

Biométhanation du syngaz : Développement d'un dispositif expérimental pour la caractérisation des paramètres biocinétiques

Mathis LEMONNIER^{1,2}, Julie FIGUERAS¹, Hassen BENBELKACEM¹ et Pierre BUFFIERE¹

¹Laboratoire DEEP, INSA de Lyon, France

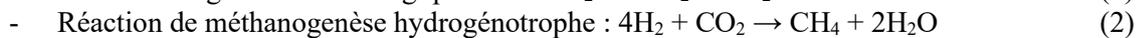
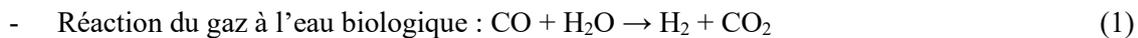
²ENOSIS, France

mathis.lemonnier@insa-lyon.fr

RÉSUMÉ

La croissance démographique mondiale est associée à l'augmentation de la demande en énergie et à l'augmentation de la production de déchets. La valorisation énergétique de déchets ménagers ou issus de l'industrie du bois est une solution permettant de faire face conjointement à ces deux enjeux (par Paniagua, S en 2022). Dans ce contexte, la pyrogazéification ou la gazéification hydrothermale de ces déchets permet de produire un gaz de synthèse (ou syngaz), contenant principalement du CO₂, du CO, du H₂, du N₂ mais également des composés minoritaires tels que des goudrons et des composés organiques volatils (COV). Le syngaz peut être valorisé en méthane, vecteur énergétique avantageux car permettant de tirer parti des infrastructures existantes de gestion du gaz naturel d'origine fossile. La voie biologique (biométhanation) est intéressante par rapport à la voie catalytique en raison de la tolérance à certains composés notamment l'H₂S.

En régime thermophile à 55°C, la biométhanation du syngaz consiste en la conversion par des micro-organismes du CO₂, du CO et du H₂ en méthane à travers deux réactions (par Grimalt-Aleman, A en 2020) :



Les micro-organismes participant à ces réactions sont présents dans la phase liquide, impliquant la nécessité de solubiliser les gaz réactifs. Le transfert de matière gaz-liquide est alors l'étape limitante dans la conversion des substrats gazeux (Asimakopoulos, K en 2018).

Figueras, J en 2022 a mené des travaux démontrant la faisabilité d'un procédé de biométhanation du syngaz à l'échelle pilote, dans une colonne pressurisée agitée, en utilisant un consortium microbien sélectionné à partir de boues digérées de station d'épuration. Les travaux menés ont soulevé l'éventualité de phénomènes d'inhibition par des composés mineurs du syngaz et du CO sur l'activité de certains groupes de micro-organismes. Cependant, ces phénomènes d'inhibition doivent être caractérisés plus finement. En effet, l'étude des phénomènes d'inhibition doit être opérée dans des conditions expérimentales où la vitesse de transfert gaz-liquide est non limitante, afin de déterminer les paramètres biocinétiques (modèle de Monod) ainsi que les constantes d'inhibition (modèle d'Andrews) : l'enjeu de ce travail est donc le développement d'un dispositif expérimental adapté pour caractériser la cinétique biologique de la conversion du syngaz.

Pour un substrat donné i , le transfert de matière est matérialisé par $\frac{dn_i}{dt}$ et sa vitesse de consommation par les microorganismes par r_i :

$$\frac{dn_i}{dt} = -k_{L,i} a \times V_L (K_{H,i} P_i - S_i) \quad (3)$$

$$r_i = \frac{\mu_{m,i} X_i}{Y_{X,i}} \frac{S_i}{K_{S,i} + S_i} \quad (4)$$

Pour favoriser une situation de limitation par la cinétique biologique, le transfert de matière gaz-liquide peut être amélioré par l'utilisation d'une pression élevée P_i , et la vitesse biologique limitée par le choix d'une faible concentration en biomasse X_i . Dans cette optique, un banc d'essai composé de réacteurs batch agités et pressurisés a été conçu. Afin de déterminer, dans un premier temps, les paramètres cinétiques de la réaction de méthanogenèse hydrogénotrophe, un ratio de gaz de 80% H₂ et 20% CO₂ a été initialement choisi. Une pression initiale de 7,5 bars absolus et deux concentrations en biomasse ont été testées (60-120 mg_{MES}/l). Un suivi au cours du temps de la pression, du pH, du potentiel d'oxydo-réduction et de la composition des gaz en sortie a

été réalisé. A notre connaissance, c'est la première fois qu'une démarche expérimentale visant à s'affranchir de la limitation par le transfert pour caractériser les paramètres biologiques est mise en place, notamment à haute pression.

Sur la Fig. 1, l'évolution de la pression totale et du nombre de moles d' H_2 dans le ciel gazeux est représentée. Une vitesse de consommation des substrats moins importante est observée pour la concentration de 60 mg_{MES}/l par rapport à 120 mg_{MES}/l. Si le transfert de matière gaz-liquide était limitant, les vitesses de consommation seraient semblables et assimilables à une vitesse de transfert gaz-liquide. Ce résultat indique qu'une limitation par la cinétique biologique est observée à minima à 60 mg_{MES}/l (Fig. 1).

Ces résultats montrent la validité du dispositif et de la démarche expérimentale visant à obtenir un régime non limité par le transfert. Les paramètres de la cinétique biologique seront ensuite déterminés à partir du calage d'un modèle biocinétique sur les résultats expérimentaux. Ces résultats permettent d'envisager la conduite de tests d'activité pour étudier l'inhibition par le CO et les composés mineurs du syngaz dans des conditions nécessaires de limitation par la cinétique biologique.

MOTS-CLES DU THEME

Carburants (gaz, liquide), Nouvelles énergies

MOTS-CLES LIBRES

Biométhanation, Syngaz, Biocinétique, Tests d'activité méthanogène, Modélisation

FIGURES

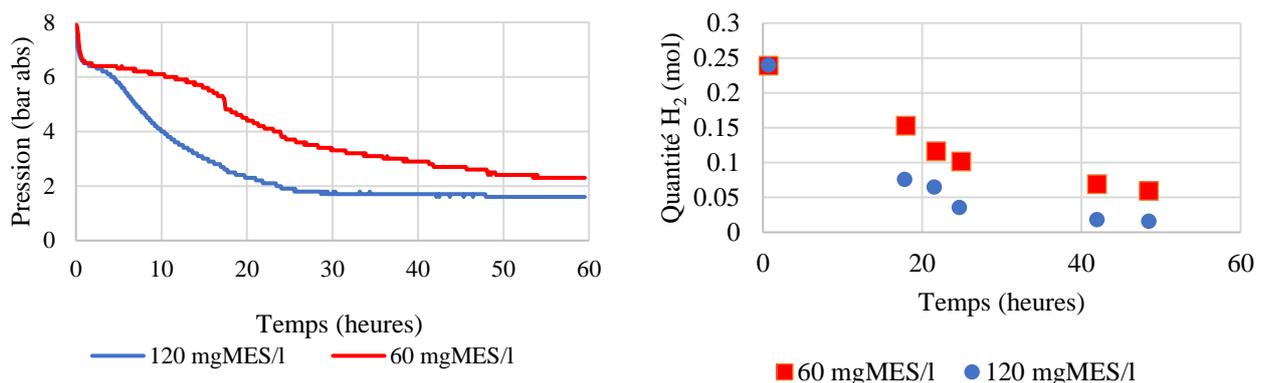


Fig. 1. Évolution de la pression et de la quantité d' H_2 dans le ciel gazeux au cours du temps

RÉFÉRENCES

Asimakopoulos, K.; Gavala, H. N.; Skiadas, I. V. Reactor Systems for Syngas Fermentation Processes: A Review. *Chemical Engineering Journal* **2018**, *348*, 732–744. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.003>.

Figueras, J. Biométhanation Du Syngaz, Étude Cinétique et Mise En Oeuvre à l'échelle Pilote, Université de Lyon, INSA de Lyon, 2022.

Grimalt-Aleman, A.; Łężyk, M.; Kennes-Veiga, D. M.; Skiadas, I. V.; Gavala, H. N. Enrichment of Mesophilic and Thermophilic Mixed Microbial Consortia for Syngas Biomethanation: The Role of Kinetic and Thermodynamic Competition. *Waste Biomass Valor* **2020**, *11* (2), 465–481. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00595-z>.

Paniagua, S.; Lebrero, R.; Muñoz, R. Syngas Biomethanation: Current State and Future Perspectives. *Bioresour Technol* **2022**, *358*, 127436. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127436>.

Vega, J. L.; Clausen, E. C.; Gaddy, J. L. Design of Bioreactors for Coal Synthesis Gas Fermentations. *Resources, Conservation and Recycling* **1990**, *3* (2–3), 149–160. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(90\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0921-3449(90)90052-6).