



HAL
open science

Prédiction des performances de digestion des substrats : apport pour le pilotage du digesteur

Cyrille Charnier, S. Pacaud, Jeremie Miroux, M. Fick, Jean-Philippe Steyer

► To cite this version:

Cyrille Charnier, S. Pacaud, Jeremie Miroux, M. Fick, Jean-Philippe Steyer. Prédiction des performances de digestion des substrats : apport pour le pilotage du digesteur. Journées de la Méthanisation : Applications Agricoles et Industrielles, Moletta Méthanisation. FRA., Dec 2016, Chambéry, France. hal-01603925

HAL Id: hal-01603925

<https://hal.science/hal-01603925>

Submitted on 3 Jun 2020

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

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

Prédiction des performances de digestion des substrats : apport pour le pilotage du digesteur.

C.Charnier* **, E.Latrille*, S.Pacaud ***, J.Miroux**, M.Fick ***, .JP.Steyer*.

* INRA, UR0050, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Av. des Etangs, Narbonne F-11100, France

** BioEnTech, 74 Av. Paul Sabatier, 11100, Narbonne, France

*** Université de Lorraine, Ensaia, 2 Av. de la Forêt de Haye, 54505, Vandoeuvre-lès-Nancy. France

PROBLEMATIQUE

La diversification du substrat et le développement de la co-digestion sont nécessaires pour la rentabilité des unités de méthanisation. Cette disposition conduit les exploitants à accepter de nombreux intrants externes qu'ils ne maîtrisent pas, d'où un risque important de dysfonctionnement pouvant conduire à l'arrêt de l'unité. Le développement de la co-digestion implique la caractérisation de la composition biochimique du substrat ainsi que la compréhension de son impact sur les performances du réacteur. Prédire les performances du procédé de digestion anaérobie en fonction de la recette d'alimentation est l'un des challenges du développement de la filière. Les résultats que nous avons présentés lors des Journée Recherche et Innovation 2016 ont montré qu'il est possible de prédire, par l'utilisation d'une analyse spectroscopique, la composition biochimique en sucres, protéines, lipides, demande chimique en oxygène, potentiel méthanogène, cinétique d'hydrolyse du substrat. Cette approche, PLAN, validée en laboratoire a permis le développement d'un outil de typage rapide du substrat afin d'en extraire ses caractéristiques clés.

L'objectif de la présente étude est le pilotage des unités de méthanisation par le choix des intrants maximisant les performances du digesteur. Pour cela, deux types d'informations sont nécessaires, les paramètres biologiques de fonctionnement du digesteur et les paramètres propres aux substrats indiqués ci-dessus. Nous proposons l'interfaçage de deux outils. L'outil de supervision MeMo® (BioEnTech**), qui permet l'estimation des paramètres biologiques décrivant le digesteur et son optimisation en temps réel. Le deuxième outil est le typage PLAN par spectroscopie des substrats décrit ci-dessus. Grâce à la combinaison de ces deux outils, un modèle dynamique prédisant, en fonction de son état actuel, l'effet de l'ajout d'un substrat dans le digesteur est implémenté (Figure 1). Cependant, la difficulté de mise en œuvre de cet outil se trouve dans l'équipement initial de l'unité où, en milieu agricole par exemple, seule la mesure de la composition du biogaz est généralement disponible. D'autres capteurs simples et robustes tel que le pH et le débit de gaz sont nécessaire représentant moins de 2% du coût d'une installation.

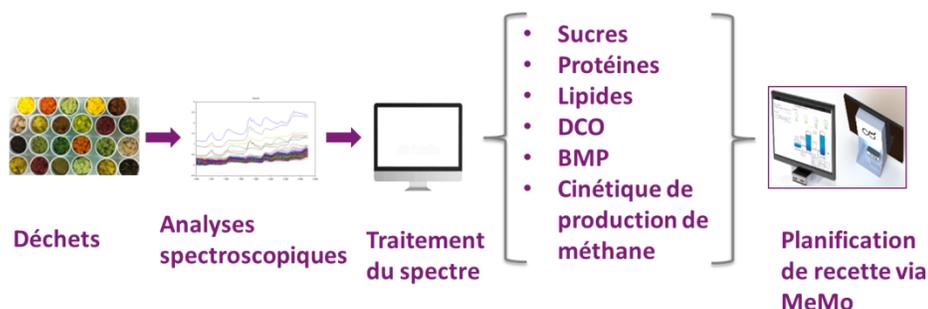


Figure 1: Approche MeMo PLAN pour la planification de recette

La justesse des performances prédites par rapport aux performances réelles ainsi que le gain et les contraintes de cette approche pour l'opérateur seront analysés sur des unités équipées de MeMo. Actuellement MeMo est installé sur des unités de méthanisation industrielle, collective et de boues de station d'épuration. L'analyse des gains de cette approche sera étendue sur une unité de méthanisation agricole.

MATERIEL & METHODES

Caractérisation des substrats

Les échantillons sont dans un premier temps lyophilisé et broyé puis scanné par réflectance de 1000-2500 nm, avec une résolution de $2.5 \cdot 10^6$ nm, en utilisant un BUCHI NIR-Flex N-500 spectrophotomètre solides équipé avec l'accessoire « vial » (Buchi®, Flawil, Suisse). Les spectres sont ensuite analysés par l'outil PLAN. Il se base sur un modèle de corrélation entre le spectre obtenu par spectroscopie et la composition biochimique du substrat par régression des moindres carrés partiels (PLS). Un résultat type de l'analyse PLAN sur déchet vert est donné dans le tableau 1.

Table 1: Exemple d'analyse PLAN

Paramètre	Unité	Caractérisation PLAN
BMP Nm^3	$\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t MS}$	252
Cinétique de biodégradabilité	$\text{DCO}(\text{substrat})/\text{DCO}(\text{biomasse})/\text{jours}$	0.38
DCO totale	$\text{kgO}_2/\text{t MS}$	1093
DCO biodégradable	$\text{kgO}_2/\text{t MS}$	721
Protéine	% MS	19
Glucides solubles	% DCO	42
Lipides	% MS	5

Suivi des performances et modélisation du procédé

Le système MeMo® permet de centraliser les données relatives à l'unité (capteurs en ligne, analyses laboratoire, données SNAC®, etc...) et d'optimiser les performances de l'unité qu'il supervise grâce à des *modules métiers*. Les modules métiers exploitent les données disponibles en quasi-temps réel. Les modules métiers sont des modèles et/ou algorithmes mathématiques du type ADM1, équations algébriques et différentielles, analyses des jeux de règles par logique floue développés en partenariat INRA/INRIA/BioEnTech. Les modèles utilisés sont calibrés en permanence sur les données les plus récentes via une fenêtre de temps mobile et prennent en compte les performances réelles de l'unité supervisée.

Cas d'application : exemple de monté en charge

Une unité de méthanisation traitant environ $12\,000 \text{ kgDCO} \cdot \text{j}^{-1}$ pour une production d'environ $90 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de biométhane est prise en exemple d'un cas d'application. Sur cette unité, le système de diagnostic de MeMo a montré la sous charge de l'unité (voir Figure 4). Cette sous charge est estimée à $8000 \text{ kg} \cdot \text{DCO} \cdot \text{j}^{-1}$ pour que le procédé soit sur sa plage nominale de fonctionnement. Le but est de permettre la production supplémentaire de $50 \text{ Nm}^3/\text{h}$ représentant une augmentation de plus de 50% de la production de biométhane, afin de rentabiliser l'injection de biogaz dans le

réseau. A partir des analyses PLAN et des données collectées par MeMo nous avons donc simulé les performances du digesteur avec une augmentation de charge.

RESULTATS & DISCUSSION

Dans un premier temps, les données historiques de l'unité sont utilisées afin de calibrer le modèle ADM1 inclus dans MeMo (Figure 2). Cela permet d'ajuster l'ensemble des paramètres ADM1 relatifs au procédé tel que la biomasse active, la constante d'inhibition de l'ammoniac, la cinétique de digestion des AGV, etc...

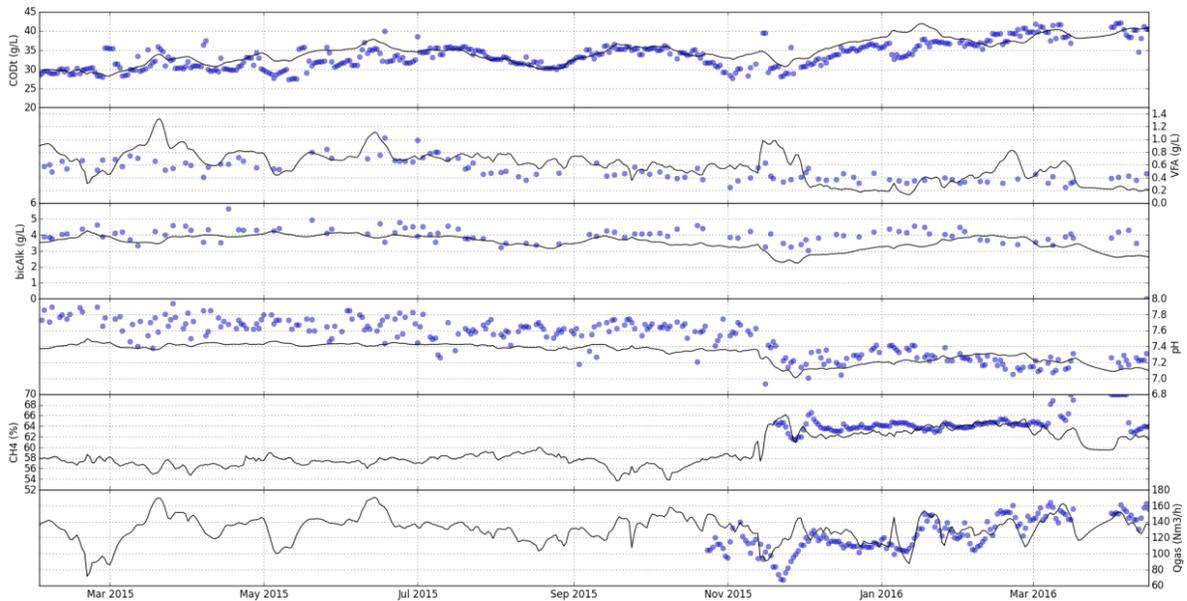


Figure 2: Modélisation des données historiques. Les points bleus représentent les données expérimentales, les lignes représentent les données modélisées par le modèle ADM1 de MeMo®. La première ligne représente la DCO (g/L), la seconde les AGV (g/L), la troisième le bicarbonate (g/L), la quatrième le pH, la cinquième, la teneur en méthane (%) et la dernière le débit de biogaz (Nm³/h)

L'analyse PLAN est utilisée pour typer 4 substrats disponibles pour être ajouté à la recette actuelle. Grâce aux résultats obtenus, les performances méthanogènes des substrats peuvent être comparées de façon simple par l'opérateur pour l'aider à définir les substrats optimaux (Figure 3). Contrairement au simple BMP, cette analyse prend en compte aussi les notions de composition biochimique mais surtout de cinétique, fondamentales au choix du substrat le plus adapté au digesteur. L'analyse PLAN suggère que l'échantillon n°4 possède les meilleures performances méthanogènes, avec une cinétique acceptable par rapport au temps de séjour et un BMP élevé. En accord avec l'objectif initial, l'ajout de 8 000 kgDCO/j est simulé utilisant le modèle ADM1 calibré et les caractéristiques du substrat (Figure 4) afin d'anticiper les performances du digesteur associées. A partir de cette simulation, l'opérateur peut estimer les gains de cet ajout sur l'ensemble des variables prises en compte par le modèle tel que la production et la composition du biogaz, l'abattement de la DCO, la production d'AGV et d'ammoniac...etc.

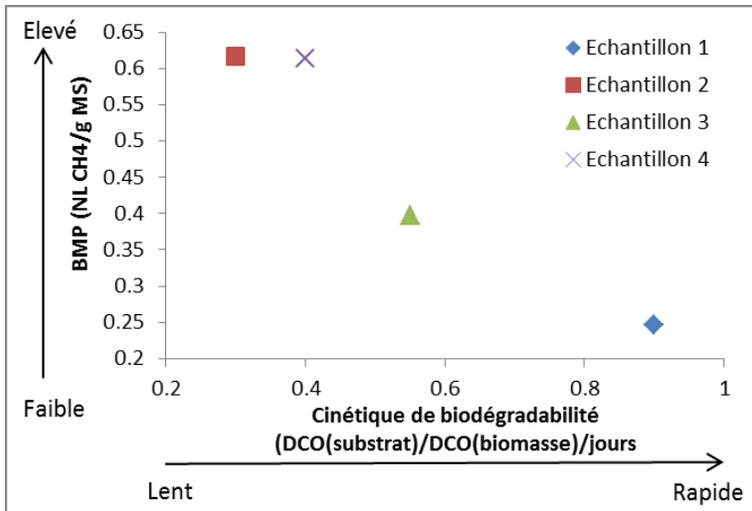


Figure 3: Performances de cinétique et de rendement des échantillons à partir des prédictions d'analyses PLAN

Ces données sont aussi utilisées par MeMo[®] pour définir des indicateurs de plus haut niveau basés sur de la logique floue tel que le diagnostic de charge du digesteur, prédisant si le digesteur sera sur ou sous-chargé, ou encore le diagnostic de l'état du digesteur, permettant, en cas de surcharge, d'en donner les raisons (surcharge hydraulique, acidose, toxicité, lessivage).

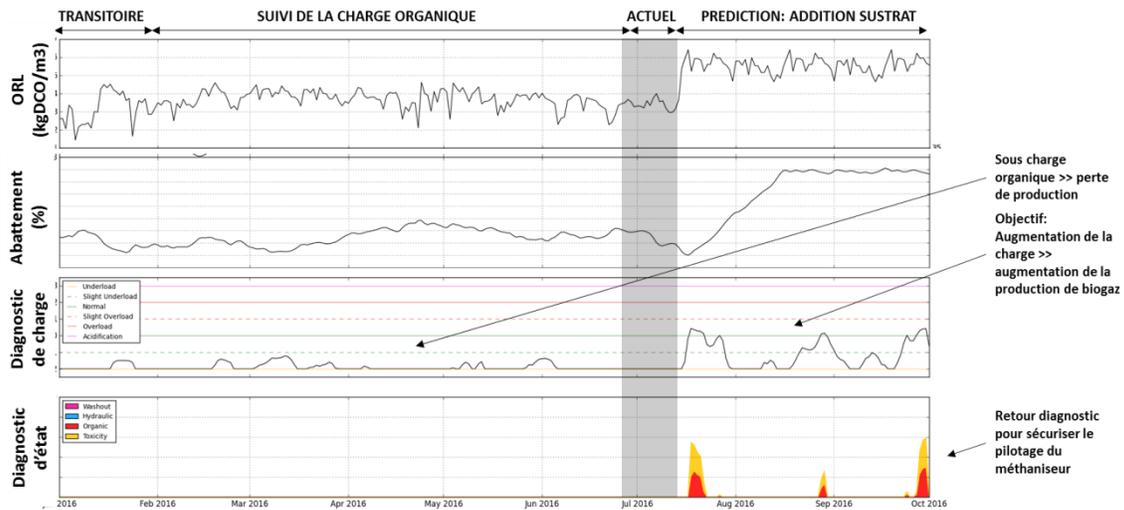


Figure 4: MeMo + module Plan : prédiction des performances de production et diagnostic anticipé du réacteur. Les paramètres du modèle ADM1 utilisés par MeMo-PLAN sont calibrés sur la fenêtre de « suivi de la charge organique » et validés sur la fenêtre « Actuel » afin d'être utilisés de façon fiable pour prédire les performances de digestion anaérobie. Dans le graphique est donné un exemple de la prédiction de l'abattement de la DCO et de l'état du digesteur (diagnostic) en fonction de la charge organique (ORL)

Cet exemple d'application démontre que l'utilisation de MeMo PLAN aide à comprendre et anticiper le comportement du digesteur (Etat de charge, production de méthane, taux d'abattement, inhibition, risque d'acidification). La prochaine étape est, en accord avec le responsable du site et en considérant les contraintes d'approvisionnement, d'augmenter pas à pas la charge organique par l'ajout de nouveaux substrats, pour arriver à une plage de fonctionnement optimale.