

# ***Caractérisation cinétique de la biodégradation de substrats solides et application à l'optimisation et à la modélisation de la co-digestion***

Mokhles Kouas

La méthanisation ou digestion anaérobie représente un des secteurs majeurs du développement durable et de l'économie circulaire. Cette filière s'inscrit dans le cadre de la mise en place de politiques de réduction de la dépendance énergétique et des émissions de gaz à effet de serre. Le biogaz est une source d'énergie renouvelable qui peut être utilisée pour la production d'électricité, de chaleur ou encore directement injectée dans les réseaux de gaz naturel. Actuellement, le développement de la méthanisation en France se caractérise par une grande diversité des déchets organiques utilisés et leur utilisation en co-digestion (la biodégradation simultanée de deux ou plusieurs déchets). Cependant, le manque de solutions spécifiquement adaptées à la diversité des déchets représente un obstacle à la rentabilité des unités de méthanisation et au développement de ce secteur à l'échelle industrielle. D'où le besoin du marché d'accéder à des outils innovants et robustes pour caractériser les déchets organiques (les intrants) et pour prédire et optimiser les performances des digesteurs. L'objectif général de cette thèse est d'étudier la méthanisation de déchets solides afin de mieux comprendre le comportement de digesteurs pour optimiser leur alimentation, leur dimensionnement et leur performance ainsi que le développement d'un modèle prédictif associé.

La première partie étudie la méthanisation de chaque déchet individuellement afin de les caractériser en fonction de leur potentiel méthanogène idéal (BMP : *Biochemical Methane Potential*) et de leurs vitesses de dégradation.

Dans ce cadre, un nouveau protocole expérimental a été développé et mis en œuvre. En collaboration avec plusieurs acteurs, 50 expériences ont été réalisées, traitant des déchets solides ayant des origines différentes : des déjections animales, des fruits et légumes, des déchets industriels... En parallèle, un nouveau modèle dynamique (qui prédit la production de méthane en fonction du temps) a été développé et appliqué sur les données expérimentales générées et une base de données a été établie incluant les potentiels en méthane (BMP) et les vitesses de dégradation de ces 50 substrats.

La deuxième partie porte sur l'étude du comportement de co-digesteurs. En outre, des expériences traitant plusieurs mélanges de deux déchets solides ont été menées à charge organique (le flux de matière entrant dans le digesteur) constante puis à charges organiques croissantes pour étudier la performance et la stabilité de digesteurs.

La troisième partie a pour but de modéliser la production de méthane de co-digesteurs en utilisant le modèle et la base de données développés. Une approche de modélisation, pour laquelle la production expérimentale de méthane correspondait bien aux données modélisées, a été validée. Cette approche a ensuite été appliquée à des mélanges plus complexes de 3 et 5 intrants ainsi qu'à des biodéchets parmi lesquels des déchets industriels. Enfin, comme autre application industrielle, la réponse d'un digesteur fonctionnant en mode de production

flexible, c'est-à-dire recevant des surcharges organiques ponctuelles et régulières a été également modélisée avec succès.

Cette thèse fournit un outil innovant et robuste pouvant être utilisé par les bureaux

d'études, les constructeurs et les exploitants d'unités de méthanisation pour l'optimisation des mélanges de co-digestion et des paramètres de fonctionnement à utiliser. Cela contribuera à réduire le risque de défaillance et à optimiser la rentabilité des unités de co-digestion.

**Laboratoire d'accueil :** La thèse s'est déroulée à l'interface entre les équipes «Développement Technologique et Innovation (DTI)» et «Système, Analyse, Modélisation et Informatique (SAMI)» du Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE) de l'INRA de Narbonne, l'une des entités scientifiques de référence en Europe sur la production de biogaz, dans le cadre de l'école doctorale GAIA de l'Université de Montpellier.



Le LBE se donne comme défi scientifique de développer le concept de bioraffinerie environnementale qui consiste à traiter les sous-produits des activités humaines (déchets, résidus agricoles, effluents) et les valoriser en ressources d'intérêt industriel (bioénergies, biomolécules, amendement organique) tout en minimisant leur impact environnemental et sanitaire. Au sein du LBE, l'équipe «Développement Technologique et Innovation» a comme objectif d'assurer l'interface entre la recherche conduite au LBE et le milieu industriel et de répondre à des demandes en recherche appliquée/développement provenant des acteurs économiques tandis que l'équipe SAMI vise à développer des méthodes et des outils dans les domaines de l'instrumentation, des mathématiques appliquées et de l'informatique, incluant une composante d'évaluation environnementale via des approches de type Analyse de Cycle de Vie.

Plus d'informations sur : <https://www6.montpellier.inra.fr/narbonne/>

**Soutenance de la thèse :** La thèse a été soutenue le 21 juin 2018 à l'Institut Universitaire de Technologie (IUT) de Narbonne devant le jury composé de : Sihem Tebbani, professeur (CentraleSupélec, Gif-sur-Yvette), rapportrice; Ridha Ben Cheikh, professeur (ENIT, Tunis), rapporteur; Valentin Fougerit, ingénieur (NASKEO Environnement, Malakoff), examinateur; Mohamed Chamkha, professeur (LBPE CBS, Sfax), président du jury; Jérôme Harmand, directeur de recherche (LBE INRA, Narbonne), directeur de thèse; Sami Sayadi, professeur (LBPE CBS, Sfax), directeur de thèse; Michel Torrijos, ingénieur de recherche (LBE INRA, Narbonne), encadrant.

Un résumé de la thèse est disponible sur : <http://www.theses.fr/2018MONTG021>

**Et après la thèse ?** Mokhles Kouas travaille depuis mi-octobre 2018 au sein du Centre d'Expertise Industrielle sur les Gaz Renouvelables (CEIGAR) du Métier Chaîne du Gaz d'ENGIE, en tant qu'expert en biologie de la méthanisation. Il apporte un soutien au groupe en développant un support technique de haut niveau en biologie pour les *business units* d'ENGIE avec un appui général aux études et projets en développement. Il assure la mise en place des outils industriels prédictifs de co-digestion ainsi que l'évaluation, l'optimisation et le contrôle de la performance opérationnelle des unités du groupe.