

Épargner et produire de l'électricité tout en épurant les eaux usées ? Le potentiel des piles à combustible microbiennes

Prof. Dr Fabian Fischer, HES-SO Valais, Sion

On peut produire de l'électricité avec des microbes dans une pile à combustible microbienne. L'idée a été développée par le professeur Potter en 1910 en Angleterre [1]. Mais ses travaux sont tombés dans l'oubli pendant longtemps, et ce n'est que depuis peu qu'un nombre croissant de chercheurs s'occupent de ce sujet de façon plus approfondie. Il est en effet envisageable que, dans le futur, l'on parviendra à épurer les eaux usées sans coût en produisant de l'électricité en excès.

La bioélectricité et sa découverte récente

La bioélectricité est un phénomène que l'on rencontre rarement dans la vie quotidienne. Mais peut-être que certains d'entre nous avons déjà observé des insectes qui, en pleine nuit, attirent leurs partenaires par bioluminescence ; ou alors vu dans un zoo un poisson électrique en chasser d'autres

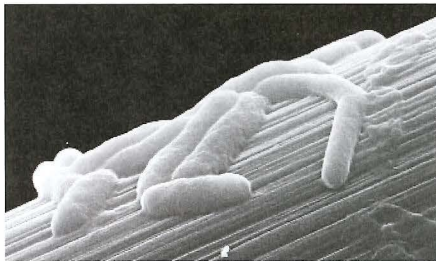


Figure 1 : *Shewanella oneidensis MR1* collé sur une fibre de carbone pour respirer par elle-même. Longueur des microbes 1 à 2 micromètres. (Photo : Michaël Berdat).

au moyen d'électrochocs. Les causes de ces phénomènes électriques sont facilement expliquées. Mais s'agissant de microbes, on ne trouve pas tout de suite une explication convaincante pour comprendre pourquoi ils sont électriques. Afin d'observer ces bactéries, il faut se munir d'un microscope et d'un multimètre pour détecter les effets électriques. La découverte des microbes purement électriques est récente et n'a qu'une trentaine d'années environ. En 1988, sont parus trois rapports traitant pour la première fois de la découverte des microbes électriques. Le plus intéressant concerne ceux du lac Oneida près de New York [2]. L'eau contenait trop de manganèse et on en a cherché la cause. Or, il n'y a pas d'industrie ou d'autre source suspecte potentielle autour de ce lac. En réalisant des analyses microbiennes, on a trouvé un microbe, le *Shewanella* qui respire par sa membrane extracellulaire sur une roche contenant du manganèse (Figure 1). Suite à cette découverte, la recherche sur les piles à

combustible microbiennes a suscité un immense intérêt (Figure 2) [3]. Aujourd'hui on sait qu'il y a de nombreux autres microbes électriques dans la nature.

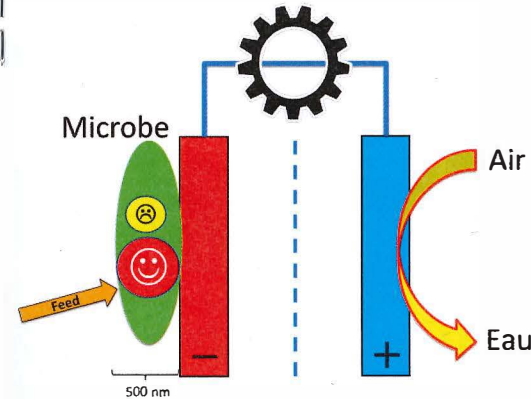


Figure 2 : Schéma d'une pile à combustible microbienne où les électrons (jaune) et protons (rouge) passent de l'anode (rouge) à la cathode (bleue) en produisant de l'électricité (une animation est disponible auprès de l'auteur sur demande).

Épuration de l'eau usée dans les piles à combustible microbiennes

L'épuration des eaux usées dans les pays industrialisés consomme 2-3 % de l'électricité produite. Les plus grands consommateurs sont les bassins biologiques, 70 % de l'électricité étant utilisés uniquement pour les aérer. Si l'on arrivait à remplacer l'air par des électrodes, beaucoup d'argent pourrait être épargné (Figure 3). Donc, si les microbes aérobies sont remplacés par des microbes bioélectriques, on pourrait économiser et produire de l'électricité en épurant des eaux usées. Une production d'électricité nette est possible parce qu'il y a 8 à 10 fois plus d'énergie dans l'eau usée qu'il n'en faut

pour son épuration. Les chiffres d'affaires changeraient fortement pour les stations d'épuration en faveur des communes qui investiraient dans cette nouvelle technologie. Pour une estimation, en règle générale, on peut comparer les rendements prévisibles au moins avec ceux de la méthanisation. De plus, il faut se rendre compte qu'en brûlant le méthane pour produire de l'électricité, on perd 50 à 70 % de l'énergie que ce dernier contient. Cela contraste avec la pile à combustible microbienne qui permet une transformation de l'énergie contenue dans la totalité de la masse organique dans l'eau usée d'une façon directe. L'efficacité de ce processus est très haute avec 89 % par rapport à ce qui a été observé en laboratoire dans un essai à petite échelle[4].

La mise à l'échelle des piles à combustible microbiennes

Le défi actuel est la mise à l'échelle des piles à combustible microbiennes. Dans le laboratoire de la HES-SO Valais, nous travaillons



Figure 3 : Bassins biologiques dans lesquels, si les soufflantes d'aération étaient remplacées par des électrodes de piles à combustible microbienne, 70 % d'électricité pourraient être épargnés. (Photo : Scom, HES SO Valais).

sur cette question depuis quelques années (Figure 4). De nouvelles méthodes de fonctionnement pour une future application dans une STEP sont établies. Une pile à combustible microbienne génère une tension maximale de 0.5 V et, en mode production, celle-ci chute facilement à 0.2 V. Pour augmenter le pouvoir du système, l'idée est de mettre plusieurs piles à combustible microbiennes en série (Figure 4). Un premier constat démontre qu'il faut mettre au minimum 440 piles en ligne pour alimenter un appareil électrique. Avec l'électronique avancée qu'on trouve sur le marché on arrive à récupérer l'électricité biologique avec une plus petite série d'unités. Par exemple, on arrive à charger des piles de lithium de 3.8 V [5] avec 3-4 piles à combustible microbiennes. C'est la puissance qu'on trouve dans les smart phones. Donc, en théorie, il est possible de charger des batteries de lithium d'ordinateurs, voitures électriques, et autres appareils avec l'énergie microbienne.

En ce qui concerne leur construction, on avance également vers la simplification de l'architecture de ces piles. L'objectif le plus important est de simplifier les flux d'eaux usées dans ces futurs générateurs d'épuration. On se concentre sur des anodes partagées, ce qui représente une simplification considérable. La recherche à plus grande échelle n'est qu'à ses débuts et nous collaborons avec plusieurs partenaires industriels et des stations d'épuration sur ce projet.

Perspective sur la rentabilité de l'épuration bioélectrique

Nous disposons de peu de données pour prévoir correctement la rentabilité des piles à combustible microbiennes dans leur application future. Toutes les estimations sont déduites à partir des principes de fonctionnement et des paramètres qui sont fondamentaux. Il y a beaucoup de biomasse



Figure 4 : Pile à combustible microbienne pilote pour examiner les conditions de mise à l'échelle. L'objectif est de générer de l'électricité et d'économiser l'énergie en épurant de l'eau usée. (Photo : Fabian Fischer).

mais quel en est le prix? On se concentre dans cette analyse sur l'eau usée, disponible en grandes quantités et considérée comme gratuite. Mais quelle est l'énergie contenue dans les eaux usées d'une commune quelconque? Il est possible de calculer cette énergie de la façon suivante. Une personne consomme 2000 calories par jour. Cette énergie suffit pour allumer une ampoule de 100 watts 24/24 heures. 25 watts de cette énergie ne sont pas utilisés et se retrouvent

dans l'eau usée. Pour épurer l'eau utilisée par une personne, il faut 7.5 watts. Si on traite cette eau dans une pile à combustible microbienne, on peut épargner 70 % de cette énergie. Donc 2.3 watts d'électricité doivent être produits par habitant pour faire fonctionner la future STEP. En conséquence, il reste au moins 20 watts qu'on peut transformer en bioélectricité. Si on arrive à transformer la moitié de cette énergie en électricité, on peut vendre 10 watts par habitant. Avec un tarif de 20 centimes par kWh, une STEP de 100'000 habitants pourrait avoir un revenu annuel de CHF 1,75 million. Et bien évidemment l'eau épurée serait obtenue sans dépenser d'argent pour l'électricité.

La pile à combustible microbienne fonctionne aussi avec d'autres déchets. Sachant que la moitié des aliments produits sont jetés, on pourrait facilement produire 60 watts au lieu de 10 avec ces déchets. Dans ce cas, le chiffre d'affaires s'élèverait à CHF 10'500'000.-/an. Il y a encore d'autres déchets comme ceux de l'agriculture. Il faudrait aussi connaître les coûts des installations. Mais ils sont difficiles à chiffrer parce que la recherche sur les matériaux et l'efficacité des piles à combustible n'est pas encore arrivée au stade où elle peut répondre à ces questions d'une façon satisfaisante.

Conclusions

Les piles à combustible microbiennes permettent d'économiser et de produire de l'électricité tout en épurant les eaux usées. Elles permettent de convertir la masse organique qu'elles contiennent en électricité. Pour ce processus, on utilise les microbes qui se trouvent dans l'eau usée. Le potentiel de cette technologie est démontré clairement sur un plan théorique. Sa réalisation est envisagée dans le futur. Actuellement, nous en sommes aux essais pilotes.

Références

- 1) M. C. Potter (1912). Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. Proceedings of the Royal Society Serie B 84, 260-276.
- 2) K.H. Nealson, C.R. Myers (1992). Microbial reduction of manganese and iron : new approaches to carbon cycling. Applied and Environmental Microbiology, 58, 439-443.
- 3) H.J. Kim, M.S. Hyun, I.S. Chang, B.H. Kim, (1999). A microbial fuel cell type lactate biosensor using a metal-reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*. Journal of Microbiology and Biotechnology, 9, 365-367.
- 4) K. Rabaey, G. Lissens, S.D. Siciliano, W. Verstraete (2003). A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency. Biotechnology letters, 25, 1531-1535.
- 5) Projet : Pile à Combustible Microbienne, OFEN 2015-2017.

Pour plus d'informations :

Un schéma d'animation d'une pile à combustible microbienne peut être commandé auprès du

Prof. Dr Fabian Fischer
HES-SO Valais-Wallis
Route du Rawyl 64
1950 Sion
Tél : 027 606 8658
Fabian.Fischer@hevs.ch