

Nom et Prénom : EL AZHAR MARYEM

Date de soutenance : 13/06/2022

Directeur de Thèse : KRIBII ABDELAZIZ RAMADANE

Sujet de Thèse :

Epuration anaérobie et valorisation énergétique de la vinasse issue de la distillerie d'alcool en conditions mésophiles : Expérimentation industriel et Modélisation

Résumé :

La digestion anaérobie (DA) représente un élément clé dans la dynamique de développement durable contribuant d'une part à la valorisation verte des déchets organiques sous forme de biogaz et d'engrais et d'autre part, d'éliminer la fraction organique. Ce travail porte sur la valorisation énergétique de la vinasse issue de la distillerie d'alcool en conditions mésophiles : Expérimentation industriel et Modélisation.

Le suivi journalière et périodique de l'opération de la DA confirme le bon fonctionnement du procédé. Aucune inhibition du processus de méthanisation n'a été relevé au cours des suivies. Pour une charge appliquée de $4,2 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{j}$, soit 10 jours de temps de séjour et une valeur de pH voisine de la neutralité, le taux d'abattement de la DCO atteint les 85% avec une production journalière de 11600 m^3 de biogaz ainsi qu'un taux de biodégradabilité de 63%. La digestion anaérobie de la vinasse a donné d'un potentiel méthanogène de plus de $745\ 038\ 103 \text{ m}^3/\text{an}$, un potentiel d'énergie électrique et thermique de $193\ 499 \text{ kWh/an}$, $7\ 667\ 223.31 \text{ MJ/an}$ et à un potentiel fertilisant de 2.55 tonnes. L'utilisation de biogaz par voie thermique permet à SOTRAMEG de réduire la consommation mensuelle du fioul de presque 60% et de bénéficier ainsi de presque un montant de $304.276,5 \text{ DH/mois}$ qui correspond $1.825.659 \text{ DH/six mois}$.

Ces résultats ont fait l'objet d'une étude statistique à l'aide du calcul du coefficient de corrélation de (Person) consécutif à la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le test ANOVA. L'analyse des corrélations effectuées dans le cadre de la présente recherche, laisse voir des corrélations positives s'approchant de 1 (sup à 0,9) entre la CVA, pH, la DCO% et la T, et entre les AGV, le rapport AGV/Alc et l' Alc. Une corrélation négative a été trouvée entre la production du méthane et le TRH. Au-delà d'un temps de séjour optimal, la teneur du méthane produit diminue suite à la diminution de l'activité biologique. De plus, l'analyse des résultats d'ANOVA test confirme l'existence d'une forte relation entre la CVA et la production cumulée de biogaz avec une valeur du coefficient (R^2) estimée à 0.96.

Les résultats obtenus à partir des modèles cinétiques étudiés dans ce travail, à savoir le modèle cinétique de Gompertz, Richards et logistique montrent que la différence entre le biogaz prédit et mesuré est de moins de 5%. Bien que les trois modèles aient des valeurs de R^2 souhaitablement élevées supérieures à 0,90, le modèle de Gompertz modifié est le mieux adapté au substrat de vinasse vu qu'il présente la plus courte phase de latence pour produire du biogaz ($a=146.7\text{d}$) ainsi qu'une vitesse de production très courte ($R_m=9320.064 \text{ m}^3/\text{h}$).

Finalement, l'optimisation et la modélisation de la DA via le plan d'expériences utilisant (RSM) nous a permis d'avoir des informations sur l'effet des différents paramètres testés (CVA, pH, TRH) sur la production de méthane, la concentration des AGV et la dégradation de la charge organique (DCO%). De plus, les valeurs de la désirabilité trouvées pour les trois réponses étudiées sont parfaites (≤ 1) pour les réponses ciblées (la DCO%, le méthane produit et la concentration des AGV). Ce qui confirme que les modèles proposés simulent parfaitement le procédé de la digestion anaérobie (DA).

Mots clés : biogaz, digestion anaérobie, digesteur, vinasse, méthanisation, potentiel énergétique, potentiel fertilisant, modélisation, réponse de surface méthodologie (RSM).

Abstract :

Anaerobic digestion (AD) represents a key element in the dynamics of sustainable development contributing on the one hand to the green recovery of organic waste in the form of biogas and fertilizer and on the other hand, to eliminate the organic fraction. This work focuses on the energy recovery of vinasse from the alcohol distillery in mesophilic conditions: Industrial Experimentation and Modeling..

The daily and periodic monitoring of the AD operation confirms the proper functioning of the process. No inhibition of the methanisation process was noted during the follow-ups. For an applied load of 4.2 kg /m³.d, i.e. 10 days of residence time and a pH value close to neutrality, the COD reduction rate reaches 85% with a daily production of 11,600 m³ of biogas as well as a biodegradability rate of 63%. The anaerobic digestion of vinasse gave a methanogenic potential of more than 745 038 103 m³, an electrical and thermal energy potential of 193 499 kWh/year, 7 667 223.31 MJ/year and a fertilizing potential of 2.55 tons. The use of biogas by thermal means allows SOTRAMEG to reduce the monthly consumption of fuel oil by almost 60% and thus to benefit from almost an amount of 304,276.5 DH/month which corresponds to 1,825,659 DH/six months.

These results were the subject of a statistical study using the calculation of the correlation coefficient of (Person) following the method of Principal Component Analysis (PCA) and the ANOVA test. The analysis of the correlations carried out within the framework of the present research, reveals positive correlations approaching 1 (greater than 0.9) between the CVA, pH, the COD% and the T, and between the VFAs, the AGV/Alc ratio and Alc. A negative correlation was founded between methane production and TRH. Beyond an optimal residence time, the content of the methane produced decreases following the decrease in biological activity. In addition, the analysis of the ANOVA test results confirms the existence of a strong relationship between the CVA and the cumulative production of biogas with a value of the coefficient (R²) estimated at 0.96.

The results obtained from the kinetic models studied in this work, namely the kinetic model of Gompertz, Richards and logistic show that the difference between the predicted and measured biogas is less than 5%. Although all three models have desirably high R² values greater than 0.90, the modified Gompertz model is best suited to stillage substrate as it exhibits the shortest lag phase to produce biogas (a=146.7 d) as well as a very short production speed (Rm=9320.064 m³/h).

Finally, the optimization and modeling of the DA using response surface methodology (RSM) allowed us to have more informations on the effect of the different parameters tested (CVA, pH, TRH) on the production of methane, the concentration of VFAs and the degradation of the organic load (COD%). Moreover, the values of desirability found for the three answers studied are perfect (<=1) for the targeted responses (COD%, methane produced and the concentration of VFAs). These results confirm that the proposed models perfectly simulate the process of anaerobic digestion (AD).

Keywords: biogas, anaerobic digestion, digester, vinasse, anaerobic digestion, energy potential, fertilizing potential, modeling, response surface methodology (RSM).