AVIS DE SOUTENANCE D'UNE THESE DE DOCTORAT

Le Doyen de la Faculté des Sciences a le plaisir d'informer le public qu'une soutenance de thèse de Doctorat en

« Physique et Applications »

aura lieu le 26/07/2023 à 10H à la Salle Polyvalente de la Faculté des Sciences Kénitra

La Thèse sera présentée par **Mr EL GNAOUI YASSER**

Sous le thème :

Assessment of methods applied for anaerobic digestion improvement of food waste focusing on pretreatment technics and anaerobic co-digestion with olive mill wastewater

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Titre	Etablissement
MAHJOUB CHAKIR	**Président**	**Faculté des Sciences, Kénitra**
LAILA MANDI	**Rapporteur**	**Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech**
ABDELGHANI EL ASLI	**Rapporteur**	**Al Akhawayn University**
MOHAMMED BAKHOUYA	**Rapporteur**	**Université Internationale de Rabat**
WAIL EL BAZI	**Examinateur**	**ENSA, Khouribga**
MOHAMMED IGOUZAL	**Examinateur**	**Faculté des Sciences, Kénitra**
MIRKO BARZ	**Co-Directeur de thèse**	**Université des Sciences Appliquées, Berlin**
EL BARI HASSAN	**Directeur de thèse**	**Faculté des Sciences, Kénitra**

UNIVERSITE IBN TOFAIL ★ PÔLE DES ETUDES DOCTORALES ★ KENITRA

Nom et Prénom : EL GNAOUI YASSER
Date de soutenance : 26/07/2023
Directeur de Thèse : EL BARI HASSAN

Sujet de thèse:

Assessment of methods applied for anaerobic digestion improvement of food waste focusing on pretreatment technics and anaerobic co-digestion with olive mill wastewater

Résumé:

Les déchets organiques, principalement les déchets alimentaires (FW) des hôtels, des restaurants, des ménages et des cantines, contiennent une teneur élevée en humidité et en particules organiques facilement biodégradables, qui peuvent être classées FW comme un substrat approprié pour la digestion anaérobie (DA). La DA des FW a été largement étudiée ces dernières années, ce processus est caractérisé par quatre étapes importantes : hydrolyse suivie d'une acidogénèse, d'une acétogénèse puis d'une méthanogénèse.

Au stade de l'hydrolyse, diverses bactéries produisent des enzymes hydrolytiques qui décomposent les particules solides et les polymères (protéines, polysaccharides, acides aminés, etc.) en composés monomères et dimères (sucres, acides organiques, acides aminés). Cependant, il est connu que cette étape est l'étape limitante au cours de la MA. Cependant, plusieurs approches de prétraitement ont été développées pour optimiser la DA en termes de production de biogaz et de temps de rétention du substrat dans les digesteurs, telles que le prétraitement mécanique (ultrasons, haute pression), chimique (acide, alcalin), thermique et biologique.

Par conséquent, l'amélioration AD de FW a été étudiée dans la thèse suivante en suggérant des approches de prétraitement et de co-digestion avec un autre déchet, tel que les eaux usées des moulins à huile. Tout d'abord, il a été déterminé comment le prétraitement thermique (TP) affectait les caractéristiques physico-chimiques et augmentait le rendement en méthane (MY). Les résultats ont montré que la SCOD soluble augmentait en fonction de la température et de la durée, atteignant 68,54 ± 2,4 mg/L à (100°C, 30 min), soit 43,41 % de plus que le FW non traité. D'autre part, TP a réduit la quantité de VS par rapport au contrôle. De plus, lorsque FW qui avait été prétraité à 100°C pendant 30 minutes jusqu'à AD, le MY a donné 382,82 mL CH_4/g de VS, soit 23,68 % de plus que le témoin. Le degré de biodégradabilité est passé de 83,2 ± 3 % à 91,4 ± 4,1 %, soit une augmentation de 9,8. Pour favoriser la génération de biogaz et la transformation de la biomasse à l'aide de la DA, deux approches de prétraitement (TP et pré-hydrolyse biologique BPH) ont été proposées pour le FW. Dans les tests par lots, l'impact de TP, qui comprend TP à 60 °C et 80 °C pendant 60 min et TP à 100 °C, 120 °C et 140 °C pendant 30 min, ainsi que BPH à 37 °C , 55°C, 37°C suivi de 55°C et 55°C suivi de 37°C pendant 40 heures, a été évalué. Les résultats ont été évalués par rapport au FW non traité. La concentration de SCOD et l'efficacité de l'hydrolyse ont été augmentées par le BPH et le TP de 371,17 ml CH_4/g VS pour le FW non traité à 471,95 ml CH_4/g VS, la MY s'est améliorée. Le MY maximum de BPH a été observé à 37°C pendant 20 heures puis à 55°C pendant 20 heures. Les prétraitements ont diminué la phase de latence et accéléré la production de biogaz. Trois techniques statistiques - analyse en composantes principales, information mutuelle et R au carré - ont été utilisées pour analyser les facteurs qui avaient la plus forte influence sur le MY. Les résultats ont minimisé l'impact du surajustement et permis une modélisation précise de la production de méthane. Les résultats étaient bons et les valeurs prédites étaient alignées sur celles mesurées. En fin de compte, une co-digestion (AcoD) de FW et d'effluents d'huilerie OMWW a été recommandée pour améliorer la DA de FW. Divers co-substrats avec différentes teneurs en OMWW (20 à 80 %) ont été préparés et évalués. Le mélange 20 % OMWW : 80 % FW avait le MY et la biodégradabilité les plus élevés, avec des valeurs de 302,16 ± 3,04 mL CH_4 / gVS et 86,0 ± 4,1 %, respectivement. Tous les mélanges étaient stables, à l'exception du test de contrôle mono AD de OMWW, conformément aux résultats de l'enquête sur la stabilité du procédé à l'aide de l'alcalinité et du rapport d'acides gras volatils VFA/ALK. La présence simultanée d'ions bicarbonate et d'ions ammoniac issus de la dégradation des protéines en FW peut être à l'origine de cette stabilité. Au fur et à mesure que les charges ajoutées augmentaient au cours de l'étude menée, l'OLR augmentait. Le mélange 20 % OMWW : 80 % FW avait un OLR supérieur de 2,0 ± 0,1 kg VS/m3.j à l'OLR du test témoin de 1,45 ± 0,05 kg VS/m3.j. De plus, deux modèles cinétiques ont été utilisés (modèle de Gompertz modifié et modèle logistique). Les résultats ont révélé que les deux modèles avaient une bonne conformité, mais que le modèle de Gompertz modifié était plus approprié car il avait une valeur R^2 plus élevée que le modèle logistique. De plus, à mesure que la proportion d'OMWW augmentait, le temps de latence diminuait.

Mots clés: Disgestion anérobique, Déchets alimentaires, Biogaz, Margines, Prétraitements, Co-digestion, Pre-hydrolyse biologique, Prétraitement thermique, Models cinétiques, Mutual information, R-square, Principal Component analysis.

Abstract:

Organic waste, mainly food waste (FW) from hotels, restaurants, and household and canteens, contains a high moisture and organic particulate matter content easily biodegradable, which can be classified FW a suitable substrate for anaerobic digestion (AD). The AD of FW has been extensively studied in recent years, this process is characterized by four important steps: hydrolysis followed by acidogenesis, acetogenesis and then methanogenesis.

In the hydrolysis stage, a variety of bacteria produce hydrolytic enzymes that break down solid particles and polymers (proteins, polysaccharides, amino acids, etc.) into monomeric and dimeric compounds (sugars, organic acids, amino acids). However, it is known that this step is the limiting step during AD. However, several pre-treatment approaches were developed to optimize AD in terms of biogas production and retention time of substrate in digesters, such as mechanical (ultrasound, high pressure), chemical (acid, alkali), thermal and biological pre-treatment.

Hence, the AD improvement of FW was investigated in the following thesis by suggesting pretreatment approaches and co-digestion with another waste, such as olive mill wastewater. First, it was determined how thermal pretreatment (TP) affected the physico-chemical characteristics and increased methane yield (MY). The results shown that soluble SCOD increased as a result of temperature and duration, reaching 68.54 ± 2,4 mg/L at (100°C, 30 min), which was 43.41% greater than untreated FW. On the other hand, TP reduced the amount of VS in comparison to the control. In addition, when FW which had been pretreated at 100°C for 30 minutes through AD, the MY resulted in 382.82 mL CH_4/g of VS, which is 23.68% more than control. The amount of biodegradability rose from 83.2 ± 3% to 91.4 ± 4.1 % showing an increase of 9.8. To promote the generation of biogas and transformation of biomass using AD, two pretreatment approaches (TP and biological pre-hydrolysis BPH) were proposed for FW. In batch testing, the impact of TP, which includes TP at 60°C and 80°C for 60 min and TP at 100°C, 120°C, and 140°C for 30 min, as well as BPH at 37°C, 55°C, 37°C followed by 55°C, and 55°C followed by 37°C for 40 hours, was assessed. The results were evaluated against untreated FW. The SCOD requirement and hydrolysis efficiency were raised by the BPH and TP. From 371.17 ml CH_4/g VS for untreated FW to 471.95 ml CH_4/g VS, the MY improved. BPH maximum MY was observed at 37°C for 20 hours and then 55°C for 20 hours. The pretreatments decreased the lag phase and accelerated the production of biogas. Three statistical techniques—principal component analysis, mutual information, and R-squared—were used to analyze the factors that had the strongest influence on the MY. The outcomes minimized the
overfitting impact and permitted accurate modeling of the methane output. The results were good, and the predicted values lined up with the measured ones. Ultimately, a co-digestion (AcoD) of FW and olive mill effluent OMWW was recommended to improve AD of FW. Various co-substrates with varying OMWW contents (20–80%) were prepared and evaluated. The 20% OMWW: 80% FW mixture had the highest MY and biodegradability, with values of 302.16 ± 3.04 mL CH_4 / gVS and 86.0 ± 4.1%, respectively. All mixes were stable, with the exception of the control test mono AD of OMWW, in line with the results of the investigation through into process stability using alkalinity and the volatile fatty acids ratio VFA/ALK. The simultaneous presence of bicarbonate ions and ammonia ions from the breakdown of the proteins in FW may be the cause of this stability. As the added loads increased during the conducted study, the OLR increased. The 20% OMWW: 80% FW mixture had an OLR that was 2.0 ± 0.1 kg VS/m3.d higher than the control test's OLR of 1.45 ± 0.05 kg VS/m3.d. Moreover, two kinetics models were used (modified Gompertz model and the Logistic model). The results revealed that both models had good conformance, but that the modified Gompertz model was more suitable because it had a higher R^2 value than the logistic model. Furthermore, as the OMWW proportion rose, the lag time decreased.

Keywords: Anaerobic digestion, Food waste, Biogas, Olive mill wastewater, Pretreatments, Co-digestion, Biological pe-hydrolysis, Thermal pretreatment, Kinetic model, Mutual Information, R-square, Principal component analysis.