

**Vaporeformage : production
d'hydrogène vert par reformage
de biogaz de station d'épuration
pour l'alimentation d'un
écosystème local de mobilité**

Essais de la STEP de l'Almanarre

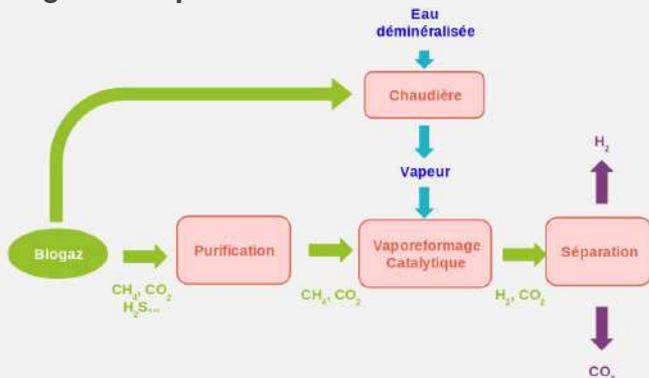
*Journées Techniques Eau et Déchets
INSA TOULOUSE*

01 juin 2022



Une filière de valorisation alternative du biogaz de station d'épuration

- La méthanisation des boues des stations d'épuration permet de produire un biogaz contenant 50 à 70% de méthane qui peut être valorisé :
 - en production d'électricité et de chaleur (cogénération)
 - en biométhane pour injection sur le réseau gaz naturel
 - en bioGNV pour alimenter des véhicules
- Il existe une autre filière de valorisation du biogaz qui consiste à produire de l'hydrogène via **une réaction de reformage à la vapeur**



Les objectifs du projet :

- **tester et optimiser une solution de reformage du biogaz de station d'épuration,**
- **comparer le reformage de biogaz avec les autres filières de valorisation à travers des études de faisabilité technico-économique et environnementale**

Les partenaires du projet :



Métropole Toulon Provence Méditerranée



Région Sud PACA



Syndicat Mixte Tryfil



SEV Energies Nouvelles

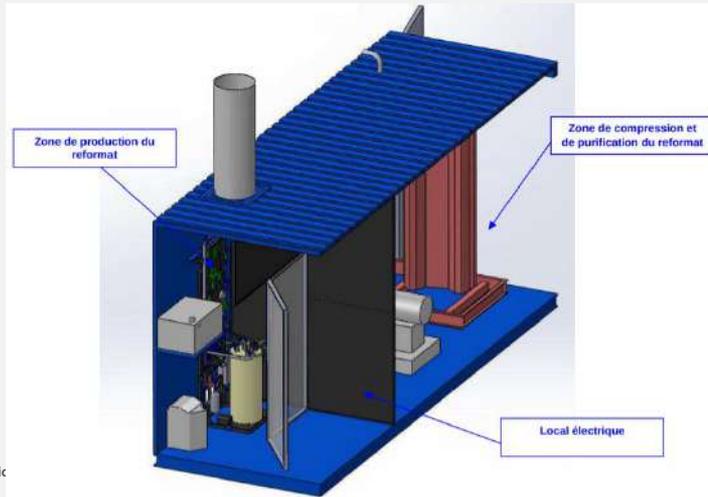


Exploitant de la station d'épuration

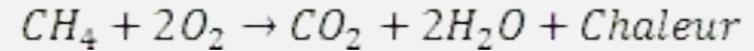


Descriptif du pilote de reformage de biogaz

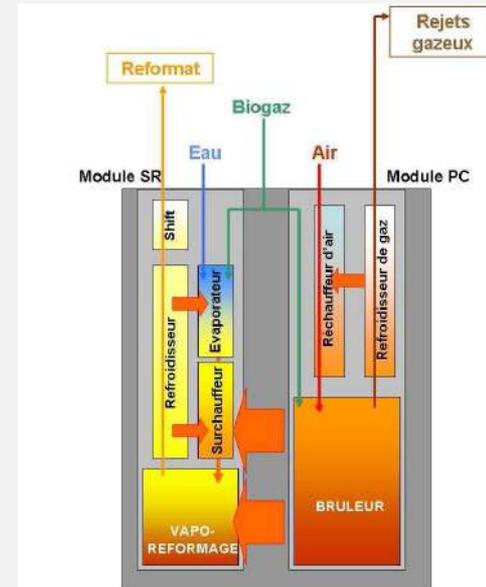
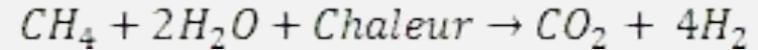
- Le pilote a été conçu dans le cadre du projet VabHyoGaz (2008-2014), avec notamment la participation de l'Ecole des Mines d'Albi, et développé sur le territoire du syndicat mixte Trifyl
- Le pilote permet de produire 10 kg par jour d'hydrogène à partir de 4 m³/h de biogaz
- Ces essais sur du biogaz de station d'épuration constituent une première
- L'hydrogène produit sera utilisé pour alimenter des véhicules utilitaires légers



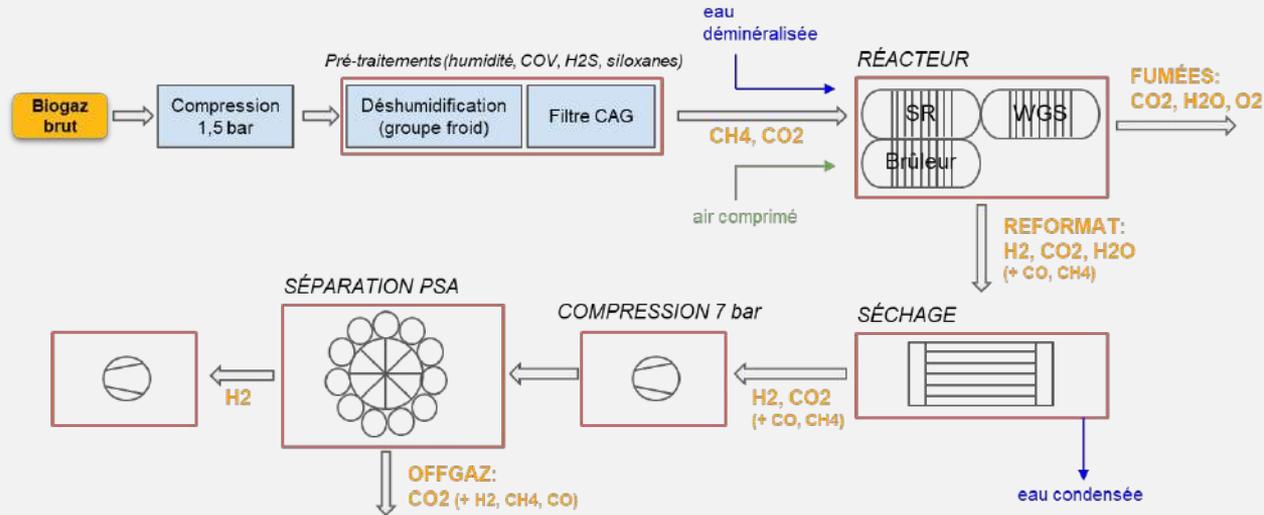
Réaction module de droite



Réaction module de gauche



Descriptif du pilote de reformage de biogaz



- déshydratation et filtration charbon actif du biogaz
- une partie du biogaz est utilisé pour fournir la chaleur de réaction (module de droite)
- le reformat composé de CO₂ et d'H₂, mais aussi de CO et de CH₄ résiduels, est produit au niveau du module de gauche
- l'eau résiduelle contenue dans le reformat est condensée avec un groupe frigorifique
- le reformat est ensuite comprimé avant la séparation de l'H₂ du CO₂ lors d'une étape PSA (Pressure Swing Adsorption)
- l'hydrogène purifié (99,9%) est ensuite comprimé et stocké

Implantation du pilote de reformage de biogaz



Premiers résultats des essais

Les paramètres réglables du pilote sont :

- la quantité de biogaz entrante
- la quantité d'eau minéralisée
- la vitesse de rotation de l'unité de purification

Les indicateurs de performance à optimiser :

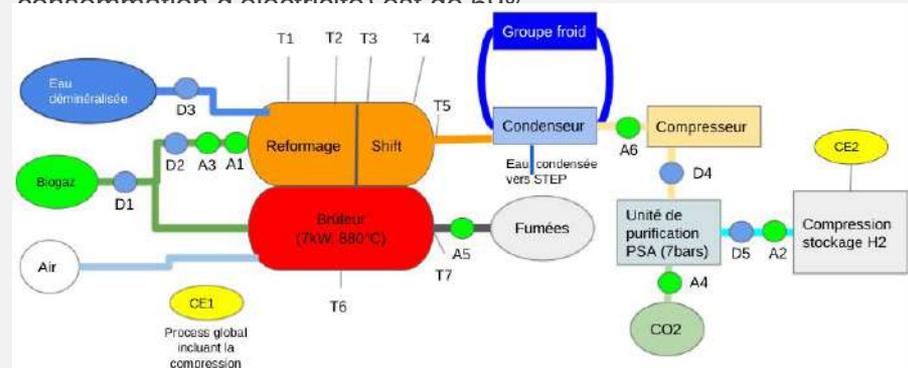
- Le rapport S/C (Steam/Carbon), actuellement compris entre 3 et 4, alors que le rapport stœchiométrique est de 2
- rendement de production d'hydrogène : puissance hydrogène produite (débit x PCI) sur puissance biogaz consommée,
- taux de conversion du biogaz en hydrogène : quantité de méthane converti en hydrogène
- concentration d'hydrogène produit : pureté de l'hydrogène obtenu après l'unité de purification
- empreinte carbone de l'hydrogène produit

Les essais se déroulent de janvier à juillet 2022

Premiers résultats :

- Fonctionnement satisfaisant avec un biogaz de station d'épuration
- Le pilote permet de produire de l'hydrogène concentration de 99,99%
- L'hydrogène produit contient moins de 2 ppm de CO₂ et peut être utilisé dans des véhicules hydrogène
- Le taux de méthane résiduel dans le reformat est de 2,1%
- Le taux de conversion du méthane en hydrogène est de 96,7%
- Le rendement de production d'hydrogène est de 64% hors consommation d'électricité

Dans la version industrielle du procédé (recirculation de l'offgaz, récupération de chaleur), le rendement visé (intégrant la consommation d'électricité) est de 60%



Comparaison des filières de valorisation du biogaz

Cette comparaison a pour objectif de déterminer pour la collectivité la ou les filières de valorisation de biogaz les plus appropriées à mettre en œuvre sur son territoire :

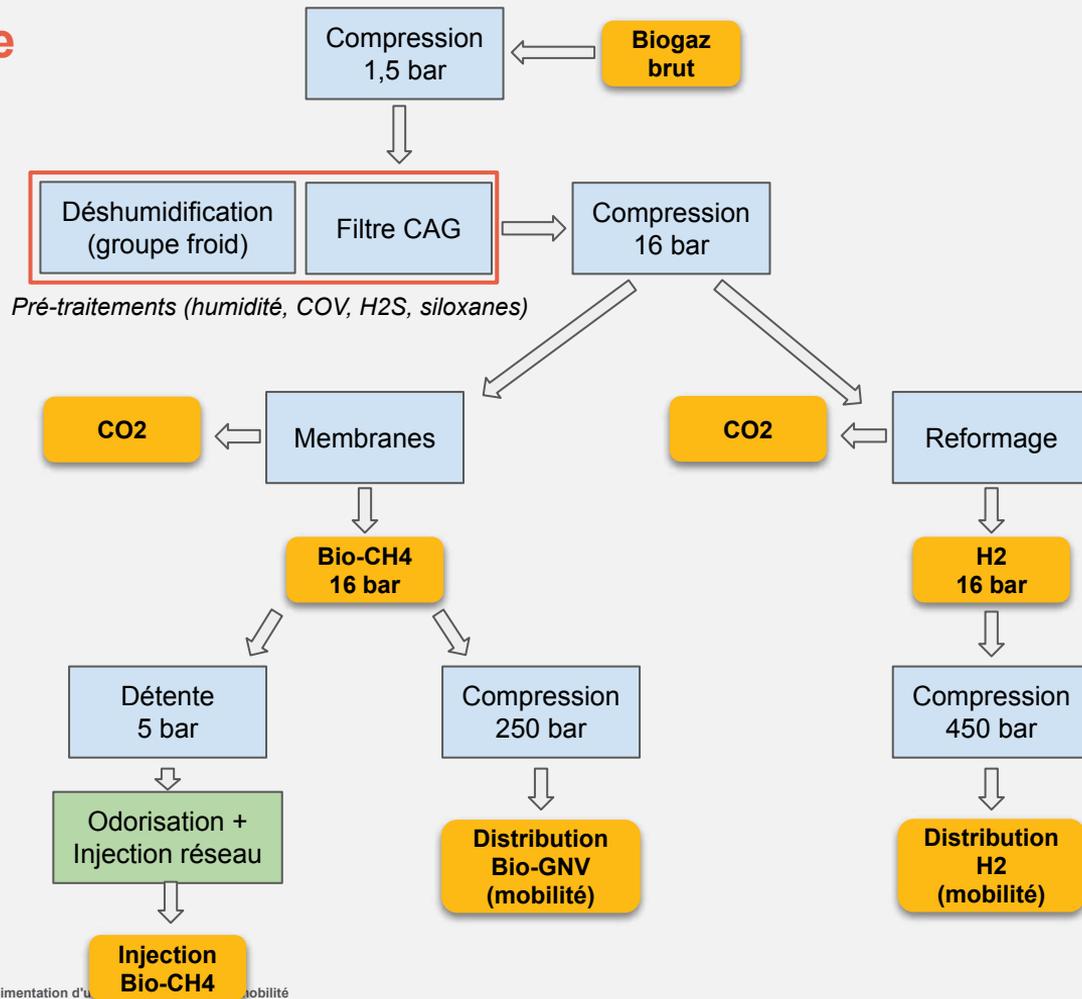
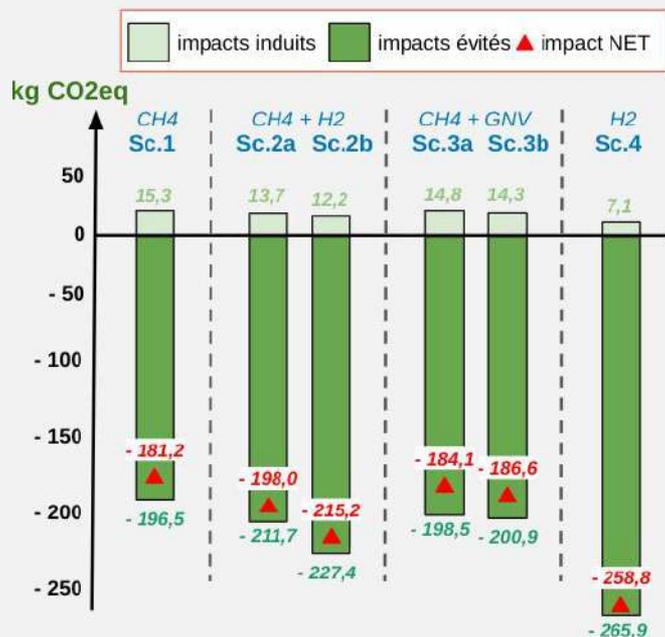
- SC1 (scénario de référence : purification du biogaz en biométhane et injection dans le réseau GRDF)
 - SC2 : une partie du biogaz est valorisé en hydrogène (100 et 200 kg/jour), le reste est valorisé en biométhane
 - SC3 : une partie du biogaz est valorisé en bioGNV, le reste est valorisé en biométhane
 - SC4 : la totalité du biogaz est valorisé en hydrogène (450 kg/jour)
- une station d'épuration de 150 000 eqH permet la production de 450 kg par jour d'hydrogène, qui nécessiterait un électrolyseur d'un MW

SC1	SC2A	SC2B	SC3A	SC3B	SC4
scénario de référence : purification de 100% du biogaz en biométhane et injection sur le réseau	<ul style="list-style-type: none"> • production de 100 kg/jour (SC2A) ou de 200 kg/jour (SC2B) d'hydrogène, • le biogaz restant est purifié en biométhane et injecté sur le réseau 		scénarios miroirs de SC2A et SC2B : au lieu de produire de l'hydrogène, les mêmes débits de biogaz sont utilisés pour produire du bioGNV		100% du biogaz valorisé par reformage en hydrogène

Comparaison des filières de valorisation du biogaz

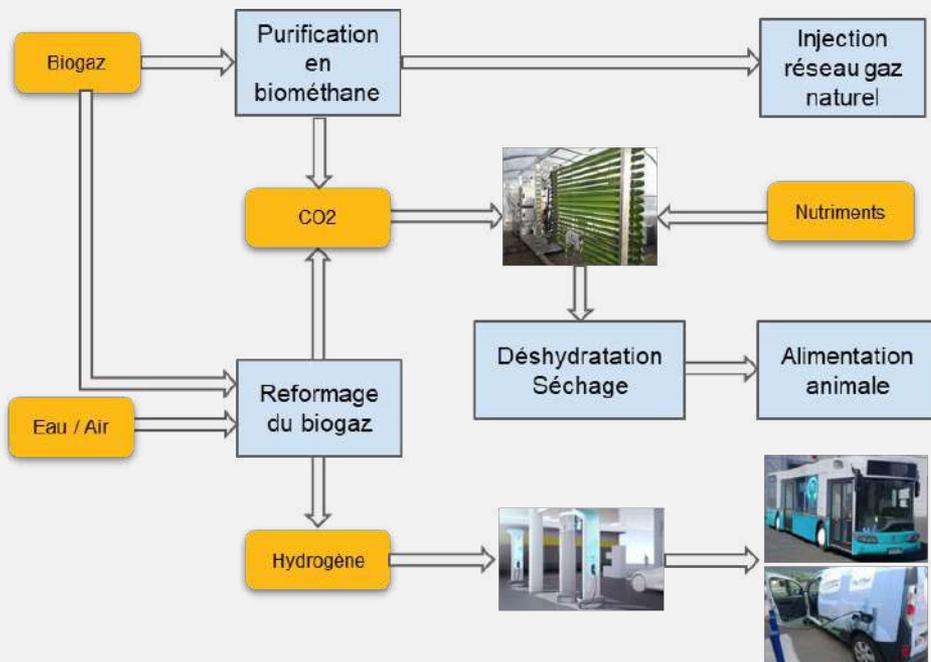
Premiers résultats pour 124 Nm³/h de biogaz :

- Comparaison des empreintes carbone



Valorisation du CO2 produit

- Afin de décarboner complètement la filière de valorisation du biogaz, un pilote de production de micro-algues a été mis en œuvre pour valoriser le CO2 produit par la valorisation du biogaz



2 variétés de micro-algues ont été testées pour une valorisation en alimentation animale :

- une micro-algue d'eau douce Scenedesmus
- une micro-algue d'eau de mer Nannochloropsis



Points forts et points faibles du reformage de biogaz

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none">● Procédé mature (reformage gaz naturel)● Meilleure valorisation économique du biogaz avec une production partielle d'hydrogène et une injection du biométhane résiduel (scénarios SC2a et b)● Moindre consommation énergétique pour la production d'hydrogène par rapport à l'électrolyse<ul style="list-style-type: none">→ une station d'épuration de 150 000 eqH permet la production de 450 kg par jour d'hydrogène, qui nécessiterait un électrolyseur de 1 MW● Coût de production, stockage et distribution de l'hydrogène destiné à un écosystème de mobilité locale inférieur à celui de la filière électrolyse● Complémentarité à une production d'hydrogène par électrolyse dans un écosystème local● Pas d'émission polluante lors de la combustion, contrairement au bioGNV	<ul style="list-style-type: none">● Compétition avec la filière bioGNV pour la mobilité● Le procédé de production d'hydrogène par reformage de biogaz n'est actuellement pas soutenu par la stratégie hydrogène nationale et européenne● La capacité de production d'hydrogène par reformage est limitée par la capacité des stations d'épuration



Merci pour votre attention

philippe.maillard@veolia.com