

La pile à combustible microbienne

Une équipe de chercheurs de la HES-SO Valais à Sion produit de l'énergie renouvelable avec des piles à combustible microbiennes. Cette énergie est extraite de microbes sous forme de protons et d'électrons et transformée en électricité ou biohydrogène. Les piles à combustible microbiennes peuvent être utilisées pour diverses applications industrielles comme l'épuration des eaux usées, le traitement des déchets verts, mais aussi dans le domaine de la technologie médicale (piles pour alimenter les pacemakers, pompes à insuline implantables).

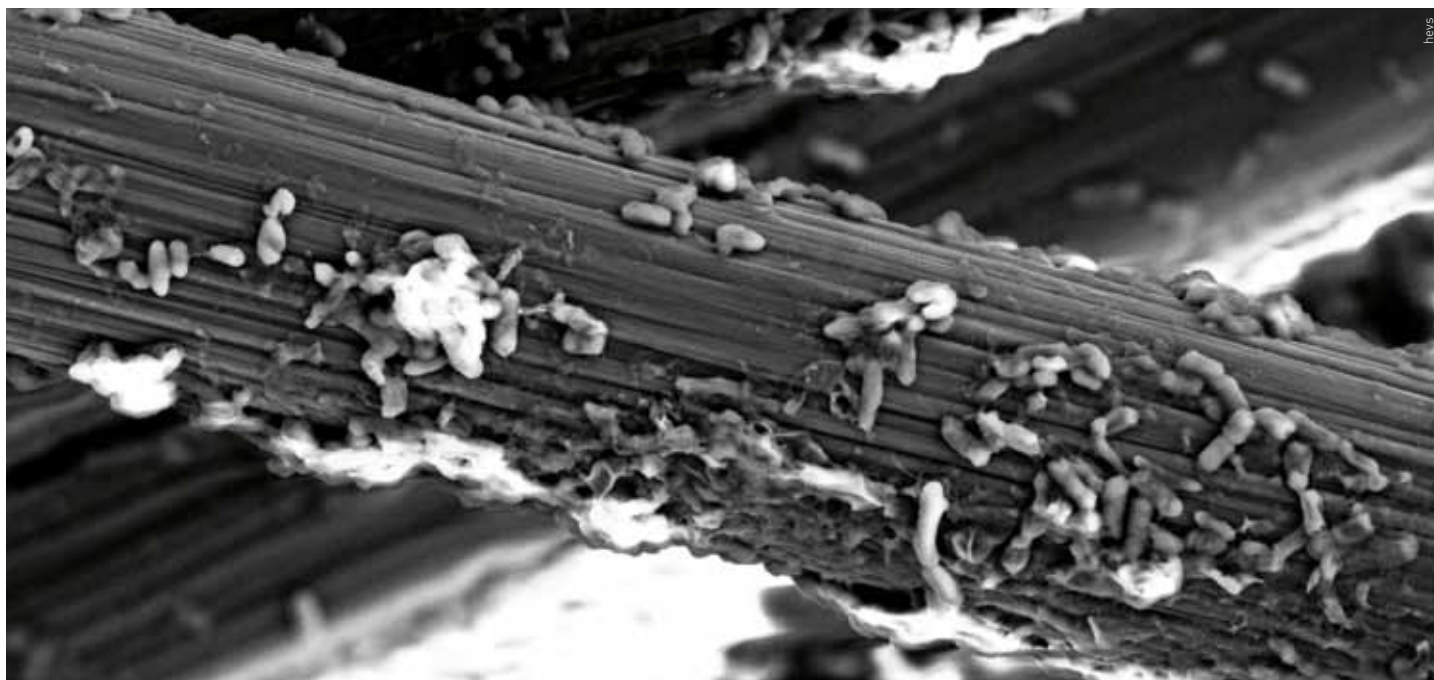


Image d'un microscope électronique à balayage qui montre des microbes attachés sur une fibre de carbone produisant de l'énergie électrique.

Evolution d'une découverte. La pile à combustible microbienne est basée sur le métabolisme de respiration des systèmes vivants. C'est Michael C. Potter, professeur à l'université de Durham, qui fut le premier à observer la production d'électricité par des microbes en 1911. Or, ce n'est que vers 1980 que les piles à combustible microbiennes ont de nouveau suscité l'intérêt du monde scientifique. Le potentiel de cette technologie n'est cepen-

dant reconnu que depuis une dizaine d'années.

Une source d'énergie polyvalente

Les piles à combustible microbiennes génèrent de l'électricité à partir de la biomasse. Cette technologie peut être employée dans les stations d'épuration des eaux usées dans les zones urbaines ainsi que dans l'industrie chimique et biochimique qui produit des déchets organiques.

Elle est particulièrement bien adaptée pour le traitement des eaux usées des entreprises de production vinicole et alimentaire et peut s'avérer intéressante pour la transformation des déchets verts en électricité renouvelable dans les bioraffineries. Les piles à combustible microbiennes peuvent aussi être utilisées pour générer des électrons et des protons pour la réduction électrochimique; une approche en cours de développement qui consiste à remobiliser le phosphate à partir des boues d'épuration dans le but de produire de l'engrais. D'autres applications prometteuses comprennent la technologie médicale (alimentation des pacemakers, pompes à insuline implantables) ou la production de biohydrogène. L'analyse continue de l'activité microbienne dans les bioréacteurs est

une application utile, alors que les robots gastriques représentent un aspect plutôt ludique et futuriste de cette technologie polyvalente en termes de biomasse et d'application.

L'électricité microbienne

Le fonctionnement d'une pile à combustible microbienne est similaire à celui d'une pile normale. Il y a un pôle positif et un pôle négatif. Les micro-organismes dégradent la matière organique et cette digestion produit des électrons qui sont transportés par des médiateurs dans le cytosol des cellules. Une partie des électrons est ensuite transférée par l'enveloppe cellulaire extérieure et transmise à une anode de carbone. Les électrons passent par un circuit externe dans la cathode qui contient un oxydant. Comme accepteur d'électrons,

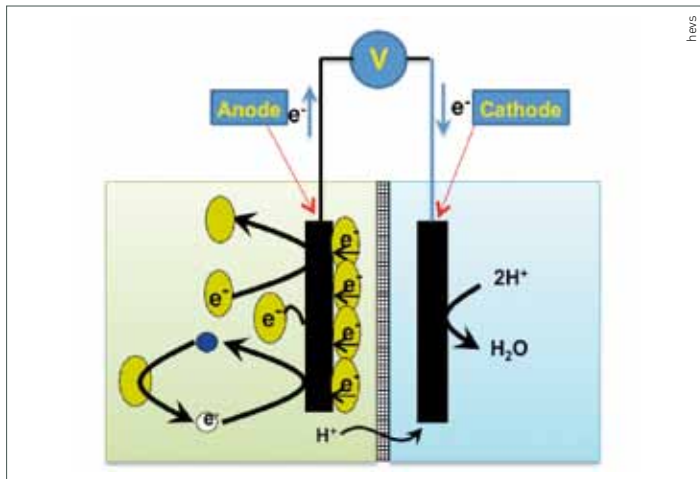
formule chimique

Bilan de la transformation du glucose moléculaire en énergie électrique

Oxydation du glucose: $C_6H_{12}O_6 + 6 H_2O \rightarrow 6 CO_2 + 24 H^+ + 24 e^-$

Réduction de l'oxygène: $6 O_2 + 24 H^+ + 24 e^- \rightarrow 12 H_2O$

Équation bilan d'oxydoréduction: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 + 24 H^+ + 24 e^- \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + \text{énergie}$



Les microbes transfèrent leurs électrons sur l'anode par différentes voies : par des médiateurs, des pili, pendant des collisions et souvent par contact permanent (p. ex. biofilms). Dans la cathode, les protons et les électrons se lient à l'oxygène pour produire de l'électricité. Après cette combustion froide, l'eau est le seul déchet qui reste.

on utilise de préférence l'oxygène de l'air, qui est réduit en eau par les réactions catalysées sur la platine. Ce processus correspond partiellement aux mécanismes des cellules vivantes, sauf que les réactions d'oxydation et de réduction sont ici séparées physiquement afin de produire un courant. On peut démontrer que les molécules de sucre, notre source d'énergie classique, se transforment en 24 électrons par monosaccharide (glucose). Des chercheurs belges ont obtenu une efficacité coulombique de 89 % sous des conditions de laboratoire bien contrôlées. Ces chiffres sont proches de l'efficacité de systèmes biologiques natifs, dont le rendement coulombique est estimé à plus de 90 %. Théoriquement, les piles à combustible microbiennes sont donc hautement efficaces.

Quels sont les microbes utiles ?

Les projets de recherche menés à la HES-SO Valais à Sion se concentrent sur l'utilisation des piles à combustible microbiennes pour la production d'électricité à partir des eaux usées. Toutefois, la réalisation de ces futures centrales d'énergie basées sur l'épuration de l'eau soulève des questions. Pendant l'épuration des eaux usées, la communauté microbienne évolue en fonction de la nutrition à disposition. Il y a des microbes spécifiques, qui libèrent des électrons par leurs

membranes extérieures avec une grande efficacité. Ils ont une respiration anaérobie qui utilise, par exemple, du fer oxydé à la place d'oxygène, comme les microbes *Rhodospirillum rubrum*. Le remplacement des microbes natifs dans les bassins biologiques des stations d'épuration par des microbes spécifiques semble difficile parce qu'ils risquent d'être marginalisés par rapport aux microbes naturellement contenus dans les effluents. On constate qu'après un certain laps de temps, il y a des microbes qui s'accumulent sur les électrodes, mais on ne sait pas encore beaucoup sur la dynamique de colonisation spontanée des microbes bien adaptés à la respiration sur les électrodes pour la production d'électricité. Pour ces raisons, l'équipe de la HES-SO Valais étudie également le comportement de divers microbes en vue de leur utilisation dans les piles à combustible microbiennes. En conclusion, les microbes pouvant être utilisés dans l'industrie sont à la fois utiles et peuvent produire de l'électricité.

Rendre l'épuration de l'eau rentable

Une quantité considérable d'énergie est nécessaire pour purifier les eaux usées, qui contiennent 8 à 10 fois plus d'énergie que nécessaire pour le traitement. Les chercheurs de l'US Naval Research Laboratory pensent pouvoir ob-

tenir 500 W/m³ d'énergie avec une pile à combustible microbienne. Une station d'épuration des eaux usées ultramoderne récupère 25 % de l'énergie contenue dans les eaux usées. Actuellement, le bilan énergétique du traitement des eaux usées est négatif à cause du traitement biologique. Cette empreinte énergétique est due à l'aération pendant le traitement biologique qui correspond à 50 % du coût total. En appliquant le principe de la pile à combustible microbienne, l'aération est fortement réduite, car elle a lieu que dans la cathode. Certaines cathodes sont même conçues de manière à permettre une aération passive et, par conséquent, elles produisent de l'énergie au lieu d'en

consommer. Les piles à combustible microbiennes offrent donc la possibilité de générer de l'énergie renouvelable pendant l'étape biologique du traitement des eaux usées, dont les coûts seront considérablement réduits. Le bilan énergétique deviendra positif et les centrales de traitement des eaux usées des producteurs d'énergie nette. Au lieu d'acheter de l'électricité, les stations d'épuration des eaux usées vont en produire.

Dr. Fabian Fischer
Prof. HES
Chemical Biotechnology
HES-SO Valais,
Institute of Life Technologies
1950 Sion 2
www.hevs.ch