

Veille technologique sur les

filières gaz verts - #2



Clés de lecture

Thématiques étudiées		Typologies des sujets abordés	
Procédés de production	Méthanisation	 Recherche	Publications portant sur des nouvelles observations scientifiques susceptibles d'aboutir au développement d'innovations technologiques sur la production de gaz verts.
	Pyrogazéification	 Innovation	Publications scientifiques / brevets portant sur le développement des nouvelles technologies .
	Gazéification hydrothermale	 Projet marquant	Focus sur des projets susceptibles de marquer une étape clef dans le développement des filières gaz verts .
	Méthanation catalytique	 Analyse technico-économique	Publications d' analyse économique de technologies et d' analyse de développement de marché d'une filière gaz verts .
	Méthanation biologique	 Politiques de soutien	Décryptage de mesures politiques susceptibles de lever des obstacles pour le développement de certaines technologies .
	Hydrogène	 Entretien	Entretiens avec des acteurs majeurs de l'innovation sur les filières gaz verts.
	Procédés de production émergents		
Amont & aval	Stockage		
	Traitement du gaz et injection		
	Valorisation du CO ₂		
	Valorisation des autres co-produits		

Table des matières

Méthanisation



Des chercheurs français ont réalisé un **état de l'art** des **effets de l'ajout de divers additifs** dans les réacteurs continus ou semi-continus de co-digestion. L'étude réalisée analyse les **effets de l'ajout de souches ou consortiums microbiens, d'enzymes et d'additifs inorganiques dans les digesteurs**.



[Focus page 5](#)

Méthanisation



Des chercheurs américains ont développé un **bioréacteur anaérobie** intégrant un processus d'électrolyse permettant de **maintenir la stabilité du pH du bioréacteur, d'éliminer les contaminants du bioréacteur, d'augmenter la production de biogaz** et d'atténuer l'encrassement.



[Focus page 7](#)

Méthanisation



Une équipe de chercheurs indiens a réalisé un état de l'art sur **les nanoparticules** et leur utilisation pour **améliorer les rendements des processus de biogaz**. L'étude évalue la manière dont les nanoparticules affectent la **production de biogaz**, et dans quelle mesure elles peuvent **bloquer les produits chimiques inhibiteurs**.



[Focus page 9](#)

Méthanisation



Une équipe de chercheurs britanniques a étudié le potentiel de production de biogaz à **des pressions de fermentation élevées**. Le fonctionnement à pression plus élevée permet d'augmenter la teneur en méthane dans le biogaz de sortie (concentration de 70% à 4 bar vs 57,5% à 1,6 bar à 22°C), ce qui **simplifie les étapes de valorisation et les coûts associés**.



[Focus page 11](#)

Méthanation biologique



Des chercheurs danois ont testé une nouvelle approche pour **la surveillance de la dynamique interne des réacteurs à lit fluidisés (TBR) utilisés dans le processus de méthanation biologique** en installant de multiples micro-capteurs H₂ le long de l'axe vertical permettant ainsi **d'améliorer les performances du réacteur**.



[Focus page 13](#)

Hydrogène



Des chercheurs norvégiens ont synthétisé des fluides électrolytiques à base de sulfate de sodium et de noir de carbone (NC) dans le but **d'améliorer la production d'H₂ solaire**. **Le taux de production d'H₂ a été amélioré de 24 %** lorsque **le noir de carbone** est utilisé dans l'électrolyte.



[Focus page 15](#)

Traitement du gaz & injection



Des chercheurs danois ont mis au point une **nouvelle technologie de désulfuration power-to X** utilisant uniquement de l'électricité pour oxyder le H₂S présent dans le biogaz en soufre élémentaire. Ce processus, fonctionnant à l'aide d'un épurateur où le biogaz entre en contact avec un liquide à base de chlore, est capable d'**éliminer près de 100 % du H₂S dans le biogaz**.



[Focus page 17](#)

Autres actualités

Méthanisation



Sistema.bio a inauguré en Inde la **plus grande usine de production d'unités de biogaz au monde** pour répondre à la demande croissante en Asie Pacifique, Afrique subsaharienne et Amérique Latine. L'usine possède une **capacité de production** annuelle de **100 000 unités de méthanisation** (avec des capacités allant de 6m³ à 600m³). L'unité a bénéficié d'un investissement de 1,8 million de dollars.

@ [Lien vers l'article](#)

Méthanisation



Une équipe de chercheurs suédois a développé un nouveau système de **production de biogaz à flux continu** et à **faible coût** par traitement des déchets solides de systèmes d'aquaculture. Dans cette étude, la pureté en méthane du biogaz obtenu est comprise entre 60 et 80 % contre 65 % en moyenne, lorsque du fumier de vache est utilisé comme intrant.

@ [Lien vers l'article](#)

Pyrogazéification



Un **appel à projets** sera lancé par la **DGEC** au mois de septembre sur la **pyrogazéification** et les **autres méthodes de production de méthane** de synthèse pour injection dans les réseaux. Cet appel à projets ciblera les installations de production de gaz renouvelables utilisant **des déchets / biomasses exclusivement non méthanisables** et vérifiant les critères RED.

Méthanation biologique



Une équipe de chercheurs finlandais a examiné le potentiel du **digestat de biodéchets en tant qu'inoculum** et le potentiel de **l'eau de rejet de biodéchets** digérés en tant que liquide de ruissellement et **source de nutriments dans les réacteurs thermophiles (TBR)**. L'utilisation des eaux de rejet a permis **d'améliorer l'efficacité de la conversion en H₂ jusqu'à 99 %**.

@ [Lien vers l'article](#)

Gazéification hydrothermale



Des chercheurs brésiliens ont réalisé une analyse bibliométrique afin de déterminer les **caractéristiques de la recherche actuelle sur la gazéification hydrothermale** pour la production de biocarburants : **pays à la pointe de la recherche**, revues publiant le plus sur ce sujet, thèmes de recherche les plus étudiés, tendances et perspectives, etc.

@ [Lien vers l'article](#)

Gazéification hydrothermale



Engie New Venture, Montrose environmental Group and EIC Fund investissent **9 millions d'euros** dans **Treatch, start-up** produisant du biogaz grâce à la **gazéification hydrothermale** permettant de recycler les déchets liquides de méthane.

@ [Lien vers l'article](#)

Hydrogène



La Française de l'Énergie (FDE) annonce la découverte **d'hydrogène naturel** dans le **bassin minier lorrain**. Les fluides de formations carbonifères du bassin minier lorrain sont très significativement enrichis en hydrogène, avec une **concentration** mesurée de **15 % à 1 093m de profondeur** et estimée à **98 % à 3 000 mètres**.

@ [Lien vers l'article](#)

Valorisation du CO₂



Verdemobil Biogaz veut entrer en Bourse pour **valoriser le CO₂** des méthaniseurs (Le calendrier et le montant de l'opération seront précisés ultérieurement). L'entreprise a développé et commercialisé un **module « plug & play »** permettant de **recupérer et valoriser le CO₂** qui associe des process de compression, de séchage, de liquéfaction par cryogénie, de distillation.

@ [Lien vers l'article](#)

Utilisation d'additifs pour améliorer les performances des installations collectives de biogaz

EN BREF

- Objet** : article publié dans *Biotechnology Advances*
- Objectif** : étudier l'impact de l'ajout de divers additifs dans les réacteurs continus ou semi-continus de co-digestion afin de répondre au mieux aux enjeux rencontrés dans les unités de production de biogaz collectives
- Résultats** : les additifs ont des impacts positifs variés, quoique dépendants des conditions : rendement en CH₄ accru, atténuation des inhibiteurs, etc.
- Date** : mars 2023

Des chercheurs français ont réalisé un état de l'art de l'**impact de l'utilisation de divers additifs** (souches ou consortiums microbiens, enzymes ou additifs inorganiques^[1]) dans les **réacteurs continus ou semi-continus de codigestion anaérobie**^[2].

Contexte

De nos jours, la **codigestion anaérobie** se développe fortement afin **d'augmenter la production de biogaz** et donc de biométhane. En raison de la grande diversité des matières premières qui peuvent être utilisées, mais aussi de la variabilité des paramètres d'exploitation et de la taille des installations de biogaz, **différents incidents et limitations peuvent survenir** : inhibitions liées à la formation d'ammonium ou de longues chaînes d'Acides Gras, sur-acidification liée à la présence d'Acides Gras Volatils, moussage^[3], rhéologie complexe^[4], etc.. Pour **améliorer les performances et surmonter ces contraintes, plusieurs additifs peuvent être utilisés**.

[Lien vers l'article](#)

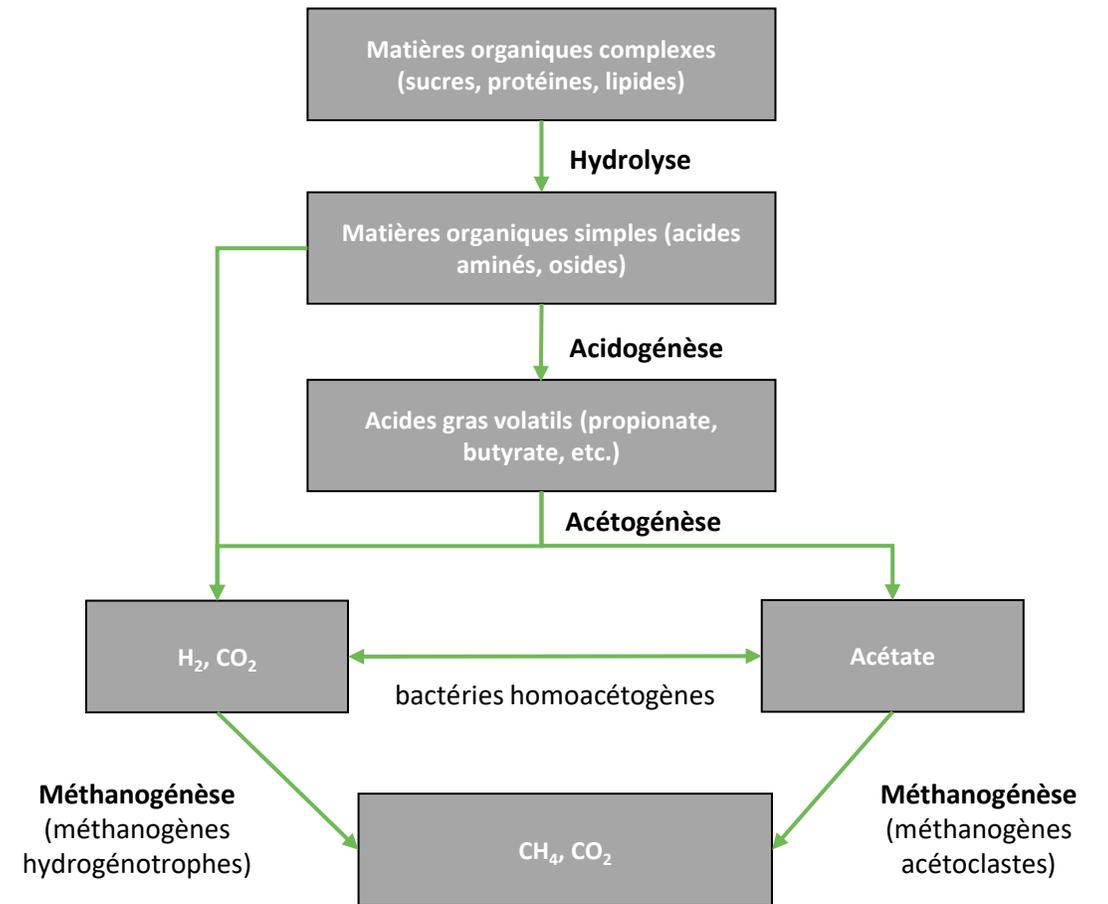


Schéma du processus de méthanisation

[1] En particulier, éléments traces et matériaux à base de carbone; [2] Digestion anaérobie d'un mélange de différentes biomasses ; [3] Formation de mousse provoquée par les substances actives des digesteurs ; [4] Écoulement associé aux fluides complexes

Utilisation d'additifs pour améliorer les performances des installations collectives de biogaz



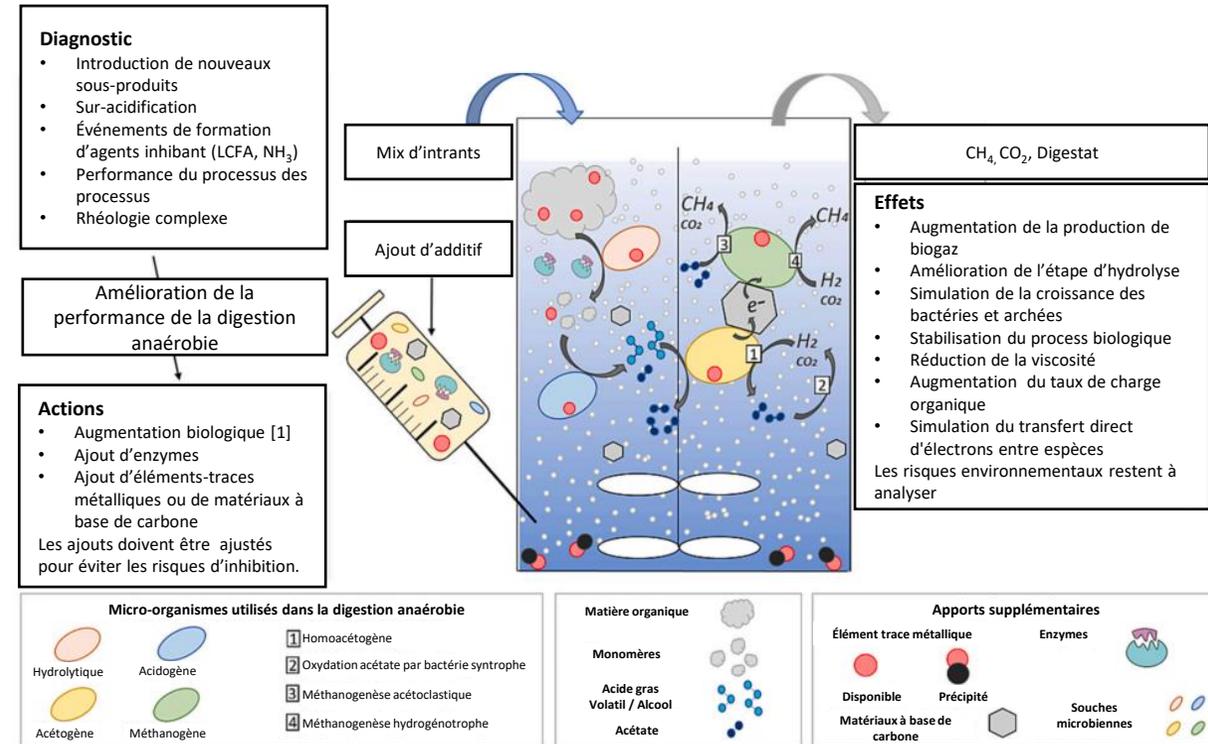
Résultats

L'article présente les effets de plusieurs micro-organismes, enzymes et additifs inorganiques sur le processus de digestion anaérobie :

- Des **impacts positifs variés** ont pu être observés par différentes équipes de chercheurs à la suite d'une augmentation biologique^[1] par **utilisation de microorganismes : rendement en méthane accru, digestion améliorée des boues ou déchets alimentaires, atténuation de l'inhibition par ammonium**, etc. Néanmoins, ces impacts varient fortement selon les conditions initiales du réacteur en raison de la complexité des interactions microbiennes, favorables ou parfois défavorables, selon les espèces qui coexistent. Une caractérisation plus poussée des dosages et de la fréquence de supplémentation optimaux doit ainsi être menée pour évaluer les applications industrielles de ces micro-organismes.
- Le **principal avantage identifié pour l'ajout d'enzymes semble être la diminution de la viscosité des effluents**, ce qui permet une réduction de la consommation énergétique du digesteur et du transport du digestat.
- L'ajout d'additifs inorganiques (notamment le fer, le cobalt ou le nickel, qui interviennent dans de nombreuses réactions enzymatiques) a également un effet positif sur la réaction de méthanisation, surtout si cet ajout vient compenser des carences initiales. Les matières carbonées favorisent quant à elles l'adsorption des contaminants et inhibiteurs.

Application et valorisation

Cet article permet de réaliser **un premier état de l'art sur l'impact d'utilisation d'additifs** dans les réacteurs de méthanisation. Comme le montre l'état de l'art, une forte incertitude demeure néanmoins sur le comportement des additifs en fonction des conditions de réaction. En effet, **leur utilisation dans des réacteurs continus reste peu documentée à ce stade**, la plupart des études ayant été menées en réacteur discontinu en laboratoire.



Aperçu de la supplémentation en additifs dans les digesteurs des usines de biogaz collectives [2]

[1] L'augmentation biologique est l'ajout d'archées ou de cultures bactériennes nécessaires pour accélérer le taux de dégradation d'un contaminant.; [2] Schéma issu du de l'article

Nouveau réacteur de méthanisation avec régénération électrolytique pour maintenir un pH stable



EN BREF

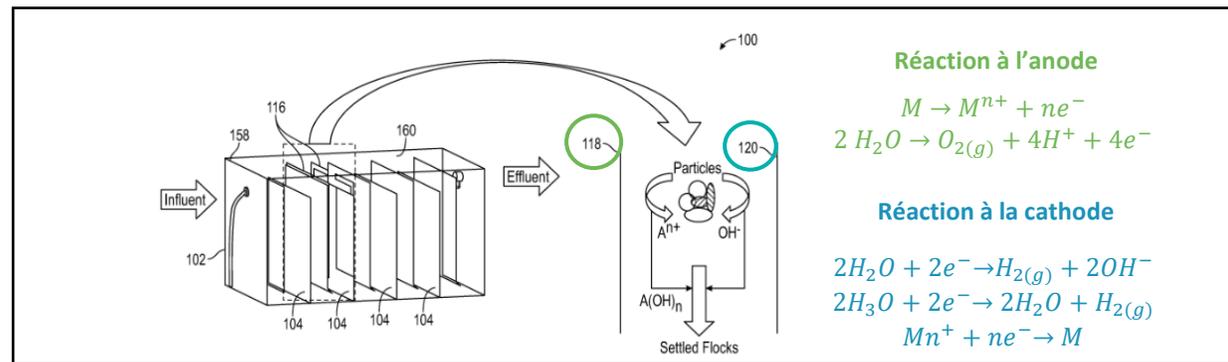
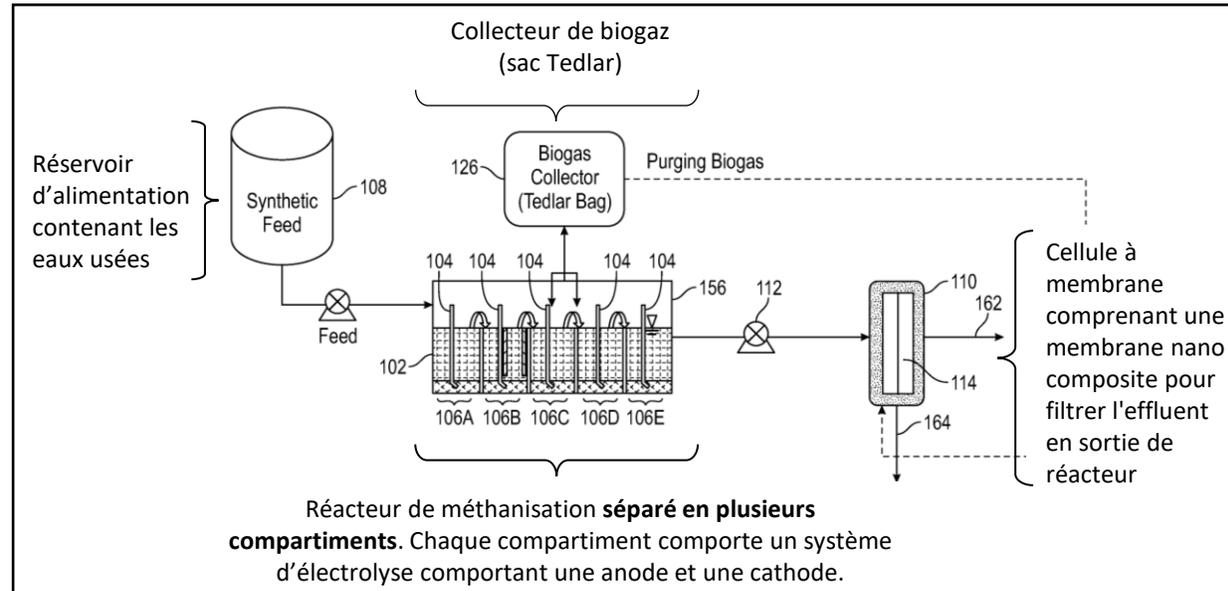
-  **Objet** : brevet pour un réacteur de méthanisation (pour le traitement des eaux usées) avec régénération électrolytique
-  **Objectif** : développer un réacteur de méthanisation avec un système de régénération électrolytique permettant de maintenir la stabilité du pH lors du processus réactionnel
-  **Dépositaire** : South Dakota Board of Regents [1]
-  **Date** : mai 2023

Des chercheurs américains ont **développé un réacteur de méthanisation** (pour traitement des eaux usées) **intégrant un processus d'électrolyse permettant de maintenir la stabilité du pH** du réacteur. En plus de maintenir le pH dans la plage optimale pour le processus, l'électrolyse permet aussi **d'éliminer les contaminants du réacteur, d'augmenter la production de biogaz** et **d'atténuer l'encrassement**.

Contexte

Depuis quelques années, des technologies innovantes de recyclage des eaux usées, basées sur des systèmes biologiques (e.g., MBBR^[2]), chimiques ou physiques, ont été développées dans le but de limiter l'impact du rejet d'eaux usées sur l'environnement. Cependant, d'importantes améliorations de ces systèmes sont encore nécessaires avec deux objectifs principaux :

- **L'amélioration de l'efficacité du traitement** des eaux usées et de la qualité des effluents,
- **La diminution de l'utilisation de produits chimiques** pour ce traitement.



Schémas du système de méthanisation développé dans l'étude [3]

NB : Le réacteur comprend également un système de contrôle du pH configuré pour ajuster le pH dans une plage optimale préalablement définie.

[1] Conseil d'administration qui contrôle six universités publiques dans l'État américain du Dakota du Sud. [2] MBBR : Moving Bed Biofilm Reactor : réacteur à biofilm à lit fluidisé ; [3] schéma issu du dossier de brevet;



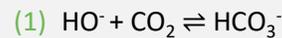
Nouveau réacteur de méthanisation avec régénération électrolytique pour maintenir un pH stable



Résultats

L'électrolyse est utilisée pour **contrôler la variation de la valeur du pH** à l'intérieur du réacteur, **réduisant ou éliminant ainsi la nécessité d'utiliser des produits chimiques**.

Le digesteur proposé est divisé en **plusieurs chambres, pouvant chacune contenir un système d'électrolyse** : un champ électrique est appliqué entre 2 électrodes dans une solution aqueuse alcaline. Selon la réaction (1), celle-ci est en équilibre avec le CO₂ du biogaz pour une certaine valeur de pH :



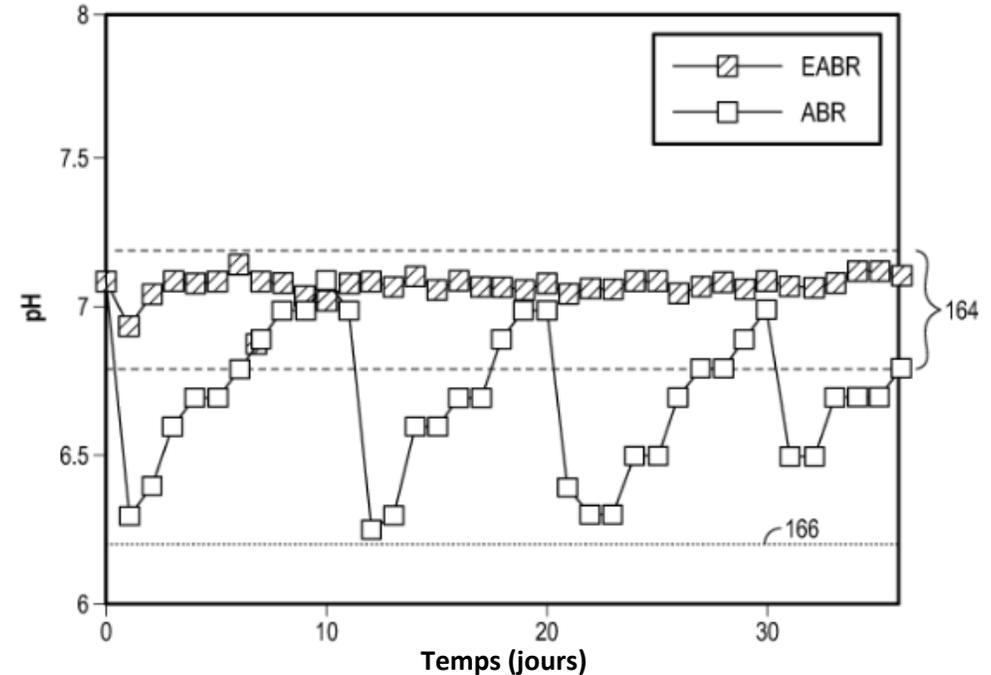
Du fait des réactions chimiques intervenant à l'anode et la cathode (**et déplaçant l'équilibre**), le pH diminue quand l'intensité du courant augmente (et inversement). Ainsi, via un **capteur de pH intégré** dans le dispositif, il est possible de contrôler le pH en augmentant ou diminuant le courant aux bornes des électrodes.

L'utilisation de l'électrolyse a par ailleurs d'autres bénéfices :

- Elle peut permettre de réduire la **DCO^[1] de plus de 10%**.
- Elle peut **augmenter l'efficacité de l'élimination de MES^[2] de plus de 20 %**.
- Elle peut **limiter la quantité d'Acides Gras Volatils** et permettre une **meilleure conversion de ceux-ci en biogaz** par un meilleur contrôle du pH. En effet, les AGV diminuent le pH, inhibent les bactéries méthanogènes, ce qui limite leur conversion et qui crée un cercle vicieux. Pour accélérer la conversion des AGV, un **apport d'énergie supplémentaire** peut être nécessaire.

Application et valorisation

Par un meilleur **contrôle interne des paramètres de réaction via une électrolyse**, notamment le pH, ce brevet ouvre la voie à une méthanisation aux **performances améliorées**.



Comparaison de l'évolution du pH dans le réacteur du brevet avec régénération électrolytique (EABR^[3]) et un réacteur classique (ABR^[4]) [5]

Les méthanogènes (microorganismes très importants pour le processus de digestion anaérobie) sont sensibles aux changements de pH et ont une **activité optimale pour une gamme de pH entre 6,8 et 7,2**. Les systèmes classiques de contrôle du pH (ABR) utilisant des produits chimiques comme l'hydroxyde de sodium pour le contrôle du pH prennent plus de temps à atteindre la plage cible de pH et ne permettent pas de maintenir de manière efficace le pH dans la plage souhaitée. En revanche, le réacteur du brevet (EABR) est paramétré pour **maintenir une valeur de pH dans la plage de fonctionnement optimale (6,8 à 7,2)**, tout en veillant à ce **que le pH ne tombe pas en dessous du seuil minimum de 6,2**.

[1] La Demande Chimique en Oxygène (DCO) représente la quantité d'oxygène utile pour dépolluer une eau ; [2] Les matières en suspension (MES) représentent la quantité de matière non dissoute. Des teneurs élevées en MES peuvent diminuer l'oxygène dissous, créer des déséquilibres et interférer sur la qualité d'une eau ; [3] Electrolytic Anaerobic Baffled Reactor ; [4] Anaerobic Baffled Reactor ; [5] Schéma issu du dossier de brevet



Nanotechnologies émergentes pour la production de biogaz



EN BREF

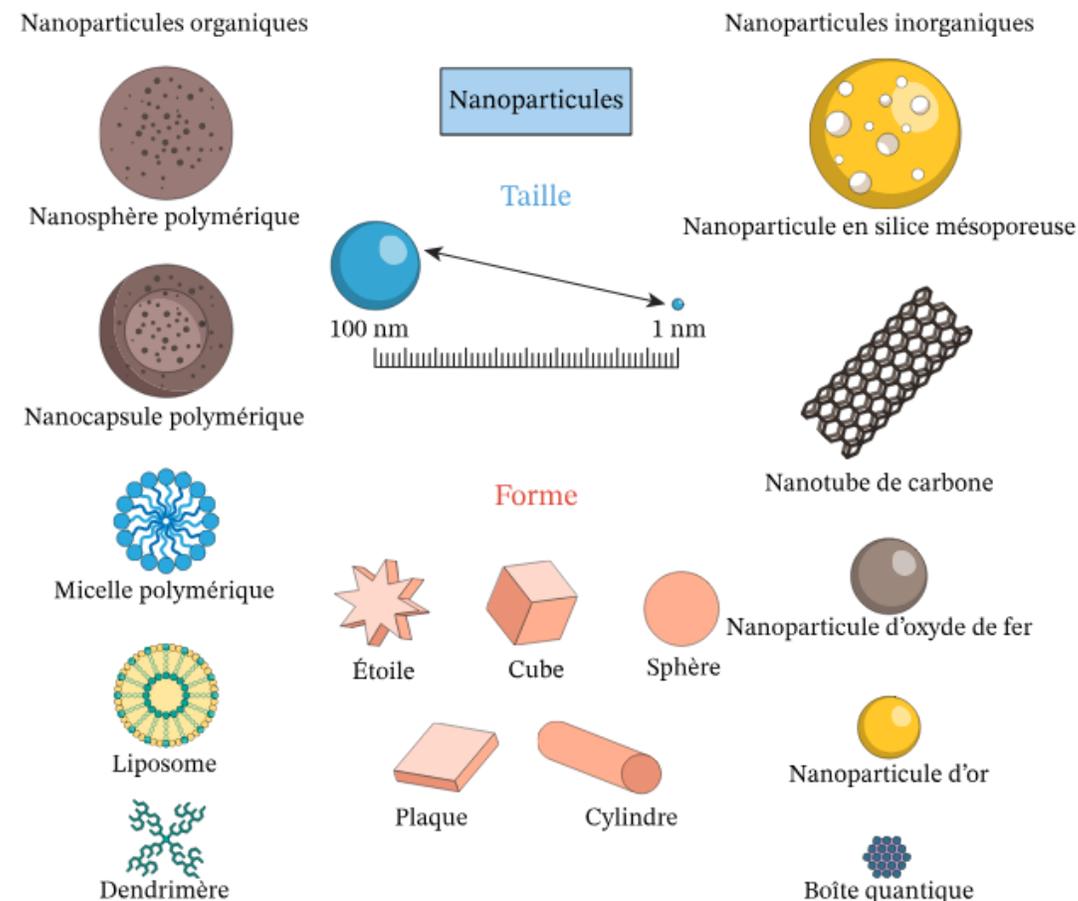
- Objet** : article publié dans *Renewable & Sustainable Energy Reviews*
- Objectif** : réaliser un état de la recherche sur les nanoparticules [1] pour la production de biogaz
- Résultats** : les différents effets de l'utilisation des oxydes métalliques, des nanoparticules zérovalentes et des nanoparticules à base de carbone ont été étudiés
- Date** : Avril 2023

Une équipe de chercheurs indiens a réalisé un état de la recherche sur l'**utilisation potentielle des nanoparticules pour améliorer les rendements** de la production de biogaz. L'étude évalue la façon dont les nanoparticules affectent la production de biogaz et dans quelle mesure elles **peuvent bloquer les produits chimiques inhibiteurs**.

Contexte

En raison de leurs caractéristiques intrinsèques (taille, surface, solubilité, caractère catalytique) **les nanoparticules font l'objet d'un intérêt croissant** afin d'améliorer la production de biogaz. Dans ce contexte cet article vise à:

1. Présenter les différents types de nanoparticules utilisés dans la production de biogaz,
2. Étudier les effets positifs et négatifs des nanoparticules sur la production de biogaz,
3. Étudier l'effet des nanoparticules sur le H₂S et sur d'autres impuretés dans le biogaz.



Présentation des différentes nanoparticules [2]

[1] Nanoparticules sont des éléments ayant une taille nanométrique entre 1 et 100 nanomètres (1 nanomètre est 1000 millions de fois plus petit qu'un mètre). Ils peuvent avoir différentes formes (cube, sphère...). Ils peuvent contenir un seul type d'élément ou d'atome ou être composées de plusieurs types d'éléments différents; [2] Schéma issu du site Nagwa

Nanotechnologies émergentes pour la production de biogaz



Résultats

Les principales nanoparticules utilisées dans la digestion anaérobie sont les oxydes métalliques, les nanoparticules zérovalentes^[1] et les nanoparticules à base de carbone. Les effets des nanoparticules sur la production de biogaz **dépendent de leurs concentrations, de leurs natures et de leurs tailles ainsi que du substrat**. Cependant, il est possible de tirer les conclusions suivantes :

- **Les nanoparticules à base d'oxyde de zinc favorisent l'activité des bactéries méthanogènes**, tandis que celles à base d'oxyde de cérium inhibent leur croissance.
- L'oxyde de fer et les nanoparticules de TiO₂ peuvent améliorer la production de biogaz. De plus, le **TiO₂ permet de diviser par 2 ou 3 la production de sulfure d'hydrogène**.
- Des **concentrations élevées de nanoparticules de cobalt et argent** (400-500 mg/g-TSS^[1]) **limitent la production de méthane**.
- Les **nanoparticules à base de carbone** réduisent la quantité d'ammoniac, les Acides Gras Volatils et la demande chimique en oxygène (DCO).

Par ailleurs, l'utilisation de nanoparticules permet **d'augmenter la vitesse de dégradation des déchets organiques jusqu'à 200 %** pour la production de biogaz. Actuellement, un des enjeux majeurs liés à l'utilisation de nanoparticules reste leur instabilité intrinsèque.

Application et valorisation

Cet article résume les effets positifs et négatifs de différentes nanoparticules sur la production de biogaz. Les **nanoparticules** peuvent présenter de **nombreux avantages** : **hausse de l'activité des bactéries méthanogènes, moindre production de H₂S**, etc. Cependant, de nouvelles études approfondies sont nécessaires pour **déterminer leur impact sur la santé humaine** et identifier **les potentiels risques associés à leur utilisation**.

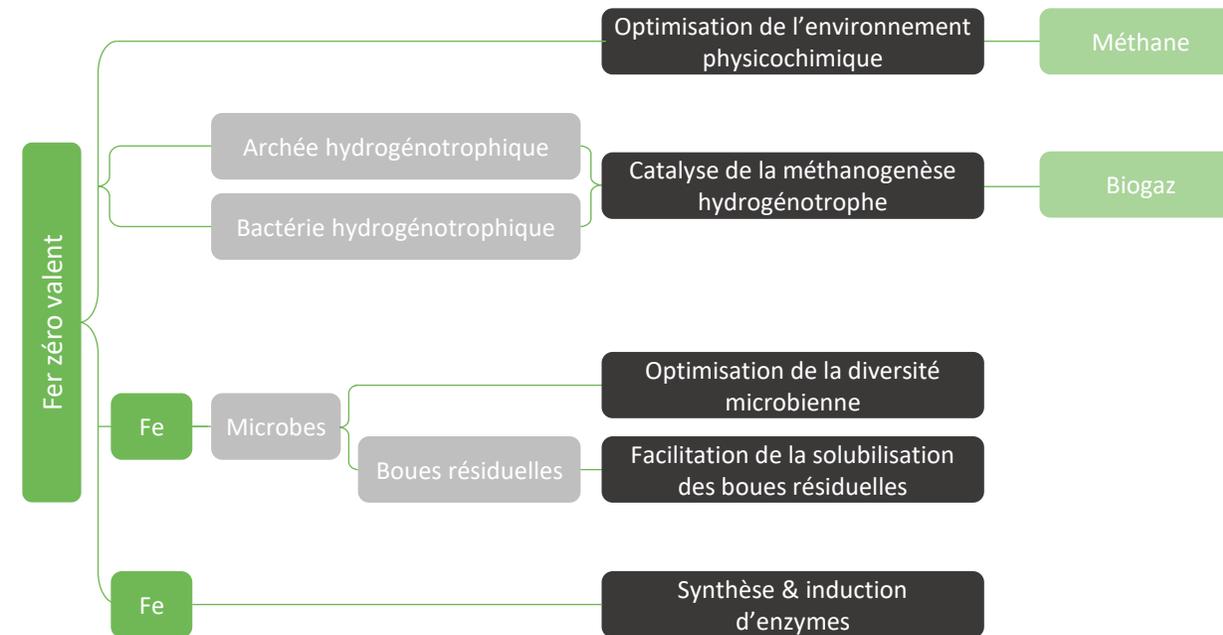


Schéma de l'utilisation de nanoparticules de fer zérovalent pour améliorer la production de biogaz dans les réacteurs de méthanisation [2]

[1] Valence : nombre de liaisons chimiques qu'un atome ou un ion peut avoir avec les atomes d'autres substances; [2] Schéma issu de l'article

Méthanisation pressurisée afin de réduire les coûts de valorisation du biogaz



EN BREF

Objet : article publié dans *BioEnergy Research*

Objectif : étudier le potentiel de production de biogaz à haute énergie à des pressions de fermentation élevées

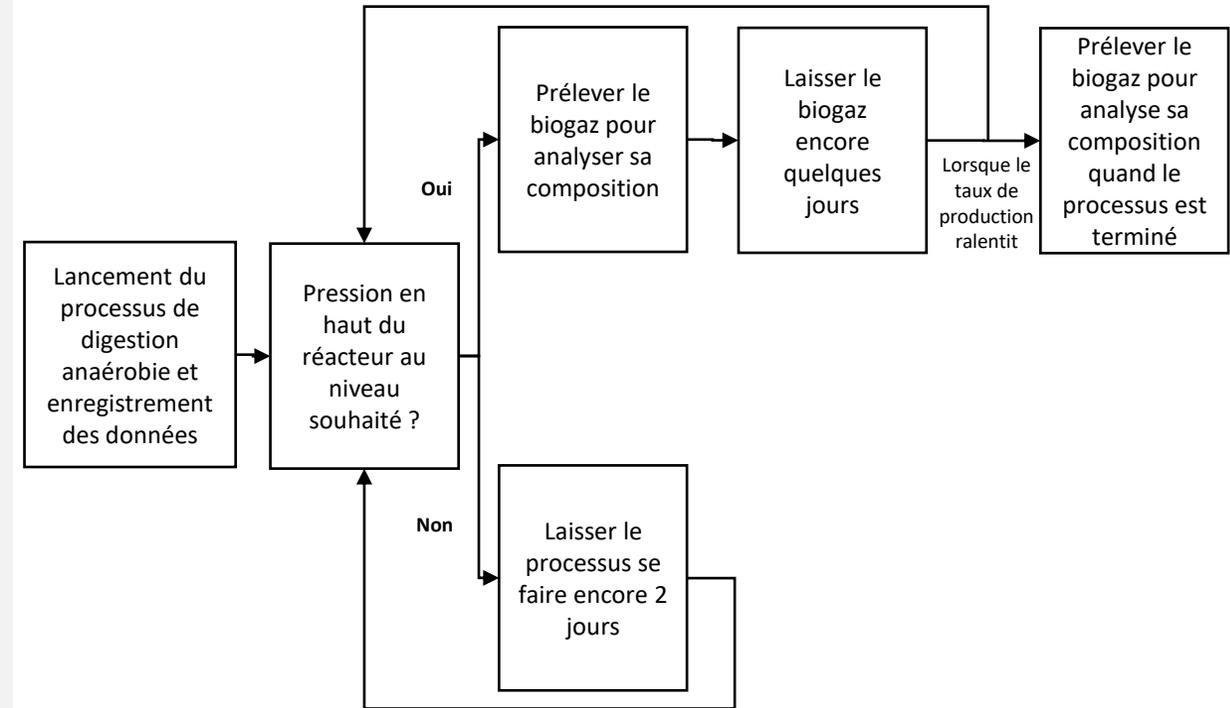
Résultats : la concentration de méthane du biogaz augmente de manière significative pour une pression en haut du réacteur, supérieure à 4 bars

Date : Avril 2023

Une équipe de chercheurs britanniques a étudié le potentiel de **production de biogaz à hautes pressions**. Le fonctionnement à **pression plus élevée permet d'augmenter la teneur en méthane dans le biogaz de sortie**, ce qui réduit les étapes de valorisation nécessaires et les coûts associés.

Contexte

Des études récentes montrent que le CO_2 est 40 à 60 fois plus soluble que le CH_4 dans l'eau dans des conditions de digestion anaérobie classiques. Par conséquent, si le processus de digestion se produit dans un réacteur avec une **pression supérieure à la pression atmosphérique**, la quantité de CO_2 dissoute dans le digestat augmente plus que la quantité de CH_4 dissoute dans le digestat, et **donc la concentration de CH_4 dans le gaz augmente**. Certaines études ont confirmé ce phénomène en rapportant des teneurs en méthane de 90 % dans le gaz de sortie pour des pressions de fonctionnement allant jusqu'à 50 bars. **De telles pressions peuvent être utilisées pour réduire le coût de compression du biométhane dans le réseau de gaz.**



Processus de prélèvement du biogaz utilisé dans l'expérience [1]

Au début du processus, le milieu réactionnel est laissé à digérer afin que la pression augmente dans le réacteur. Si la pression en haut du réacteur n'est pas au niveau souhaité, on laisse le processus continuer un à deux jours. Lorsque la pression est au niveau attendu, le biogaz est prélevé pour déterminer sa composition. Il est ensuite laissé à digérer pendant quelques jours. Ce processus de digestion et d'échantillonnage est répété jusqu'à ce que le taux de production de biogaz commence à ralentir. Une fois que le taux de production est quasi nul, l'échantillonnage final est effectué pour déterminer la composition du biogaz.

[1] Schéma issu de l'article

Méthanisation pressurisée afin de réduire les coûts de valorisation du biogaz



Résultats

Cette étude a pour objectif de démontrer **qu'une augmentation légère des pressions permet augmenter la concentration de méthane du biogaz**. Pour cela, deux bioréacteurs similaires d'une capacité de 1,5 L ont été utilisés **pour générer du biogaz à différentes pressions**. Le réacteur 2 a été déclenché 8 jours après le réacteur 1. L'utilisation de deux réacteurs permet de diminuer l'incertitude sur les mesures. Les compositions des gaz ont été déterminées numériquement grâce à un analyseur. L'étude a permis d'obtenir les résultats suivants :

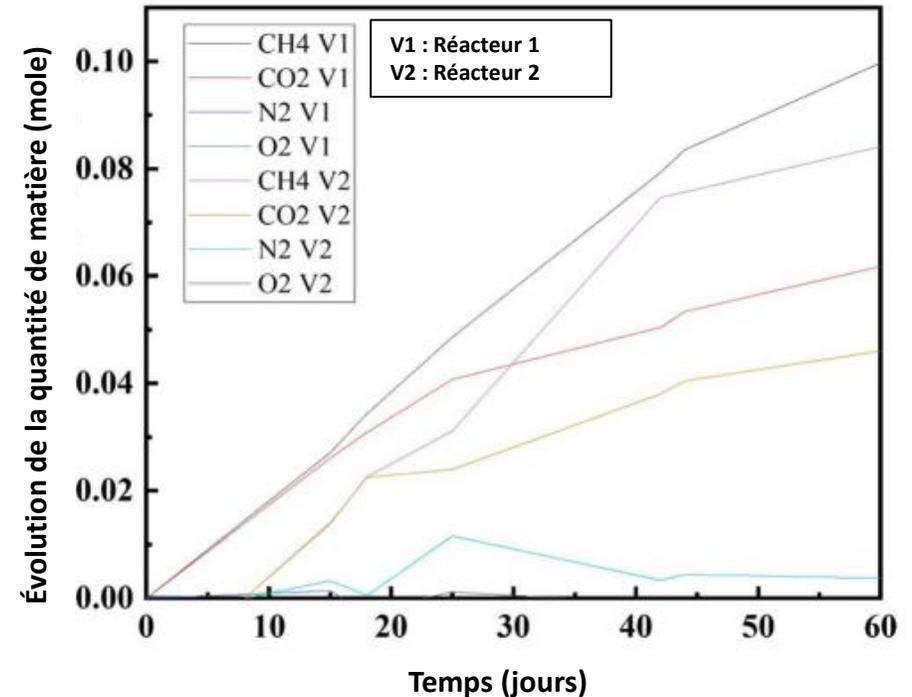
- La concentration de méthane du biogaz **augmente à au moins 70 % pour une pression en haut de réacteur, supérieure à 4 bars** contre 57,5 % ou moins lorsque la pression est inférieure à 1,6 bar à une température de 22°C, **réduisant ainsi les coûts liés à l'épuration** du biogaz avant l'utilisation finale.
- Les **résultats expérimentaux** mesurés numériquement ont été **confirmés théoriquement avec la loi de Henry** [1] qui a été utilisée pour calculer la concentration de chaque composant à partir de la pression totale du système :

$$[2] P_i = y_i * P$$

- Il est important de noter que ces **pressions plus élevées** entraîneront **des coûts d'exploitation et d'investissement importants**, de sorte qu'une analyse plus détaillée est nécessaire pour déterminer le compromis optimal entre ces coûts accrus et les coûts d'épuration réduits que permet le procédé mis au point dans l'expérience.

Application et valorisation

Cet article a permis d'étudier **l'effet de la pression sur le processus de méthanisation** et sur la composition du biogaz en sortie. L'analyse de la composition du biogaz provenant des deux séries de mesures a montré qu'au fur et à mesure que le processus de digestion anaérobie se poursuivait, **le taux de production de méthane augmentait progressivement**.



Variation des quantités de matière des gaz dans les deux réacteurs, obtenues à partir des mesures numériques de l'analyseur [3]

Le bilan molaire obtenu montre que les quantités de matières des espèces chimiques dans chaque réacteur sont sensiblement identiques, validant ainsi les résultats expérimentaux.

[1] Loi de Henry : À température donnée, la quantité de gaz dissoute à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle du gaz au-dessus de ce liquide.

[2] Après quelques étapes de calcul, il est possible d'obtenir une formule de la masse de chaque gaz en fonction des grandeurs du problème (cf article pour plus de détails), P_i : pression partielle du gaz i , y_i : fraction molaire du gaz i , P : pression totale du système, [3] Schéma issu de l'article

Amélioration du contrôle du processus de méthanation biologique via l'utilisation de micro-capteurs

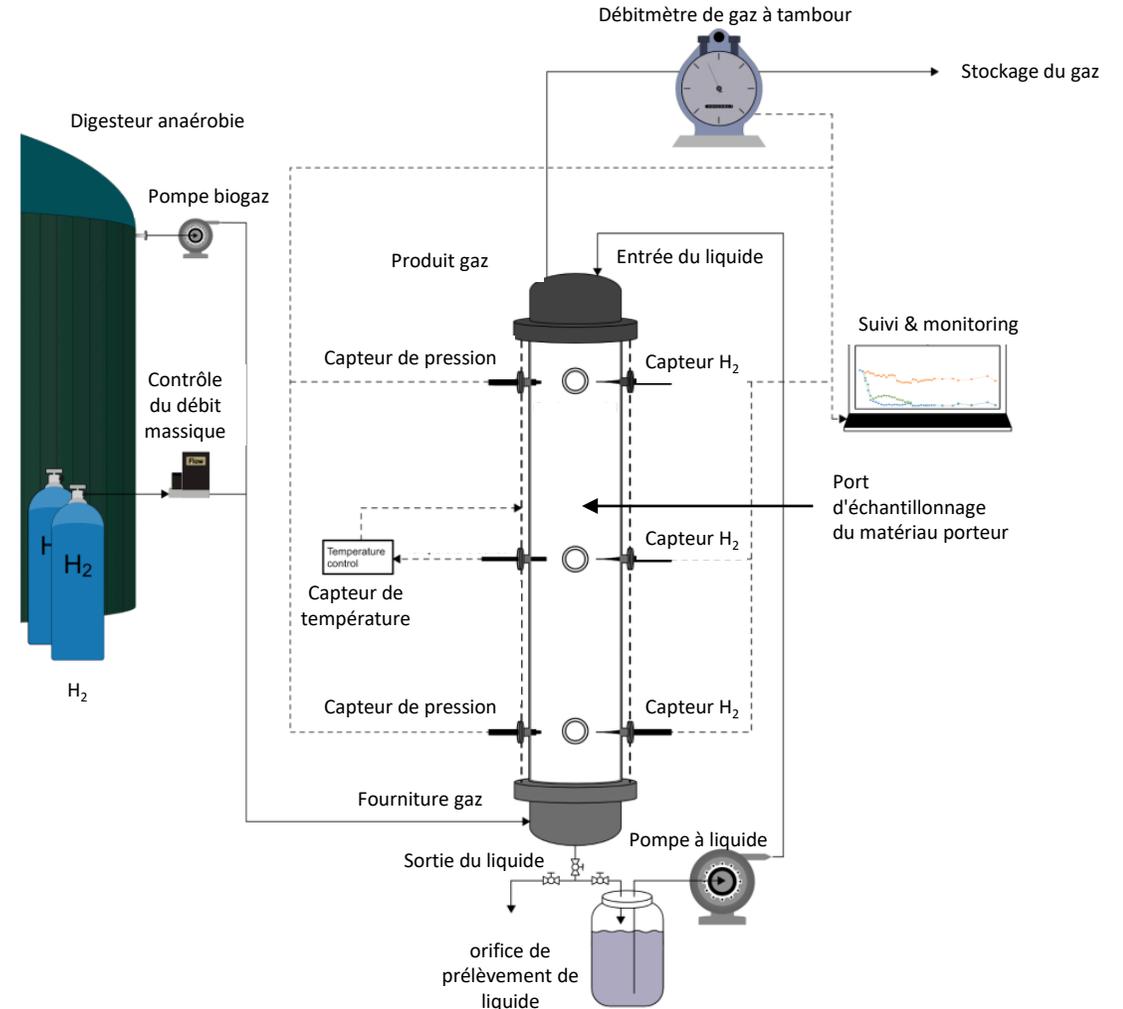
EN BREF

- Objet :** article publié dans *Bioresource Technology*
- Objectif :** améliorer le contrôle du processus de méthanation biologique dans les réacteurs à lit ruisselant (TBR)
- Résultats :** l'installation de microcapteurs H_2 le long de l'axe vertical permet de mieux surveiller l'accumulation interne du CH_4
- Date :** mai 2023

Des chercheurs danois ont mis au point une **nouvelle méthode de surveillance du processus interne de méthanation biologique des réacteurs à lit ruisselant** (ou *trickle-bed reactors*, TBR) utilisant des **micro-capteurs** le long de l'axe vertical pour **suivre l'évolution de la concentration en H_2** . Ce dispositif permet, *in fine*, d'améliorer les performances du réacteur.

Contexte

La méthanation biologique est une réaction d'hydrogénation permettant la **formation de CH_4** en **milieu anaérobie** à partir de CO_2 et / ou de CO dissous en phase aqueuse, ainsi que de **microorganismes**. Les réacteurs à lit ruisselant (TBR) sont des réacteurs qui présentent de **nombreux avantages dans le cadre de la méthanation biologique**. Cependant, ces réacteurs sont conventionnellement exploités avec une approche de **boîte noire**, où le système est uniquement décrit par les caractéristiques d'entrée et de sortie. Cette approche présente certaines limites puisqu'elle **ne prend pas en compte les variations des propriétés physiques, chimiques et microbiennes dans le réacteur** qui peuvent créer des gradients importants et ainsi **limiter le contrôle et les performances du procédé**.



Représentation schématique du dispositif expérimental de TBR [1]

[1] Schéma issu de l'article



Amélioration du contrôle du processus de méthanation biologique via l'utilisation de micro-capteurs

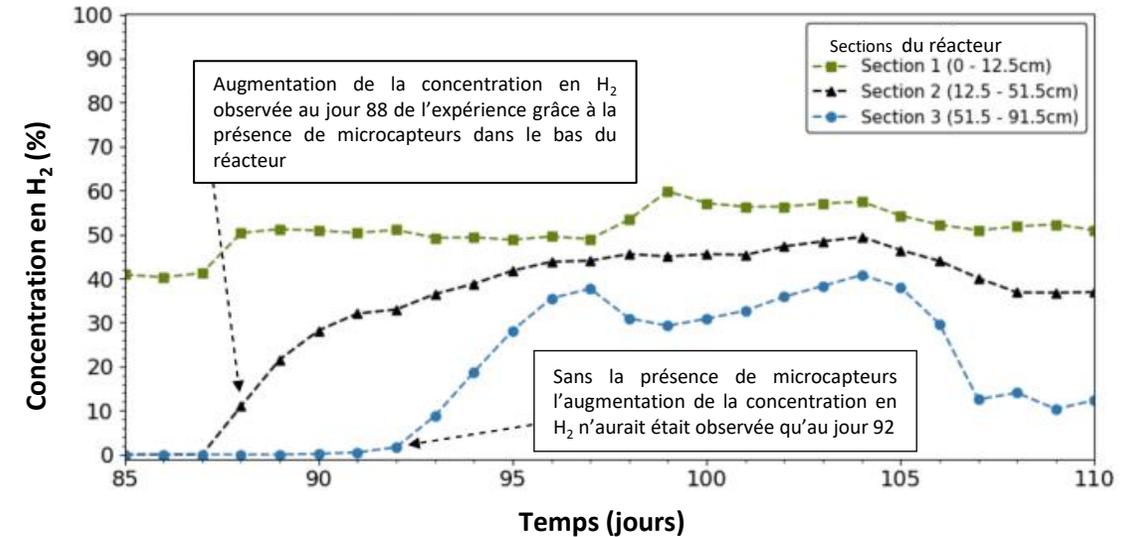
Résultats

Les chercheurs de l'étude ont développé un système de surveillance basé sur le suivi de la concentration en H₂ lors du processus de méthanation biologique à l'aide de micro-capteurs répartis le long de l'axe du TBR. **L'expérience a été menée sur une durée de 135 jours.** Afin d'analyser l'évolution de la réaction, **des échantillons de gaz ont été prélevés à intervalles de 3 à 4 jours** dans le substrat mais aussi dans le gaz en sortie du réacteur. La composition du gaz a été analysée **à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur de conductivité thermique.**

- Malgré une productivité globale de CH₄ de 12,6 L_{CH₄} L_R⁻¹d⁻¹^[1], le positionnement vertical des capteurs a révélé un **phénomène d'accumulation** avec des zones de productivité de CH₄ atteignant 54,8 L_{CH₄} L_R⁻¹d⁻¹.
- Le dispositif ainsi mis en place a permis **une détection précoce de la détérioration des performances du processus** plusieurs jours avant qu'elle ne soit détectée dans le gaz produit. Par exemple, le suivi de l'évolution de la concentration en H₂ a permis d'identifier **un problème d'acidification** dans le TBR au jour 88, alors que **l'acidification complète n'intervient qu'au jour 92** entraînant alors une perte de qualité dans le gaz produit.

Application et valorisation

Le système présenté permet d'améliorer le contrôle interne du processus de méthanation biologique dans les TBR. Grâce à une **détection précoce des phénomènes limitant l'efficacité du processus** (p. ex., acidification du milieu réactionnel), il est possible de **lutter contre ces phénomènes en amont et donc d'améliorer la productivité de CH₄**. Par ailleurs, l'expérience réalisée montre que le processus de méthanation est dynamique et non linéaire. Ainsi à partir des résultats de cette étude, il serait possible de **modéliser informatiquement la dynamique réactionnelle du processus de méthanation biologique dans les TBR.**



Évolution de la concentration en H₂ dans le TBR en fonction du temps (en jours) [2]

NB : L'augmentation de la concentration en H₂ dans le réacteur montre que la conversion du H₂ en CH₄ et la qualité du gaz de sortie diminuent

[1] L_{CH₄} L_R⁻¹d⁻¹ (unité de la productivité de CH₄): Litre de CH₄ produit par volume de réacteur (en litre) par jour; [2] schéma issu de l'article

Étude des fluides dans les électrolytes alcalins : stabilité, propriétés électriques et production d'hydrogène

EN BREF

-  **Objet** : article publié dans *Journal of Cleaner Production*
-  **Objectif** : synthétiser de nouveaux fluides électrolytiques afin d'améliorer la production de H₂ solaire
-  **Résultats** : l'ajout de noir de carbone peut améliorer la production d'hydrogène par électrolyse
-  **Date** : juin 2023

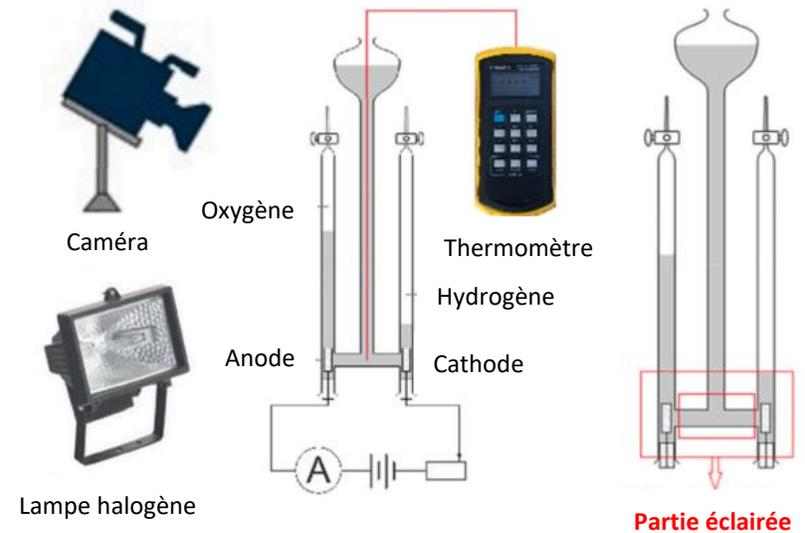
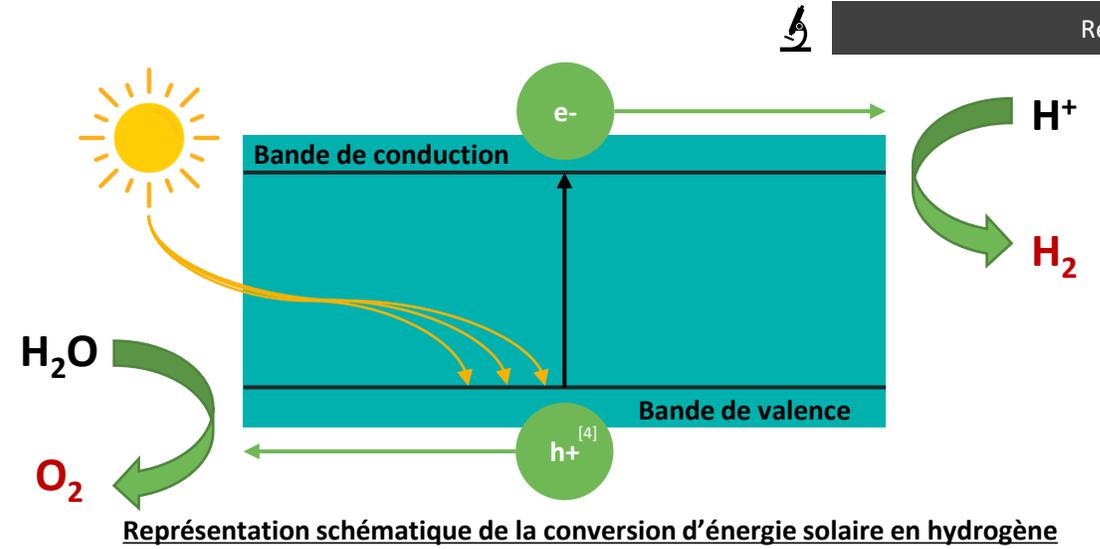
Une équipe de chercheurs norvégiens a synthétisé **des fluides électrolytiques à base de sulfate de sodium et de noir de carbone**^[1] dans le but d'**améliorer la production d'hydrogène solaire**. Les particules de noir de carbone pourraient en effet améliorer la conductivité électrique, le transfert de masse et l'absorption de chaleur lors de l'électrolyse.

Contexte

La séparation photo-catalytique de l'eau permet (dans des photocatalyseurs) la **conversion de l'énergie solaire en hydrogène**. Cependant, l'usage des **photocatalyseurs** a encore des défauts majeurs : **coûts élevés, faibles rendements, recombinaison excessive des charges**^[2] ou encore **capacités limitées d'absorption** de la lumière.

L'utilisation de nanomatériaux à base de carbone en tant que photocatalyseurs est aujourd'hui considérée comme une option prometteuse. Ces matériaux présentent en effet des propriétés physicochimiques intéressantes, telles qu'une **grande stabilité thermique et chimique**, une **grande surface** et de bonnes **propriétés électriques, mécaniques et optiques** qui pourraient permettre de fermer des photocatalyseurs avec un bien meilleur rendement.

[Lien vers l'article](#)



[1] Forme de carbone élémentaire obtenu industriellement se présentant sous forme de petites particules ; [2] Combinaison neutralisante de porteurs de charge électriquement positifs et négatifs limitant la production d'électricité et d'H₂ ; [3] Schéma issu de l'article ; [4] Création d'un trou dû au déplacement d'un électron de la bande de valence vers celle de conduction

Étude des fluides dans les électrolytes alcalins : stabilité, propriétés électriques et production d'hydrogène

Résultats

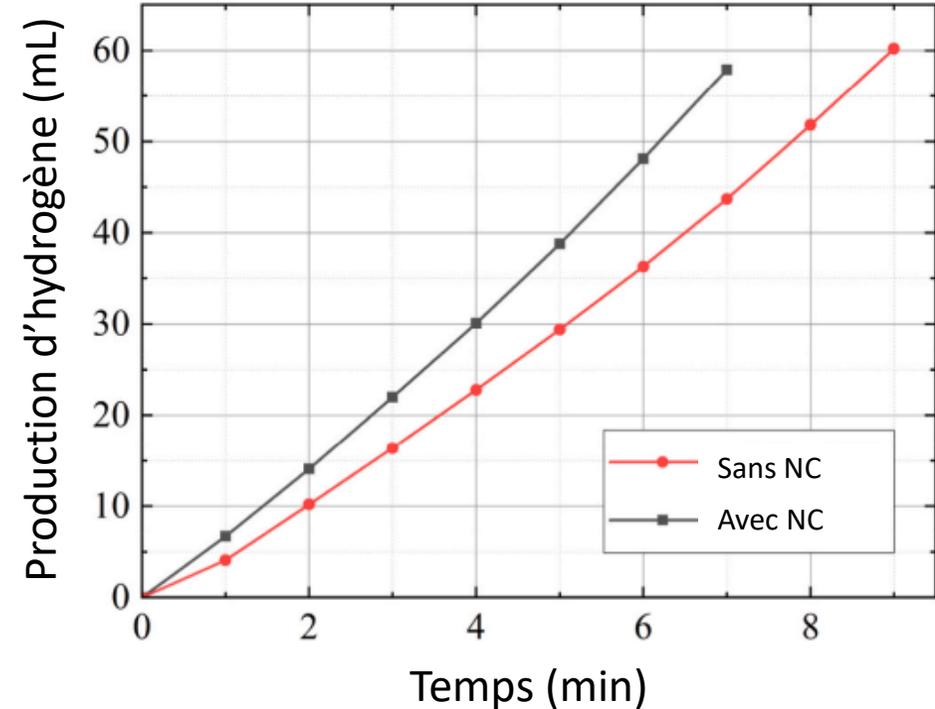
Dans cette étude, un nanofluide^[1] à électrolyte d'hydroxyde de sodium (NaOH) à base de noir de carbone (NC) a été synthétisé. Les expériences d'électrolyse ont été menées à différentes températures initiales, ainsi qu'à différentes concentrations de NaOH et de NC. Les résultats ont permis de construire un **modèle évaluant la production de H₂** :

- La présence de sel ou de solution alcaline peut **affaiblir la stabilité** des nanofluides à base de noir de carbone.
- Les nanoparticules de **noir de carbone peuvent améliorer la production d'hydrogène par électrolyse** en améliorant la conductivité électrique, le transfert de masse et l'absorption de chaleur^[2]. Ainsi, pour un **pourcentage massique du noir de carbone dans le fluide de 0,1 %**, le **taux de production^[2] de H₂ a été amélioré d'environ 24 %**.
- **La température initiale a un impact important** sur la production d'hydrogène. En effet, les chercheurs montrent que sur la plage de température initiale testée (20 à 30 °C), plus la température initiale est haute plus la vitesse de réaction est élevée, plus la quantité de H₂ produit est également élevée.
- L'utilisation d'un **écran** pour rediriger les rayons lumineux incidents permet **d'augmenter la production maximale de H₂**. Avec l'utilisation d'un écran, la production d'hydrogène atteint une **concentration massique de 0,2 %** contre 0,04 % sans écran.

Application et valorisation

L'utilisation de nanofluides pour l'électrolyse de l'eau pourrait être une voie intéressante à l'avenir pour produire du H₂ solaire. Cependant, il est important de noter que le nanofluide synthétisé dans l'étude n'est **stable que pendant une courte durée** dans l'électrolyte à base de NaOH **en raison du caractère basique de cet électrolyte** (le nanofluide est stable dans des environnements plus acides (pH compris entre 4 et 5)). Par ailleurs, les **performances à hautes pressions et hautes températures**, conditions couramment rencontrées dans l'électrolyse de l'eau à l'échelle industrielle, **nécessitent une étude plus approfondie**.

[Lien vers l'article](#)



Influence de l'utilisation de noir de carbone sur la production d'hydrogène [3]

(Température initiale 30 °C, % massique du noir de carbone (NC) 0,1 %)

[1] Nanofluide : fluide de particules de taille nanométrique, [2] mL H₂/Unité de temps, [3] Schéma issu de l'article

Nouvelle technologie de désulfuration du biogaz par électro-lavage Power-to-X



EN BREF

- Objet** : article publié dans *Hazardous Materials*
- Objectif** : développer une technologie innovante capable d'oxyder le sulfure d'hydrogène (H_2S) présent dans le biogaz à partir d'électricité
- Résultats** : la technologie Power-to-X testée est capable d'éliminer le H_2S présent dans le biogaz en l'oxydant en soufre solide au contact de chlore, et s'adapte à une large gamme de concentrations de H_2S en entrée
- Date** : avril 2023

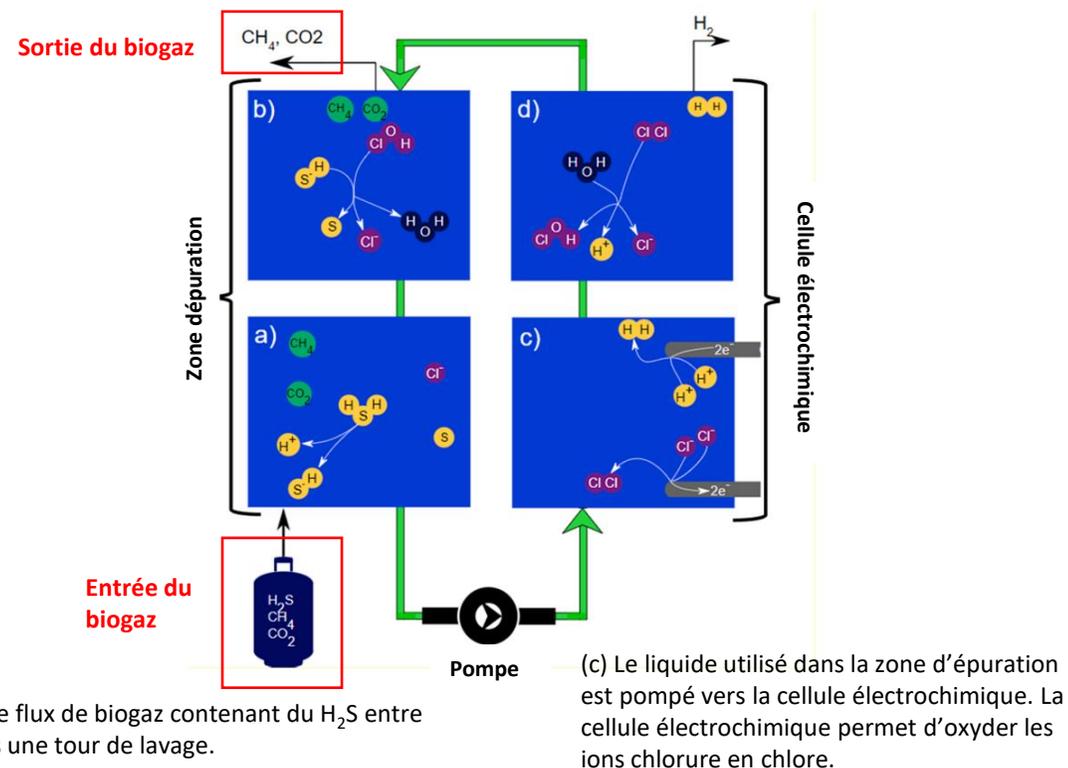
Une équipe de chercheurs danois a mis au point **une nouvelle technologie de désulfuration Power-to-X utilisant uniquement de l'électricité pour oxyder le sulfure d'hydrogène (H_2S)** présent dans le biogaz en soufre élémentaire. Le processus fonctionne à l'aide d'un épurateur où le biogaz entre en contact avec un liquide contenant du chlore.

Contexte

Le sulfure d'hydrogène est une impureté particulièrement problématique lors de la production de biogaz car H_2S **désactive les catalyseurs** hétérogènes utilisés lors de l'étape de traitement et valorisation du gaz. De nombreuses **technologies existent aujourd'hui pour éliminer le H_2S du biogaz**. Les 3 solutions les plus couramment utilisées sont la précipitation chimique, l'épuration biologique et la filtration sur charbon actif. Néanmoins, **ces trois solutions présentent certains inconvénients** : injection d'oxygène dans le biogaz, faible flexibilité vis-à-vis des variations de la concentration en H_2S (selon les intrants utilisés), etc.

(b) Le solvant est pulvérisé dans la tour par une buse depuis le haut de l'épurateur. Le H_2S absorbé dans le liquide réagit avec le chlore actif et est oxydé en soufre élémentaire. Le gaz nettoyé sort par le haut de la tour de lavage.

(d) Le chlore est dissous dans le liquide.



Représentation schématique du système d'électro-lavage. Le biogaz entre dans l'épurateur par le bas dans l'unité a) et en sort par le haut dans l'unité b) [1]

[1] Schéma issu de l'article

Nouvelle technologie de désulfuration du biogaz par électro-lavage Power-to-X



Résultats

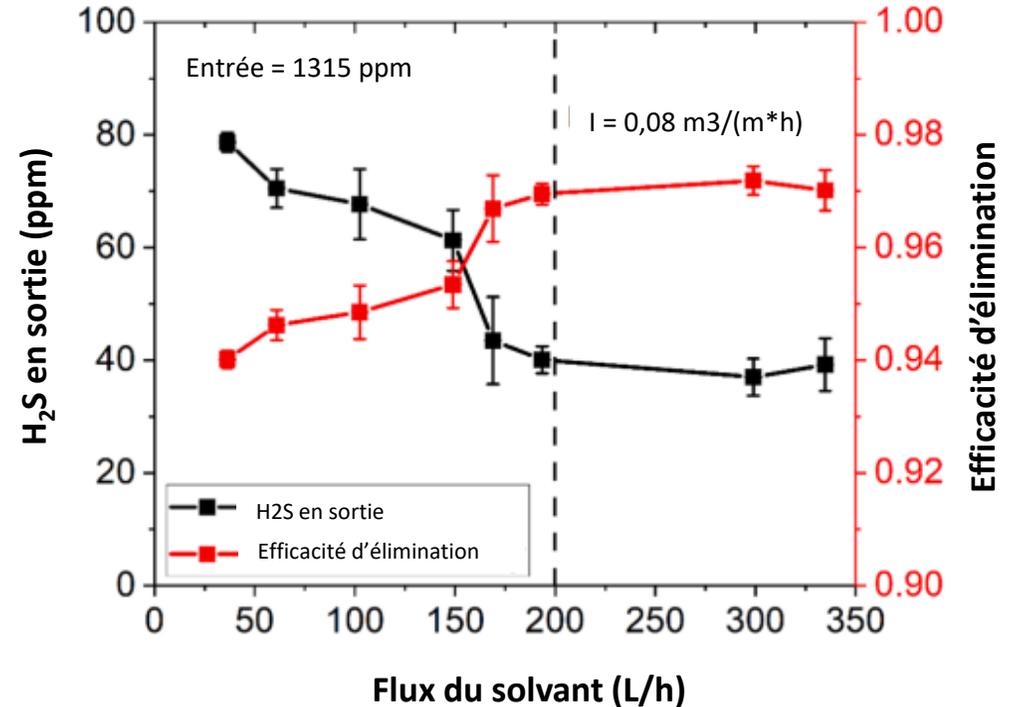
La technologie de désulfuration Power-to-X décrite ici présente les résultats suivants :

- **L'efficacité de l'élimination du H₂S atteint environ 97%** pour une large plage de débit du solvant (soit une concentration en sulfure d'hydrogène allant de 40 à 80 ppm).
- L'efficacité du procédé dépend essentiellement de la **quantité totale de H₂S présent dans le réacteur** : elle diminue quand la proportion de H₂S et/ou le débit augmente, jusqu'à environ 22-23% pour des concentrations de H₂S supérieures à 1000ppm.
- Le système est stable, avec des **fluctuations de la concentration de sulfure d'hydrogène en sortie inférieures à 0,5 %**.
- Néanmoins, une **perte progressive d'efficacité** est constatée en cas de **longues durées de réaction** : la réaction d'oxydation du H₂S basée sur le chlore est en effet **progressivement concurrencée** par la réaction du soufre formé avec le chlore pour former du sulfate. Celle-ci ayant une cinétique supérieure, **l'oxydation du soufre représente rapidement plus de la moitié du courant utilisé** contre c. 20% pour l'oxydation du sulfure d'hydrogène. **Cette perte d'efficacité peut être atténuée par l'installation d'un système de filtration**, qui peut éliminer le soufre solide de la phase liquide du système.

Application et valorisation

Cet article présente une **méthode alternative aux procédés traditionnels de désulfuration du biogaz** en utilisant un système Power-To-X.

Le procédé présente des **caractéristiques intéressantes** qui pourraient laisser entrevoir une application industrielle. En effet, **en modifiant simplement le courant appliqué** aux bornes de la cellule électrochimique, le système développé est **capable de s'adapter aux fluctuations de quantité de H₂S dans le gaz d'entrée et d'avoir des concentrations constantes en sortie**.



Effet du débit de solvant sur la concentration de H₂S en sortie et sur l'efficacité du système (débit de gaz et concentration de H₂S à l'entrée constants) [1]

[1] Schéma issu de l'article

Pour vous abonner à la veille, cliquez [ici](#)



Vous pouvez également contribuer à cette veille en nous faisant des suggestions d'actualités à intégrer dans nos publications bimestrielles en envoyant un mail à :

veille.gazvertsgrdf@enea-consulting.com