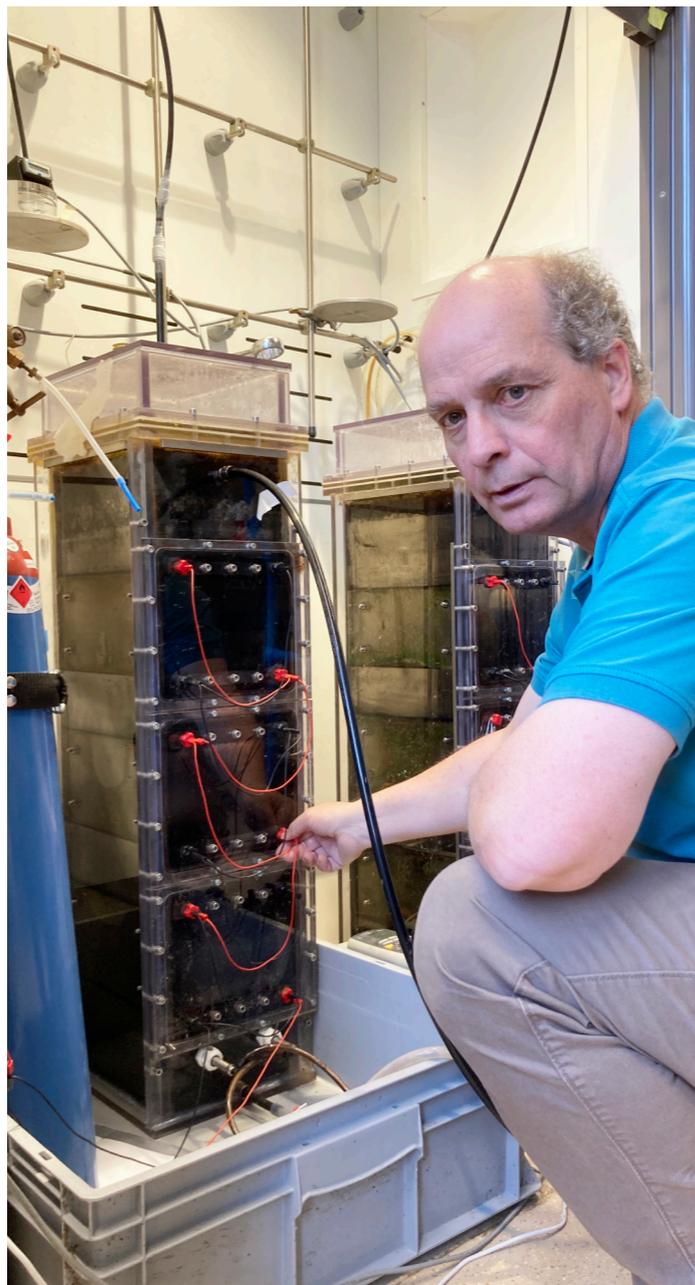


BOUE D'ÉPURATION : PLUS DE BIOGAZ UTILISABLE

Dans le cadre de la restructuration en cours de l'approvisionnement énergétique de la Suisse, de grands espoirs reposent sur le biogaz. Cette source d'énergie est considérée comme une alternative climatiquement neutre au très répandu gaz naturel. Le biogaz est notamment produit dans les stations d'épuration des eaux usées à partir des boues issues de l'étape biologique de l'épuration. Le gaz brut doit toutefois être traité avant de pouvoir être injecté dans le réseau de gaz avec une qualité de gaz naturel. Cette étape de traitement pourrait être réalisée à l'avenir en utilisant la technologie MEC (abréviation de: cellule d'électrolyse microbienne). Une équipe de recherche valaisanne a testé le procédé sur deux cellules MEC pilotes. Les résultats sont prometteurs.

L'utilisation de biogaz brut (également nommé: gaz de digestion) s'est transformée au cours des dernières années. Auparavant, il était courant de brûler le biogaz brut issu de la fermentation des boues d'épuration dans des centrales de



Le professeur Fabian Fischer dans le laboratoire de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale à Sion avec un réacteur à colonnes MEC. Photo: B. Vogel



La station d'épuration des eaux usées (STEP) de Châteauneuf, non loin de Sion (VS). L'étape de traitement biologique est visible en premier plan. C'est ici que sont produites les boues d'épuration qui sont utilisées dans le digesteur (bâtiment blanc et bleu à l'arrière-plan) pour produire du biogaz à partir duquel la chaleur et l'électricité sont produites dans une installation de cogénération chaleur-électricité. Les chercheurs valaisans utilisent les boues d'épuration de la STEP de Châteauneuf dans la cellule d'électrolyse microbienne. Photo: B. Vogel

cogénération pour la production de chaleur et d'électricité. Ces dernières années, le biogaz brut est de plus en plus souvent transformé en biogaz au lieu d'être brûlé. Lors du traitement, le dioxyde de carbone (CO_2), lequel représente environ 40% du gaz d'épuration, est séparé. Le biogaz restant se compose de méthane pur; il est ainsi chimiquement identique au gaz naturel et peut être injecté dans le réseau de gaz. Avec le biogaz, on dispose d'une source d'énergie neutre pour le climat qui peut être facilement stockée et utilisée, par exemple, pour la production d'électricité, précieuse en hiver.

Dans le cadre du procédé mentionné, le CO_2 séparé du biogaz brut est rejeté dans l'environnement. Depuis peu, on essaie également d'utiliser cette composante du biogaz brut à des fins énergétiques: le CO_2 peut être transformé en méthane par l'ajout d'hydrogène. C'est sur ce principe de fonctionnement que repose l'installation de la vallée de la Limmat, Limeco, qui a ouvert ses portes au printemps 2022 à Dietikon (ZH). Il s'agit de la première installation Power-to-Gas commerciale de Suisse. Elle permet de transformer l'électricité (via l'hydrogène en tant que produit intermédiaire) en un fluide facile à stocker, le biogaz.

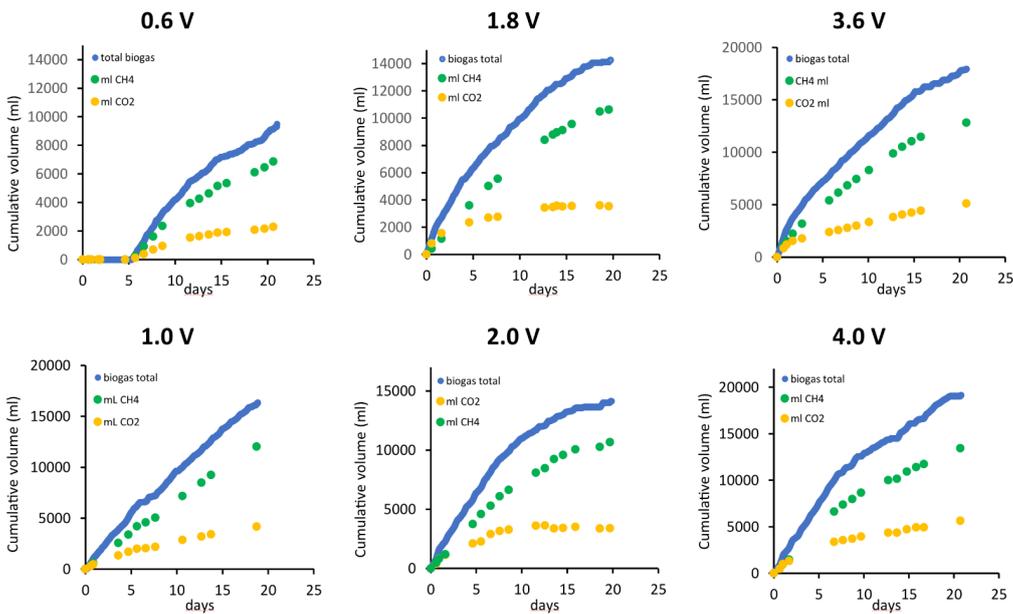


Le professeur Fabian Fischer recouvre un échantillon de boues d'épuration de la STEP de Châteauneuf avec une hotte aspirante afin de réduire les nuisances olfactives. Les boues d'épuration, dont la teneur en matières solides est d'environ 3%, sont transformées en méthane dans la cellule d'électrolyse microbienne avec un rendement élevé. Photo: B. Vogel

Biogaz brut avec 75% de méthane

L'installation de Dietikon a besoin d'hydrogène pour transformer le CO_2 contenu dans le biogaz brut en une source d'énergie, le biogaz. La production de biogaz à partir de boues d'épuration pourrait être possible à l'avenir sans ajout d'hydrogène. Cela serait possible si la fermentation des boues d'épuration ne produisait pas du biogaz brut avec une part de méthane de 60%, mais du méthane pur. C'est précisément l'objectif à long terme de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO Valais-Wallis) à Sion. Fabian Fischer, professeur de biotechnologie chimique, et son équipe y font des recherches sur la cellule d'électrolyse microbienne (en anglais microbial electrolysis cell/MEC). Grâce à la technologie MEC, la production de méthane pur à partir de boues d'épuration pourrait devenir une réalité à l'avenir.

L'équipe de recherche valaisanne a maintenant atteint un objectif intermédiaire sur cette voie. Avec deux réacteurs pilotes MEC (voir l'encadré p.4). Elle a produit du biogaz brut avec une forte teneur en méthane à partir de boues d'épuration, comme l'expliquent les auteurs dans le rapport final du projet de recherche récemment achevé: « Notre étude a montré



Selon des considérations théoriques, il faut une tension de 0,13 V pour déclencher le processus de fermentation dans une MEC. Dans les réacteurs de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale, une tension de 0,6 V était nécessaire pour démarrer la production de méthane. Le graphique montre l'évolution de la production de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2) pendant le temps de séjour des boues d'épuration dans la cellule d'électrolyse microbienne, et ce en fonction de la tension appliquée. Une tension de 2,5 V s'est avérée optimale. Graphique: rapport final de l'OFEN

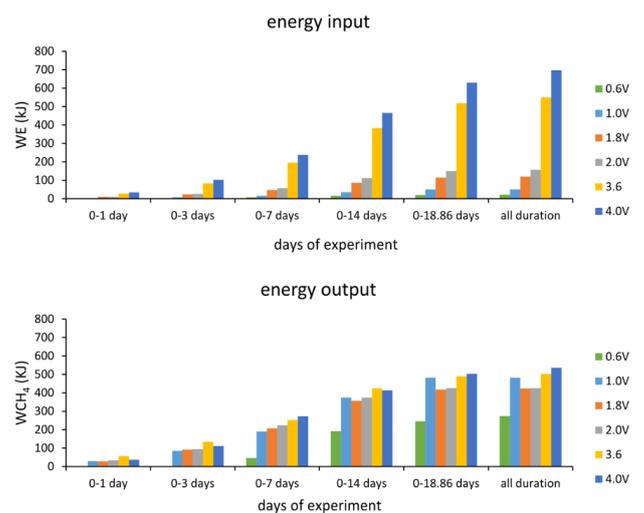
que la technologie MEC peut produire de grandes quantités de biogaz à température ambiante, avec 10 à 30% de méthane (CH_4) en plus que dans les digesteurs anaérobies de l'ARA de Châteauneuf à 37°C ». Autrement dit: tandis que les fermenteurs de boues d'épuration traditionnels produisent du biogaz brut avec une teneur en méthane d'environ 60%, les fermenteurs MEC en produisent 70 à 90%. « Il s'agit d'un succès intermédiaire sur lequel nous allons maintenant continuer à travailler avec pour objectif d'augmenter le rendement en méthane à 100% », explique Fabian Fischer.

Le méthane, un produit métabolique

Le principe de fonctionnement de la cellule d'électrolyse microbienne semble simple: la fermentation des boues d'épuration dans le fermenteur est alimentée en électricité. L'alimentation énergétique permet d'obtenir du biogaz brut avec une teneur en méthane plus élevée. Selon Fischer, le mécanisme moléculaire de la méthanisation n'a pas encore été définitivement élucidé. Des études scientifiques indiquent que les micro-organismes actifs dans le fermenteur (archées) peuvent absorber directement les molécules de CO_2 , les électrons et les protons pour produire du CH_4 (méthane). Le processus métabolique des micro-organismes a lieu sur la cathode. Celle-ci est recouverte soit de nickel, soit de carbone hautement poreux (voir encadré p.4).

Même si les détails du procédé sont encore obscurs, les résultats des recherches menées à Sion confirment que la technologie MEC permet d'obtenir du biogaz brut à haute teneur en méthane, du moins à l'échelle du laboratoire. Le processus

de fermentation se déroule à température ambiante. C'est un avantage car, contrairement aux fermenteurs traditionnels, l'ajout de chaleur n'est pas nécessaire. De l'énergie sous forme d'électricité est toutefois indispensable. Celle-ci est transformée en méthane avec une grande efficacité dans le processus MEC. En cas d'utilisation de courant continu, le rendement est de 80 à 96%, comme le suggèrent les valeurs de laboratoire issues de la littérature spécialisée. Selon les mesures effectuées par la HES-SO Valais-Wallis, le processus MEC nécessite une énergie électrique de l'ordre de 3 J par



Le graphique montre la quantité d'électricité consommée par la MEC (input) et l'énergie de combustion du méthane produit (output), ceci en fonction de la puissance des électrodes. D'un point de vue énergétique, il est souhaitable que la MEC produise le plus de méthane possible avec le moins d'électricité possible. Graphique: rapport final de l'OFEN

DEUX TYPES DE FERMENTEURS MEC

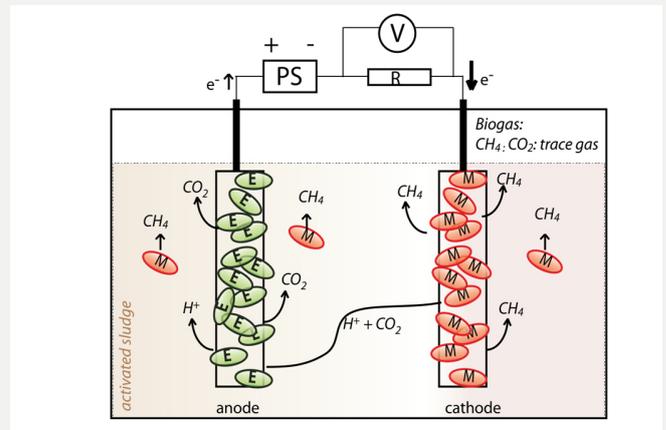


Photo: B. Vogel, Graphique: rapport final de l'OFEN

L'équipe de recherche de Sion a mis en œuvre et testé en pratique la technologie MEC dans deux types de fermenteurs pilotes différents d'un volume de 50 l chacun. Les électrodes qui alimentaient les réacteurs en électricité étaient partiellement recouvertes de RVC (reticulated vitreous carbon), une mousse de carbone qui offre une grande « surface de travail » aux micro-organismes grâce à sa surface poreuse. Les boues d'épuration de la STEP de Châteauneuf, près de Sion, ont été utilisées pour les deux réacteurs.

Le réacteur A (voir photo à gauche, l'appareil à droite) avait un design horizontal (70 x 30 x 40 cm) et était équipé de 16 anodes RVC et de 15 cathodes en nickel. Pendant 1000 h en fonctionnement continu, 140 l de biogaz ont été produits à partir de boues d'épuration avec une teneur en méthane de 73 à 79%. En mode semi-batch, l'utilisation de boues d'épuration prédigérées a même permis d'obtenir jusqu'à 90% de méthane.

Le réacteur B était un réacteur à colonne d'une hauteur de 106 cm, dans lequel trois réacteurs partiels étaient empilés, chacun avec 10 anodes RVC et 10 cathodes RVC (la photo à gauche montre, au centre, deux exemplaires de ce type de réacteur). Il a produit 23 litres de biogaz en 420 heures avec un mélange de boues d'épuration normales et prédigérées en mode semi-batch, avec une teneur en méthane pouvant atteindre 99%. La valeur très élevée de 99% doit toutefois être prise avec précaution, car il s'agit d'une valeur de pointe mesurée une seule fois et qui ne peut pas être reproduite facilement.

Schéma de fonctionnement de la cellule d'électrolyse microbienne (graphique à droite): deux électrodes sont introduites dans les boues d'épuration, entre lesquelles un champ électrique est créé par l'application d'une tension. La lettre M désigne les micro-organismes producteurs de méthane qui se fixent sur la cathode. L'anode contient d'autres micro-organismes qui émettent des électrons. La production de méthane (méthanogenèse) est le résultat d'un processus de transformation chimique en plusieurs étapes qui n'a pas encore été élucidé en détail. BV.

millilitre de méthane. C'est 13 fois moins que l'énergie produite par la combustion de la même quantité de méthane.

Suréchantillonnage à l'échelle industrielle

Selon Fabian Fischer, la technologie MEC permet de produire plus de méthane avec la même quantité d'électricité que l'installation Limeco de Dietikon: « Le rendement plus élevé est dû au fait que le CO₂ formé à partir des boues d'épuration,

est directement transformé en méthane par les microbes. Il n'est donc pas nécessaire de faire un détour par l'hydrogène, plus coûteux sur le plan thermodynamique, comme c'est le cas pour l'installation Limeco ». Le procédé utilisé chez Limeco présente toutefois également des avantages: premièrement, il est déjà disponible aujourd'hui pour une utilisation commerciale et deuxièmement, il transforme entièrement le CO₂ contenu dans le biogaz brut en méthane. Concernant le

procédé MEC, sur lequel on travaille à Sion, ce chiffre s'élève actuellement à environ 80%.

Le groupe de recherche valaisan travaille depuis 2004 sur la cellule d'électrolyse microbienne. Elle avait d'abord démontré leur fonctionnement sur un réacteur MEC de 30 l de volume, puis, dans le cadre du projet de l'OFEN, sur deux types de réacteurs d'un volume de 50 l chacun. Dans le cadre d'un projet ultérieur, un réacteur de recherche MEC d'un volume de 2000 l sera construit et exploité. L'upscaling de l'installation doit démontrer la viabilité commerciale de la technologie MEC. Selon Fischer, il est prévu de créer une start-up qui industrialisera la technologie et trouvera des investisseurs à cet effet: « Nous travaillons sur une technologie destinée aux esprits pionniers. Elle pourrait être particulièrement intéressante pour les exploitants de STEP qui ne produisent pas encore de biogaz et qui souhaitent produire cette source d'énergie prometteuse à l'aide d'une technologie innovante ».

- Le **rapport final** du projet de recherche « Microbial Electrolysis Cell II » est disponible sur:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40718>
- Dr Sandra Hermle ([Sandra.Hermle\[at\]bfe.admin.ch](mailto:Sandra.Hermle[at]bfe.admin.ch)), directrice du programme de recherche de l'OFEN sur la bioénergie communique des **informations** sur ce projet.
- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine de la bioénergie sur www.bfe.admin.ch/ec-bioenergie-fr.



Dans le chef-lieu du Valais, Sion, la Haute école spécialisée de Suisse occidentale et l'EPFL mènent des activités d'enseignement et de recherche sur le campus « energypolis ». C'est ici que le professeur Fabian Fischer et son équipe étudient les phénomènes bioélectriques. Photo: B. Vogel