

## **Biométhanation du syngaz issu de pyro-gazéification : gestion des inhibitions pour un pilotage efficace.**

### **Contexte**

Dans une optique d'économie circulaire, la valorisation des déchets en énergie s'impose comme une stratégie répondant à la fois aux besoins en sources d'énergie décarbonées et aux défis liés à la gestion des déchets. Parmi ces filières, la pyro-gazéification permet de valoriser des déchets hétérogènes et solides (bois, plastiques, CSR<sup>1</sup>) en produisant du syngaz, un mélange de **N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO et CH<sub>4</sub>**, contenant également des composés minoritaires (goudrons, composés soufrés ou halogénés...).

Afin de faciliter le stockage et le transport de cette énergie, le syngaz peut être converti en méthane par méthanation, permettant ainsi son injection dans les infrastructures existantes du gaz naturel. La méthanation biologique, ou biométhanation, apparaît comme une alternative prometteuse à la méthanation catalytique, car elle fonctionne dans des conditions opératoires plus douces (températures et pressions plus faibles). Elle est également réputée plus résistante aux impuretés du syngaz, qui peuvent désactiver les catalyseurs.

Cependant, à forte concentration, le CO contenu dans le syngaz inhibe certains groupes de micro-organismes. Le processus de biométhanation est régi par le couplage du transfert du substrat gazeux vers le liquide et des réactions biologiques assurant sa conversion. Des travaux préliminaires ont montré que les micro-organismes carboxydrotrophes, consommant le CO, sont les plus sensibles à l'inhibition par ce composé (Figueras *et al.*, 2021). Cependant, lorsqu'ils sont en concentration suffisante, la réaction biologique de conversion du CO est supérieure à la vitesse de transfert : le CO est alors converti plus vite qu'il n'est transféré au liquide, maintenant ainsi une concentration de CO dissous faible et inférieure à la limite inhibitrice (Figueras, 2022).

L'enjeu est donc que le CO soit consommé plus vite qu'il n'est transféré du gaz au liquide, en maintenant une concentration en biomasse carboxydrotrophe suffisamment élevée. Cette concentration en biomasse varie au cours de la réaction : sans inhibition, elle augmente en parallèle de la conversion du CO. En revanche, en cas d'inhibition partielle ou totale, elle stagne, voire diminue en raison de la mortalité cellulaire.

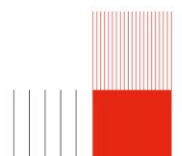
L'enjeu de pilotage d'un réacteur en continu réside donc dans la gestion du **couple concentration en micro-organismes/concentration dissoute en inhibiteur**.

Un banc d'essai pour caractériser l'activité biologique en présence de limitation par le transfert de matière et d'inhibition par le CO a été développé au laboratoire. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence les mécanismes d'inhibition explicités ci-dessus ainsi que de déterminer les paramètres biocinétiques des réactions biologiques.

Cependant, une problématique majeure réside dans la mesure de la concentration en biomasse carboxydrotrophe active et en CO dissous, des paramètres clés pour le pilotage qui restent aujourd'hui mal caractérisés.

---

<sup>1</sup> Combustibles Solides de Récupération.



## Objectifs de la thèse

### Enjeux analytiques

Un objectif premier de la thèse sera de développer une méthode de mesure de la biomasse active (fluorimétrie, MES, DO, qPCR, suivi CODH...). Le taux de décès de la biomasse, en particulier lorsqu'elle est exposée à des composés toxiques, sera également étudié.

D'autre part, une méthodologie d'analyse du CO dissous sera développée (sonde en ligne, désorption...). De plus, le suivi en continu du potentiel redox sera exploré en tant que proxy, des travaux préliminaires ayant suggéré que cette mesure pourrait permettre d'anticiper une inhibition par le CO.

### Stratégies de pilotage

Les travaux s'appuieront sur une approche couplée de suivi d'un pilote expérimental de laboratoire et de modélisation. L'objectif sera d'analyser l'évolution du couple concentration en micro-organismes/concentration dissoute en CO afin de définir des stratégies de pilotage du procédé de biométhanation du syngaz, notamment pour :

- la montée en charge,
- la relance après un dysfonctionnement.

Dans un premier temps, l'élaboration d'un modèle du réacteur continu permettra de simuler différents scénarios, afin de sélectionner des conditions expérimentales à mettre en place sur le pilote de laboratoire.

Les stratégies de pilotage ainsi anticipées par simulation pourront ensuite être testées sur le pilote afin de valider le modèle.

Le modèle établi pourra ensuite être modifié pour être généralisé à un pilote industriel.

Enfin, la méthodologie développée pour l'étude de l'inhibition par le CO pourra être appliquée à l'évaluation de l'impact de certains composés mineurs du syngaz. Des tests sur temps longs pourront être réalisés pour étudier une éventuelle adaptation du consortium microbien.

## Profil recherché

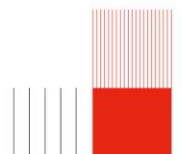
Le profil attendu privilégie une formation de base en génie des procédés / bioprocédés, un goût prononcé pour le travail expérimental, l'esprit d'équipe, ainsi que des compétences en modélisation.

## Environnement

Le travail sera réalisé au sein du laboratoire DEEP de l'INSA. Il est également soutenu par la société ENOSIS, acteur français de la méthanation biologique.

### Contacts :

INSA Lyon DEEP : Hassen Benbelkacem ([hassen.benbelkacem@insa-lyon.fr](mailto:hassen.benbelkacem@insa-lyon.fr)), Pierre Buffière ([pierre.buffiere@insa-lyon.fr](mailto:pierre.buffiere@insa-lyon.fr)), Julie Figueras ([julie.figueras@insa-lyon.fr](mailto:julie.figueras@insa-lyon.fr)), ([www.deep.insa-lyon.fr](http://www.deep.insa-lyon.fr)).



## **Biomethanation of Syngas from Pyro-Gasification: Managing Inhibitions for Effective Process Operation**

### **Context**

In a circular economy perspective, waste-to-energy conversion emerges as a strategy that addresses both the need for decarbonized energy sources and waste management challenges. Among these processes, pyro-gasification enables the valorization of heterogeneous and solid waste (wood, plastics, RDF<sup>2</sup>) by producing syngas, a mixture of **N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, and CH<sub>4</sub>**, which also contains minor compounds (tars, sulfur or halogenated compounds...).

To facilitate the storage and transport of this energy, syngas can be converted into methane through methanation, allowing its injection into existing natural gas infrastructure. Biological methanation, or biomethanation, appears as a promising alternative to catalytic methanation, as it operates under milder conditions (lower temperatures and pressures). It is also considered to be more resistant to syngas impurities, which can deactivate catalysts.

However, at high concentrations, the CO contained in syngas inhibits certain groups of microorganisms. The biomethanation process is governed by the coupling of gaseous substrate transfer to the liquid and the biological reactions ensuring its conversion. Preliminary work has shown that carboxydrotrophic microorganisms, which consume CO, are the most sensitive to inhibition by this compound (Figueras *et al.*, 2021). However, when they are present at a sufficient concentration, the biological conversion rate of CO exceeds the mass transfer rate: CO is then converted faster than it is transferred into the liquid, thus maintaining a low dissolved CO concentration, below the inhibitory threshold (Figueras, 2022).

The challenge is therefore to ensure that CO is consumed faster than it is transferred from gas to liquid, by maintaining a sufficiently high concentration of carboxydrotrophic biomass. This biomass concentration varies during the reaction: without inhibition, it increases alongside CO conversion. However, under partial or total inhibition, it stagnates or even decreases due to cell mortality.

The challenge in operating a continuous reactor therefore lies in managing the **relationship between microorganism concentration and dissolved inhibitor concentration**.

A test bench has been developed in the laboratory to characterize biological activity under mass transfer limitation and CO inhibition. The results obtained have highlighted the inhibition mechanisms described above and have enabled the determination of the biokinetic parameters of the biological reactions.

However, a major issue remains the measurement of active carboxydrotrophic biomass concentration and dissolved CO concentration—key parameters for process control that are still poorly characterized.

---

<sup>2</sup> Refuse-Derived Fuel

## Objective

### Analytical Challenges

A primary objective of the thesis will be to develop a method for measuring active biomass (fluorimetry, TSS, OD, qPCR, CODH monitoring...). The biomass death rate, particularly when exposed to toxic compounds, will also be studied.

Additionally, a methodology for analyzing dissolved CO will be developed (online probe, desorption...). Furthermore, continuous monitoring of redox potential will be explored as a proxy, as preliminary work has suggested that this measurement could help anticipate CO inhibition.

### Operating Strategies

The research will rely on a combined approach involving laboratory-scale pilot monitoring and modeling. The objective will be to analyze the evolution of the microorganism concentration/dissolved CO concentration relationship to define operating strategies for syngas biomethanation, particularly for:

- load ramp-up,
- restart after malfunction.

Initially, the development of a continuous reactor model will allow the simulation of various scenarios to select experimental conditions to be implemented on the laboratory pilot.

The operating strategies anticipated through simulation will then be tested on the pilot to validate the model.

The established model can then be modified to be generalized to an industrial pilot.

Finally, the methodology developed for studying CO inhibition could be applied to assess the impact of certain minor syngas compounds. Long-term tests may be conducted to investigate potential microbial consortium adaptation.

## Expected profile

Background in process or bioprocess engineering, interested in experimental work, good team spirit, modelling skills.

## Environment

The thesis will be done at the DEEP laboratory at INSA Lyon. The project is also supported by the company ENSOSIS, a French company specializing in biological methanation.

**Contacts :** Hassen Benbelkacem ([hassen.benbelkacem@insa-lyon.fr](mailto:hassen.benbelkacem@insa-lyon.fr)), Pierre Buffière ([pierre.buffiere@insa-lyon.fr](mailto:pierre.buffiere@insa-lyon.fr)), Julie Figueras ([julie.figueras@insa-lyon.fr](mailto:julie.figueras@insa-lyon.fr)), laboratoire DEEP, INSA Lyon ([www.deep.insa-lyon.fr](http://www.deep.insa-lyon.fr)).

