

Projet OBIWAN

OBIWAN vise à convertir les flux de déchets organiques en produits chimiques avancés et en carburants aéronautiques durables. Après une digestion anaérobie initiale pour la production de biogaz, un mélange de CH_4 et de CO_2 , une conversion chimique ultérieure permettra d'exploiter le CO_2 en le transformant en produits chimiques. Le carbone excédentaire est capturé sous forme de carbone solide avec des applications, par exemple, dans l'épuration des gaz et les pneus. De cette manière, OBIWAN produira une technologie permettant d'atténuer le changement climatique, non seulement en évitant les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi en transformant ces gaz en produits à plus haute valeur ajoutée. Deux innovations majeures sont visées par le projet :

1) La conversion du biogaz en produits chimiques/carburants nécessite idéalement une composition de biogaz de 60% CH_4 et 40% CO_2 avec un minimum d'impuretés. Compte tenu de la variance des types de substrats et de leurs changements saisonniers, c'est un défi majeur, même à l'échelle du laboratoire, de produire du biogaz avec une composition stable. Pour cette raison, les mesures expérimentales seront complétées par le développement d'un outil numérique innovant permettant de simuler le processus de synthèse du biogaz et d'assurer un contrôle pertinent des réacteurs afin de garantir une production stable en termes de taux de production et de composition du gaz.

2) La décomposition catalytique du méthane en carbone solide et en gaz riche en H_2 comme produit secondaire gagne en popularité pour la production d'hydrogène - dit "turquoise" - de haute qualité. Cependant, cette production d'hydrogène se fait généralement au détriment des propriétés du carbone solide. Dans le cadre d'OBIWAN, l'objectif est de faire passer le processus axé sur l'hydrogène de l'échelle du laboratoire à celle de l'industrie. La preuve de concept sera démontrée dans un réacteur à lit fluidisé électrothermique (ETFB) original.

D'autres innovations importantes seront apportées en ce qui concerne la purification/séparation du biogaz ainsi que l'hydrogénation du CO_2 en méthanol.

Consortium OBIWAN



Remerciements



Contact

Elisabeth Delbeke

Elisabeth.Delbeke@UGent.be

+32 497 72 15 32



Interreg



France - Wallonie - Vlaanderen

OBIWAN

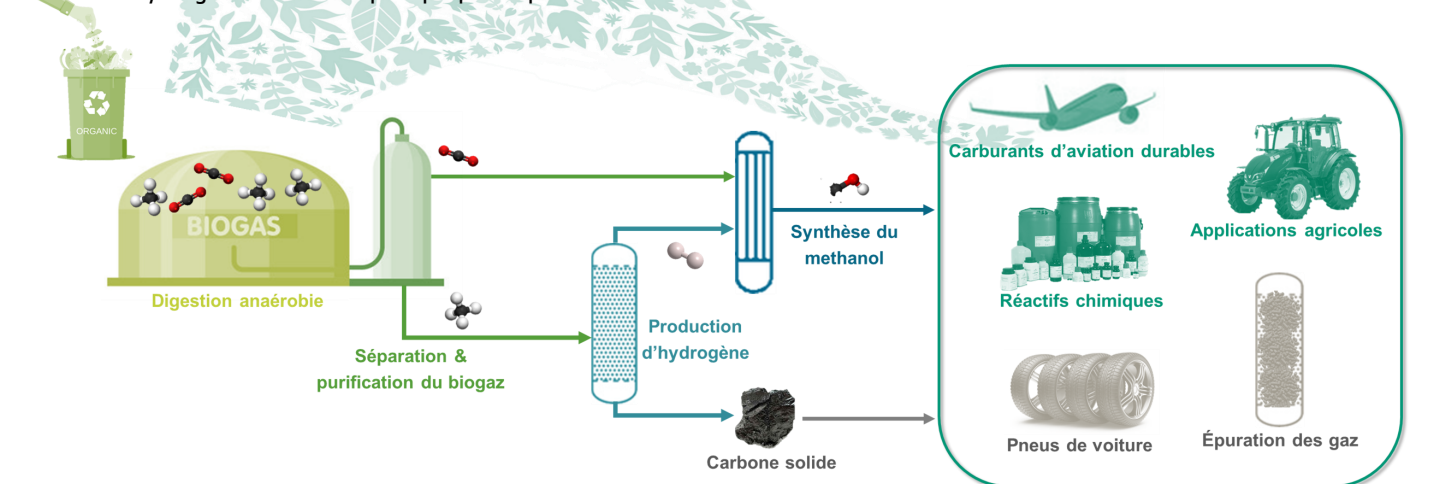


OBIWAN Inauguration officielle de l'ETFB - 30/04/2026

L'hydrogène devrait jouer un rôle clé dans la réduction des émissions sur la voie d'une société climatiquement neutre, avec une production annuelle qui devrait atteindre 150 millions de tonnes d'ici 2030. À l'heure actuelle, la majeure partie de l'hydrogène est encore produite par des procédés de reformage « gris » conventionnels, qui sont rentables mais génèrent d'importantes émissions de CO_2 . Son équivalent « bleu », qui capture une partie de ces émissions, entraîne tout de même des émissions considérables et double le coût de l'hydrogène produit. L'utilisation de l'eau comme matière première, comme c'est le cas pour l'hydrogène vert, s'accompagne quant à elle d'une augmentation des coûts en raison des besoins énergétiques élevés.

Quelle technologie peut surmonter ces deux défis, à savoir les coûts élevés et les émissions importantes ? La pyrolyse du méthane avec du biométhane ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) comme matière première offre une solution prometteuse en scindant directement le méthane en hydrogène et en carbone solide, évitant ainsi la formation de CO_2 pendant le processus. Le projet OBIWAN vise à faire progresser la pyrolyse du méthane en tant que technologie de pointe en se concentrant sur deux domaines clés : 1) la conception de catalyseurs intelligents pour améliorer les rendements en hydrogène et ajuster la production de carbone en tant que sous-produit, et 2) l'électrification du réacteur pour réduire davantage les émissions de CO_2 .

Dans le cadre du projet OBIWAN, un réacteur électrothermique à lit fluidisé a été retenu pour étudier la pyrolyse électrifiée du méthane catalysée par le carbone, en tant que voie innovante permettant de produire de l'hydrogène à faibles émissions ainsi que du carbone solide à haute valeur ajoutée. L'un des principaux défis de ce procédé réside dans la gestion des dépôts de carbone, qui peuvent entraîner des obstructions et des chutes de pression dans les réacteurs à lit fixe conventionnels. Pour y remédier, on a recours à la fluidisation du catalyseur, ce qui permet une meilleure répartition de la chaleur, une manipulation continue des solides et un fonctionnement stable à grande échelle. La conception du réacteur utilise l'effet de chauffage par effet Joule, préféré aux méthodes inductives ou à micro-ondes en raison de sa grande évolutivité. Dans un réacteur à lit fluidisé électrothermique, deux électrodes créent une différence de potentiel dans le réacteur qui fait circuler un courant électrique à travers les particules de catalyseur fluidisées. En raison de leur résistance électrique intrinsèque, les particules génèrent de la chaleur en leur sein, fournissant ainsi de l'énergie directement aux sites de réaction actifs. Cette approche combine un chauffage efficace et uniforme avec les avantages opérationnels de la fluidisation, offrant une voie prometteuse vers une production d'hydrogène électrifiée plus propre et plus rentable.



Dans le cadre du projet OBIWAN, en collaboration avec Vinci Technologies et TMEC, un réacteur électrothermique à lit fluidisé (ETFB) à la pointe de la technologie a été conçu et mis en service. Ce banc d'essai à l'échelle du laboratoire intègre l'expertise de pointe en génie mécanique et électrique du Laboratoire de technologie chimique, et répond aux normes de qualité élevées de nos installations existantes.

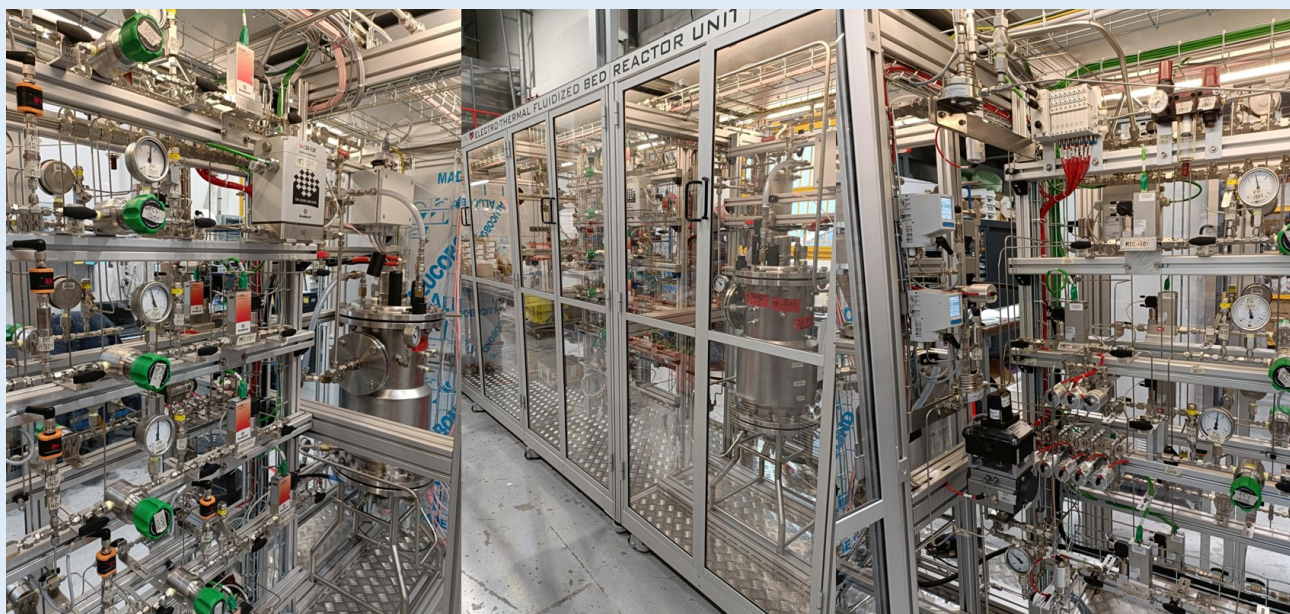
L'installation comprend trois sections principales : 1) une unité d'alimentation où les gaz sont préparés, mélangés, préchauffés et mis sous pression, 2) l'unité de réacteur, abritant le réacteur ETFB pour la pyrolyse du méthane, et (3) une unité d'analyse équipée d'un régulateur de contre-pression, d'un cyclone, d'un condenseur et d'équipements avancés d'analyse des gaz (analyseur de gaz de raffinerie et chromatographe en phase gazeuse) pour identifier et quantifier les produits allant des hydrocarbures légers aux composés polyaromatiques lourds.

La section d'alimentation est divisée en deux parties, reliées par une vanne à quatre voies à commande pneumatique. Une partie prépare des mélanges gazeux réducteurs, composés de méthane, d'hydrogène et d'hydrocarbures facultatifs, dilués avec de l'argon ou de l'azote. L'autre prépare des mélanges oxydants, composés d'air, d'oxygène, de CO₂, de vapeur d'eau et de gaz inertes pour la régénération du catalyseur. La vanne permet de basculer rapidement entre les flux, en dirigeant l'un vers le réacteur tout en évacuant l'autre. Avant d'entrer dans le réacteur ETFB, les gaz sont préchauffés dans la conduite d'alimentation. Tous les débits sont régulés avec précision à l'aide de régulateurs de débit massique thermiques ou à effet Coriolis de Bronkhorst.

Dans le réacteur ETFB, le mélange gazeux préchauffé fluidise les particules de catalyseur au carbone. Lorsqu'une tension est appliquée, un courant électrique circule depuis une électrode centrale à travers le lit fluidisé jusqu'à la paroi du réacteur, qui fait office de deuxième électrode. En raison de la résistivité des particules, de la chaleur est directement générée au niveau des sites catalytiques. Une fritte associée à des billes d'alumine céramique à la base du réacteur assure une distribution uniforme du gaz à l'entrée. Une chemise de refroidissement à eau aide à maintenir des conditions de fonctionnement stables. Le réacteur ETFB peut fonctionner en mode manuel ou automatisé. En mode manuel, la variable contrôlée est la puissance du réacteur, tandis que la variable dépendante est la température, influencée par la puissance d'entrée, les propriétés du catalyseur, la pression et le comportement de fluidisation. En mode automatisé, les variables contrôlées sont la température et la vitesse de chauffage, tandis que la variable dépendante est la puissance requise.

Voici quelques caractéristiques clés du réacteur:

- Diamètre du lit : 75 mm
- 700 – 1100 °C
- 1 – 3 bara
- 0 – 7 kW ($\Delta V_{\max} = 90$ V, $I_{\max} = 350$ A)
- 250 g/h de CH₄
- Profondeur d'immersion et matériau de l'électrode centrale flexibles



Grâce à la conception du réacteur, les paramètres clés du procédé peuvent être surveillés en continu et enregistrés en vue d'une analyse a posteriori. Il s'agit notamment des différences de pression dans le lit fluidisé, de plusieurs températures internes et des mesures de pression du lit, ce qui permet d'analyser et de valider la taille des bulles.

En aval du réacteur, un cyclone chauffé élimine les solides entraînés, tandis qu'un filtre protège le régulateur de contre-pression Equilibar afin d'assurer un contrôle précis de la pression. Un étalon interne calibré est introduit dans le flux gazeux à des fins de quantification, et tous les composants en aval du réacteur sont chauffés pour éviter la condensation, l'encrassement ou les obstructions.

Après le régulateur, le flux est divisé:

- Analyse des hydrocarbures : une ligne alimente un chromatographe en phase gazeuse ThermoScientific (FID) pour détecter les hydrocarbures, y compris les composés polyaromatiques lourds.
- Analyse des gaz légers : l'autre ligne passe par un condenseur pour isoler les produits lourds. Le gaz léger restant est séché via un filtre à drierite et analysé par un analyseur de gaz de raffinerie ThermoScientific. À l'aide de trois canaux dédiés, ce système identifie et quantifie les gaz légers, notamment le N₂, le CO, le CO₂, l'O₂, l'argon et les hydrocarbures en C₄ à C₅.



Ce réacteur apporte de nouvelles perspectives expérimentales sur l'interaction entre les trois piliers essentiels du procédé de pyrolyse du méthane par voie électrique : 1) le comportement de fluidisation, 2) l'efficacité thermique et 3) la chimie de la réaction. En observant ces facteurs conjointement au sein du réacteur ETFB, les chercheurs peuvent mieux comprendre les synergies nécessaires pour optimiser la coproduction d'hydrogène et de carbone solide et permettre la mise à l'échelle du procédé à des niveaux pertinents pour l'industrie.

Pour élucider l'interaction entre ces facteurs, des expériences initiales non réactives évalueront la corrélation entre le comportement de fluidisation et l'efficacité de chauffage. Réalisés en N₂, ces essais feront varier l'indice de fluidisation, les propriétés du catalyseur telles que la densité et le diamètre, ainsi que la puissance de chauffage. Cette approche permet de caractériser la résistivité du lit, un paramètre critique pour la modélisation du bilan énergétique, en fonction de l'indice de fluidisation, des propriétés du catalyseur, de la puissance de chauffage, de la température et de la pression.

Enfin, la réalisation d'expériences avec différentes compositions de gaz réactifs permettra de déterminer comment la chimie de la pyrolyse à haute température influe sur le comportement de fluidisation et le rendement thermique. Il s'agit principalement d'évaluer comment le dépôt de pyrocarbone lors de la pyrolyse du méthane, ainsi que les modifications associées de la structure et des propriétés du carbone et du diamètre du catalyseur, influencent le système. De plus, des effets secondaires tels que l'agglomération, l'attrition, l'encrassement des électrodes, la formation de suie et les risques d'arcs électriques entre les électrodes et les particules seront étudiés.

Afin de passer du réacteur de laboratoire au réacteur de qualité industrielle, une modélisation multi-échelle du réacteur électrothermique à lit fluidisé sera réalisée à partir des données expérimentales recueillies. Ces modèles permettront de prédire comment les performances varient en fonction des différentes échelles, des débits et des puissances de chauffage, et faciliteront la conception de réacteurs à l'échelle industrielle. Dans ce cadre, des modèles microcinétiques, couplés à des bilans de transfert de masse et de chaleur, tant à l'échelle des particules qu'à l'échelle du réacteur, seront développés à l'aide de deux méthodes : un modèle de réacteur à lit fluidisé biphasique en 1D couvrant divers régimes de fluidisation et un modèle CGDEM-CFD à résolution particulaire. Cette simulation permettra de modéliser l'effet Joule à l'échelle des particules en intégrant directement cet effet dans le cadre du modèle CFD.