



Appel à projet n° 2-04

Date limite d'envoi des réponses : **vendredi 13 septembre 2019**

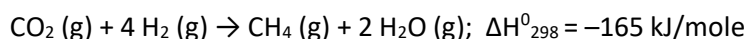
Bio-méthanation *in situ* par injection de dihydrogène *Etat de l'art technico-économique et potentiel d'émergence*

Contexte

La plupart des déchets organiques fermentescibles peuvent être convertis par digestion anaérobie (méthanisation) en un mélange gazeux, appelé biogaz, composé majoritairement de méthane (~60%) et de dioxyde de carbone (~40%). Après purification et séparation du CO₂, le biogaz devient du biométhane (CH₄ > 95%), qui devient alors injectable dans les réseaux de distribution et de transport de gaz naturel, ou peut-être comprimé pour une valorisation en tant que carburant (GNV). Néanmoins, ce type de procédé reste coûteux.

Une autre solution permettant de réaliser cet enrichissement en CH₄ et, *a priori*, à moindre coût, est l'injection directe de dihydrogène dans le réacteur de méthanisation, technique désignée par la « bio-méthanation *in situ* ».

Il s'agit d'une transformation biologique anaérobie impliquant la conversion exothermique d'un mélange H₂/CO₂ en méthane, par action d'agents méthanogènes hydrogénotrophes, utilisant le dioxyde de carbone (CO₂) de leur milieu comme source de carbone, en présence de dihydrogène, comme agent réducteur :



La bio-méthanation *in situ* permet un enrichissement du biogaz allant jusqu'à 98% en CH₄ (Kougiass et al., 2017).

Cependant, le fait que le dihydrogène soit cinq cent fois moins soluble que le CO₂ dans un substrat aqueux à 60°C, pose le problème de la présence du dihydrogène en solution pour qu'il soit en contact avec les populations méthanogènes hydrogénotrophes.

La mise en œuvre du procédé peut être réalisée par injection directe *in situ* de dihydrogène dans le méthaniseur (Bassani et al., 2016), ou bien par la mise en place d'un bioréacteur dédié alimenté par un mélange biogaz / hydrogène (Rachbauer et al., 2016 ; Bassani et al., 2017).

Afin de permettre la synthèse d'un biométhane à faible empreinte carbone, l'hydrogène doit être produit à partir d'une source électrique renouvelable (solaire, éolien, hydro-électrique) ou à faible empreinte carbone (nucléaire), par exemple *via* l'électrolyse de l'eau.

Ainsi, parmi les enjeux techniques et environnementaux liés à la mise en œuvre de ces procédés, on peut citer les équipements et modalités nécessaires à l'utilisation du dihydrogène (production,

maintenance, stockage, voire transport éventuel) et les coûts associés mais aussi, les adaptations techniques requises de l'unité de méthanisation à l'usage de dihydrogène.

Objectifs

Au regard du contexte présenté ci-dessus, les objectifs principaux de ce travail sont les suivants :

- Etudier les différentes technologies de bio-méthanation *in situ* possibles, ainsi que leur niveau de maturité,
- Evaluer les possibilités d'optimisation du rendement de production en CH₄ d'un méthaniseur par injection/dispersion directe d'H₂,
- Etudier la pertinence technico-économique de ces technologies en tenant compte des différentes voies possibles d'obtention du dihydrogène,
- Etablir le potentiel d'émergence comparé des différents procédés de bio-méthanation *in situ* des déchets organiques. Mettre en évidence les freins et les leviers correspondants en indiquant les enjeux de R & D associés.

Contenu de l'étude - Programme de travail

*Le proposant fera preuve d'initiative quant à la **structuration du projet** et présentera dans sa réponse une organisation appropriée de la mission ; organisation qui devra permettre de répondre au mieux aux objectifs énoncés, notamment via la réalisation des éléments demandés ci-dessous.*

Le prestataire retenu effectuera une revue rapide des matières et gisements associés, issus de déchets organiques, pouvant être méthanisés de manière conventionnelle, en précisant les différentes technologies possibles, ainsi que les pouvoirs méthanogènes associés obtenus (Nm³CH₄/kg matière sèche).

Il détaillera les principes et réactions biochimiques mises en œuvre lors de la bio-méthanation *in situ*, par ajout de dihydrogène dans les méthaniseurs, en précisant les populations méthanogènes hydrogénotrophes impliquées.

Il explicitera les principales conditions opératoires, notamment :

- Les différents modes de stockage/manutention du dihydrogène,
- Les différents modes de dispersion/dissolution du dihydrogène dans le substrat, permettant d'améliorer le transfert d'H₂ dans ces réacteurs,
- Les cinétiques biochimiques de conversion de H₂/CO₂ en CH₄ et les rendements obtenus.

Il précisera les techniques actuellement disponibles en production de dihydrogène¹ et particulièrement celles à faible empreinte Carbone (reformage du biogaz, électrolyse de l'eau, etc.). Dans le cas d'une production de dihydrogène par électrolyse, il précisera le type de technologie utilisable ou en développement (AEC, Alkaline Electrolysis Cells, PEMC, Polymer Electrolyte Membrane Cells, SOEC, Solid Oxide Electrolysis Cells), en indiquant leurs avantages/inconvénients, en termes de performances (kWhe/Nm³ de H₂ produit) et coûts d'équipement et de fonctionnement. Il indiquera, dans chaque cas, le coût du dihydrogène produit (€ HT/kg H₂).

Il détaillera, par ailleurs, dans quelle mesure il est pertinent d'utiliser de l'électricité excédentaire dans les cas de faibles demandes (heures creuses).

¹ Référence RECORD en lien : RECORD, Production d'hydrogène à partir de déchets. Etat de l'art et potentiel d'émergence, 2015, 226 p, n°13-0239/1A

Le prestataire explicitera la composition détaillée du gaz obtenu et, en particulier, son taux d'impuretés (H₂S, siloxanes, ...). Les informations sur les comparaisons de composition avec un biométhane obtenu de manière conventionnelle seront recherchées. Il précisera le type de traitement complémentaire à mettre en œuvre, si nécessaire, pour la mise aux spécifications du biométhane afin que celui-ci puisse être injecté sur les réseaux de distribution et transport du gaz naturel, ou comprimé pour une valorisation en tant que carburant (GNV).

Il fournira les rendements effectifs finaux de conversion obtenus par cette technique, en production de CH₄ injectable sur réseau (ou utilisé en GNV) par Nm³/kg de matière entrante et par kg d'H₂ consommé, en précisant le coût final de production du CH₄ produit (€/kg CH₄ ou €/kWh CH₄, exprimé en pouvoir calorifique supérieur).

Il évaluera l'évolution prévisible, à terme, des coûts de production du dihydrogène. Il indiquera les coûts d'équipement et de fonctionnement associés, en fonction de la taille des unités, permettant d'en déterminer un éventuel optimum économique. Une comparaison technico-économique des différentes filières, en particulier, celles mettant en œuvre des unités classiques d'épuration (PSA, amines, ...), sera réalisée.

Le prestataire indiquera l'état de développement des technologies correspondantes identifiées, en Europe et dans le monde.

A l'aide de l'ensemble des données recueillies, le prestataire établira, en s'appuyant sur un groupe d'experts, le potentiel d'émergence de ladite technologie. Il élaborera une feuille de route pour le développement de la technique jugée la plus économiquement viable.

Il établira un inventaire des forces en R&D, ainsi que le potentiel d'industrialisation à l'échelle française ou européenne, sur le sujet, en se basant, autant que possible, sur des cas concrets.

Enfin, et si la faisabilité technico-économique paraît prometteuse, il déterminera le type d'expérimentation à conduire sur une échelle suffisamment représentative, qui pourra être lancée, *via*, par exemple, un travail postdoctoral ou de thèse sur le sujet.

- ✓ *Une fois les principaux éléments d'informations réunis, la construction d'une **étude de cas** d'une installation de bio-méthanation in situ par injection de dihydrogène (même sur base théorique) pourrait être un plus lors de l'évaluation des réponses à l'appel à projet.*
- ✓ *En complément d'un travail de recherche bibliographique internationale, le prestataire s'appuiera sur un **groupe d'experts**, qu'il constituera pour l'occasion. Le proposant explicitera dans sa réponse sa méthode de constitution du groupe puis de travail avec ces personnalités.*

Durée de l'étude

12 mois

Cadre budgétaire

38 000 euros hors taxes

Déroulement de l'étude et livrables exigés

- **Déroulement d'une étude et procédures à suivre :**

<https://www.record-net.org/deroulement-etude/>

- Il est à noter qu'en fin de projet, à l'issue des réunions de travail telles que décrites dans la page ci-dessus, l'équipe organisera une réunion de restitution d'une heure environ par web conférence (système supporté par RECORD). Ce webinar aura pour but de présenter de manière didactique, les résultats détaillés de l'étude à l'ensemble des membres de RECORD et à toute personne que RECORD souhaitera convier.

- **Livrables**

- Au minimum, 1 rapport intermédiaire en français (rapport « rédigé », pas de rendu sous forme de Powerpoint),
- 1 rapport final en français (rapport « rédigé », pas de rendu sous forme de Powerpoint),
- 1 diaporama en français présentant de manière synthétique les principaux enseignements de l'étude (powerpoint d'une vingtaine de slides),
- 1 diaporama en anglais présentant de manière synthétique les principaux enseignements de l'étude (powerpoint d'une vingtaine de slides),
- 1 synthèse détaillée des travaux en français et en anglais (environ 3000 mots par langue),
- Animation d'un webinar (comme explicité ci-dessus).

Des compléments d'information concernant ces livrables (modèles à suivre, diffusion, etc.) sont disponibles via le lien mentionné ci-dessus.

Valorisation

Si le contenu du travail réalisé le permet, l'équipe retenue sera tenue de participer, à la demande de RECORD, à des actions de valorisation des résultats acquis au terme de ce projet (publication, séminaire). La réponse à cet appel pourra intégrer un développement sur ce point (valorisation envisagée : oui / non, moyens de valorisation adaptés au sujet, etc.).

Dépôt des projets

Les projets devront impérativement être présentés en utilisant le **formulaire** disponible sur le site de RECORD, à la page de parution des appels d'offre.

Les réponses sont à retourner pour le **vendredi 13 septembre 2019** dernier délai (date d'envoi du courriel et du dépôt sur le site).

Chaque dossier doit impérativement être fourni à la fois :

1/ Par dépôt à l'adresse suivante :

<https://record-net.org/appels-d-offres>

2/ Par courriel à l'adresse :

contact@record-net.org

Evaluation des réponses

Au-delà de la conformité des réponses aux consignes mentionnées ci-dessus et au modèle de réponse demandé par RECORD, les principaux critères d'évaluation seront la qualité et l'argumentation de la réponse, les compétences de l'équipe candidate (expériences, publications, etc.), la qualité et la disponibilité du personnel mis à disposition pour la réalisation du projet.