biologique des substrats, notamment lignocellulosiques, avait été plusieurs fois évoquée par les participants comme une alternative possible et intéressante aux méthodes existantes (broyage, thermo-chimique...). Néanmoins, ces prétraitements n'avaient pas été présentés de manière spécifique laissant cette thématique en suspens. L'objectif de cette présentation est d'y remédier en présentant les différents prétraitements biologiques possibles en fonction des substrats et ceci à l'échelle du laboratoire et de l'industrie.

La première partie de l'intervention tracera le cadre de définition des prétraitements biologiques ainsi que leurs buts. Nous pourrions subdiviser en trois catégories les prétraitements biologiques : enzymatiques, anaérobies et aérobies. Nous montrerons qu'ils peuvent s'appliquer essentiellement aux déchets de l'agriculture, aux biodéchets ainsi qu'aux boues de station d'épuration. Etant donné l'intérêt qu'ils suscitent dans le marché actuel de la méthanisation, seuls les déchets de l'agriculture et les biodéchets seront approfondis et donnés en exemple par la suite.

La seconde partie portera sur le prétraitement enzymatique. Des exemples de recherches menées au laboratoire notamment sur des substrats lignocellulosiques seront donnés. Des applications à plus grande échelle seront également présentées telles que Dupont (Optimash® AD-100), DSM (Methaplus) pour les déchets agricoles et l'usine de traitement des déchets Renaissance de DONG/Novozymes pour les biodéchets.

La troisième partie portera sur les prétraitements anaérobies. Ensillage et digestion en deux étapes seront rapidement rappelés. Ils sont déjà utilisés à l'échelle industrielle.

La quatrième partie traitera des prétraitements aérobies. Elle fera la distinction entre les différents types de prétraitements aérobies : aération simple ou compostage, aération et ajout de compost, aération et bioaugmentation (ajout de culture pure ou consortia). Des travaux récents de recherche seront présentés et des technologies déjà à la vente telles que Méthalyse (AEB Méthafrance) ou BactérioMétha TL (Sobac) seront évoquées.

En conclusion, nous reviendrons sous la forme d'un tableau récapitulatif, sur les avantages et les inconvénients de chaque type de prétraitement (coût, durée, maîtrise) ainsi que leur échelle d'application en fonction du substrat.

## **Prétraitement innovant afin d'augmenter l'accessibilité la cellulose de la paille de colza en trois jours: une nouvelle approche pour la valorisation des résidus agricoles**

P. Peu\*<sup>1</sup>, J.-H. Tian<sup>1</sup>, A.-M. Pourcher<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irstea, OPAALE, 17 Avenue de Cucillé CS64427 F-35004 Rennes, France.

\*Correspondance: pascal.peu@irstea.fr, +33 299 29 91 45, fax: +33 223 48 21 15.

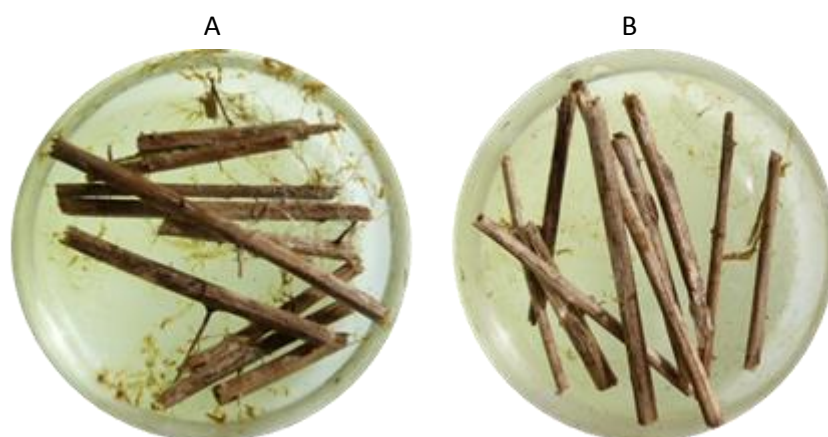
Bien qu'ils soient produits en grande quantité et qu'ils aient une forte potentialité théorique de production de méthane, les résidus de culture sont lentement biodégradables en raison de leur composition lignocellulosique. Il est cependant possible d'améliorer cette biodégradabilité par différents prétraitements physiques et/ou chimiques mais aussi par une approche biologique en utilisant la capacité lignolytique de certains micro-organismes. Des recherches récentes ont mis en évidence que des bactéries étaient capables de dégrader les composés aromatiques tels que la lignine permettant d'augmenter l'accessibilité au compartiment holocellulosique.

L'objectif de ce travail était de mettre au point une ébauche de prétraitement biologique utilisant la capacité de ces micro-organismes sur des résidus de culture afin d'optimiser la biodisponibilité du compartiment holocellulosique pour une valorisation postérieure par méthanisation.

Afin d'augmenter cette accessibilité à la cellulose de la paille de colza (paille choisie comme modèle), des essais de prétraitements biologiques ont été réalisés en utilisant trois souches isolées, sélectionnées en raison de leur forte activité ligninolytique. Les souches ont été cultivées en présence de lignine Kraft comme seule source de carbone dans un milieu synthétique (milieu M9) apportant, sous la forme de sels, les sources d'azote, de phosphore et de potassium. Les cultures ont ensuite été mises en contact avec la paille de colza dans les réacteurs (Leach Bed Reactor) en condition aérobie. Afin d'estimer l'effet des souches, d'autres réacteurs ont reçu uniquement ce milieu M9 et/ou de la lignine Kraft ("mélange sels-lignine") ou bien encore seulement du NaCl.

Les pailles inoculées avec les trois souches ligninolytiques présentaient une forte augmentation de l'accessibilité à la cellulose en trois jours de traitement, mais, contrairement à l'hypothèse de départ, cette augmentation était également observée pour les pailles non inoculées avec les bactéries, mettant ainsi en exergue l'impact de la composition chimique du mélange sels-lignine (Photo 1). Les communautés microbiennes des pailles inoculées avec les souches ou traitées avec le mélange sels-lignine présentaient une forte similarité. Les bactéries endogènes activées par le mélange de lignine et de sels présenteraient une activité enzymatique non soupçonnée, qui augmenterait significativement l'accessibilité à la cellulose en limitant les pertes d'holocellulose.

Ce prétraitement novateur avec le mélange sels-lignine a fait l'objet d'un dépôt de brevet (FR 1660188)



**Photo 1 :** Paille de colza prétraitée avec des solutions contenant de la lignine et des sels (A) ou seulement du NaCl (B). Des fibres ont été libérées par le mélange lignine-sels (A).

## Stratégie de traitement et de valorisation des boues urbaines du SIAAP et actions R&D du programme de recherche Mocopée pour le déploiement d'outils adaptés

S. AZIMI<sup>1,\*</sup>, S. GUERIN<sup>1</sup>, S. MOTTELET<sup>2</sup>, S. BELLATON<sup>3</sup>, M. MULLER<sup>3</sup>, J. BERNIER<sup>1</sup>, A. PAUSS<sup>2</sup>, T. RIBEIRO<sup>4</sup>, V. ROCHER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SIAAP, Direction Développement et Prospective, 82 avenue Kléber, 92 700 Colombes.

<sup>2</sup> Université de Technologie de Compiègne, Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable, 60203 Compiègne cedex

<sup>3</sup> ENVOLURE – Solutions innovantes pour l'analyse des bioprocédés environnementaux 1682 rue de la Valsière – CS 67393, Montpellier cedex 4

<sup>4</sup> UniLaSalle, Rue Pierre Waguet, BP 30313, F-60026 Beauvais Cédex, France.

\*Correspondance: sam.azimi@siaap.fr, +33 141 19 52 24, fax: +33 141 19 52 09.

L'application de la Directive Européenne sur les Eaux Résiduaires Urbaines (DERU, 1991) et la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000) ont conduit à un accroissement significatif des exigences sur la qualité des eaux rendues au milieu naturel. Des technologies performantes pour le traitement des eaux et des sous-produits ont ainsi été intégrées dans les usines d'épuration. **Parallèlement à cela, la loi transition énergétique a dessiné les grands objectifs du nouveau modèle énergétique français.** Dans ce contexte de hautes performances à faible coût énergétique, les stations d'épurations ont mis au cœur de leur préoccupation les problématiques liées à la dépense énergétique.

Afin d'atteindre ces objectifs ambitieux fixés par la réglementation, le Service Public de l'assainissement Francilien (SIAAP) en charge, chaque jour, du transport et du traitement de près de 2,5 million de m<sup>3</sup> d'eaux usées, a déployé une stratégie de production de biogaz en évitant les augmentations de charges liées à la remise en tête des jus produits. Les ouvrages de digestion permettent ainsi la production de 500 GWh/an de bio-énergie en digérant près de 80 % de la production de boue.

Parallèlement à ce déploiement industriel, le SIAAP, l'IRSTEA et l'Université Technologique de Compiègne ont initié, en 2014, le programme de recherche Mocopée (MOdélisation, Contrôle et Optimisation des Procédés d'Épuration des Eaux). Dans le cadre de ce programme qui implique près de 15 équipes (centres de recherche et industriels), des actions R et D visant à développer des méthodes de caractérisation des boues urbaines ont été engagées. Ces outils, à vocation opérationnelle, doivent permettre d'aider à l'exploitation des unités de digestion industrielles et ainsi optimiser la production de biogaz. Les actions engagées visent notamment à développer des méthodes d'estimation rapide des BmP – moins de 4 jours - en s'appuyant sur des méthodes classiques couplées à des traitements de données adaptés (collaboration UTC-Siaap) ou sur des méthodes novatrices basées sur la mesure de l'activité biologique par mesure directe de fluorescence (collaboration ENVOLURE-Siaap).

Les objectifs de cette présentation sont doubles. Il s'agira, d'une part, de décrire la stratégie industrielle déployée par le SIAAP pour traiter et valoriser les 230 000 tonnes de MS produites annuellement. Pour cela, un état des lieux sur les pratiques actuelles sera complété par une projection sur les problématiques à venir (horizon 2030). D'autre part, seront évoqués les premiers résultats des travaux R et D et les pistes de recherche à venir.

## Caractérisation des fauchages de bord de route pour la méthanisation (CARMEN)

I. ZDANEVITCH<sup>1,\*</sup>, J. LENCAUCHEZ<sup>2</sup>, L. DUFFO<sup>2</sup>, C. PINEAU<sup>3</sup>, T. RIBEIRO<sup>4</sup>, L. ANDRE<sup>4</sup>

<sup>1</sup> INERIS, BP 2, F - 60550 Verneuil en Halatte

<sup>2</sup> AILE, **73, rue de Saint-Brieuc - CS 56520 – F - 35065 RENNES Cedex**

**3 23 avenue de l'Amiral Chauvin – F - 49136 Les Ponts de Cé**

<sup>4</sup> UniLaSalle, Rue Pierre Waguet, BP 30313, F - 60026 Beauvais Cédex, France.

\*Correspondance: isabelle.zdanevitch@ineris.fr, +33 3 44 55 63 90, fax: +33 3 44 55 65 56.

Depuis quelques années, les herbages fauchés sur les bords de route ne sont plus laissés sur place mais exportés. Ils sont envoyés chez des agriculteurs en complément de ration, notamment pour la méthanisation. Quelques analyses du contenu de ces herbes en métaux lourds ou composés organiques polycycliques ont été réalisées, mais pas de façon systématique. Le projet de recherche CARMEN, financé par l'ADEME dans le cadre de l'AaP CIDE, propose d'apporter des informations sur les teneurs en contaminants d'herbages échantillonnés sur différentes zones, en particulier près de routes supportant des trafics très différents, et d'étudier le comportement de ces contaminants lors de la méthanisation de ces herbages. Des essais en pilotes de méthanisation, portant sur des proportions variables d'herbes par rapport à des effluents d'élevage, ont ainsi été menés à UniLaSalle, et seront présentés dans une autre session.

Le projet comportera également une analyse coût – bénéfice, qui comparera le fauchage avec exportation / valorisation avec la fauche classique.

Le projet donnera des recommandations en termes d'apport maximum d'herbages dans les digesteurs, de façon à respecter les valeurs limites en contaminants édictées par la norme française NF U 44-051, et à optimiser le processus de méthanisation.

3 typologies de routes ont été sélectionnées : deux territoires procédant déjà au fauchage avec exportation, et 4 zones à plus fortes densités de circulation, sur le périphérique de Rennes, de 40 000 à plus de 100 000 véhicules/jour.

Les analyses ont porté sur MS/MO, métaux lourds de la norme NF U 44-051, 19 HAP, indésirables : macro et micro-déchets. En complément, les espèces des herbages ont été déterminées sur chaque zone. Deux campagnes ont été menées : une au printemps, sur la première fauche (mai-juin), une en fin d'été (août-octobre).

Les concentrations en métaux lourds sont pour beaucoup, inférieures aux limites de quantification du laboratoire. On note toutefois des concentrations un peu plus élevées que l'ensemble des résultats en chrome sur les prélèvements de printemps de la Mayenne, et en zinc sur les échantillons de Rennes (40 à 80 000 véhicules/jour) en fin d'été. Il n'y a pas de corrélation nette entre le nombre de véhicules/jour et les niveaux de concentrations sur les différents prélèvements.

Les HAP présentent également, pour une grande partie d'entre eux, des concentrations inférieures aux limites de quantification du laboratoire (0,01 mg/kg MS). Comme pour les ETM, les répartitions selon les échantillons sont variables entre zones et entre saisons, sans montrer de corrélation évidente au nombre de véhicules circulant sur les voies. Un traitement statistique pour étudier les corrélations, et la recherche d'autres éléments d'information, seront nécessaires pour interpréter les résultats.

Les niveaux en contaminants (HAP et métaux, sauf le zinc) ne poseront a priori pas de risque lors de l'épandage du digestat après méthanisation. Cela confirme l'intérêt de cette biomasse comme apport complémentaire, notamment pour les digesteurs agricoles.

## Utilisation de la spectroscopie proche Infrarouge pour la détermination du potentiel méthanogène des intrants de méthanisation

P. MORTREUIL<sup>1</sup>, C. LAGNET<sup>1</sup>, B. SCHRAAUWERS<sup>1</sup>, M. LALANNE<sup>1</sup>, P. POUECH<sup>1</sup>, F. MONLAU<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> APESA, Plateau technique, Cap Ecologia, Avenue Frédéric Joliot Curie, 64230 Lescar, France.

\*Correspondance: florian.monlau@apesa.fr, +33 688491845.

Un des éléments clés dans la gestion et l'optimisation des unités de méthanisation repose sur l'évaluation du potentiel méthanogène (ou BMP : Biochemical Methane Potential), qui permet de dimensionner les unités par la suite mais aussi de contrôler la qualité des intrants et évaluer les éventuelles pertes de carbone lors des périodes de stockage. Aujourd'hui le BMP est déterminé par la méthode «classique » biologique qui prend entre deux à six semaines en fonction de la biodégradabilité de la biomasse analysée. Récemment, Ward (2016) a reporté au sein d'une étude bibliographique, sept études ayant utilisés la technologie de Spectroscopie Proche Infra Rouge (SPIR) afin de prédire les potentiels méthanogènes de divers types de biomasses. Toutefois, les bases de données et les modèles développés sont difficilement extrapolables d'un laboratoire d'étude à un autre du fait de divers paramètres, dont en particulier: 1) les techniques de préparation des échantillons ; 2) les variations des protocoles utilisés pour la détermination de la valeur de référence BMP ; 3) les familles d'échantillons ayant servi à la calibration des modèles de prédiction. Confrontée à ces difficultés lors de l'utilisation du SPIR, l'APESA a entrepris depuis deux ans le développement de ses propres lots d'équations de prédiction du potentiel méthanogène. Pour la réalisation du modèle, divers types d'intrants de méthanisation (182 échantillons) ont été évalués avec majoritairement des résidus de l'agriculture (53%) et des déchets de déjections animales (23%). Les valeurs de références du potentiel méthanogène (exprimé en NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> MO) ont été déterminées à partir d'un protocole interne à l'APESA, protocole qui a fait l'objet d'une analyse inter-laboratoires de l'ADEME (Cresson et al., 2015). L'acquisition spectrale a été réalisée sur le spectromètre (Buchy *NIR Flex-N500*) et le logiciel (Buchy *NIR Cal*) a été utilisé pour la construction et l'élaboration des modèles via le principe de la régression PLS (Partial Least Square : moindres carrés partiels). Parmi les 182 échantillons, 113 ont servi à l'élaboration du modèle de prédiction, 46 au modèle de validation et 23 pour une validation indépendante. Afin de juger de la fiabilité et de la robustesse du modèle, parmi les différents indicateurs possibles, nous avons retenu les plus courants que sont le  $R^2$  : coefficient de détermination (ou carré du coefficient de régression), le  $RMSEP$  : erreur quadratique moyenne de prédiction (Root Mean Squares Error of Prediction, équation 1), et enfin le  $RPD$  (Ratio of Performance to Deviation, équation 2).

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1) \quad RPD = \frac{SD_y}{RMSEP} \quad (2)$$

Avec : n le nombre d'échantillons du modèle,  $y_i$  la valeur du potentiel méthanogène défini par le protocole BMP de référence de l'i-ème échantillon,  $\hat{y}_i$  sa valeur prédite par le modèle, et  $SD_y$  l'écart-type de l'ensemble des valeurs BMP de référence.

Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) des ensembles calibration ( $R^2=0.96$ ) et validation ( $R^2=0.95$ ) sont élevés et similaires aux meilleurs de la littérature (pour Cal. / Val. : Doublet et al., 2013 : 0.92 / 0.85; Lesteur et al., 2011 : 0.79 / 0.76). Des valeurs de  $RMSEP$  de 22.0 et 21.1 NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> MO ont été déterminés respectivement pour les modèles de calibration et validation. Les  $RMSEP$  sont un peu plus faibles que ceux de la littérature (en NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> MO pour Cal. / Val. : Doublet et al., 2013 : 36 / 40 ;

Lesteur et al., 2011 : 31 / 28). Une valeur de RMSEP plus élevée (mais du même ordre de grandeur que les données de la littérature) de 32.1 NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> MO a été déterminée pour l'ensemble de la validation indépendante, composé majoritairement de résidus de l'agriculture et de déjections animales. Des coefficients de RPD très bons de 4.94 et 4.24 ont été estimés pour les modèles de calibration et validation respectivement et satisfaisant (RPD = 2.19) pour le modèle de validation avec le set d'échantillons indépendants.

En conclusion, le modèle BMP-NIR développé au sein de l'APESA est efficace pour la prédiction du potentiel méthanogène avec un coefficient de corrélation ( $R^2$ ) de 0.83 et une valeur de RMSEP de 32.1 NL CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> MO pour le set d'échantillons indépendants. Forts de ces premiers résultats encourageants, nous envisageons de compléter la base de données de ce modèle exploratoire et d'étudier en parallèle le développement de modèles spécifiques à des catégories de substrats (agricoles, agro-alimentaires, déjections, etc.).

## Références

- R. Cresson, S. Pommier, F. Béline, T. Bouchez, C. Bougrier, P. Buffière, L. Mazéas, A. Pauss, P. Pouech, S. Preys, T. Ribeiro, M. Rouez, M. Torrijos ; Results from a French inter-laboratory campaign on the biological methane potential of solid substrates. Presented at 14. World Congress on Anaerobic Digestion (AD14), Viña del Mar, Chili ; 2015
- J. Doublet, A. Boulanger, A. Ponthieux, C. Laroche, M. Poitrenaud, J.A. Cacho Rivero ; Predicting the biochemical methane potential of wide range of organic substrates by near infrared spectroscopy ; Bioresource Technology 128, 252–258 ; 2013.
- M. Lesteur, E. Latrille, V. Bellon Maurel, J.M. Roger, C. Gonzalez, G. Junqua, J.P. Steyer ; First step towards a fast analytical method for the determination of Biochemical Methane Potential of solid wastes by near infrared spectroscopy ; Bioresource Technology 102, 2280–2288 ; 2011.
- A.J. Ward. Near-Infrared Spectroscopy for Determination of the Biochemical Methane Potential: State of the Art. Chemical Engineering & Technology 39, 611-619; 2016.

## Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) de substrats solides

L. ANDRE<sup>1</sup>, A. PAUSS<sup>2</sup>, T. RIBEIRO<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> UniLaSalle, Rue Pierre Waguet, BP 30313, F-60026 Beauvais Cédex, France.

<sup>2</sup> Sorbonne Universités, UTC, EA 4297 UTC/ESCOM, CS 60313, F-60205 Compiègne cedex, France.

\*Correspondance: thierry.ribeiro@unilasalle.fr, +33 344 06 89 72, fax: +33 344 06 25 26.

La demande chimique en oxygène est un paramètre clé pour suivre la digestion anaérobie notamment par la charge organique introduite. Les méthodes analytiques permettant d'obtenir cette mesure impliquent généralement de grandes quantités de réactifs chimiques et/ou une dilution de l'échantillon solide analysé (APHA-AWWA-WPCF, 1992; Raposo, 2008; 2009). Dans la méthode proposée, des kits commerciaux de DCO ont été utilisés pour déterminer ce paramètre de substrats solides hétérogènes complexes. Pour introduire l'échantillon solide préalablement séché et broyé, le support de pesée sélectionné est introduit directement dans le tube DCO avec l'échantillon. La DCO endogène du support choisi devait être la plus faible possible pour obtenir une valeur seuil faible laissant une large gamme de détermination pour la DCO des substrats. Le support retenu au cours de ces expérimentations est une cupule en polyéthylène provenant d'une pipette Pasteur, coupée dans le sens de la longueur et de la largeur pour obtenir des cupules de 0,5 cm de long environ. La DCO du support représente entre 10 et 50 % de la DCO totale. L'échantillon solide est séché à 105°C pendant 24 h et broyé. Une gamme de DCO a été ciblée pour obtenir différents points soit 1000, 2000, 3000, 5000 et 8000 mg<sub>DCO</sub>, chaque point étant analysé en triplicat. Les échantillons sont pesés dans les cupules en plastique et le tout est placé directement dans le tube DCO. Le protocole standard du kit commercial de DCO a été suivi (WTW, 14555). Du phtalate de potassium et du glucose ont été utilisés pour étalonner la méthode. La méthode a été ensuite validée par de la cellulose et appliquée sur différents substrats solides : fumier bovin (18,7 ± 0,1 % MS; 91,2 ± 0,1 % MO), paille (51,3 ± 0,4 % MS; 94,9 ± 0,3 % MO) et un substrat mixte (97,7 ± 0,1 % MS; 94,9 ± 0,1 % MO). Ce dernier est composé de 40 % de pomme de terre, 20 % de maïs, 30 % de viande bovine et de 10 % de paille; il a été utilisé dans l'essai interlaboratoire français sur les potentiels méthanés (Cresson et al., 2015).

Les résultats obtenus avec les étalons démontrent une bonne répétabilité et une bonne linéarité, ainsi qu'une exactitude acceptable des valeurs obtenues de DCO (environ 95 % de la valeur théorique a été obtenue). Il en a été de même pour la cellulose. Les valeurs de DCO obtenues pour les substrats agricoles testés sont de 1,12 ± 0,20, 0,97 ± 0,27, et 1,19 ± 0,19 g<sub>DCO</sub>.g<sub>MS</sub>-1 respectivement pour le fumier bovin, la paille et le substrat mixte. Cette méthode très reproductible permet d'obtenir une valeur de DCO sur des substrats solides complexes en minimisant la quantité de substrat et de réactifs utilisés, les risques associés, et sans dilution des substrats. L'usage de kit commercial simplifie également cette analyse qui peut être mise en œuvre comme outil de suivi des unités de méthanisation en phase solide.

APHA-AWWA-WPCF, 1992. Standard method for examination of water and wastewater. 18th ed., Washington, DC.

Cresson, R., Pommier, S., Béline, F., Bouchez, T., Mazeas, L., Buffière, P., Bougrier, C., Cacho, J., Camacho, P., Rouez, M., Pauss, A., Pouech, P., Ribeiro, T., Torrijos, M., 2015. Results from a French Inter-laboratory Campaign on the Biological Methane Potential of Solid Substrates. 14th World congress on anaerobic digestion, 15 – 18 th november, Viña del mar, Chile.

Raposo, F., De la Rubia, M.A., Borja, M., Alaiz, M., 2008. Assessment of modified and optimized method for determining chemical oxygen demand of solid substrates and solutions with high suspended solid content. *Talanta*. 76, 448-453.

Raposo, F., De la Rubia, M.A., Borja, R., Beltran, J., Cavinato, C., Clinckspoor, M., Demirer, G., Diamadopoulos, E., Helmreich, B., Jenieck, P., Matri, N., Méndez, R., Noguerol, J., Pereira, F., Picard, S., Torrijos, M., 2009. An interlaboratory study as useful tool for proficiency testing of chemical oxygen demand measurements using substrates and liquid samples with high suspended solid content. *Talanta*. 80, 329-337



## SESSION 2 – PROCÉDES DE METHANISATION

En France, les filières de méthanisation se développent principalement à partir d'intrants ne présentant pas de concurrence avec l'alimentation humaine ou animale. Il en résulte une diversité importante d'intrants nécessitant des adaptations et/ou des développements spécifiques en termes de procédés de méthanisation.

Une meilleure connaissance des processus qui se déroulent lors de la digestion doit permettre de piloter celle-ci plus finement, et d'optimiser la production de biogaz à partir d'une recette d'intrants donnée.

La pérennisation des technologies passe aussi par une meilleure maîtrise des paramètres physiques dans les procédés, ainsi que par le développement d'un monitoring adapté, notamment au niveau du biogaz.

***Thèmes abordés : procédés de méthanisation, digesteurs, conduite, contrôle, optimisation, innovation, populations microbiennes, etc.***

## Codigestion d'herbages fauchés issus de bas-côtés de routes et de fumier bovin par digestion anaérobie en voie sèche discontinu à l'échelle pilote (60 L)

L.ANDRE<sup>1</sup>, I.ZDANEVITCH<sup>2</sup>, J.LENCAUCHEZ<sup>3</sup>, A.DAMIANO<sup>3</sup>, C.PINEAU<sup>4</sup>, A.PAUSS<sup>5</sup>, T.RIBEIRO<sup>1\*</sup>

1 UniLaSalle, Rue Pierre Waguet, BP 30313, F-60026 Beauvais Cédex, France.

2 INERIS, DRC-RISK-TTPD, BP 2 -60650 Verneuil en Halatte, France.

3 AILE, 73 rue de Saint Brieuc, CS 56520 - 35025 Rennes, France.

4 CEREMA, 9 rue René Viviani, BP 46223 - 44262 Nantes cedex 2, France.

5 Sorbonne Universités, UTC, EA 4297 UTC/ESCOM, CS 60313, F-60205 Compiègne cedex, France.

\*Correspondance: thierry.ribeiro@unilasalle.fr, +33 344 06 76 11, fax: +33 344 06 25 26.

Le projet CARMEN mené conjointement par l'INERIS, le CEREMA et AILE a pour objectif de suivre des chantiers d'exportation de fauches de bords de routes en Mayenne et dans les Côtes d'Armor. Cette étude permet d'identifier les risques de transferts de polluants sur des routes à plus ou moins fort trafic (entre 5000 et 100 000 véhicules par jour) et d'observer conjointement la possibilité de valorisation ces déchets *via* les procédés de méthanisation. Les herbages fauchés récoltés ont été analysés au laboratoire de méthanisation d'UniLaSalle pour réaliser la codigestion de ces ressources en présence de fumier bovin et ainsi observer l'impact des micropolluants sur la digestion anaérobie. Les stratégies de mises en œuvre des codigestions en voie sèche diffèrent de celles mises en œuvre en voie liquide impliquant des ressources avec une forte teneur en matière sèche telles que les herbages fauchés et le fumier bovin. L'utilisation du procédé en phase sèche dans cette étude permet d'observer clairement l'impact des micropolluants qui seront en quantité plus importante qu'avec un procédé en voie liquide. Deux campagnes de récoltes et de mesures ont été réalisées, en juin et en octobre 2016. Des essais de codigestion anaérobie à l'échelle pilote (60 L) ont été conduits impliquant différentes stratégies de remplissage et de recette. Les analyses des micropolluants, ETM et HAP, ont également été effectuées.

Les potentiels méthane obtenus à l'échelle pilote de 60 L pour les codigestions mises en œuvre sont dépendants du mode de remplissage, de la recette appliquée (soit 50%FB-50%HF, 60%FB – 40%HF et 75%FB et 25% HF) et de la saisonnalité de récolte des ressources utilisées. Pour la 1<sup>ère</sup> campagne de mesure mettant en œuvre un remplissage par strate, les potentiels méthane obtenus sont de 35,2 à 54,5 Nm<sup>3</sup><sub>CH<sub>4</sub></sub>.T<sub>MF</sub><sup>-1</sup> (171 à 201 Nm<sup>3</sup><sub>CH<sub>4</sub></sub>.T<sub>MO</sub><sup>-1</sup>) en fonction de la recette testée. Pour la 2<sup>ème</sup> campagne de mesure impliquant un mode de remplissage en « mélange », les potentiels méthane obtenus sont de 36,9 à 41,6 Nm<sup>3</sup><sub>CH<sub>4</sub></sub>.T<sub>MF</sub><sup>-1</sup> (225 à 241 Nm<sup>3</sup><sub>CH<sub>4</sub></sub>.T<sub>MO</sub><sup>-1</sup>). Des travaux aboutissent à une valeur de 155 mL<sub>CH<sub>4</sub></sub>.g<sub>VS</sub><sup>-1</sup> pour une codigestion à partir de fumier bovin et de tonte d'herbe (Zheng et al., 2015) ; les conditions de mises en œuvre sont à prendre en considération. Ces essais pilotes ont permis de comparer deux modes de remplissage et trois recettes à chaque campagne conduisant à des conclusions sur la mise en œuvre pratique de codigestion à partir d'herbes fauchées et de fumier bovin. Le mode de remplissage en mélange conduit à une absence de percolation de la phase liquide et à des problématiques de transferts hydriques et de recirculation qui sont des paramètres clés pour conduire et optimiser la digestion anaérobie en voie sèche (André et al., 2015 ; André et al., 2016). Le mode de remplissage en strate doit être privilégié et permet de conduire la digestion anaérobie avec de l'herbe fauchée. Des problématiques d'acidification du milieu ont été constatées en fonction de la recette appliquée. L'herbe fauchée possède un caractère acidifiant et des stratégies de conduite du procédé doivent être menées pour pallier à cette acidification (Ahn et al., 2009 ; Zheng et al., 2015). Il a été montré sur une codigestion tonte d'herbe et fumier que la proportion de chaque substrat impacte les populations microbiennes présentes (Zheng et al., 2015).

L'herbage fauchée issue des bords de route ne présente pas de micropolluants initialement et les essais doivent être réitérés avec de l'herbe fauchée possédant des teneurs initiales en micropolluants plus élevées pour observer l'effet des micropolluants sur la digestion anaérobie. Cette étude a permis de mettre en œuvre plusieurs stratégies de codigestion à partir d'herbages fauchés et de fumier bovin montrant l'importance (i) de la saisonnalité de récolte des ressources, (ii) des proportions de chaque ressource utilisée, (iii) du mode de remplissage du digesteur, impactant directement sur des problématique de transferts hydriques et d'acidification du milieu.

André, L., Durante, M., Lespinard, O., Pauss, A., Lamy, E., Ribeiro, T., 2016. Use of conservative tracer tests to characterize water flow during dry anaerobic digestion of cattle manure. In 16th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation. Albi, France. May 23<sup>th</sup>–26<sup>th</sup>.

André, L., Durante, M., Pauss, A., Lespinard, O., Ribeiro, T., Lamy, E., 2015. Quantifying physical structure changes and non-uniform water flow in cattle manure during dry anaerobic digestion process at lab scale: Implication for biogas production. *Bioresource Technol.* 192, 660-669.

Zehui Z., Jinhuan L., Xufeng, Y., Xiaofen, W., Wanbin, Z., Fuyu, Y., Zongjun, C., 2015. Effect of dairy manure to switchgrass co-digestion ratio on methane production and the bacterial community in batch anaerobic digestion. *Applied Energy*. 151, 249-257.

Ahn, H.K., Smith, M.C., Kondrad, S.L., White, J.W., 2009. Evaluation of biogas production potential by dry anaerobic digestion of switchgrass–animal manure mixtures. *Appl Biochem Biotechnol.* 160, 965-975.

<sup>1</sup> CARactérisation des HAP et des métaux dans les herbages fauchés en bord de route pour la METHanisation

<sup>1</sup> FB : Fumier Bovin ; HF : Herbages Fauchées

# Méthanisation en 3 étapes pour l'amélioration de la production de biogaz : comparaison de procédés physicochimiques et impact du digestat sur les performances du procédé

A. BATTIMELLI<sup>1</sup>, C. DA ROS<sup>2</sup>, C. CAVINATO<sup>2</sup>, P. PAVAN<sup>2</sup>, M. TORRIJOS<sup>1</sup>, R. ESCUDIE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LBE-INRA, 102 avenue des Etangs, 11 100 Narbonne France.

<sup>2</sup> University Ca' Foscari of Venice, Department of Environmental Science, Informatics and Statistics, Venice, Italy.

\*Correspondance: [audrey.battimelli@inra.fr](mailto:audrey.battimelli@inra.fr), tél. +33 468 425 153, fax: +33 468 425 160.

**Mots-clés:** biodégradabilité, broyage, effluents d'élevage, méthane, prétraitement.

## INTRODUCTION

Une étude Européenne (Foged, 2011) a mis en évidence que la digestion anaérobie (DA) est la technique la plus appliquée pour le traitement des effluents d'élevage en Europe, dans un contexte favorable principalement du fait des incitations pour la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables. La plupart des installations de méthanisation traitant des effluents d'élevage comportent au minimum deux réacteurs en série résultant en des temps de séjour hydrauliques (TSH) élevés (Weiland 2010). En dépit de la présence de plusieurs réacteurs, la majeure partie du biogaz est produite dans le premier réacteur et le digestat final contient un potentiel méthane résiduel non négligeable (Ruile et al. 2015). Parvenir à améliorer la production de méthane dans le second réacteur pourrait i) améliorer la production totale de méthane, ii) éliminer plus de solides et iii) réduire les émissions de gaz à effet de serre depuis les bassins de stockage.

La biodégradabilité des effluents d'élevage est limitée par la structure de la matière organique solide qu'ils contiennent, le plus souvent sous forme de composés lignocellulosiques. En conséquence, des vitesses d'hydrolyse lentes sont observées du fait d'une faible accessibilité de ces matières pour les micro-organismes et leurs enzymes (Montgomery and Bochmann, 2014). Plusieurs études ont montré que le taux d'hydrolyse dépend à la fois de la taille et de la surface des particules (Veeken and Hamelers, 1999). Des prétraitements mécaniques, tels que le broyage, diminuent la taille des matières solides et en conséquence permettent d'augmenter globalement la surface spécifique accessible du substrat (Dumas et al., 2015). Afin d'améliorer la biodégradabilité, les procédés de broyage peuvent être appliqués seuls ou combinés à d'autres traitements physiques ou chimiques.

Dans cette étude, les effets sur la biodégradabilité de différents prétraitements du digestat ont été évalués, avec un focus sur la technique la plus simple de broyage. La combinaison de traitements mécaniques/thermiques et mécaniques/chimiques a également été testée.

## MATERIELS ET METHODES

Deux échantillons de digestats issus du premier réacteur d'une installation de méthanisation ont été prélevés à deux périodes de fonctionnement distincts (Table 1). L'installation de méthanisation est de type mésophile avec deux digesteurs en série et traite un mélange de fumier, déchets verts et autres résidus agricoles en proportions variables au cours de l'année.

**Tableau 1. Caractéristiques des digestats utilisés en tant que substrat pour cette étude (TS : solides totaux, VS : solides volatils, pH, tA : alcalinité totale, sCOD : DCO soluble, tCOD : DCO totale, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> : ammonium)**

|            | TS<br>(g/kg) | VS<br>(g/kg) | pH  | tA<br>(g CaCO <sub>3</sub> /L) | sCOD<br>(gO <sub>2</sub> /L) | tCOD<br>(gO <sub>2</sub> /L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(gN/L) |
|------------|--------------|--------------|-----|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| Digestat 1 | 95.9         | 65.5         | 8.5 | 16.0                           | 9.3                          | 113.0                        | 1.1                                    |
| Digestat 2 | 71.9         | 48.8         | 8.0 | 12.9                           | 10.5                         | 85.7                         | nd                                     |

Les digestats ont été broyés avec un appareil à couteaux (Brandt BLE615EG) à la vitesse de rotation maximale avec des durées de traitement variables. La durée de traitement de 10 minutes a été choisie comme meilleur compromis entre le taux de solubilisation des solides et l'augmentation de température du digestat au cours du broyage (cf. résultats et discussion).

4 réacteurs anaérobies (de volume utile égal à 6 L) conduits à température mésophile ont été conduits en parallèle pour une durée de 90 jours. Deux réacteurs ont été conduits en batch avec pour inoculum le digestat brut (prélevé sur l'installation à la ferme) dans le premier réacteur et le même digestat ayant subi le broyage dans l'autre réacteur. L'objectif étant d'évaluer l'effet du broyage sur le potentiel méthane du digestat traité ainsi que l'effet de ce traitement sur l'activité de la biomasse contenue dans le digestat. Les productions de biogaz et leurs compositions ont été suivies au cours de l'essai et les digestats finaux obtenus après les 90 jours d'opération ont été caractérisés (TS, VS, COD, azote, distribution granulométrique). Les deux autres réacteurs de méthanisation ont été préalablement remplis avec un inoculum anaérobie (granules UASB déstructurées remises en suspension dans une solution tampon de bicarbonate) et opérés en semi-continu avec pour alimentation les digestats bruts et broyés. Un temps de séjour hydraulique de 30 jours a été appliqué pour simuler les conditions du réacteur anaérobie de finition de l'installation à la ferme. Le fonctionnement semi-continu permet l'évaluation de l'impact à long terme du prétraitement par broyage sur une biomasse anaérobie active mais non adaptée à la dégradation des résidus lignocellulosiques. Les paramètres de stabilité des réacteurs et les caractéristiques des digestats produits (TS, VS, sCOD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et azote total) ont été analysés à une fréquence hebdomadaire tandis que la production de biogaz était suivie en ligne. Le procédé de broyage seul a été comparé i) au traitement par ultrasons, ii) aux traitements chimiques (NaOH, HCl et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) après broyage et iii) au broyage couplé aux procédés thermiques. La solubilisation de la DCO et la répartition granulométrique des particules ont été mesurées pour chaque traitement. Les potentiels méthane ont été déterminés par des mesures de BMP (Biochemical Methane Potential) à 37°C.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Optimisation du broyage

La solubilisation de la DCO augmente avec le temps de broyage ; après 105 min, la DCO soluble est triplée. Néanmoins de longs temps de broyage entraînent également une élévation de la température des digestats traités (> 50°C) qui induit des effets de solubilisation d'origine thermique en plus de celle liée à la diminution de taille des solides par le seul broyage. Enfin les hautes températures peuvent également entraîner des pertes de matière organique et donc réduire le potentiel méthane (Carlsson et al., 2012).

Les mesures de lignine, cellulose et hémicellulose ont confirmé la solubilisation partielle de ces composés après 10 minutes de broyage. Cette durée de traitement a été retenue pour les essais de méthanisation en réacteurs, en prenant en considération la DCO soluble obtenue et la température finale modérée, proche de 40°C en fin de broyage.

### Effet du broyage dans les réacteurs anaérobies en batch

Les essais de méthanisation en batch, dans lesquels l'inoculum était le digestat issu d'une première méthanisation avec et sans broyage, ont montré que le prétraitement a causé une inhibition initiale, avec une phase de latence de 10 jours dans la production de méthane. Pourtant, le débit maximal de biogaz et le potentiel biogaz (estimés par le modèle de Gompertz modifié) ont été supérieurs dans le

réacteur contenant le digestat broyé. Le débit maximal de biogaz était compris entre 0.88 et 1.20 L/jour. Le potentiel de production de biogaz est resté faible mais a légèrement augmenté dans le cas du digestat broyé : il est passé de 0.084 à 0.093 L/gVS<sub>initial</sub>.

#### **Effet du broyage dans les réacteurs anaérobie en semi-continu**

Les paramètres de stabilité des réacteurs semi-continus alimentés avec les digestats bruts et broyés ont été comparables, aucune inhibition ou surcharge n'a été observée dans les conditions testées. En revanche, la production de biogaz a été améliorée au regard des caractéristiques initiales des digestats. Les résultats préliminaires semblent indiquer que l'effet du broyage sur la production de biogaz est dépendant des paramètres du premier méthaniseur (composition de la ration d'alimentation, charge, etc.) étant donné la variabilité de caractéristiques des digestats initiaux (i.e. ratio sCOD/tCOD). De plus l'effet bénéfique du broyage semble d'autant plus élevé que le digestat traité est suffisamment stabilisé, avec un faible potentiel méthane résiduel (+58% de production de biogaz avec le broyage) en comparaison d'un digestat peu stabilisé (seulement +10% de production de biogaz par le broyage).

#### **Effet d'autres traitements physicochimiques sur le potentiel méthane**

Les ultrasons, le traitement thermique après broyage, le traitement alcalin après broyage et l'oxydation au peroxyde d'hydrogène après broyage ont tous conduits à une amélioration de la biodégradabilité des digestats traités. En particulier, le traitement thermique des digestats broyés (165°C, 15 atm) a permis d'améliorer le taux d'hydrolyse et augmenté la production de biogaz (+95%) dans les 20 premiers jours.

### **CONCLUSIONS**

Le broyage des digestats issus du premier réacteur de méthanisation ayant pour substrats des déchets et effluents d'élevage, permet de réduire la teneur en lignine insoluble et d'améliorer la solubilité et la biodisponibilité de la matière organique. En batch, une inhibition initiale de l'activité des micro-organismes contenus dans les digestats traités est observée après broyage, mais la biodégradabilité se trouve améliorée après une plus longue période. Les essais en semi-continu ont montré que les effets du broyage sur les rendements en méthane dépendent des caractéristiques initiales du digestat : les effets sont accrus sur un digestat complètement stabilisé, ne contenant plus que de la matière lentement biodégradable. Enfin l'amélioration de production de méthane pourrait être amplifiée en combinant le broyage à d'autres procédés d'hydrolyse physicochimique.

### **REFERENCES**

- Carlsson, M., Lagerkvist, A., Morgan-Sagastume, F. (2012) The effects of substrate pretreatment on anaerobic digestion systems: a review. *Waste Management*. 32: 1634–50.
- Dumas, C., Silva Ghizzi Damasceno, G., Abdellatif, B., Carrère, H., Steyer, J.-P., Rouau, X. (2015) Effects of grinding processes on anaerobic digestion of wheat straw. *Industrial Crops and Products* 74: 450–456.
- Foged, H.L., 2011. *Inventory of Manure Processing*.
- Montgomery, L., Bochmann, G. (2014) Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production. *IEA Bioenergy* 24.
- Ruile, S., Schmitz, S., Mönch-Tegeder, M., Oechsner, H. (2015) Degradation efficiency of agricultural biogas plants--a full-scale study. *Bioresource Technology* 178: 341–9.
- Veeken, A., Hamelers, B. (1999) Effect of temperature on hydrolysis rates of selected biowaste components. *Bioresource Technology* 69: 249–254.
- Weiland, P., 2010. Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85: 849–860.

## Déchets de papier/carton comme co-substrat pour stabiliser la digestion anaérobie des biodéchets alimentaires commerciaux

G. CAPSON-TOJO<sup>1,2\*</sup>, M. ROUEZ<sup>2</sup>, M. CREST<sup>2</sup>, J.-P. STEYER<sup>1</sup>, J.-P. DELGENES<sup>1</sup>, R. ESCUDIE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LBE, INRA, 102 avenue des Etangs, 11100, Narbonne, France.

<sup>2</sup> Suez, CIRSEE, 38 rue du Président Wilson, 78230, Le Pecq, France.

\*Correspondance: gabriel.capson-tojo@supagro.inra.fr, +33 (0) 6 38 21 79 57.

Des nouvelles réglementations nationales et une production croissante des biodéchets alimentaires (BA) ont comme conséquence un besoin de développer des nouvelles filières de valorisation. Parmi les technologies qui peuvent permettre de répondre à cette problématique, la digestion anaérobie (DA) est une option très prometteuse qui permet un traitement efficace combinant la production de méthane et de digestat. De plus, la DA par voie sèche, opérée à des teneurs en matières sèches (MS) supérieures à 20 %, possède plusieurs avantages par rapport à la DA humide (*i.e.* faible consommation d'eau externe, diminution de la quantité de digestat produit, diminution de la taille des réacteurs,...). Cependant, les BA possèdent des concentrations élevées en protéines qui sont minéralisées pendant DA pour produire de l'azote ammoniacal, dont la forme libre (ammoniaque) est un inhibiteur très connu de la méthanisation. Outre les fortes concentrations en azote ammoniacal, l'acidification a également été reportée comme une problématique majeure lors de la DA de BA. Plusieurs options sont en train d'être étudiées pour éviter ce problème, l'ajout d'éléments traces métalliques et la co-digestion étant les exemples les plus connus. Cependant, d'un point de vue économique, la co-digestion des BA avec un autre co-substrat est l'option la plus intéressante au niveau industriel. En DA centralisée des BA dans les régions urbaines, une des possibilités les plus prometteuses est d'utiliser les déchets de papier/carton (DC) comme co-substrat. Avec les BA, les DC sont les principaux déchets collectés au niveau d'un territoire urbanisé. Ils ont plusieurs caractéristiques pertinentes pour stabiliser la DA des BA: ils ont un ratio C/N très élevé (dilution de l'azote ammoniacal), des teneurs en MS très élevées (DA en voie sèche), ils peuvent constituer une source d'alcalinité, et sont lentement dégradables (limitation de l'accumulation des acides gras volatils (AGVs)).

L'objectif de cette étude a été d'évaluer, lors de la DA du BA seul ou de la codigestion DA/DC, l'effet de la charge initiale de substrat (ratio substrat/inoculum de 0.25 à 1 g VS/g VS-1) et de la teneur initiale en MS (20-30 %) sur la cinétique et le rendement final de production de méthane dans une procédé "batch" de DA en voie sèche.

Tous les réacteurs ont produit du méthane de façon efficiente, avec des rendements méthane de 298 à 464 ml CH<sub>4</sub>/g VS-1 ajoutée. A cause de la biodégradabilité plus faible du DC, des rendements de méthane plus bas ont été obtenus dans les réacteurs de co-digestion. Cependant, en ajoutant du DC, des accumulations initiales d'AGVs plus faibles ont été aussi observées, entraînant une chute de pH moins prononcée dans ces réacteurs. Ces expériences suggèrent que le DC possède un effet stabilisant sur le procédé de méthanisation. De plus, les phases de latence liées aux accumulations initiales d'AGVs ont été aussi plus courtes dans les réacteurs alimentés en codigestion.

Cette étude suggère la faisabilité de la co-digestion en voie sèche de BA et DC à échelle laboratoire, grâce notamment à un effet stabilisant de ce cosubstrat. Des études à l'échelle pilote et des essais en batchs successifs sont nécessaires pour prouver la faisabilité de ce procédé à l'échelle industrielle.

## Traitement par UASB du percolat d'ordures ménagères : impact de la température et de la charge organique

F. VEDRENNE<sup>1,\*</sup>, N. BAFLEUF<sup>1</sup>, A. FOURCANS<sup>1</sup>, G. QUENTIN<sup>1</sup>, H. OLCZYK<sup>1</sup>, J.A. CACHO RIVERO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Département Biosystèmes et Biotechnologies, VERI, 291 av. D.D.Ducas 78520 Limay, FR.

\*Correspondance: fabien.vedrenne@veolia.com, +33 130631016.

Une nouvelle filière intégrée de traitement des ordures ménagères est proposée. La filière brevetée se compose d'une phase de percolation des ordures ménagères avec une eau tamponnée sans production de méthane. Le résidu non extrait est orientée vers un procédé de compostage et tri. Le percolat riche en matières organiques lessivées et hydrolysées est valorisé par digestion anaérobie en UASB ou CSTR en fonction des besoins. Ce travail illustre l'optimisation de cette dernière étape au moyen d'un procédé UASB.

Le percolat obtenu après percolation avec de l'eau tamponnée a alimenté en continu trois réacteurs UASBensemencés avec des granules fonctionnelles. Trois températures (15°C, 25°C et 35°C) et trois charges organiques (7, 11 et 14 kgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/jour) ont été testées. Les performances ont été évaluées avec les suivis des productions gazeuses et des concentrations de demande chimique en oxygène (DCO) et d'acides gras volatiles (AGV) ainsi que l'aspect des granules. Le pH n'a pas été régulé.

Les conditions de température de 35°C et 25°C ont présenté des performances d'élimination élevées (80%) pour des charges organiques respectives de 14 et 11 kgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/jour. Le composé soluble principalement responsable des 20% de la DCO soluble non dégradée est le propionate. On estime que le temps de séjour hydraulique imposé (1 jour) pour obtenir la charge organique souhaitée était trop court pour la cinétique de consommation de cet AGV. La concentration en DCO particulaire est restée constante (2 gO<sub>2</sub>/L) pour les essais conduits à température mésophile. La concentration de cette fraction a augmenté pour la plus forte charge organique à 15 °C pour atteindre 6 gO<sub>2</sub>/L.

La composition presque exclusive en AGV du percolat est considérée comme la principale raison de l'augmentation de la matière particulaire via son impact sur la degranulation. Le taux d'acidification (AGV/DCO) mesuré est de 0,66. Des taux d'acidification supérieurs à 0.5 ont été considérés comme stressants pour les granules anaérobies. Les observations des granules ont permis d'observer une structure différente avec l'apparition d'une couche gelatineuse périphérique. L'analyse de microscopie à épifluorescence (F420) a confirmé la remobilisation spatiale des populations méthanogènes en périphérie et en dehors des granules.

Cette adaptation spatiale rapide à un percolat riche en AGV, a permis un bon fonctionnement du procédé. Une surveillance de la biomasse est requise.

## Sécurisation des performances et optimisation de l'alimentation des unités de méthanisation

C.Charnier<sup>1,\*</sup>, R.Samso<sup>1</sup>, E.Latrille<sup>2</sup>, J-P. Steyer<sup>2</sup>, J.Miroux<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> BioEnTech, 74 Av. Paul Sabatier, 11100, Narbonne, France.

<sup>2</sup> INRA, UR0050, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Av. des Etangs, Narbonne F-11100, France.

\*Correspondance: cyrille.charnier@bioentech.eu, +33 684 23 04 17.

L'alimentation est un paramètre déterminant des performances du procédé digestion anaérobie. Son optimisation est complexe et dépend des contraintes opérationnelles de l'unité. D'un côté, les unités de méthanisation traitants les effluents industriels doivent réguler en temps réel l'alimentation de l'unité pour abattre un maximum de demande chimique en oxygène (DCO) afin de minimiser le coût de décharge des effluents. Le temps de séjour et la rapidité du procédé impose un contrôle de l'alimentation dynamique et sensible. De l'autre côté, les unités collectives, agricoles et de station d'épuration doivent diversifier les substrats et développer la co-digestion pour assurer la rentabilité des unités. De par le temps de séjour élevé de ces unités, il est fondamental d'anticiper leur fonctionnement pour en optimiser les performances. Par conséquent, prédire les performances du procédé de digestion anaérobie en fonction de la recette d'alimentation est l'un des challenges de l'optimisation des unités à temps de séjour long.

Nous proposons de répondre à la problématique de l'optimisation de l'alimentation des unités par deux approches distinctes, adaptées aux différents types de méthanisation et à leurs contraintes. Sur les unités à temps de séjour court, de l'ordre de l'heure ou de la journée, une solution robuste et en quasi temps réel, basée sur une correction des performances actuelles, est nécessaire. Pour cela, un diagnostic du fonctionnement de l'unité est utilisé, doublé de règles expertes, prenant en compte l'état du digesteur, sa charge et ses performances d'abattement afin d'anticiper sur l'état biologique du réacteur. L'outil ajuste en permanence la charge organique optimale pour maximiser les performances de l'unité en limitant les risques d'inhibitions.

Sur les unités à temps de séjour long, il faut anticiper les performances de l'unité. Pour cela, un modèle dynamique de type ADM1 (Anaerobic Digestion Model n°1\*) est utilisé, permettant de prédire à moyen terme les performances en fonction de la recette d'alimentation. Pour l'utiliser de façon judicieuse, une première étape de calibration du modèle sur les performances de l'unité est nécessaire. L'ensemble des données de l'unité est collecté et traité sur une large fenêtre de temps afin de calibrer les paramètres du modèle relatifs au bioprocédé. Cela est complété d'une caractérisation des substrats par analyse spectroscopique afin de déterminer la composition biochimique en sucres, protéines, lipides, demande chimique en oxygène, potentiel méthanogène, cinétique d'hydrolyse du substrat. Le modèle est ensuite utilisé pour prédire les performances en fonction de l'alimentation. Cette prédiction permet de choisir la meilleure stratégie d'alimentation pour l'unité.

L'objectif de l'étude est de présenter et comparer les approches d'optimisation des unités de méthanisation en régulant l'alimentation. Nous utiliserons pour cela les retours d'expériences obtenus sur différentes unités traitants effluents industriels, boues de stations d'épuration ou encore, grâce entre autres, au projet ANR Autoferm, des déchets agricoles.

\*Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, R.I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., Vavilin, V.A., 2002. *Anaerobic Digestion Model No.1. Scientific and Technical Report No. 13. IWA Publishing, London, UK.*

## **Métagénomique et transcriptomique appliqués au management des écosystèmes de méthanisation**

M. MOLETTA-DENAT<sup>1,2\*</sup>, C. GENTHON<sup>2</sup>, N. WERY<sup>3</sup> et R. CRESSON<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA Transfert Environnement, 102, Avenue des Etangs, Narbonne, F-11100, France

<sup>2</sup> Plateforme Génomique GeT-INRA Transfert, Centre INRA de Toulouse Midi-Pyrénées, 24 Chemin de Borde Rouge – Auzeville, CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan cedex

<sup>3</sup> INRA, Laboratoire de biotechnologie de l'environnement, Avenue des Etangs, Narbonne, F-11100, France

\*Correspondance: marina.moletta-denat@inra.fr, +33 468 46 64 33, fax: +33 468 42 51 60

Plébiscité par le domaine des biotechnologies pharmaceutiques, chimiques, agro-alimentaires, et les sciences environnementales, le management des ressources microbiennes apparaît d'actualité depuis quelques années, notamment pour ces attraits en matière d'ingénierie écologique ou pour contrôler les microflore indésirables.

Les nouvelles applications de métagénomique et métatranscriptomique révèlent une nouvelle vision des écosystèmes microbiens complexes, et donnent de nouvelles pistes de levier pour leur management. Ces outils appliqués à la microbiologie des procédés de méthanisation, ont permis de décrire la microbiologie de ces systèmes complexes en lien avec leurs potentialités fonctionnelles.

L'efficacité et la résilience de ce processus dépend entièrement de l'activité concertée et syntrophique de micro-organismes appartenant à différents groupes fonctionnels (hydrolyse, fermentation, acétogénèse et méthanogène). De nouveaux outils analytiques associés à des analyses bioinformatiques des métadonnées ont été développés pour permettent de gérer la diversité structurelle et fonctionnelle des écosystèmes de méthanisation.

Haut-débits, sensibles et spécifiques, qualitatifs (séquençage haut-débit) ou quantitatifs (PCR quantitative haut-débit sur groupes microbiens spécifiques ou gènes de fonction), ils permettent maintenant d'accéder finement aux capacités fonctionnelles des écosystèmes de méthanisation.

L'intervention présentera les différents outils disponibles pour la caractérisation fonctionnelle de la diversité microbienne des bioprocédés à travers des exemples concrets d'applications et de résultats, notamment sur le suivi de la colonisation des supports et la diversité microbienne des digestats. La présentation détaillera également leurs intérêts et leurs limites pour une application à la gestion de l'écosystème microbien de méthanisation et dans les processus d'innovation.



### **SESSION 3 - ANALYSE, TRAITEMENT ET VALORISATION DU BIOGAZ**

La valorisation du biogaz sur les unités de méthanisation agricole et industrielle est un des points clé de la pérennité de la filière.

Plusieurs possibilités peuvent être envisagées par les producteurs : utilisation en chaudière, cogénération, production de biométhane pour l'injection dans le réseau, utilisation directe ou comme carburant véhicule.

Chacune de ces utilisations du biogaz imposent des spécifications techniques sur sa qualité.

Cette session abordera les possibilités et les limitations métrologiques pour garantir la qualité ad'hoc. Les traitements épuratoires/d'enrichissement et leur monitoring feront partie des sujets abordés dans cette session, y compris dans leurs aspects économiques. Les nouveaux usages du biométhane seront à l'ordre du jour, de même que l'actualité sur les standards (et projets de normes) EU pour son injection.

***Thèmes abordés : métrologie du biogaz, monitoring, techniques d'épuration/d'enrichissement/de compression/de séchage, bioGNV, gaz porté, normalisation.***

## Revue des procédés d'épuration existants et émergents

R . Grégory<sup>1</sup> , A. Trueba<sup>1</sup> , S. Valentin<sup>1</sup>

1 Société Air Liquide, Centre de recherche Paris-Saclay, 1 chemin de la Porte des Loges, 78354, Jouy-en-Josas, France

Correspondance: [raphaelle.gregory@airliquide.com](mailto:raphaelle.gregory@airliquide.com) , +331 39 07 62 53

Leader mondial de la fourniture de technologies de purification de biogaz avec une capacité installée de 160 000 m<sup>3</sup>/h, Air Liquide a développé les technologies et le savoir-faire sur l'ensemble de la chaîne de valeur du biométhane : purification du biogaz en biométhane, injection dans le réseau de gaz naturel, liquéfaction, distribution pour les flottes de véhicules propres.

La technologie de purification de biogaz est basée sur l'utilisation de membranes polymères brevetées et fabriquées par Air Liquide. Ce système performant permet de séparer les composants du biogaz et produit un biométhane injectable dans le réseau de gaz naturel.

Ce procédé a été appliqué à plus de 30 unités d'épuration, situées en Europe et en Amérique du Nord essentiellement.

Les unités d'épuration Air Liquide ont été conçues pour être performantes et très modulables. S'appuyant sur la technologie de séparation des gaz par membrane (Medal™), elles peuvent atteindre jusqu'à 99,7 % d'extraction du méthane. Le débit de ces unités s'échelonne généralement entre 100 et 10 000 Nm<sup>3</sup> /h.

Dans cette présentation, une revue des différentes technologies d'épuration du biogaz en biométhane sera proposée : membranaire, par absorption, par adsorption et par cryo-condensation. Cette revue s'intéressera autant aux technologies commerciales qu'aux technologies émergentes sur la base d'une étude bibliographique complète. Une comparaison technique de ces différentes technologies sera proposée sur la base de simulations réalisées avec les outils d'Aspen.

### Références:

1. Ryckebosch E., Drouillon M., Vervaeren M., Techniques for transformation of biogas to biomethane, Biomass and Energy, 2011, 35, p 1633 - 1645
2. Niesner J., Jecha D., Stehlík P., Biogas Upgrading Technologies: State of Art Review in European Region, Chem. Eng. Transactions, 2013, Vol 35.
3. Vienna University of Technology, Biogas to Biomethane Technology Review, 2012
4. Rufford T.E. et al, The removal of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> from natural gas: a review of conventional and emerging technologies, Journal of Petroleum Sci and Eng, 2012 pp. 123 - 154
5. Bauer F. et al., Biogas Upgrading - Review of commercial technologies, SGC Rapport 2013:27.
6. Petersson A., Wellinger A., Biogas upgrading technologies - developments and innovations., IEA Bioenergy, 2009.
7. Scholz M. et al, Transforming biogas into biomethane using membrane technology, Renewable and sustainable Energy Reviews, 2013, 17, pp 199 - 212
8. Makaruk A. et al., Membrane biogas upgrading process for the production of natural gas substitute, Separation and Purification Technology, 2010, 74 83 -92
9. Bhida B.D. et al. Hybrid process for the removal of acid gases from natural gas, Journal of Membrane Science, 1998, pp. 27-49
10. Tomioka et al. Carbon dioxide separation technology from Biogas by "Membrane / Absorption" Hybrid method, Energy Procedia, 2013, Vol 37, pp 1209-1217
11. Shao P. et al, Design and economics of a hybrid membrane - TSA process for upgrading biogas, Journal of Membrane Science, 2012, 413-414, pp. 17-28

12. Belaissaoui B. et al, Hybrid membrane cryogenic process for post-combustion CO<sub>2</sub> capture, Journal of Membrane Science, 2012, 415-416, pp. 424-434
13. Hart A. et al, Cryogenic CO<sub>2</sub> Capture in Natural Gas, Energy Procedia, 2009, Vol 1, pp. 697 - 706
14. Zhang Y. and Wang R., Gas liquid membrane contactors for acidic gas removal: recent advances and future challenges, Current Opinion in Chemical Engineering, 2013, Vol2, Issue 2, pp. 255-262
15. Zhang Y. et al. Current status and development of membrane for CO<sub>2</sub> /CH<sub>4</sub> separation: A review
16. Sorribas et al., Mixed matrix membranes comprising silica (ZIF-8) core shell spheres with ordered meso-microporosity for natural and bio-gas upgrading, Journal of membrane Science, 2014, Vol 452, pp 184-192.
17. Northrop P.S. et al, The CFM Process: a cryogenic method for handling high CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S gas reserves and facilitating geosequestration of CO<sub>2</sub> and acid gases, Energy Procedia 2009, vol 1., pp 171 - 177.
18. Khunpolgrang J. et al. Alternative PSA Process cycle with combined vacuum regeneration and nitrogen purging for CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub> separation, Fuel, 2015, Vol 140, pp. 171-177

## **Comparatif expérimental des méthodes de détermination du silicium total dans un biogaz et un biométhane (projet RECORD)**

Hélène METIVIER<sup>1\*</sup>, Marta GALERA-MARTINEZ<sup>1</sup>, Rémy BAYARD<sup>1,2</sup> et Vincent CHATAIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, INSA-Lyon, Laboratoire DEEP, EA7429, F-69621 Villeurbanne Cedex, France.

<sup>2</sup> REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'environnement (RECORD), 66 boulevard Niels Bohr CEI 1 - CS 52132, F-69603 VILLEURBANNE Cedex, France.

\*Correspondance : helene.metivier@insa-lyon.fr, +33 472 43 62 88, fax: +33 472 43 87 17.

Lors de la combustion, les Composés Organiques Volatils du Silicium (COVSi) sont à l'origine de la formation de dépôts de silice au niveau des organes de valorisation des biogaz, entraînant une augmentation des coûts de maintenance et de l'indisponibilité des installations. Il est donc primordial de disposer d'outils et de méthodes permettant une détermination fiable du contenu d'un gaz en COVSi que ce soit pour évaluer les risques encourus par les dispositifs de valorisation et/ou pour piloter les procédés de traitement mis en œuvre en amont pour leur protection. De plus, ce besoin analytique de la filière biogaz est également crucial pour le développement de la plus jeune filière biométhane, en particulier dans le cas de l'injection réseau puisqu'un projet de norme de qualité incluant une spécification sur la concentration en silicium total dans le biométhane injecté est actuellement en préparation.

Toutefois, il n'y a actuellement aucune méthode de référence pour le prélèvement et l'analyse des COVSi. Parallèlement, différents appareils proposant la mesure en ligne de ces composés arrivent actuellement sur le marché de l'analyse industrielle. S'il est indéniable que le suivi en temps réel du contenu en silicium total des biogaz et biométhanes présente un grand intérêt pour les gestionnaires d'installations, il est nécessaire au préalable d'éprouver ces appareils tant en laboratoire que sur site. Ce comparatif expérimental fait l'objet d'une étude proposée et financée par l'Association RECORD (REseau Coopératif de Recherche sur les Déchets et l'environnement).

Les outils analytiques évalués comprennent à la fois des techniques, dites « discontinues », qui impliquent un prélèvement sur site puis une analyse en laboratoire, et des méthodes en ligne. Parmi les techniques discontinues, les prélèvements réalisés sur tubes adsorbants ou sacs Tedlar ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS), les échantillons prélevés par barbotage ont été analysés par plasma induit par haute fréquence couplé à la spectroscopie d'émission optique (ICP/OES). Pour les méthodes en ligne, la technologie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été évaluée au travers de la mise en œuvre de deux analyseurs proposés par deux sociétés différentes. De plus, un appareil basé sur la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie par mobilité ionique (GC/IMS) a également été intégré à l'étude. Ces méthodes ont été déployées sur un site de valorisation de biogaz et un site d'injection de biométhane pour l'analyse de gaz « réels ». Elles ont également été mises en œuvre en laboratoire dans le but de travailler sur des gaz de composition connue et ainsi de déterminer les différents critères analytiques que sont notamment la linéarité, la justesse et la fidélité de la réponse, les limites de quantification et de détection, les effets matrice. En complément de ces critères analytiques, le comparatif est également basé sur des critères techniques (robustesse, autonomie, pilotage, transfert et exploitation des données, portabilité, degré de technicité) et économiques.

Les essais menés en laboratoire ont mis en lumière la difficulté de disposer de gaz étalon (mono- ou multicomposé) et/ou de générer des gaz de concentration précisément connue en raison notamment

des propriétés physico-chimiques des COVSi. Ce point vient questionner les méthodes d'étalonnage mises en œuvre pour les différentes techniques analytiques, sur lesquelles reposent les résultats qu'elles fournissent. S'il est possible de considérer que la justesse d'une mesure n'est pas forcément le critère premier pour effectuer un suivi de process, en particulier lorsque celui-ci est réalisé en ligne, elle est en revanche cruciale lorsqu'il s'agit de vérifier la conformité à une spécification fixée par une norme.

Les campagnes d'analyse sur sites, que ce soit sur un biogaz ou un biométhane, ont souligné la difficulté de comparer les résultats obtenus par les différentes méthodes analytiques : ces dernières ne peuvent être dissociées des méthodes d'échantillonnage qui les précèdent. Or, celles-ci diffèrent d'une méthode analytique à l'autre et constituent une source importante d'incertitude, difficilement quantifiable qui plus est. Dans le cas des méthodes discontinues, le stockage des échantillons est une source supplémentaire d'incertitude sur le résultat, ce qui, par comparaison, rend particulièrement intéressantes les solutions analytiques en ligne. Ces constats plaident également en faveur du développement de méthodes standards pour le prélèvement et l'analyse des gaz en vue de la quantification des COVSi.

Les résultats obtenus grâce à la technologie FTIR reposent sur un important traitement mathématique des spectres acquis. Aussi, si les deux appareils évalués ont des fonctionnements assez similaires, les résultats obtenus ainsi que les critères techniques que sont le pilotage, le transfert et l'exploitation des données diffèrent significativement. Il ressort donc qu'il est difficile de dissocier la technologie analytique de l'appareil qui permet de la mettre en œuvre.

Pour ce qui est de la GC/IMS, l'appareil testé est particulièrement indiqué pour suivre de faibles concentrations en COVSi dans un biogaz traité ou un biométhane, mais ne permet pas de réaliser des mesures sur un biogaz brut car sa réponse est linéaire sur une gamme étroite de concentrations : c'est donc un instrument de suivi de qualité d'un gaz après traitement, il ne permet pas d'évaluer l'efficacité amont/aval d'un process. En outre, malgré la séparation des composés, plus le gaz analysé est complexe, plus les risques d'interférences sont importants. Toutefois cet appareil en ligne, très sensible, semble intéressant à la fois pour l'analyse d'un biogaz traité et pour celle d'un biométhane. Dans ce dernier cas, la réponse de l'appareil permet également de suivre les concentrations en odorisant ajouté au niveau du poste d'injection.

La GC/MS semble être la méthode analytique qui permet d'analyser les COVSi avec les limites de détection les plus faibles, censément compatibles avec les plus faibles valeurs seuils envisagées par le projet de norme européen pour le contenu en silicium total dans les biométhanés. Cependant, il conviendrait d'approfondir les recherches sur les biais induits par les méthodes d'échantillonnage et d'étalonnage pour consolider ce résultat.

# Générateur d'oxygène bas débit pour le traitement de l'H<sub>2</sub>S

M. BRISSAUD<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> CH4Process, 22 rue la clef des champs, Ecoquartier des Docks, 93400 Saint Ouen

\*Correspondance: [maxime.brissaud@ch4process.fr](mailto:maxime.brissaud@ch4process.fr), 06 65 33 58 79

-----

PLANNING DES ESSAIS : équipement livré en janvier, installation en février sur site, relevés en février et mars.

## A. Problématique :

Le traitement du biogaz et notamment du polluant H<sub>2</sub>S nécessite généralement la présence d'oxygène pour les réactions chimiques :

⇒ Revue des solutions permettant de traiter l'H<sub>2</sub>S et indication de la réaction nécessitant de l'O<sub>2</sub> :

- Appui sur les Bactéries Sulfato Oxydantes dans le ciel gazeux du digesteur
- Tour de lavage biologique
- Charbon actif imprégné
- Média filtrant à base d'hydroxyde de fer (régénération)

Ou pouvant travailler sans O<sub>2</sub> (solution potentiellement coûteuses et réservées aux plus gros sites) :

- Tour de lavage chimique (avec ou sans régénération biologique)
- Hydroxydes de fer injectés dans le digesteur

Cet oxygène est quasi systématiquement récupéré dans l'air, avec une injection dans le ciel gazeux du digesteur ou dans les canalisations process du traitement biogaz. Pour avoir 1 molécule d'O<sub>2</sub>, l'exploitant injecte alors dans son biogaz près de 4 molécules de N<sub>2</sub> : cet azote inerte va poser problème notamment lors de la phase d'épuration car il est difficile à séparer du CH<sub>4</sub>

⇒ Devenir du O<sub>2</sub> et du N<sub>2</sub> dans les différents process d'épuration.

La problématique est donc la suivante :

⇒ Comment disposer de molécules d'O<sub>2</sub> en quantité suffisantes pour traiter l'H<sub>2</sub>S mais sans polluer mon biogaz avec du N<sub>2</sub> difficile à retirer en cas d'épuration pour production biométhane ?

## B. Solution envisagée :

Ne pas injecter de l'air mais injecter de l'oxygène le plus pur possible.

⇒ Idée : injecter de l'O<sub>2</sub> pur et non pas de l'air.

- Estimation de la quantité d'O<sub>2</sub> à générer pour répondre aux besoins des différents traitements (formule de calcul en fonction de la teneur en H<sub>2</sub>S)

⇒ Difficulté : besoin 24/24 d'O<sub>2</sub>, débits faibles (alors que les machines sont soit de gros générateur d'oxygène, soit des générateurs individuels à usage médical), et équilibre économique

#### C. Site témoin/opérateur avec cette problématique :

La solution présentée aura été testée sur un site pour répondre au besoin d'un opérateur (nous sommes en discussion avec 3 sites : 1 STEP, 1 métha indus et 1 site d'enfouissement, sur lesquels nous souhaitons tester la solution. Autant que possible par rapport au planning du ou des exploitants, la présentation sera réalisée avec un de ces exploitants chez qui les tests auront pu être réalisés ou seront en cours)

- ⇒ Présentation du ou des sites où la solution a été testée.
- ⇒ Rappel des débits et des € en question sur le/les sites en question.

Ces sites utilisent aujourd'hui soit de la solution de génération d'oxygène inadaptée (issue des équipements médicaux) soit de l'injection d'air.

#### D. Essais :

CH<sub>4</sub>Process a fait l'acquisition d'un générateur d'oxygène bas débit (0 à 0,7m<sup>3</sup>/h) : d'autres plages de débits sont possibles (0-0,3m<sup>3</sup>/h et 0 à 3,5m<sup>3</sup>/h).

L'équipement est annoncé pour un fonctionnement 24/24 avec une qualité d'O<sub>2</sub> entre 90 et 93%.

Il dispose d'une vanne manuelle de réglage permettant d'adapter le débit de 0 à 100%.

- ⇒ Présentation de l'équipement générateur d'oxygène.

Pour un fonctionnement en application biogaz, il demande quelques ajustements et compléments :

- ⇒ Ajout de la fonctionnalité de réglage du débit injecté en fonction des besoins du site
  - Analyse fonctionnelle rapide si géré par l'automate du site
  - Solution logicielle locale si nécessaire
- ⇒ Gestion de la résistance aux intempéries
- ⇒ Gestion de la résistance à la corrosion par rapport aux atmosphères des sites biogaz.

#### E. Bilans :

Sur la base des relevés effectués sur site, il sera calculé les performances de l'équipement et l'impact sur le traitement du biogaz.

Un bilan prenant en compte le prix de la solution, incluant le coût de l'intégration automatisée, permettra d'estimer le surcoût à prévoir aux solutions de traitement nécessitant de l'oxygène.

- ⇒ Bilan technique (débits et qualités gaz observés)
- ⇒ Bilan économique
- ⇒ Retour sur la gestion opérationnelle de l'outil par l'exploitant

Il sera bien indiqué que ce bilan fait état des essais des précédentes semaines : les performances devant être validées dans le temps et sur d'autres sites.

- ⇒ Prochains essais (indication des sites où sera essayé à nouveau l'outil).

## **AgriGNV®, petit unité de production/distribution de bioGNV**

A. GLEMOT<sup>1,\*</sup>, P. COLLIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodeval, Rovaltain Parc du 45ème Parallèle, 11 rue Olivier de Serres 26300 Châteauneuf-sur-Isère.

<sup>2</sup> GAEC du Grivée, Colombey Les Choiseul.

\*Correspondance: a.glemot@prodeval.eu, Tel. +33(0)4 75 40 37 37, fax: +33(0)4 75 40 22 74.

PRODEVAL est une société française située à Châteauneuf-sur-Isère (26), spécialisée depuis plus de 25 ans dans le traitement et la valorisation du biogaz. Fort de son expérience dans la production de biométhane pour l'injection réseau, PRODEVAL a lancé un programme R&D en 2016 à l'issue duquel a été développée une technologie d'épuration adaptée aux unités de méthanisations agricoles. Elle permet de produire, odoriser et distribuer in situ du bioGNV. Ce bioGNV permettra l'alimentation en carburant de la flotte de véhicules et d'engins utilisés par l'agriculteur lui apportant ainsi une autonomie énergétique.

Ce carburant pourra également alimenter des flottes captives extérieures à l'exploitation agricole tels que des véhicules légers, de camions de collecte de déchets, de collecte laitière etc ...

PRODEVAL commercialise des unités ayant une capacité de production de 11 000 Nm<sup>3</sup>/an bioGNV, soit l'équivalent de 200 000 km parcourus par an ou d'une flotte captive de 6 à 8 véhicules légers (sur la base de 25 000 km/an et par véhicule).

La gamme AgriGNV® est complétée par les unités 350K et 750K (respectivement 350 000 km à 750 000 km/an soit jusqu'à 30 véhicules légers.) pour couvrir des besoins supérieurs.

AgriGNV est l'unique procédé permettant de valoriser de faibles débits de biogaz (<10 Nm<sup>3</sup>/h) et donc rendant possible la valorisation de l'excédent de biogaz des cogénérations pour produire directement du BioGNV pour l'autoconsommation des exploitations agricoles.

L'unité, compacte, fonctionne en ON/OFF ; le remplissage du véhicule peut se faire dans un premier temps en remplissage lent puis avec l'augmentation de la flotte de véhicules, faire passer l'installation en remplissage rapide avec stockage du bioGNV par exemple.

La maintenance est assurée par l'agriculteur pour un coût annuel inférieur à 800€.

De plus l'évolutivité de la solution permet d'adapter la production du carburant en fonction du besoin et donc d'en augmenter la production avec la flotte de véhicules.

Face aux préoccupations majeures de santé publique (1,3 millions en 2010 le nombre de décès prématurés dans le monde dus à la pollution atmosphérique en milieu urbain -source OMS-), les véhicules roulant au GNV et bioGNV présentent un atout indiscutable : ils émettent peu d'oxydes d'azote, peu d'oxyde de carbone, et pas de fumées noires, comparé aux véhicules diesel et essence.

L'intégration du GNV et bioGNV dans le mix énergétique des transports est une solution rapide pour la diminution des pollutions dues aux particules en ville et pour le transport de marchandises.

Concernant les émissions de gaz à effet de serre (GES), le bioGNV est le carburant qui détient le meilleur bilan, il est plus performant en termes de réductions d'émissions que l'électricité ou les biocarburants

*Source : ATEE Club Biogaz*

Bien que le marché du GNV et du bioGNV soit en plein essor en Europe, son utilisation en France reste marginale avec moins de 15 000 véhicules en circulation, principalement des bus, des poids lourds et des utilitaires. Toutefois, selon le scénario Facteur 4, la part des transports qui devraient rouler au GNV en France, sera de 42% d'ici 2050.

Dans ce contexte, le développement de la filière bioGNV passe par la mise en place, non seulement du réseau de distribution et des véhicules, mais aussi par le développement des outils de production de bioGNV à partir de biogaz.

L'AgriGNV®, qui permet notamment de valoriser les excédents de biogaz et peut être mis en place rapidement et facilement pourrait être un chaînon dans le maillage de la France et de ses quelques 400 méthaniseurs ainsi que l'Italie, pays dans lequel PRODEVAL est implanté.

L'AgriGNV® pourrait donc être un vecteur important pour l'image de la filière bioGNV et pour son développement. Plusieurs projets sont aujourd'hui à l'étude ; l'unité mise en place chez Philippe Collin et les suivantes pourraient servir à faire évoluer la législation, en particulier la vente du bioGNV.

Pour que ce modèle d'économie verte circulaire soit économiquement viable et donc applicable, il est primordial que les coûts d'investissements et d'exploitations de l'outil de production du bioGNV soient faibles.

L'AgriGNV® est une solution proposée à 80 000€ environ ; y sont notamment inclus l'odorisation, la station de distribution et de remplissage du bioGNV. PRODEVAL travaille à réduire le coût de la solution.

Les bénéfices de cette solution sont :

- La réalisation d'économies pour les utilisateurs de véhicules bioGNV (plus d'achat de carburant, indépendance vis-à-vis de l'inflation du prix du pétrole, maintenance des véhicules moins importantes, etc.)

Le retour sur investissement est de 4 à 10 ans – sans subvention- en fonction de l'utilisation et des coûts de carburants

- Le développement de la filière bioGNV avec un maillage possible sur l'ensemble du territoire. Un des freins au développement de la filière bioGNV est en effet un maillage trop faible.

- La participation à la lutte contre la pollution atmosphérique et donc le réchauffement climatique

L'AgriGNV® est donc une solution qui permet de substituer localement une énergie fossile par du bioGNV produit localement à partir de la valorisation de déchets locaux. C'est le chemin le plus court pour limiter le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique.

## **Projet HYCABIOME : Potentialités de couplage Méthanisation / Méthanation biologique**

S.BERGER-RUIZ<sup>1,\*</sup>, S. PALMADE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Solagro, 75 voie du TOEC, CS 27609, F-31076 Toulouse Cedex, France.

<sup>2</sup> LEAF, 6 allée Emile Monso, 31000 Toulouse, France.

\*Correspondance: [sylvaine.berger@solagro.asso.fr](mailto:sylvaine.berger@solagro.asso.fr), +33 5 676 969 08

Le programme Hycabiome a pour vocation de développer une technologie de méthanation par voie biologique, aujourd'hui embryonnaire, de la faire passer du stade TRL 4 (validation en laboratoire) au stade TRL 5 (validation de la technologie dans son environnement), ainsi que de clarifier les potentialités du couplage de la méthanation biologique sur les projets de méthanisation en France.

Les premiers résultats de ce programme, qui se terminera début 2018, relèvent du benchmark (bibliographie scientifique et retours d'expériences des installations pilotes européennes), d'un état de l'art des équipements d'électrolyse, étape clé de la chaîne énergétique, et d'un exercice prospectif du développement du système.

Les potentialités à moyen terme (horizon 2025) ont été dimensionnées à partir du potentiel de production de biogaz d'une part, et de l'intérêt de la production d'H<sub>2</sub> à partir des ENR électriques d'autre part.

A partir d'une méthodologie basée sur un objectif cible à 2050 (équivalent à 10 000 méthaniseurs pour 125 TWh<sub>PCI</sub> d'énergie primaire) et de la quantification de la ressource mobilisable pour la méthanisation (scénario Afterres2050), à l'horizon 2025, il est estimé environ 2 300 méthaniseurs, avec environ une moitié en cogénération et l'autre en injection. Ce potentiel inclut les stations d'épuration d'eaux usées (STEU), dont les caractéristiques sont intéressantes pour héberger une unité de power-to-gas adossée au méthaniseur du fait de leur taille et de leur implantation en zones denses, favorisant la présence d'un réseau de gaz avec peu de problèmes de saturation et des possibilités de valorisation des sous-produits du système (oxygène et chaleur).

Du côté de la production d'H<sub>2</sub>, le travail mené a consisté à identifier des zones où une ou plusieurs unités de méthanation biologique seraient susceptibles d'offrir des services au système électrique. Si à l'horizon 2025, la contribution à l'équilibre offre-demande national n'est pas réaliste du fait de l'absence de volumes suffisants d'excédents d'électricité renouvelable à l'échelle nationale, d'autres services comme par exemple la contribution à un équilibre régional ou infrarégional, le report de l'investissement dans le renforcement d'ouvrages existants ou la construction de nouveaux ouvrages sont envisageables. Enfin, le couplage méthanisation/méthanation biologique peut également être envisagé comme une étape d'épuration du biogaz en valorisant le CO<sub>2</sub>.

Il s'agira donc de proposer des modèles techniques et économiques d'unités couplant méthanisation/méthanation biologique qui présentent les intérêts adaptés à leur situation et leur territoire.



## SESSSION 4 – DIGESTATS ET AGRONOMIE

La valorisation des digestats est une étape importante, voire limitante, pour l'équilibre financier et environnemental de certaines installations de méthanisation. Le remplacement des effluents, habituellement épandus directement, par du digestat peut également constituer un frein à la méthanisation pour l'agriculteur si les conséquences agronomiques ne sont pas envisagées. Ainsi cette session s'intéressera aux pratiques agronomiques et notamment les itinéraires culturaux à envisager lors de l'utilisation de digestats, notamment sous un angle pratiques de fertilisation.

La mise en oeuvre de cultures intermédiaires à vocation énergétique pourra être abordée également dans cette session sous l'angle des pratiques agronomiques à mettre en oeuvre et non pas seulement comme ressources à mobiliser pour la ration et dans le cadre du plan d'approvisionnement d'un digesteur.

Cette session présentera les résultats obtenus sur la caractérisation des digestats, leurs posttraitements, l'évaluation de leurs intérêts agronomiques et les possibilités de mise sur le marché ainsi que les impacts environnementaux du retour au sol.

***Thèmes abordés : caractérisation, fertilisation, post-traitements, mise sur le marché, impacts environnementaux, retour au sol, vie du sol, etc.***

## **Quelles réglementations pour la mise sur le marché des fertilisants issus de sites de méthanisation ?**

P. CHENON

VoxGaia, 50 rue Pierre et Marie Curie – F-68700 Cernay

Correspondance : [pascale.chenon@voxcaia.fr](mailto:pascale.chenon@voxcaia.fr), +33 6 79 54 20 21.

Dans le cadre du *Plan Énergie Méthanisation Autonomie Azote* (EMAA), le Ministère en Charge de l'Agriculture a souhaité développer les unités de méthanisation et encourager les démarches de mise sur le marché des digestats issus de ces installations. Différents travaux ont été menés dans ce sens que cela soit directement par des exploitants, par le ministère lui-même (programme Valdiopro) ainsi que par le Bureau de Normalisation des matières fertilisantes (BNFerti).

L'objectif de cette communication est de présenter la réglementation de la mise sur le marché des fertilisants issus de sites de méthanisation pour la rendre accessible aux exploitants et de faire un état des lieux de son avancement.

En France, la principale voie de mise sur le marché pour les matières fertilisantes, leurs adjuvants et les supports de culture (MFSC), telles que prévues par l'article L 255-2 du Code Rural et de la Pêche Maritime, est l'autorisation de mise sur le marché (AMM) délivrée par l'ANSES et nécessitant une procédure d'évaluation préalable.

Il existe cependant des dérogations à la règle de l'AMM, dont les principales sont la conformité à une norme française rendue d'application obligatoire par un arrêté interministériel ; la conformité à un cahier des charges approuvé par voie réglementaire ; la conformité à une réglementation européenne de mise sur le marché des MFSC ; le respect des dispositions du Code de l'Environnement relatives aux déchets épandus sur les terrains agricoles (plan d'épandage),

Ces différentes possibilités réglementaires pour les fertilisants issus de la méthanisation ainsi que les évolutions en cours seront exposées aux JRI Biogaz et Méthanisation à Beauvais. Aujourd'hui ces innovations concernent principalement le "cahier des charges digestats bruts", le projet d'harmonisation européenne et la normalisation française avec l'introduction d'une nouvelle dénomination concernant les sels d'ammonium.

Un focus sera également fait sur les avis et décisions de l'ANSES en lien avec les fertilisants issus de la méthanisation.

## Quelle efficacité azotée du digestat brut de méthanisation aux champs ?

B.DECOOPMAN<sup>1\*</sup>, S.HOUOT<sup>2</sup>, D.HANOCQ<sup>1</sup>, L.LEJARS<sup>3</sup>, A.AIRIAUD<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CRAB Rond-point le Lannou, 35042 Rennes cedex.

<sup>2</sup> UMR *INRA*-AgroParistech ECOSYS, 78850 Thiverval Grignon.

<sup>3</sup> CA 45 13 avenue des Droits de l'Homme 45921 ORLÉANS Cedex 9

<sup>4</sup> CA44 Maison de l'agriculture Rue PA-Bobierre La Géraudière 44939 NANTES Cedex 9

\*Correspondance: [bertrand.decoopman@bretagne.chambagri.fr](mailto:bertrand.decoopman@bretagne.chambagri.fr) 02 23 48 28 20

En février 2016 à Limoges, aux JRI, nous avons présenté un état des lieux des travaux en cours sur l'effet direct de l'azote des digestats de méthanisation bruts. : Le titre de la présentation était : « Quelle efficacité azotée du digestat brut de méthanisation aux champs? ».

Lors de cette présentation nous avons annoncé qu'il y aurait – sous l'égide du COMIFER- une synthèse de l'ensemble des essais aux champs répondant au protocole expérimental du CasDAR PRO.

Cette présentation 2017 se veut être le prolongement de cette première intervention de février 2016. Nous proposons de ce fait de garder le même titre.

« Quelle efficacité azotée du digestat brut de méthanisation aux champs? ».

Après un rappel des enjeux et des protocoles de ces 42 essais aux champs, nous présenterons deux approches statistiques sur les paramètres agronomiques des digestats testés et sur leurs effets en culture de céréales. Ces approches nous permettront de formuler une première corrélation simple de type linéaire entre le C/N du digestat et une prédiction de son efficacité en céréales.

Cette présentation mettra en avant la limite de l'approche et ouvrira sur des pistes de progression possibles de modélisation entre des paramètres agronomiques simples et l'efficacité de l'azote.

Nous exposerons, dans un deuxième temps, une proposition de nouvelle présentation des références de Keq (le Keq étant un indice de calcul indispensables aux agriculteurs lors de la réalisation de leurs plan prévisionnel de fumure).

Nous concluerons sur l'impact des modes d'apports sur l'efficacité de l'azote en culture.

# Valorisation agronomique des digestats provenant d'unités de méthanisation en voie épaisse : essais d'efficacité sur plantes

F.Giboulet, F.Blanc, A.Guendouz, S.Guillaume, S.Hattou

ARKOLIA ENERGIES, ZA du Bosc – 16 rue des Vergers, 34130 Mudaison

Correspondance : [fgiboulet@arkoliaenergies.fr](mailto:fgiboulet@arkoliaenergies.fr), +33 467 40 47 03, fax +33 467 40 00 72

## Introduction et contexte de l'étude

Dans le cadre de l'industrialisation de la technologie Arkométha, procédé de méthanisation par voie sèche, semi piston, Arkolia Energies bénéficie du programme d'investissement d'avenir de l'état, financé par l'ADEME. Ce programme, comporte plusieurs axes de recherche, dont la partie valorisation agronomique.

En sortie de méthanisation, le digestat est le plus souvent destiné à l'épandage en remplacement des engrais minéraux et engrais de ferme. Cette utilisation permet de valoriser les éléments fertilisants, tel que l'azote, nécessaire au développement des plantes. Afin de comparer la valeur agronomique des digestats aux fertilisants classiques, des essais ont été menés en collaboration avec la société AGROLIS Consulting, agréée en expérimentation BPE.

Ces essais ont eu pour objectif d'étudier les effets des différentes fractions du digestat provenant de l'unité de Napagèse, procédé ARKOMETHA, sur les premiers stades de développement du maïs. Le digestat liquide a été assimilé à un engrais azoté, le digestat solide a lui été testé en tant qu'amendement et enfin le digestat brut a été testé comme un engrais mais aussi comme un amendement.

## Développement et mise en œuvre

Une première série d'essais a été réalisée en jardinière, sur du maïs (plante permettant d'observer rapidement des résultats). L'étude s'est déroulée sous serre sur deux sites différents, l'un dans le sud-est (84) et l'autre dans le sud-ouest (31) de la France. La durée des essais a été fixée à 8 semaines afin de pouvoir évaluer les effets sur les premiers stades de développement des plantes.

Différentes doses ont été calculées afin d'apporter aux plantes les doses d'azote et/ou de matière organique nécessaires à leur bon développement en champs. Pour cela des analyses ont été réalisées en amont des essais sur les produits testés. Des doses identiques avec engrais et amendement normés ont été appliquées afin de pouvoir comparer les résultats à des fertilisants classiques. Les différentes doses de digestats ont été mélangées à un sol artificiel composé de terre végétale normée et de sable. Cinq graines ont été plantées par jardinière et chaque modalité a été répétée dix fois sur chaque site.

Les modalités testées sont :

1. TEMOIN sans apport,
2. Digestat liquide → **dose N**
3. Digestat liquide → **double dose N**
4. Digestat solide → **dose N**
5. Digestat solide → **double dose N**

6. Digestat brut équivalent Digestat liquide → **dose N**
7. Digestat brut équivalent Digestat solide → **dose N**
8. Engrais CE NPK 10-10-10 → **dose N**
9. Amendement Normé NFU 44-051 → **dose N**

Les essais en double doses ont eu pour objectif d'évaluer les potentiels effets phytotoxiques des digestats.

Plusieurs paramètres ont été suivis au cours du temps tels que le taux de germination, la hauteur des plantes et le nombre de feuilles en cours des essais. Puis des mesures de développement racinaires, de production de biomasse fraîche et sèche et de taux de chlorophylle ont été réalisées en fin d'essais.

Les résultats ont ensuite été analysés statistiquement par :

- Analyse de la variance (tests de comparaison multiples),
- Projection de structures latentes (PLS).

### **Résultats et discussion**

Les essais sur maïs ont donné de très bons résultats. Quelques différences entre sites ont pu être observées notamment sur le taux de germination des pousses de maïs avec la dose N de digestat brut dont les résultats sont significativement meilleurs sur le site du sud-est.

Tous les produits à la dose N ont montré un effet positif sur le développement des pousses de maïs en comparaison au témoin sans apport. En effet, les résultats démontrent que les produits testés ont eu un effet positif sur la croissance des plantes. L'effet fertilisant des digestats est démontré par les mesures des hauteurs de plantes, nombre de feuilles et taux de chlorophylle qui sont toutes supérieures par rapport à celles du témoin.

Cependant, les essais avec doubles doses de digestat brut et liquide ont montrés de très faibles taux de germination sur les deux sites voire nul pour l'essai avec double dose de digestat liquide sur le site du sud-ouest. Ces résultats s'expliquent par la forte humidité présente dans les jardinières. En effet, les quantités de digestats à apporter pour avoir des doses d'azote et de matière organique deux fois plus importante étaient telles que la structure du sol artificiel n'était pas favorable au développement des graines de maïs. A l'inverse les doubles doses de digestats solides n'ont pas présenté d'effet négatif sur la croissance des plantes.

L'effet amendant du digestat solide a été démontré grâce aux mesures de longueurs racinaires de chaque pousse de maïs. Les résultats montrent que pour les essais avec simple et double dose de digestat solide les valeurs ne sont pas significativement différentes de celles avec amendement normé.

### **Conclusion**

Malgré les quelques problèmes techniques rencontrés, les essais d'efficacité agronomique des digestats provenant de l'unité de méthanisation de Napagèse (procédé en ARKOMETHA) ont pu démontrer les effets positifs des trois différents digestats sur la croissance du maïs, fertilisant pour tous les produits testés et amendant notamment pour le digestat solide.

De nouveaux essais, notamment sur une autre plante seront lancés au printemps 2017 afin de poursuivre les recherches sur la valeur agronomique des digestats et leur utilisation en champ.

## Impact des stratégies de post-traitement des digestats sur les émissions gazeuses à l'échelle de la filière

F. GUIZIOU<sup>1,2</sup>, J.C. ROUX<sup>3</sup>, J. MAZOYER<sup>3</sup>, G. NUNES<sup>1,2</sup>, N. AUVINET<sup>1,2</sup>, P.. SAINT-CAST<sup>1,2</sup>,  
M. DAUMOIN<sup>1,2</sup>, S. LEROUX<sup>1,2</sup>, R. GIRAULT<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Irstea, UR OPAALE, 17 avenue de Cucillé, CS 64427, 35044, Rennes Cedex, France

<sup>2</sup> Université Bretagne Loire, France

<sup>3</sup> Irstea, UR TSCF, Domaine des Palaquins, 03150 Montoldre, France

\*Correspondance: romain.girault@irstea.fr, +33 2 23 48 21 42, fax: +33 2 23 48 21 15.

La maîtrise des émissions gazeuses lors des différentes étapes de la gestion des digestats (post-traitements, stockage, épandage...) représente un enjeu d'importance tant au niveau environnemental qu'économique. En effets, ces dernières peuvent influencer :

- L'impact de la filière de méthanisation sur les émissions d'ammoniac d'origine agricole et les problématiques environnementales associées (acidification des milieux et qualité de l'air)
- L'impact de la filière de méthanisation sur le changement climatique (émissions de N<sub>2</sub>O et de CH<sub>4</sub>)
- Les possibilités de substitution des engrais minéraux par les digestats (les émissions d'ammoniac sont une des principales sources de perte d'azote sur la filière)
- L'acceptabilité sociale de la filière (émissions de composés odorants)

Dans un objectif d'optimisation de la stratégie d'épandage, ou pour permettre une exportation, de nombreuses stratégies de post-traitement des digestats peuvent être mises en œuvre. Ces dernières impactent significativement les propriétés des digestats et potentiellement les émissions générées lors des différents étapes de gestion de ces derniers. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de ces différentes stratégies sur les émissions gazeuses observées sur les différentes étapes de la gestion des digestat (post-traitement, stockage, épandage). Les émissions considérées dans cette étude sont les émissions de NH<sub>3</sub>, de CH<sub>4</sub>, de N<sub>2</sub>O (uniquement au stockage) et d'odeurs (mesurées par olfactométrie). Les différentes stratégies de post-traitement qui ont été comparées sont synthétisées dans le tableau suivant :

| Filières de post-traitement                                     | Digestat(s) stocké(s) et épandu(s)                |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Néant                                                           | Digestat brut                                     |
| Séparation de phase                                             | Fraction solide + Fraction liquide                |
| Séparation de phase + séchage de la phase solide                | Fraction solide séchée + Fraction liquide         |
| Séparation de phase + séchage et granulation de la phase solide | Fraction solide séchée granulée+ Fraction liquide |

Les résultats obtenus permettent :

- De définir une stratégie de post-traitement en fonction d'objectifs de maîtrise des émissions gazeuses sur l'ensemble de la filière.
- D'identifier, en fonction des stratégies de post-traitement des digestats appliquées, sur quels postes d'émission doivent être concentrées les mesures de maîtrise dans un objectif d'optimisation du bilan environnemental de la filière.

## Typologie des digestats de méthanisation à partir de paramètres usuels de valeur amendement/fertilisante

F. GUILAYN<sup>1,2\*</sup>, J. JIMENEZ<sup>1</sup>, M. ROUEZ<sup>2</sup>, M. CREST<sup>2</sup>, D. PATUREAU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LBE, INRA, 102 avenue des Etangs, 11100, Narbonne, France.

<sup>2</sup> Suez, CIRSEE, 38 rue du Président Wilson, 78230, Le Pecq, France.

\*Correspondance: felipe.guilayn@suez.com, +33 (0) 6 48 22 33 83.

La méthanisation est une technologie reconnue pour le traitement des déchets organiques notamment pour la production d'énergie, sous forme de biogaz. Pourtant, la gestion des digestats reste un des défis majeurs de la filière. L'épandage direct des digestats est la solution la plus appliquée en Europe, mais reste associé à plusieurs risques environnementaux. De plus, les contraintes réglementaires d'épandage entraînent des dossiers complexes et des distances de transports de plus en plus importantes qui peuvent compromettre la rentabilité de la filière. Des technologies de valorisation sont étudiées et appliquées industriellement, avec plusieurs objectifs: concentrer des composés d'intérêt, traiter des caractéristiques indésirables, réduire la variabilité temporelle de la qualité/quantité, générer des produits purs de haute valeur ajoutée, créer de nouveaux marchés, entre autres. Cependant, le terme « digestat », défini simplement comme le résidu digéré de la méthanisation, rassemble dans la même catégorie des produits présentant des compositions biochimiques et des propriétés physiques variées, héritées des intrants et des procédés de méthanisation qui s'avèrent très diversifiés. Cette situation induit un flou pour les décideurs, qu'ils soient politiques ou industriels.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude a été d'établir une typologie des digestats avec des paramètres de caractérisation couramment répertoriés pour la valeur agronomique : matière sèche (MS), matière volatile (MV), rapport C/N, Azote Total (TN), Phosphore Total, Potassium Total, rapport N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/TN. Avec ces sept variables, une Classification Ascendante Hiérarchique ainsi qu'une analyse en composantes principales ont été réalisées. Six groupes ont été identifiés dans un ensemble de données de 86 digestats bruts. Quatre groupes de digestat de méthanisation en voie humide ont été identifiés en fonction des intrants: digestats type fibreux, riches en K et de faible ratio N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/TN (majoritairement des lisiers bovins comme intrants); digestats pauvres en MV et très riches en P provenant de substrats plutôt biodégradables (boues de STEP, biodéchets, déchets IAA), digestats équilibrés produits par une digestion de déchets animaux avec d'autres co-substrats (biodéchets, cultures énergétiques, résidus agricoles et agroalimentaires) en quantité équivalente et digestats de digestion ou co-digestion majoritairement de lisier porcin, caractérisés par un rapport N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/TN particulièrement très élevé. Deux groupes de digestats de méthanisation voie sèche ont été identifiés. Le premier groupe vise des digestats à faible teneur en MV et associés à des intrants assez voire très biodégradables (FFOM ou biodéchets). Le second rassemble des digestats plutôt fibreux (i.e. MV très élevée) associés à des intrants lignocellulosiques plus lentement biodégradables comme du fumier bovin et des déchets verts. Malgré la diversité de la typologie, aucun des groupes n'a pu respecter les normes actuelles françaises relatives aux amendements organiques ou aux engrais, ce qui souligne le besoin d'adaptation de la réglementation mais aussi l'importance du post-traitement des digestats. L'établissement de cette typologie met en évidence à la fois les potentiels différents de valorisation (i.e. récupération de nutriments, valorisation énergétique, entre autres) et les possibilités de pilotage de la qualité du digestat selon les besoins de la destination finale.

## **Estimation du potentiel de nutriments mobilisables dans les digestats : Mise en place d'une méthode BNP**

A. MOTTET\*, J. DOUBLET, D. DELAGNES, X. LEFEBVRE, M. SPERANDIO

LISBP, Université de Toulouse, CNRS, INRA, INSA, 135 Avenue de Rangueil, 31 400 Toulouse, France

\*Correspondance: amottet@insa-toulouse.fr, +33 567 04 88 37

Les digestats sont une source valorisable de carbone, azote, phosphore et potassium dont leurs caractéristiques présentent une large variabilité induite par la composition des matières premières digérées et des procédés. Selon les espèces, différentes fractions sont observables : soluble organique ou minérale, précipitée minérale ou solide organique. Prédire ces états physico-chimiques des nutriments est utile pour identifier et concevoir les procédés de traitement permettant de récupérer spécifiquement les nutriments et ainsi d'envisager de produire des fertilisants adaptés aux systèmes de cultures et aux méthodes de fertilisation et sortir le digestat de son statut de « déchet ».

Le but de cette étude est donc de proposer un protocole analytique, nommé "Biological Nutrient Potential", permettant de déterminer le potentiel de nutriments mobilisables, au cours de la digestion anaérobie, à partir des substrats utilisables en méthanisation.

La première étape consiste à caractériser les substrats suivant leur composition en matières sèches, matières organiques, azote total, composition élémentaire (P, K, Mg et Ca) et la composition ionique :  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ . Une extraction à l'acide est ensuite utilisée pour permettre de quantifier la part des nutriments initialement présents sous forme précipités. Les tests BNP ont été réalisés dans des fioles de 1 L, à 37°C, en condition anaérobie. Deux types de substrats ont été utilisés comme modèles d'étude : une paille de blé et un lisier porcin. Les tests ont été réalisés avec et sans ajout d'inoculum (16 fioles). Le ratio substrat/inoculum était de 0.5 gVS.g-inoculum<sup>-1</sup> et la phase liquide de l'inoculum a été lavée par deux centrifugations successives et remise en suspension dans de l'eau du robinet pour éliminer le bruit de fond engendré par les composés ioniques solubles. La production de biogaz et l'évolution de la composition de la phase liquide (AGV et composition ionique) ont été suivies sur 40 jours, ainsi que l'évolution de la part des composés précipités.

Les résultats ont fourni des données intéressantes et permettent également de mettre en avant des points critiques du protocole. La caractérisation du lisier porcin montre qu'une part importante de nutriments est initialement sous forme précipité (94% pour le P, 24% pour le N, 99% pour le Mg et 97% pour le Ca). La mise en suspension de la paille montre une libération rapide du  $\text{PO}_4^{3-}$  en phase liquide, par désorption et solubilisation. Concernant le lisier porcin, au cours du test BNP, les nutriments N et K sont majoritairement présents sous forme libre,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{K}^+$ . Un point à la fois critique et intéressant du test est le relargage de nutriments ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) en phase liquide issu de la solubilisation de composés précipités. Cette évolution est induite par la variation du pH qui est mesurée pendant le test. Ces données expérimentales ont permis de caler et valider un modèle de digestion anaérobie incluant les réactions de précipitation et de dissolution des composés minéraux en condition batch.

La méthodologie BNP mise en place permet d'identifier les formes libres et précipitées des composés ioniques dans le substrat et au cours de la méthanisation. Couplé à la modélisation, il devient donc possible de déterminer le potentiel mobilisable pour les éléments N, P, K, Mg et Ca et leur forme en fonction de l'avancement de la réaction de digestion et du pH du digestat.

## Projet Omix : filières de fractionnement des digestats en eau d'irrigation et en fertilisants renouvelables pour une méthanisation durable

E. TROUVE<sup>1,\*</sup>, A. MOTTET<sup>2</sup>, J.-L. DALOZZO<sup>3</sup>, M. SPERANDIO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NEREUS, Parc Activités 3 Fontaines, 34 230 Le Pouget

<sup>2</sup> LISBP, Université de Toulouse, CNRS, INRA, INSA, 135 Avenue de Rangueil, 31 400 Toulouse, France

<sup>3</sup> CLER-VERTS, 26 chemin de la Camave, 31 290 Villefranche de Lauragais

\*Correspondance: emmanuel.trouve@nereus-water.com, +33 467 88 97 30

L'enjeu du projet Omix est de proposer la démonstration technique d'une filière de transformation totale des digestats, issus d'un site de méthanisation traitant majoritairement des biodéchets, pour obtenir d'une part divers fertilisants (organiques, organo-minéraux, minéraux) assurant le recyclage raisonné des composés N, P et K vers les sols, et d'autre part de l'eau pour une utilisation en irrigation ou en réutilisation, à une échelle territoriale et dans un contexte d'économie circulaire.

L'originalité de la filière, proposée dans ce projet, repose sur la mise en œuvre de technologies innovantes à basse consommation d'énergie : (1) une séparation liquide/solide du digestat, (2) le couplage en série de technologies membranaires incluant la nanofiltration et l'osmose inverse à basse consommation énergétique sur la partie liquide du digestat afin d'extraire de l'eau, et (3) des techniques de chimio-sorption transmembranaire (TMCS) et de cristallisation sur les concentrats de procédés membranaires pour extraire des produits fertilisants.

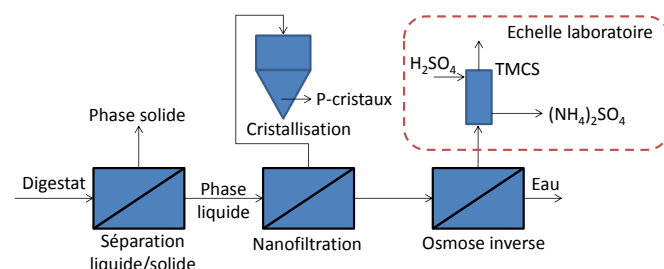


Figure 1 : Schéma de la filière de fractionnement des digestats.

Les résultats préliminaires de la filière de fractionnement des digestats ont permis d'obtenir une extraction de 42,5% du volume total de digestat sous forme d'eau purifiée. La phase solide représente 9,1% du volume total avec des caractéristiques organo-minérales intéressantes : une teneur en matières sèches de 29,5 %, de 15 g<sub>N</sub>.kg<sub>MB</sub><sup>-1</sup>, de 38 g<sub>P2O5</sub>.kg<sub>MB</sub><sup>-1</sup> et de 41 g<sub>K2O</sub>.kg<sub>MB</sub><sup>-1</sup>. Les concentrats des procédés membranaires retiennent environ 55% de l'azote, 26% du phosphore et 57% de la potasse, majoritairement sous forme minérale. Ainsi, des fertilisants minéraux solides de type struvite et liquides de type NK ou une solution ammoniacale, grâce à la chimio-sorption transmembranaire, pourraient être obtenue. De plus, la nature physico-chimique du concentrat de nanofiltration possède des caractéristiques lui permettant d'être employé directement sur des épandeurs de type « pendouillards » ou « injecteurs » déjà disponibles dans les exploitations agricoles.

D'un point de vue énergétique et économique, les bilans préliminaires sur la filière à l'échelle industrielle indiquent une consommation d'énergie de l'ordre de 10 kWh.m<sup>-3</sup> de digestats traités, pour un coût estimé de l'ordre de 1,5 à 2,5 €.m<sup>-3</sup> de digestats traités.

En termes d'objectifs environnementaux, les bénéfices du projet permettront d'assurer la pérennité d'une gestion durable en eau d'un site voisin de production alimentaire. De plus, les données techniques et scientifiques issues du projet seront partagées pour participer à l'évolution du contexte réglementaire sur ces produits. Ce schéma territorial qui maximise la synergie entre une plateforme de gestion de déchets et un espace de production agricole sera facilement adaptable à d'autres territoires et pourra ainsi apporter un réel bénéfice social.

# Devenir de l'azote lors de la dégradation anaérobie de la matière organique : potentiel et cinétique de minéralisation de l'azote

C. MARCILHAC<sup>1</sup>, Y. BAREHA<sup>1,2,3\*</sup>, R. GIRAULT<sup>1,2\*</sup>, F. BELINE<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Irstea, UR OPAALE, 17 avenue de Cucillé, CS 64427, 35044, Rennes Cedex, France

<sup>2</sup> Université Bretagne Loire, France

<sup>3</sup> Université Rennes 1, 2 rue du Thabor, CS 46510, 35065 Rennes Cedex, France

\*Correspondance: younes.bareha@irstea.fr

Les fortes teneurs en nutriments des digestats, notamment en azote, sont à la base de leur valeur agronomique. Cependant, le manque de connaissances vis-à-vis de leur composition et des transformations de l'azote lors de la digestion anaérobie limitent l'efficacité du retour au sol de ces produits. La prédiction de la composition azotée des digestats apparaît donc nécessaire pour optimiser la substitution des engrais minéraux, mais aussi pour mieux appréhender les problématiques liées au procédé tels que la limitation des risques d'inhibition ( $\text{NH}_3$ ) et le choix/dimensionnement de certains post-traitements. La minéralisation de l'azote a été étudiée par certains auteurs par bilan matière [1,2,3] mais sans que les aspects cinétiques et le devenir des différentes formes d'azote organique soient considérées. Les objectifs des travaux conduits sur cette thématique sont donc, d'une part, de comprendre les liens entre la dégradation anaérobie du carbone et la minéralisation de l'azote organique et, d'autre part, d'identifier les paramètres à prendre en compte pour prédire la composition azotée du digestat en fonction des substrats et de la configuration du procédé de digestion anaérobie.

## ➤ Caractérisation biochimique de l'azote organique des substrats

L'accessibilité chimique et physique du carbone et de l'azote organiques de différents substrats a été étudiée au travers de deux techniques de fractionnement (Van Soest et EPS [4]). Ces résultats montrent que l'azote organique se localise de façon significative aussi bien dans des fractions facilement accessibles que dans des fractions très peu accessibles, et ce en proportions différentes du carbone organique.

## ➤ Comparaison des biodégradabilités du carbone et de l'azote

Les potentiels maximum de minéralisation du carbone et de l'azote organique sur quatre substrats sont présentés sur la figure 1a. Selon les substrats, les taux de minéralisation de l'azote et du carbone peuvent être différents et montrent la décorrélation entre la production de biogaz et la minéralisation de l'azote. Ce résultat est en accord avec leur répartition dans les différents compartiments de la matière organique observée à l'aide des caractérisations biochimiques.

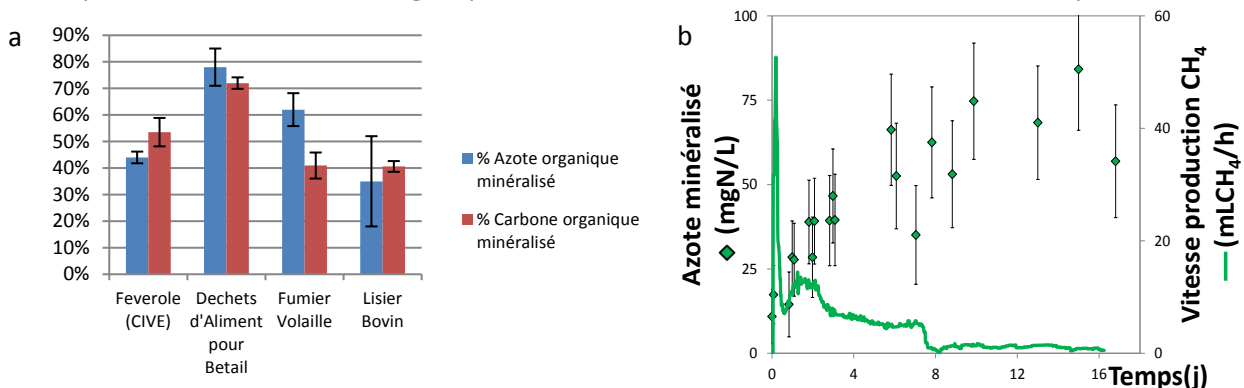


Figure 1a. Comparaison des taux de minéralisation du carbone et de l'azote organique observés sur quatre substrats- 1b. Evolution de la minéralisation de tontes de pelouse et leur vitesse de production de CH<sub>4</sub> en fonction du temps en anaérobie.

➤ Cinétiques de minéralisation de l'azote et impact du temps de séjour sur la composition du digestat

L'étude des cinétiques de minéralisation a permis de mettre en exergue 3 types de substrats :

- les substrats dont l'azote organique se minéralise très rapidement A l'échelle industrielle, le temps de séjour hydraulique (TSH) aura peu d'impact sur le taux de minéralisation observé,
- les substrats dont l'hydrolyse des protéines est cinétiquement limitante (ex figure 1b) : A l'échelle industrielle, le taux de minéralisation de l'azote organique dépendra du TSH appliqué.
- les substrats dont la teneur en azote est très faible et dont le potentiel de minéralisation apparent est négatif du fait de la consommation de l'azote pour la croissance de la biomasse.

Cette étude permettra donc de proposer un nouvel outil qui permettra de prédire le taux de minéralisation de l'azote dans le digestat et la composition des fractions d'azote organique résiduelles en fonction des cocktails de substrats et de la configuration de digestion.

Références

- [1] González-Fernández, C., B. Molinuevo-Salces and M. C. García-González, 2011. *Applied Energy*. 88(10), 3448-3453.
- [2] Lehtomaki, A. and L. Bjornsson, 2006. *Environmental Technology*. 27(2), 209-218.
- [3] Tian, H., N. Duan, C. Lin, X. Li and M. Zhong, 2015. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 120(1), 51-57.
- [4] Jimenez, J., Aemig, Q., Doussiet, N., Steyer, J.-P., Houot, S., Patureau, D., 2015. A new organic matter fractionation methodology for organic wastes: Bioaccessibility and complexity characterization for treatment optimization. *Bioresour. Technol.* 194, 344–353.



## **SESSION 5 - ECONOMIE DES FILIERES, ACCEPTABILITE SOCIALE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX**

La filière biogaz-méthanisation doit en partie son développement aux externalités positives qu'elle dégage : dynamisation des territoires, activité de production d'engrais et revenus complémentaires pour l'agriculture entre autres. Elle engendre également des problématiques (Emissions gazeuses, Nuisances, acceptabilité sociale) qui doivent être adressées. Des projets et recherches portant sur le pilotage multifactoriel des filières (économie circulaire, agroécologie, écologie industrielle, etc.) et les outils développés dans ce cadre (ACV, Ecoconception, financement participatif, aide à la décision...) seront présentés.

***Thèmes abordés : Economie et financement, acceptabilité sociale, gestion environnementale, Analyse de cycle de vie, sciences humaines.***

**Projet STOCKACTIF : Peut-on rendre la matière ligneuse plus facile à transformer en accélérateur et en contrôlant un processus naturel de décomposition raisonnée pendant le temps de stockage en amont d'une unité de méthanisation**  
**Résultats économiques et environnementaux**

S.BERGER-RUIZ<sup>1,\*</sup>, J. TAYEB<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Solagro, 75 voie du TOEC, CS 27609, F-31076 Toulouse Cedex, France.

<sup>2</sup> UMR FARE (INRA-URCA), 2 esplanade Roland Garros - BP 224 - 51686 REIMS Cedex 2, France.

\*Correspondance: sylvaine.berger@solagro.asso.fr, +33 5 676 969 08

L'enjeu de ce projet était d'identifier un ou des champignon(s) et la façon de les utiliser pour accélérer les phénomènes naturels à l'échelle du temps de stockage (quelques semaines) et sans perdre le potentiel de transformation final de la matière première. La principale question scientifique était de contrôler la balance entre la transformation de la lignine et celle des sucres durant un tel stockage afin de conserver le potentiel de transformation en énergie (bio-éthanol, biogaz).

Toutes proportions gardées, on peut imaginer les retombées de ce projet en faisant une analogie avec les méthodes d'ensilage en élevage : elles se sont développées parce que leur bilan économique est favorable. C'est pourquoi un bilan technique et environnemental a été établi entre le surcoût du prétraitement Stockactif et les économies possibles lors de la transformation ultérieure (énergie, consommables, etc.).

Les recherches ont été réalisées à plusieurs échelles : sur quelques grammes pour sélectionner les champignons les plus efficaces, sur quelques centaines de grammes pour trouver les meilleures conditions et expliciter les mécanismes, puis sur plusieurs kilos pour identifier les difficultés d'extrapolation industrielle et pour pouvoir faire une étude technico-économique et environnementale la plus réaliste possible.

Les recherches à l'échelle laboratoire ont permis d'identifier une souche de champignon (parmi environ 175 testées) présentant des caractéristiques particulières et de définir ses conditions optimales d'utilisation.

Les bilans technico-économiques et environnementaux réalisés dans l'hypothèse d'unités de taille industrielles montrent que les surcoûts d'investissement liés à l'installation de la plateforme de prétraitement Stockactif sont relativement faibles (quelques %) mais ne sont pas compensés par une diminution des frais de fonctionnement puisque ceux-ci sont plus élevés dans le cas du biogaz, du fait de la perte de masse. De la même façon, du point de vue environnemental, on observe une légère dégradation des critères de l'ACV pour la voie biogaz, qui est déjà intrinsèquement performante et qui subit là encore l'effet de la perte de masse liée au pré-traitement.

Le projet STOCKACTIF est un projet de recherche (ANR Bio-ME 2012) collaboratif impliquant 9 partenaires et coordonné par l'UMR FARE de Reims. Il a associé 4 autres laboratoires publics (UMR BBF Marseille, UMR IATE Montpellier, UR LBE Narbonne, UMR BIEMCO-ECOSYS Grignon) ainsi que 2 PME (Envolure, Solagro) et 2 grands groupes (Ets Soufflet, Vivescia).

## La concertation, ou comment faciliter la transition vers la méthanisation

C. DELATTE<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Quelia, 3 passage Lepic, 75018 Paris, France.

\*Correspondance: constant@quelia.fr, +33 631 02 01 34.

La méthanisation est, par principe vertueuse de par son impact sur le cycle de la matière. De fait le déploiement de cette technologie participe, au delà de la transition énergétique, à une transition globale (écologique, économique et sociétale).

Au cœur du cycle de la matière organique, l'agriculture est logiquement l'origine ou le socle de nombreux développements d'unités de méthanisation. Or les porteurs des projets engagés dans cette démarche, à la ferme comme au niveau d'un territoire, sont souvent surpris de découvrir un environnement sociétal peu accueillant envers leur projet.

En effet, la méthanisation implique et impacte de nombreux acteurs locaux, et la perspective de l'arrivée sur le territoire d'un méthaniseur peut nécessiter une concertation locale. Car la méthanisation va induire, quelle qu'en soit la perception, positive ou négative, des changements. De fait, on ne compte malheureusement plus aujourd'hui les projets de méthanisation de toute taille, nature, configuration qui sont fortement retardés, bouleversés, voire abandonnés partout en France du fait de la mobilisation, parfois virulente, d'une partie de la population à leur rencontre.

Les acteurs de la filière et les organismes qui les accompagnent ont donc besoin de comprendre les motivations et ressorts qui actionnent les freins - mais aussi les leviers - à la qualité de la réception des projets de méthanisation par l'entourage sociétal.

En outre, les porteurs de projet, dont font parti les agriculteurs, manquent aujourd'hui de réflexes pour anticiper les problématiques non techniques ou réglementaires, mais sociétales, qui risquent d'interagir avec leur démarche. Les porteurs de projets manquent également de moyens pour maîtriser des actions construites de concertation avec les parties prenantes.

Les solutions existent : une concertation structurée peut apporter la sérénité sociétale nécessaire au développement des paramètres techniques, économiques et environnementaux du projet. En injection ou en cogénération, en voie sèche ou en voie liquide, la méthanisation est avant tout un enjeu de société qui se doit d'être envisagé collectivement, de concert avec les parties prenantes locales. Les observations de Quelia sur le terrain, avec l'accompagnement de nombreux projets ces dernières années, éclairent sur les solutions concrètes et applicables : comment, quand concerter et avec qui ?

## **Faciliter le dialogue autour d'un projet de méthanisation, présentation de l'outil « Méthascope » comme dispositif d'évaluation à l'usage des associations**

T. DESAUNAY<sup>1,\*</sup>, T. SAINT-AUBIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> France Nature Environnement, 81-83 boulevard de Port-Royal 75013 PARIS, France.

\*Correspondance: thomas.désaunay@fne.asso.fr, +33 144 08 64 19.

La production de biogaz par la méthanisation, enjeu de la transition énergétique, notamment du secteur des transports, est un sujet à la croisée de plusieurs enjeux environnementaux qui interrogent le mix énergétique, le modèle agricole, la prévention des déchets et la maîtrise des risques. Pour que le développement de cette filière soit le plus vertueux possible, une meilleure prise en compte des enjeux environnementaux, accompagnée d'un dialogue renforcé entre les associations de protection de l'environnement et les porteurs de projets (collectivités, industriels, agriculteurs) sont les deux composantes d'une évolution souhaitable et partagée des acteurs de la filière.

Militant pour le développement réussi de cette filière, FNE travaille depuis 2014 avec le soutien de l'Ademe et de GRDF à la conception d'un outil multicritère d'aide au positionnement à destination des associations mais aussi des porteurs de projets de méthaniseur.

L'outil « Méthascope » qui sera finalisé et diffusé en 2017 poursuit 4 objectifs :

- favoriser l'émergence d'une culture commune sur la méthanisation ;
- permettre d'engager le dialogue entre les différentes parties prenantes d'un projet ;
- donner les clés d'identification des bonnes et mauvaises pratiques FNE, GRDF et l'Ademe, proposent de présenter cet outil et de guider les participants vers une meilleure prise en main de cet outil d'évaluation des projets de méthaniseur ;
- acquérir un retour d'expérience sur les nouveaux projets de méthanisation, la prise en compte des enjeux environnementaux et de concertation.

Méthascope a été réalisé en concertation avec un grand nombre d'acteurs de la filière de méthanisation afin d'intégrer la complexité de tous les enjeux : énergétiques, agricoles, de prévention et de gestion des déchets ou encore industriels. Il a résulté de ce travail une sélection de 57 critères répartis en 7 catégories reflétant les enjeux liés à la méthanisation. Associé à cela, un document d'une quarantaine de pages accompagne l'outil et explicite les enjeux derrière tous les critères retenus. L'outil sera diffusé en janvier 2017 aux acteurs territoriaux et notamment aux associations de protection de l'environnement du mouvement France Nature Environnement. Les retours d'expérience seront collectés progressivement. Ces retours permettront de voir la façon dont ont été conçus les nouveaux projets de méthanisation et notamment en terme de prise en compte des enjeux environnementaux et de concertation.

## **Produire biodégradable pour valoriser les coproduits sous procédés anaérobies**

N. PAUTREMAT

<sup>1</sup> SCANAE, Cap Delta – 1682 rue de la Valsière, 34790 Grabels, France.

\*Correspondance: nathalie.pautremat, +33 763 623 434.

L'objectif dans cette présentation est d'illustrer l'intérêt d'un point de vue empreinte environnementale à formuler biodégradable. En effet, le concept est d'engager les industriels, plus particulièrement ceux de la chimie à formuler biodégradable et intégrer dès la formulation la biodégradabilité anaérobie de leurs produits, en considérant également la valorisation des coproduits industriels. La présentation illustrera la pertinence de cette démarche d'un point de vue Économie circulaire et stratégie d'écho-conception. La présentation présentera des résultats de biodégradabilité anaérobie sur ces matières au regard des bases de données existantes. Des résultats de tests de toxicité compléteront ces données de biodégradabilité et ainsi la faisabilité de valorisation de ces coproduits sous procédés anaérobies.

## **WABEF : une boîte à outils pour promouvoir la méthanisation des résidus organiques en Afrique de l'Ouest**

J.-M. MÉDOC<sup>1,2\*</sup>, S. NIANG<sup>3</sup>, M. BA<sup>4</sup>, M. KAMATÉ<sup>5</sup>, J. LEKOTO<sup>6</sup>, R. VAN VEENHUIZEN<sup>7</sup>, J.-L. FARINET<sup>1,8</sup>

<sup>1</sup> Cirad, UPR Recyclage et Risque, TA B-78/01, 34398 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup> Cirad, UPR Recyclage et Risque, LMI IE SOL, BP 1386, 18524 Dakar, Sénégal

<sup>3</sup> UCAD, IFAN-Lateu, BP 206, Dakar, Sénégal

<sup>4</sup> IAGU, BP 7263, Dakar, Sénégal

<sup>5</sup> AEDR-Teriyà Bugu, BP 596, Ségou, Mali

<sup>6</sup> Songhai, 01 BP 597, Porto Novo, Bénin

<sup>7</sup> RUAF Foundation, Postbus 357, 3830 AK Leusden, Pays-Bas

<sup>8</sup> Cirad, UPR Recyclage et Risque, CS12014, 97743 Saint-Denis Cedex 9, Réunion, France

\*Correspondance: jean-michel.medoc@cirad.fr, +221 33 849 36 34.

WABEF, pour Western Africa Bio-wastes for Energy and Fertilizer, est un projet de recherche-développement et de renforcement des capacités. WABEF vise à contribuer au développement durable de l'Afrique par la promotion de la méthanisation pour recycler les PRO (Produits Résiduaire Organiques = déchets organiques = bio-wastes au sens large) d'origine agricole, agro-industrielle et municipale. La finalité du projet est de relier le traitement des PRO à la production d'énergie (pour les populations et les industries) et de fertilisants (pour les cultures et les étangs à poissons) afin de boucler le cycle des matières organiques et de tendre vers une gestion agronomique des nutriments. Dans les pays industrialisés et dans de nombreux pays du Sud, on observe depuis 10 ans, voire plus pour certains, un boom de la méthanisation, alors pourquoi pas dans les pays de la zone soudano-sahélienne où le climat et les conditions agronomiques sont encore plus favorables ?

Ce papier présente comment le projet WABEF vise l'accompagnement des praticiens pour la mise en œuvre d'un projet de méthanisation et des décideurs pour appuyer les politiques de développement de cette technique.

Contribuer à la réduction de l'écart scientifique et technologique entre les pays ACP et les pays les plus industrialisés sur la méthanisation et son développement suppose d'améliorer les connaissances sur les ressources en PRO et les technologies existantes, de disposer d'outils adaptés pour diriger des choix raisonnés de techniques de méthanisation.

Ainsi pour chacune des étapes de la chaîne de valeur, WABEF propose un outil opérationnel permettant de répondre spécifiquement aux questions : Quelle disponibilité des gisements ? Quel approvisionnement pour quel système de méthanisation ? Quelle valorisation pour le biogaz et quelle gestion agronomique pour les digestats ? Quelle faisabilité pour l'ensemble de la chaîne de valeur ?

Les résultats seront disséminés, d'ici la fin du projet en juillet 2017, dans des écoles régionales et dans des programmes e-learning pour les décideurs, les praticiens et les universitaires, ainsi que dans le cadre d'événements multi-acteurs nationaux.

## **L'acceptation territoriale des projets de méthanisation**

A. POTTIER<sup>1</sup>, D. LABASTIE<sup>1</sup>, B. DE GUILLEBON<sup>2</sup>, M. LALANNE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut C. Laugénie, Laboratoire Passages, avenue du doyen Poplawski, domaine universitaire, 64000 Pau.

<sup>2</sup> APESA, Technopôle Hélioparc, 2, Av. du Président Pierre Angot, 64053 Pau Cedex 09

La méthanisation offre un intérêt certain pour l'amélioration du bilan environnemental et énergétique de la gestion des déchets (valorisation de ressources organiques très diverses et recyclage des nutriments à travers d'autres formes que l'épandage direct). Pourtant, à côté de l'attrait du procédé émergent, depuis quelques années, des réticences, des craintes voire des conflits ouverts, invitant ainsi dans la réflexion l'impact territorial et les dynamiques sociétales des projets. Or, le retour de terrain rend l'intégration de ces problématiques, généralement regroupés sous l'item d'« acceptabilité sociale », de plus en plus indispensable pour le développement de la filière.

La recherche scientifique s'est avant tout préoccupée des problématiques d'ingénieries et d'économies des projets ce qui induit que la compréhension des oppositions relatives à la méthanisation est encore en construction. L'« acceptabilité sociale » de la méthanisation, terminologie qui ne fait d'ailleurs que rarement l'objet d'un véritable effort de définition et de compréhension, se voit ainsi souvent abordée et intégrée au sein de la problématique plus large de l'acceptabilité des énergies renouvelables.

Or, bien que les questions énergétiques soulèvent de nombreux problèmes d'acceptation sociale, il n'est pas possible de généraliser leurs lectures. Dans certains cas, comme pour celui du nucléaire par exemple, c'est avant tout le processus en lui-même qui est rejeté par une partie de l'opinion. Dans d'autres cas, c'est le lieu d'implantation plus que le procédé en lui-même qui pose problème. L'éolien en est le parfait exemple. Or, il semble que pour la méthanisation, l'acceptation relève plus du lieu que du procédé lui-même : des projets apparemment semblables sont acceptés dans certains endroits tandis qu'ils sont rejetés dans d'autres. Il apparaît donc que les territoires n'acceptent pas de manière identique des projets en apparence similaires. Ainsi plutôt que de parler d'acceptation sociale, nous souhaitons apporter des éléments d'analyse en traitant de l'acceptation territoriale des projets de méthanisation. L'inscription de ces projets au sein de territoires par essence différents, ainsi que le caractère hautement territorialisé des porteurs (dans le cas des regroupements d'agriculteurs) et des approvisionnements questionnent ainsi sur les « déterminants » territoriaux associés à l'acceptation.

Pour ce faire, après une clarification sur l'acceptabilité et ses notions périphériques, nous proposons de traiter dans cette communication des résultats issus d'une étude effectuée en partenariat avec l'APESA. Celle-ci se fonde sur travail d'enquête mené sur sept dossiers portés par des regroupements d'agriculteurs (Nouvelle-Aquitaine et Vendée) choisis de manière à étudier les projets en fonctionnement, en cours de réalisation (avec et sans conflits) et ceux n'ayant pas abouti. L'objectif a été de faire apparaître les conditions territoriales favorables aux succès des uns ou expliquant l'échec des autres. En complément d'un diagnostic territorial des projets, une trentaine d'acteurs territoriaux impliqués dans ces dossiers de manières différentes (porteurs de projets, élus, associations d'opposants, Chambres d'Agriculture, FD Cuma, ADEME) ont été enquêtés. Ce travail a permis de faire émerger les déterminants de l'opposition ainsi que les conditions de l'acceptation territoriale de ces projets, éléments que nous proposons de présenter ici.



## **SESSION POSTER / FLASH PRESENTATION - PROGRAMMES DE RECHERCHE ET INITIATIVES DE SOUTIEN, DE PROMOTION ET D'APPUI A LA FILIERE BIOGAZ & METHANISATION**

Cette session permettra de faire connaître les nouveaux programmes de recherche en démarrage n'ayant pas encore générés de résultats permettant une diffusion dans les sessions précédentes. Les structures d'appui, de promotion et de soutien à la filière Biogaz et Méthanisation pourront également bénéficier de cette session pour mettre en avant leurs actions et promouvoir leurs actions.

***Thèmes abordés : Nouveaux programmes de recherche en démarrage, Initiatives de soutien, de promotion et d'appui à la filière Biogaz et Méthanisation, Pôles de compétitivité, structures fédératives, etc.***

## **Présentation du projet MéthaPolSol : Quelles stratégies territoriales de METHANisation pour combiner lutte contre le changement climatique, lutte contre les POLLutions diffuses azotées et amélioration de la qualité des SOLs**

R. GIRAULT<sup>1,2</sup>, S. MENASSERI<sup>3</sup>, S. HOUOT<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Irstea, UR OPAALE, 17 avenue de Cucillé, CS 64427, 35044, Rennes Cedex, France

<sup>2</sup> Université Bretagne Loire, France

<sup>3</sup> INRA, UMR 1069 Sol et hydrosystème Spatialisation, 35000 Rennes, France

<sup>4</sup> UMR ECOSYS, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Thiverval-Grignon, France

\*Correspondance: romain.girault@irstea.fr, +33 2 23 48 21 42, fax: +33 2 23 48 21 15.

Proposition de présentation d'un programme de recherche en démarrage : MéthaPolSol

Partenaires : Irstea (porteur), INRA-UMR SAS, INRA-UMR ECOSYS

Durée : 2016-2019

Financement : ADEME – APR REACTIF 2015

Résumé du programme: Le développement de la méthanisation des déchets organiques est encouragé en France essentiellement au titre de l'atténuation du changement climatique. Au sein d'un territoire, elle présente néanmoins de nombreux effets indirects. D'un point de vue environnemental, ces derniers sont surtout liés aux modifications des stratégies de fertilisation induites par la valorisation des digestats et aux modifications des systèmes de cultures engendrés par la mobilisation de biomasses d'origine végétale (résidus de culture méthanisés avant un retour au sol, insertion de cultures intermédiaires énergétiques dans les successions...). Ces effets indirects peuvent influencer l'impact d'un scénario de méthanisation sur les pollutions diffuses azotées et sur la qualité des sols. Cet impact est considéré a priori comme positif (substitution des engrais minéraux par le digestat, retour au sol de la matière organique favorisé). Cependant il apparaît que la nature et l'ampleur de ce dernier peuvent dépendre du scénario de méthanisation. Ainsi, en fonction des enjeux et des priorités de chaque territoire, il apparaît nécessaire de combiner trois stratégies environnementales locales dans le développement d'un scénario de méthanisation : lutte contre le changement climatique, amélioration de la qualité des eaux et amélioration de la qualité des sols agricoles. L'absence de références sur l'impact des différents scénarios de méthanisation sur ces trois enjeux rend leur prise en compte combinée difficile.

Pour répondre à cette problématique, MéthaPolSol propose :

- d'identifier, au sein des scénarios de méthanisation, quelles sont les pratiques (au sein du procédé ou du système de culture associé) qui permettent de combiner la lutte contre le changement climatique avec les stratégies d'amélioration de la qualité des eaux et des sols.
- de quantifier comment ces pratiques influencent l'impact de la méthanisation sur les trois enjeux environnementaux ciblés par le projet.
- de développer des outils permettant d'évaluer, à l'aide d'une approche numérique intégrée couplée à l'évaluation environnementale, différents scénarios de méthanisation pour proposer un schéma territorial de développement de la méthanisation en fonction des enjeux territoriaux ciblés par le projet.

## **Plan Biogaz Bretagne Pays de la Loire : état des lieux et perspectives de la filière dans l'Ouest**

A. HAUMONT<sup>1\*</sup>, F.LAFOUX<sup>1</sup> J. LENCAUCHEZ<sup>1</sup>, S. HRUSCHKA<sup>1</sup>, A.DAMIANO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AILE, – 73 rue de Saint-Brieuc, CS 56520, 35065 Rennes Cedex, France.

\*Correspondance: info@aile.asso.fr, +33 2 99 54 63 23

Le plan biogaz est un programme d'animation et de soutien à la filière mis en place dès 2007 en Bretagne et Pays de la Loire par les Directions Régionales de l'ADEME et les Conseils Régionaux des 2 Régions et animé par AILE. Ce programme, qui en est à sa troisième période, a pour objectif de favoriser l'émergence de projets à la ferme ou centralisés, cohérents et insérés dans leurs territoire. Le bilan présenté dresse un état des lieux du nombre et de la typologie des unités en fonctionnements, du dynamisme de la filière en Pays de la Loire et Bretagne et des perspectives de développement pour les prochaines années. Par ailleurs un travail de bilan des unités en fonctionnement a été mené à partir d'enquêtes sur une quinzaine de sites en 2014 et une cinquantaine fin 2016. Les principaux indicateurs de fonctionnement (quantité et typologies de substrats valorisés, performances énergétiques des unités, mode de valorisation du digestat...) seront présentés et analysés au regard des indicateurs habituels et des données prévisionnelles des projets.

A fin 2016, les 2 Régions totalisent 109 unités de valorisation du biogaz (toutes typologie confondues, y compris les STEP, ISDND et valorisation d'effluents industriels in situ) Parmi ces 109 unités, 80 sont de type agricoles ou territoriales et sont apparues après la mise en place du Plan Biogaz. Ces unités valorisent plus de 3 millions de tonnes de substrats pour une production énergétique de plus de 400 GWh. On compte aujourd'hui 88 unités valorisant le biogaz en cogénération, pour une puissance électrique installée de 34 MW. Deux unités font de l'injection de biométhane dans le réseau de distribution.

Les unités à la ferme participent à la valorisation des substrats agricoles qui représentent plus de 80% des tonnages entrants. Avec 71% d'effluents d'élevage en moyenne, les unités à la ferme peuvent prétendre au maximum de la prime « effluents d'élevage » du tarif d'achat. Les unités territoriales valorisent plus de déchets industriels, mais la part d'effluents d'élevage reste très importante (à plus de 55%)

L'analyse d'un panel d'unités en fonctionnement a montré que : (données 2014 en cours d'actualisation) : i) le ratio réellement méthanisé de cultures (intermédiaires sous forme de CIVE ou principales comme le maïs) reste relativement faible et représente en moyenne 10% des substrats ; ii) le temps de fonctionnement moyen de plus de 7500 h montre une disponibilité satisfaisante des unités. L'analyse 2016 en cours présentera également des ratios techniques (temps de séjour moyen, charge organique, rendements des moteurs..)

Enfin, une cinquantaine de projets sur les deux régions ont reçu un accord de subvention et devraient arriver en construction dans les 2 prochaines années. Sur ce panel de projets et sur les projets en émergence à notre connaissance, la typologie des unités se diversifie avec notamment de nombreux projets collectifs agricoles, qui pour la quasi totalité, envisageant l'injection de biométhane dans le réseau. Les petits projets à la ferme (30 à 80 kW) valorisant majoritairement ou exclusivement des effluents bovins se multiplient également et cette tendance devrait s'accélérer avec l'arrivée des nouveaux tarifs.

## **Un système de gestion décentralisé pour la valorisation innovante des biodéchets urbains (EU project, Horizon 2020 WASTE-2015)**

A. Degueurce<sup>\*1</sup>, A. Tremier<sup>1</sup>, T. Bioteau<sup>1</sup>, P. Thiriet<sup>1</sup>, G. Nunes<sup>1</sup>, N. Auvinet<sup>1</sup>, P. Peu<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Irstea, OPAALE, 17 Avenue de Cucillé CS64427 F-35004 Rennes, France.

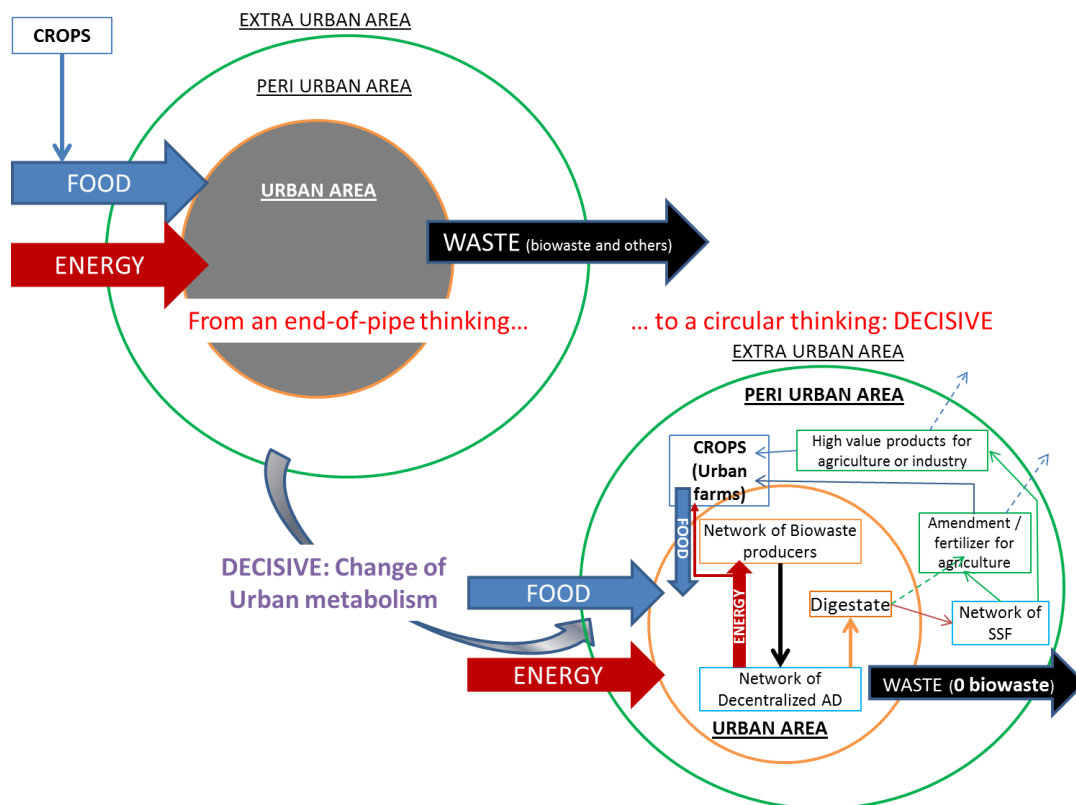
\*Correspondance: Axelle.degueurce@irstea.fr, +33 223 48 21 21, fax: +33 223 48 21 15.

L'attrait croissant des villes et l'augmentation de la population entraînent un accroissement des demandes énergétiques et alimentaires dans les zones urbaines et rendent la gestion des déchets urbains de plus en plus difficile, tant au niveau de la logistique que des impacts environnementaux ou sanitaires. Pour diminuer ces impacts et contribuer à une meilleure résilience des zones urbaines face à la crise de l'approvisionnement énergétique ou alimentaire, les systèmes de gestion des déchets doivent être améliorés pour accroître la prévention et la valorisation locale de ces derniers.

Dans ce contexte, le projet DECISIVE propose de transformer le métabolisme urbain actuel de la matière organique (aliments, plantes, etc.), de l'énergie et des biodéchets, en vue d'une économie plus circulaire et d'évaluer les impacts de ces changements sur l'ensemble de la filière de gestion des déchets et notamment le recyclage des biodéchets contenu dans les déchets ménagers. Ainsi, le défi sera de passer d'une "boite grise" urbaine, impliquant principalement l'importation de marchandises et la gestion extra-urbaine des déchets, à une organisation coopérative de réseaux intra et périurbains permettant la valorisation locale circulaire et décentralisée des biodéchets, ainsi que la production de bioproduits (Figure 1). Ce nouveau paradigme de gestion des déchets devrait accroître la durabilité du développement urbain en: 1) sensibilisant les citoyens aux coûts et aux valeurs des déchets; (2) promouvant la production et l'utilisation des énergies renouvelables dans la ville; (3) développant une approche écologique industrielle capable de favoriser des relations durables entre la zone urbaine et son environnement périurbain, en fournissant de précieux sous-produits agronomiques pour les activités agricoles autour de la ville et en améliorant ainsi l'équilibre des flux de produits et de déchets organiques en ville.

Pour atteindre ces objectifs, le projet DECISIVE développera et présentera des solutions éco-innovantes consistant à: (1) un outil d'aide à la décision pour planifier, concevoir et évaluer des réseaux efficaces de gestion décentralisée des biodéchets en milieu urbain; (2) un ou des démonstrateurs d'unités de micro-méthanisation couplés à un procédé de fermentation des digestats permettant de produire des molécules d'intérêts (enzyme, fertilisant).

Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation H2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention No 689229.



**Figure 1 :** DECISIVE, Du métabolisme urbain actuel vers un métabolisme circulaire.

# **Une plateforme mutualisée de R&D reconnue « Projet Industriel d'Avenir » pour développer une filière méthanisation efficace, pérenne et créatrice de valeur pour les territoires, en France**

G. LANNOU<sup>1</sup> \*

<sup>1</sup> Biogaz Vallée®, 2 rue Gustave Eiffel, F-10430 ROSIÈRES-PRÈS-TROYES, France.

\*Correspondance: g.lannou@biogazvallee.fr, +33 686 70 07 04.

## **Genèse du projet de plateforme mutualisée d'innovation**

Si la recherche des paramètres qui caractérisent la faisabilité industrielle de la méthanisation des effluents (liquides) industriels peut être abordée de manière relativement fiable dans des pilotes de quelques mètres cubes, l'hétérogénéité et la taille des éléments des substrats solides nécessitent la manipulation de plus gros volumes afin de compenser les biais qui peuvent être induits. Pour cela, il convient plutôt de travailler sur des « pilotes » de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup> afin de se rapprocher de la réalité industrielle. La mise en place de tels volumes permet d'intégrer les phénomènes physiques, comme ceux qui sont liés au mélange, mais aussi d'avoir, avec plus de précision, les valeurs des paramètres caractéristiques des fonctionnements. Ceci implique, bien sûr, que la mise en œuvre de digesteurs de cette taille est plus contraignante et onéreuse que pour ceux de quelques m<sup>3</sup>, mais ce choix se justifie si l'on veut améliorer la précision des informations, en vue d'un transfert de l'innovation à l'échelle 1.

Ainsi, l'innovation dans l'industrie passe par la démonstration industrielle car les exploitants d'unités de méthanisation, et a fortiori leurs financeurs et assureurs, ont des contraintes de résultats et ne sont donc pas enclins à passer directement du stade pilote au stade industriel. Or, les outils industriels sont conçus pour être efficaces et rentables. Ils ne peuvent donc pas être soumis à des perturbations en vue de la réalisation d'expérimentations. En revanche, c'est le cas d'un démonstrateur, conçu, lui, pour pouvoir être utilisé suivant de nombreuses configurations techniques, équipé en systèmes de mesures variés, et prêt à subir des aléas jusqu'au dysfonctionnement, afin de tester le bien fondé et les limites des innovations étudiées.

Pour autant, la méthanisation à l'échelle industrielle s'est énormément développée en Allemagne sans ce type d'équipements. En effet, contrairement à la France, outre Rhin, le développement de la méthanisation est principalement empirique, en fonction des expériences acquises sur les sites industriels. D'ailleurs, toutes les technologies appliquées en Allemagne sont basées sur le même principe. Cette démarche ne permet pas d'avancer rapidement dans le développement d'une filière, comme doit le faire la France en vue d'atteindre ses objectifs et de rattraper son retard. De plus, la philosophie allemande du mono intrant (culture énergétique) ne conduit pas aux mêmes problématiques que celles soulevées par le multi intrants (biodéchets) et sa complexité en France. Et sur ce sujet, la France dispose d'acteurs de la recherche publique et privée de premier plan, à l'échelle mondiale, qui hissent à un niveau d'excellence la recherche française dans le domaine de la digestion anaérobie. Leurs travaux, innovants par définition, restent parfois à l'échelle de petits pilotes sans bénéficier aux porteurs de projets d'unité de méthanisation, ni au marché.

Le passage à l'échelle 1 de toutes ces innovations, *via* des travaux de développement en utilisant le démonstrateur, se justifie donc par la nécessité de mettre au point des procédés ou matériels efficaces, fiables et robustes avant de les industrialiser, et par le besoin de développer une meilleure compréhension du fonctionnement des installations, dans des conditions proches de la réalité industrielle, pour les optimiser. Ces travaux nécessiteront de délivrer des prestations analytiques de

base (potentiels méthane, cinétique, etc.) pour pouvoir réaliser le suivi. Le couplage à un laboratoire analytique est donc indispensable à la bonne tenue des travaux de démonstration.

Le démonstrateur proposera aux industriels, notamment aux PME, et aux chercheurs, les moyens de lever nombre de freins identifiés sur le terrain et dans la littérature. Ainsi, le projet MÉTHA FILIÈRE doit permettre le développement d'une filière méthanisation efficiente, pérenne et créatrice de valeur pour les territoires, en France. 3 objectifs principaux ont donc été fixés :

- Combler le besoin actuellement constaté en matière d'infrastructure mutualisée de démonstration permettant de certifier les performances des produits / matériels / systèmes testés, une fois opéré leur passage à l'échelle. En effet, La plateforme de démonstration de CertiMétha®<sup>1</sup> SAS permettra de combler le manque d'infrastructures existantes pour passer des pilotes de quelques litres / m<sup>3</sup> à une échelle industrielle de plusieurs milliers de m<sup>3</sup> ;
- Participer au développement d'une filière industrielle de la méthanisation, créatrice de valeur sur les territoires, en France ;
- S'exonérer, à terme, de la subvention publique (tarifs de rachat de l'énergie et aides locales aux études et aux investissements) en rendant le modèle économique français (multi acteurs et multi intrants) viable par la structuration de la filière, l'efficacité énergétique, la professionnalisation des exploitants, l'innovation, etc.

Le projet MÉTHA FILIÈRE se concentre sur la méthanisation des résidus agricoles et agroindustriels ou issus de la collecte sélective des biodéchets produits, notamment par la restauration, les cantines scolaires ou la grande distribution. En effet, contrairement aux autres filières méthanisation (ISDND, OM brutes et STEP), les trois retenues ont des perspectives de développement fortes et une maîtrise qualitative de leurs gisements.

Dans ce contexte, MÉTHA FILIÈRE se structure en trois axes, chacun déclinés en actions concrètes. Il s'agit tout d'abord de la création d'un démonstrateur industriel qui accueillera des activités de recherche & développement, pour les porteurs de projets publics et privés et les entreprises intéressés par la mise à disposition d'infrastructures de tests à des échelles représentatives d'une application industrielle. Le deuxième axe du projet porte sur la création d'un laboratoire analytique associé au démonstrateur. Les utilisateurs ayant besoin d'analyses pourront disposer de ses capacités. Enfin, un troisième axe se concentre plus particulièrement sur des prestations de services telles que la mise à disposition de compétences, de formations et de certification, entre autres.

#### Etat d'avancement du projet

Dans un premier temps, un groupe de travail constitué d'acteurs de la filière, membres de Biogaz Vallée®, a été chargé de contribuer à affiner le projet de laboratoire analytique et de démonstrateur préindustriel dans ses aspects techniques, juridiques, financiers, etc. en vue de sa soumission pour obtenir un co-financement et une reconnaissance de l'Etat. C'est le projet MÉTHA FILIÈRE. Ce projet a été labélisé par le Comité stratégique de filière Eco-industries (COSEI) et par Le Pôle de compétitivité à vocation mondiale Industrie et Agro-ressources au printemps 2015. Il a été présenté fin mai 2015 à la Direction générale de l'économie du Ministère de l'Economie et au groupe de travail « industrie » du Comité National Biogaz.

La société de projet CertiMétha® SAS a été créée le 31 août 2015 afin de construire et exploiter le démonstrateur. Biogaz Vallée® et EVERGAZ sont actionnaires de CertiMétha® SAS. Une première ouverture de capital est actuellement en cours. Grâce à son actionnariat impliquant des acteurs

---

<sup>1</sup> CertiMétha® SAS est la société de projet qui va construire et exploiter le démonstrateur présenté aux Investissements d'Avenir via le projet dénommé MÉTHA FILIÈRE.

reconnus de la filière, CertiMétha® SAS évitera l'écueil d'un actionnariat « propriétaire », ce qui devrait faciliter l'accès de tout ceux qui le souhaitent à cette plateforme mutualisée d'innovation.

Après avoir consciencieusement préparé le projet, le dossier MÉTHA FILIÈRE a été déposé dans le cadre de l'appel à projet « Projets industriels d'avenir (PIAVE) », le 31 octobre 2015, et défendu devant un comité d'experts et de représentants de l'Etat le 12 novembre 2015. A la suite de cette présentation, une instruction approfondie du dossier a été menée par BPI France.

Ainsi, le 25 mars 2016, Louis SCHWEITZER, Commissaire général à l'investissement, auprès de Monsieur le Premier Ministre, a notifié CertiMétha® SAS à le soutien financier des Investissements d'Avenir au projet MÉTHA FILIÈRE, à hauteur de 2,24 millions d'euros, notamment par ces mots : « *je souhaite que ce projet de plateforme contribue, sous votre impulsion, à la structuration de la filière française de la méthanisation et plus largement au développement de la production de biogaz valorisant la biomasse nationale* ». 2016 a donc été une année de contractualisation avec les pouvoir public (27 juin) et de prospection pour la levée de fonds privée complémentaire au soutien financier des investissements d'avenir. Quant à 2017, ce sera donc l'année du bouclage de cette levée de fonds pour CertiMétha® SAS et d'avant projet détaillé, avant les consultations et les passations de marché. La construction puis la montée en charge interviendront en 2018 pour laisser la place à l'exploitation de la plateforme.

## **Evaluation de l'effet des Champs Electriques Pulsées (CEP) sur la production de biogaz à partir de déchets organiques**

M.A. CHAMAA, T. LENDORMI\*, Y. LEMÉE, J.-L. LANOISELLÉ

Univ. Bretagne Sud, FRE CNRS 3744, IRDL (Institut de Recherche Dupuy de Lôme),  
F-56300 Pontivy, France

\* Correspondance : [thomas.lendormi@univ-ubs.fr](mailto:thomas.lendormi@univ-ubs.fr), Tel : +33 297 276 770, Fax : +33 297 278 153

La méthanisation est un traitement efficace pour les déchets riches en matières organiques et les perspectives de développement de la filière française restent importantes. Ainsi, le gisement de matières organiques en France, hors déchets de l'agriculture et de la pêche, se monte à 47 millions de tonnes en 2010 (Ademe, Chiffres Clés, Déchets, 2014). Le procédé de méthanisation présente différents avantages comme la réduction du volume de matières organiques et la production de biogaz. Lors de l'étape d'hydrolyse, les substrats organiques complexes (polysaccharides, lipides, protéines,...) sont transformés en molécules plus simples (monosaccharides, acides gras, acides aminés et bases azotées). Lorsque la matière est difficile à dégrader, l'hydrolyse constitue souvent l'étape limitante de la réaction globale. C'est pourquoi différents procédés de prétraitement (thermiques, mécaniques, chimiques, ultrasons...) ont été étudiés pour solubiliser et/ou réduire la taille des composés organiques afin d'améliorer les cinétiques de dégradation et les productions de méthane. Ces prétraitements ont également l'objectif de déstructurer la matière afin de faciliter les opérations de transfert (diffusion) au sein des digesteurs.

L'application de la technologie CEP comme traitement de désintégration de différentes matières s'est développée au cours des dernières années pour diverses applications (extraction, pressage, séchage, domaine médical...). Cette technologie consiste à appliquer un champ électrique pulsé à un produit biologique de structure cellulaire placé entre deux électrodes. Généralement, l'intensité du champ électrique et la durée d'impulsion sont liées à l'objectif du traitement et à la nature du matériau à traiter. Des champs élevés compris entre 10 kV/cm et 60 kV/cm appliqués pendant des durées de 1 à 10  $\mu$ s sont utilisés afin de détruire des microorganismes. Des champs d'intensités plus modérées, de 0,1 à 10 kV/cm, avec des durées d'impulsion de 10 à 1000  $\mu$ s, permettent l'électroporation de cellules végétales.

Depuis les travaux initiaux Hülshager et al. (1983), la technologie des CEP et le phénomène de désintégration cellulaire ont été largement étudiés dans le domaine agro-industriels. L'efficacité de cette technologie pour améliorer de nombreux procédés tels que le pressage et le séchage des produits agroalimentaires a été montrée par plusieurs études (Barba et al., 2015 ; Lebovka et al., 2011). L'objectif de ce travail, réalisé dans le cadre d'une thèse de doctorat financée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et en collaboration avec la société d'économie mixte LIGER (Locminé, Morbihan, France), concerne l'évaluation de l'effet du traitement CEP sur différents substrats biodégradables en anaérobiose. Le traitement par CEP a été testé sur différents déchets issus des industries agroalimentaires (déchets de légumes, marc de raisin, refus de tamisage d'abattoir de porc), de l'agriculture (ensilage de maïs) ou encore de collectivités locales (déchets verts de tonte de pelouse). Les champs appliqués varient de 500 V·cm<sup>-1</sup> à 3600 V·cm<sup>-1</sup>. Les différents déchets ont été éventuellement broyés et stockés à une température 4°C. Le traitement par CEP a été réalisé en batch dans une chambre de traitement en plexiglass (hauteur 6 cm, diamètre 6,5 cm) contenant deux électrodes planes en acier. L'effet de l'intensité des différents champs électriques (V/cm) sur l'efficacité du traitement a été testé et quantifié par le calcul d'un indice de désintégration.

En effet, le suivi de l'électroporation et des modifications des substrats a été réalisé par la mesure de la conductivité électrique au cours du traitement. Les pores formés dans la membrane cellulaire libèrent des matières intracellulaires, qui sont composées d'éléments conducteurs, vers le milieu extracellulaire. Une conductivité électrique plus élevée est alors attendue lors de la désintégration cellulaire (Ben Ammar, 2011; Lebovka et al., 2002; Rogov and Gorbatov, 1974). À partir des conductivités mesurées un indice de désintégration  $Z$  peut être calculé à partir de l'équation 1 :

$$Z = \frac{\sigma_m - \sigma_i}{\sigma_d - \sigma_i} \quad [1]$$

Où  $\sigma$  est la conductivité électrique ( $S \cdot m^{-1}$ ),  $\sigma_m$  est la conductivité électrique mesurée au cours du traitement CEP ;  $\sigma_i$  est la conductivité électrique initiale ;  $\sigma_d$  la conductivité électrique d'un échantillon totalement désintégré.

$\sigma_d$  est obtenu après trois cycles de congélation/décongélation d'un échantillon frais suivis d'un traitement microondes à 800 W pendant 2 minutes (Microwave ME82V, 800 W / 2450 MHz, Samsung, Malaisie). Ainsi,  $Z = 0$  correspond à un produit intact (frais) et  $Z = 1$  correspond à un produit totalement désintégré.

Ensuite, des potentiels méthanogènes ont été réalisés sur les différents substrats avec l'AMPTS II (Bioprocess Control, suède) en fonction de différents niveaux de broyage et d'indices de désintégration. Les courbes ont été modélisées en calculant les paramètres généraux habituels  $BMP_0$  et  $k_h$  de l'équation 2 :

$$BMP_t = BMP_0 \cdot (1 - e^{(-k_h \cdot t)}) \quad [2]$$

où :

$BMP_t$  est la production expérimentale du méthane.

$BMP_0$  est la production maximale prévue par le modèle ( $Nm^3 CH_4 \text{ kg DCO}^{-1}$ ) ou ( $Nm^3 CH_4 \text{ kg MV}^{-1}$ ).

$k_h$  est la constante d'hydrolyse ( $\text{jour}^{-1}$ ).

$t$  est le temps (jour).

Afin d'optimiser les essais, des plans d'expériences ont été réalisés. Ceux-ci prennent en compte le nombre de bioréacteurs disponibles (15 essais). Les résultats modélisés du potentiel méthanogène sont ensuite traités statistiquement par analyse de variance (ANOVA). Ces analyses ont été faites à l'aide d'un logiciel (Statgraphics 5.1 plus, Statpoint technologies Inc., Warrenton, États-Unis).

Enfin, la rentabilité énergétique du traitement CEP a été estimée par le rapport entre l'énergie consommée par le traitement ( $W_{CEP}$ ) et l'énergie pouvant être générée par le surplus de méthane produit dû au traitement ( $W_{CH4+}$ ).  $W_{CH4+}$  est calculé en prenant en compte le pouvoir calorifique inférieur du méthane  $PCI = 9,94 \text{ kWh} \cdot Nm^{-3}$ . Le calcul du gain énergétique est présenté sous la forme :

$$\text{Gain énergétique} = \frac{W_{CH4+}}{W_{CEP}} \quad [II. 16]$$

Le traitement CEP est considéré comme énergétiquement rentable quand ce rapport est supérieur à 2,5 (tableau 1)

Tableau 1 : Gain énergétique du traitement CEP pour les différents substrats et selon les différents protocoles réalisés

| Substrat          | Protocole            | Augmentation de production | Énergie consommée                           | Énergie produite                             | Gain énergétique                                           |
|-------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                   |                      | % CH <sub>4</sub>          | W <sub>CEP</sub><br>kWh·tonne <sup>-1</sup> | W <sub>Prim</sub><br>kWh·tonne <sup>-1</sup> | W <sub>prim</sub> produite /<br>W <sub>CEP</sub> consommée |
| Carotte           | Z = 0,5              | 9,25                       | 1,87                                        | 37,04                                        | 19,8                                                       |
| Haricot           | Z = 0,5              | 8,5                        | 3,72                                        | 22,85                                        | 6,14                                                       |
|                   | Z = 1                | 10,97                      | 13,19                                       | 29,5                                         | 2,24                                                       |
| Marc de raisin    | Z = 0,5 <sub>s</sub> | 3,48                       | 11,67                                       | 22,25                                        | 1,91                                                       |
|                   | Z = 0,75             | 5,1                        | 23,89                                       | 32,67                                        | 1,37                                                       |
| Refus de tamisage | Z = 0,5              | 2,8                        | 5,44                                        | 46,52                                        | 8,55                                                       |
|                   | Z = 1                | 3,05                       | 21,24                                       | 50,38                                        | 2,37                                                       |
| Tonte de pelouse  | Z = 0,5              | 12,45                      | 3,93                                        | 78,13                                        | 19,9                                                       |
| Ensilage          | Z = 0,25             | 6,96                       | 3,82                                        | 78,41                                        | 20,5                                                       |
|                   | Z = 1                | 9,33                       | 79,5                                        | 105,16                                       | 1,32                                                       |

Les traitements CEP ont permis d'améliorer la production de biogaz de ces différents substrats. Les résultats obtenus montrent que la désintégration cellulaire et l'électroporation induites par le traitement CEP peuvent intensifier la production de biogaz (+ 3 à +12 % de CH<sub>4</sub>) de manière statistiquement significative.

Seul l'ensilage de maïs a montré une hydrolyse plus rapide que les protocoles standards, avec +7,44 % d'augmentation du k<sub>H</sub>.

Au niveau des gains énergétiques du traitement CEP, il peut soutenu que dans certaines conditions, le traitement CEP devient intéressant énergétiquement. En effet, un indice de désintégration maximal, énergivore en tant qu'énergie électrique consommée, n'est pas obligatoirement la solution la meilleure. Ainsi, il convient donc de réaliser un compromis entre la production de méthane supplémentaire produite et la consommation énergétique liée au traitement.

### Références bibliographiques :

- Hülshager, H., Potel, J., Niemann, E.-G., 1983. Electric field effects on bacteria and yeast cells. *Radiat. Environ. Biophys.* 22, 149–162. doi:10.1007/BF01338893
- Barba, F.J., Parniakov, O., Pereira, S.A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J.A., Raso, J., Martin-Belloso, O., Witrowa-Rajchert, D., Lebovka, N., Vorobiev, E., 2015. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Res. Int., Innovative food processing technologies: chemical, nutritional and microbiological aspects* 77, Part 4, 773–798. doi:10.1016/j.foodres.2015.09.015
- Lebovka, N., Vorobiev, E., Chemat, F., 2011. *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry*. CRC Press.
- Ben Ammar, J., Lanoisellé, J.-L., Lebovka, N. i., Van Hecke, E., Vorobiev, E., 2011. Impact of a Pulsed Electric Field on Damage of Plant Tissues: Effects of Cell Size and Tissue Electrical Conductivity. *J. Food Sci.* 76, E90–E97. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01893.x
- Lebovka, N.I., Bazhal, M.I., Vorobiev, E., 2002. Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed-electric fields. *J. Food Eng.* 54, 337–346. doi:10.1016/S0260-8774(01)00220-5
- Rogov, I.A., Gorbатов, A.V., 1974. *Physical methods of processing food products*.

## **Optimisation de la production de biogaz et de l'utilisation du digestat provenant d'un process de méthanisation voie sèche type garages**

A. DE BEAUREPAIRE<sup>1,\*</sup>, M-A. THEOLEYRE<sup>2</sup>, T. COURAGEOT<sup>3</sup>, A. SOBIECKY<sup>4</sup>, X. LEPAGE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> OMNISOLIS, 172 Avenue Général Leclerc, 10300 Sainte-Savine, France.

<sup>2</sup> CentraleSupélec, Centre européen de Biotechnologie et de Bioéconomie, 3 rue des rouges terres, 51110 Pomacle, France.

<sup>3</sup> SAS Methanobois, 2 rue de la fontaine, 52320 Marbeville, France.

<sup>4</sup> AUTOPROG, 8 Rue du Sentier des Grèves, 10410 Saint-Parres-aux-Tertres, France.

<sup>5</sup> VIVESCIA, Service Energie, 2 rue Clément Ader, 51100 REIMS, France.

\*Correspondance: alexisdebeaurepaire@omnisolis.com, +33 6 62 26 12 02, +33 3 25 49 90 10

Le projet METHANIZ est un programme de recherche en cours de démarrage, répondant à l'Appel à Projet GRAINE de l'ADEME. La sélection finale de l'Appel à Projet est prévue pour Février 2017.

Ce programme de recherche est porté par la société Omnisolis, qui coordonne ; la SAS méthanobois, CentraleSupélec, Autoprolog et la coopérative VIVESCIA. Le projet s'articule autour d'une unité de méthanisation en voie sèche discontinue type garages, à taille « industrielle » (SAS Méthanobois), unité de référence conçue et construite par Omnisolis.

Le projet est construit autour de trois objectifs : i/ Optimiser la production de biogaz d'une installation de méthanisation existante, voie sèche discontinue type garages, en étudiant les paramètres d'exploitation influençant la production de biogaz et en comprenant les phénomènes physiques et biologiques agissant sur la matière lors de la digestion ; ii// Fiabiliser et optimiser le process technologique existant afin de pouvoir le dupliquer avec réussite ; iii/ Etudier des solutions agronomiques pour optimiser la production de biomasse en entrée du méthaniseur et étudier les phénomènes de volatilisation de l'azote du digestat solide, type voie sèche, lors de l'épandage dans les champs.

Les résultats attendus de ce projet sont : i/ Un process de méthanisation voie sèche discontinue type garages optimisé pour une duplication avec réussite, auprès des futurs exploitants ; ii/ Un développement des connaissances de la méthanisation en voie sèche discontinue ; iii/ Un savoir-faire pour accompagner les exploitants dans la conduite de leur méthaniseur, afin d'obtenir une production de biogaz optimale, une bonne gestion du digestat et donc une bonne rentabilité des unités en fonctionnement.

Le point fort de ce projet est de pouvoir confirmer les résultats laboratoires d'études scientifiques antérieures, grâce à une unité de méthanisation de taille « industrielle » : la SAS Méthanobois. Cela permet de se confronter aux difficultés que rencontrent les exploitants d'unités de méthanisation en voie sèche discontinue. De plus, le projet fait appel à plusieurs structures d'expertise et de recherche : CentraleSupélec, UniLaSalle, INRA Narbonne, INRA Grignon, etc ...

Ce projet va permettre une avancée dans le domaine de la méthanisation voie sèche discontinue, pour le développement de cette technologie par la société Omnisolis, dans les exploitations agricoles.

## Méthanisation à température ambiante grâce à une couverture flottante récupératrice de biogaz

A. TOUDIC<sup>1,\*</sup>, A. BILY<sup>2</sup>, K. LAVENAN<sup>2</sup>, P. LANDRAIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chambre d'Agriculture de Bretagne, Rue Maurice Le Lannou, CS 74223, 35042 RENNES CEDEX.

<sup>2</sup> Utilities Performance, 14 rue des Ecoles – Saint-Nicolas-Des-Eaux, 56930 PLUMELIAU.

\*Correspondance: [aurore.toudic@bretagne.chambagri.fr](mailto:aurore.toudic@bretagne.chambagri.fr) ; 06 77 89 88 45

Le programme de recherche Prométhys, initié depuis dix ans, évalue la faisabilité technique et économique de la méthanisation à température ambiante. Depuis juin 2016, la station expérimentale porcine de Guernévez, appartenant à la Chambre d'Agriculture de Bretagne, a équipé une de ses fosses existantes d'une couverture capable de récupérer le méthane produit de façon « passive », au stockage du lisier.

Durant la période de stockage des effluents d'élevage, la matière organique se dégrade. Cette dégradation peut être source d'émissions de méthane. L'objectif est de capturer les gaz émis pour produire de l'énergie. Il s'agit bien d'un procédé de méthanisation. Mais contrairement à la méthanisation dite « mésophile » classiquement rencontrée en élevage où le digesteur est chauffé entre 35 et 42 °C, dans notre cas la fosse à lisier n'est pas chauffée. L'optimisation de la dégradation de la matière sur une durée de quelques dizaines de jours n'est pas recherchée. C'est la dégradation naturelle de la matière sur plusieurs mois qui est valorisée, sans chauffage ni brassage fréquent. L'intérêt de cette méthanisation « rustique » repose sur ses atouts environnementaux (production d'énergie pour l'élevage, limitations des émissions gazeuses vers l'air, réduction de l'épandage des eaux de pluies) et ses coûts de fonctionnement très limités. Un compresseur assure la flottaison de la couverture et un surpresseur permet de conduire le biogaz récupéré jusqu'à la chaudière biogaz déjà existante à Guernévez. L'eau chaude produite chauffe des porcheries.

Le projet Prométhys a permis, les premières années, de mettre en avant les points de vigilance d'un tel procédé. Les travaux de recherche menés à l'échelle du laboratoire par l'Irstea et l'UBS ont relevé l'influence de la température sur la production de méthane, ainsi que le rôle que peut jouer ou non différents types d'innocula. Ce sont des familles de bactéries méthanogènes spécifiques qui se développent dans un tel milieu. Le challenge réside dans leur capacité à produire du biogaz à 20°C comme à 10 °C. La colonisation du milieu et la pleine production de méthane peut demander jusqu'à un an d'acclimatation.

La technique, en cours d'évaluation, donne déjà des résultats encourageants, qui sont à confirmer dans les prochains mois. La qualité du biogaz sortant de la fosse est régulière. Entre juillet 2016 et janvier 2017, le biogaz contenait entre 65 et 70 % de méthane. L'évolution de la température dans la fosse est suivie de près. Elle est passée de 22°C au moins d'août à 9°C au mois de janvier. La production de méthane semble davantage dépendante à ce stade des apports de lisiers réalisés dans la fosse que de l'évolution de la température. Ces premiers résultats doivent être confirmés dans les mois à venir. Le programme Prométhys prévoit une évaluation du procédé sur un an de fonctionnement pour prendre en compte la variabilité saisonnière de production de méthane.

Le programme Prométhys, aujourd'hui piloté par le bureau d'études Utilities Performance, prévoit une évaluation environnementale et économique du procédé. Les objectifs du projet sont bien de définir les bénéfices environnementaux de ce type de couverture, les conditions de rentabilité, ainsi que les contraintes opérationnelles pour les éleveurs.

L'application de la technique peut être multiple : couverture de fosse de lisier brut en élevage, ou en amont d'une unité de méthanisation, ou encore en aval, sur le digestat contenant du méthane résiduel.

# JRI BIOGAZ METHANISATION 2017



## Comité scientifique

ANDRE Laura (UniLaSalle, Beauvais)  
BASTIDE Guillaume (ADEME, Angers)  
BUFFIERE Pierre (INSA-LGCIE, Lyon)  
CACHO Jesus (Véolia Recherche & Innovation, Limay)  
CAMACHO Patricia (SUEZ)  
COUTURIER Christian (SOLAGRO, Toulouse)  
CRESSON Romain (INRA Transfert Environnement, Narbonne)  
DAMIANO Armelle (AILE, Rennes)  
DIARA Arnaud (Club Biogaz ATEE, Paris)  
GERMAIN Patrick (INSA, Lyon)  
HOUOT Sabine (INRA-EGC, Grignon)  
PAUSS André (UTC, Compiègne)  
PAUTREMAT Nathalie (Scanae, Grabels)  
PESSIOT Carine (APCA, Vannes)  
PEU Pascal (IRSTEA-GERE, Rennes)  
POMMIER Sébastien (CRITT GPTE, Toulouse)  
RIBEIRO Thierry (UniLaSalle, Beauvais)  
TETEREL Xavier (Chambre Agriculture 60, Beauvais)  
TREMIER Anne (IRSTEA-GERE, Rennes)

## Comité d'organisation

RIBEIRO Thierry (UniLaSalle, Beauvais)  
VELIUS Elodie (UniLaSalle, Beauvais)  
SCHLIENGER Marc (Club Biogaz ATEE)  
DIARA Arnaud (Club Biogaz ATEE)  
SENICOURT Christiane (ATEE)  
COTTURA Patricia (ATEE)

# 2017 JRI

biogaz  
méthanisation



Événement accueilli par **UniLaSalle** (Institut Polytechnique LaSalle Beauvais – ESITPA)

Rue Pierre Waguet

60200 Beauvais

**Contact : Thierry Ribeiro**

**Tel : 03.44.06.76.11 - Email : [thierry.ribeiro@unilasalle.fr](mailto:thierry.ribeiro@unilasalle.fr)**

Les Journées Recherche et Innovation Biogaz Méthanisation débuteront le mardi 11 avril à 9h pour se terminer le jeudi 13 avril à 17h30.



Journées organisées par :



avec le soutien de :

