

## Optimisation du rendement et de la durée de vie des piles à combustibles avec une humidification optimale



*« Les capteurs d'humidité de Vaisala sont activement utilisés dans nos recherches. Pour nous, il est essentiel de connaître l'humidité des gaz réactifs à la fois avec les piles à basse température et les piles à haute température. »*

Mikko Kotisaari,  
chercheur, piles à combustible, VTT

La production d'hydrogène est un secteur étendu qui se développe. Dans notre économie du futur, faible en carbone, il est proposé que l'hydrogène prenne toute sa place, ce qui permettrait de supprimer progressivement le recours aux énergies fossiles et d'atténuer le réchauffement climatique. L'un des principaux avantages de l'hydrogène est sa compatibilité avec une large gamme d'applications avec piles à combustible.

Les applications faisant appel à cette technologie s'articulent autour de trois grandes catégories : la production d'électricité portable (pour les périphériques mobiles et l'alimentation auxiliaire portable), la production d'électricité stationnaire (production d'électricité distribuée, sources d'alimentation de sauvegarde et centrales électriques connectées au réseau) et les transports (voitures, transports publics et engins lourds). L'industrie automobile, qui est l'un des principaux moteurs de

croissance de ce marché, mène beaucoup de recherches visant à développer la technologie des piles à combustible sur le marché automobile.

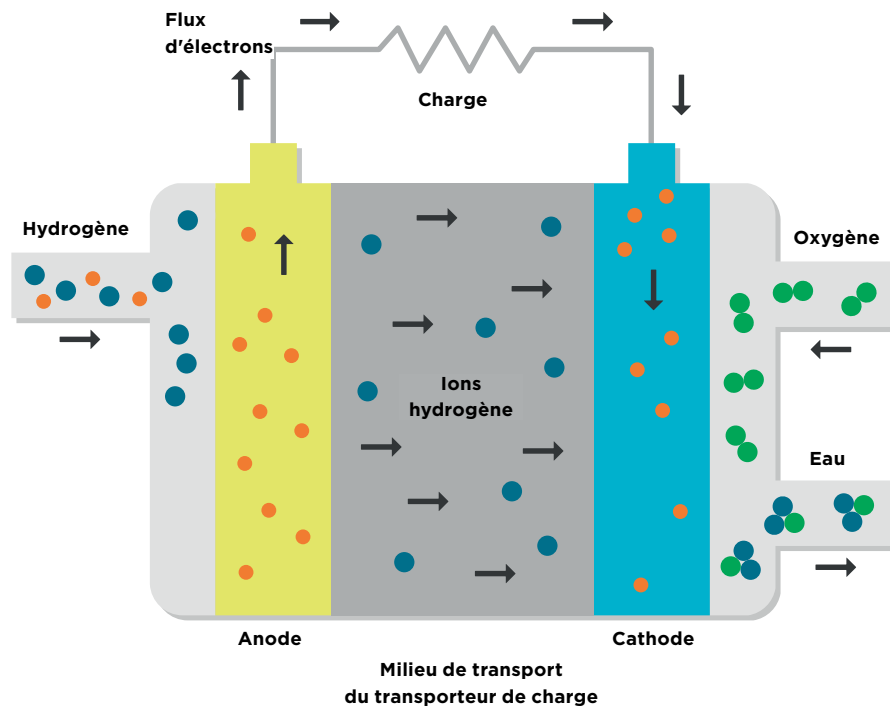
### Principe de fonctionnement

La pile à combustible convertit directement l'énergie chimique en énergie électrique sans aucune combustion. Ce fonctionnement est basé sur une réaction d'oxydo-

réduction. L'énergie provoque une réaction qui se produit entre l'hydrogène et l'oxygène. Ce processus direct offre un haut rendement énergétique (plus de 50 % et même jusqu'à 85 % si l'énergie thermique dérivée est également récupérée), ce qui est un avantage. En termes de production d'électricité, cela dépasse le rendement de tous les processus de combustion. Autres avantages : aucune émission sur le site de fonctionnement et un fonctionnement silencieux.

Les différentes technologies de piles à combustible, qui sont nombreuses, ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Les trois principales technologies actuellement présentes sur le marché diffèrent par leur milieu porteur de protons : les piles à membranes échangeuses de protons (PEMFC pour Proton-Exchange Membrane Fuel Cell), les piles à oxydes solides (SOFC pour Solid Oxyde Fuel Cell) et les piles à carbonates fondus (MCFC pour Molten Carbonate Fuel Cell). Parmi celles-ci, la technologie PEM est la plus polyvalente en termes d'applications parce qu'elle fonctionne à faible température (>100 °C), ce qui fait qu'elle peut être utilisée dans les piles à combustible petites et grandes. Les piles à oxydes solides fonctionnent à très haute température et sont mieux indiquées pour les applications plus vastes comme la production d'électricité distribuée. Si les piles à membranes échangeuses de protons utilisent de l'hydrogène pur, les piles à oxydes solides peuvent utiliser du gaz naturel ou d'autres hydrocarbures à partir desquels l'hydrogène est extrait lors du processus de reformation. La température de fonctionnement élevée des piles SOFC facilite l'intégration de l'étape de reformation au niveau de l'appareil avec pile à combustible.

Le principe de fonctionnement des PEMFC est décrit dans la **Figure 1**. Quand l'hydrogène se dissocie en protons (ions hydrogène) et en électrons à l'anode, les électrons sont transportés vers la cathode par un circuit extérieur, ce qui génère un courant électrique. Les transporteurs de la charge positive (noyaux d'hydrogène) traversent la membrane humide sur la cathode où leur réaction avec l'oxygène forme de l'eau. Cette réaction produit de l'électricité et de la chaleur.



*Figure 1 : Principe de fonctionnement d'une pile PEMFC. Le combustible hydrogène réagit à l'anode en présence du catalyseur, pour former des électrons et des noyaux d'hydrogène. Ces noyaux sont acheminés vers la cathode par un transporteur de charge où ils réagissent avec l'oxygène pour former de l'eau. Les électrons traversent le circuit extérieur et génèrent un courant électrique.*

## Optimisation du rendement d'une pile à combustible

Le rendement des piles à combustible est atténué par différentes sources de perte : pertes d'activation dictées par la réaction catalytique et l'état des catalyseurs, pertes ohmiques au niveau du milieu de transport lors du transport des protons, pertes de concentration dues à la vitesse limitée du transfert de masse en fonction des surfaces réactives, et les courants internes générés lorsque l'hydrogène traverse la membrane sans réaction. Les mécanismes derrière ces pertes sont liés à la gestion de l'eau et de la température dans la pile. Si la température et l'humidité ne sont pas bien contrôlées, le vieillissement des catalyseurs et du milieu de transport des

protons augmente les pertes, diminue le rendement et finit par causer la destruction de la pile.

Des piles PEM plus petites n'ont généralement pas besoin d'humidification, mais dans les piles plus grandes qui acheminent des courants plus élevés, la membrane polymère peut nécessiter une humidification réactive pour éviter la déshydratation sous la charge. Les échanges de protons sont directement proportionnels à l'humidité polymère et le polymère sec limite la vitesse de réaction et provoque des pertes au niveau de la pile.

Autre point à prendre en compte avec le polymère sec : sa durée de vie, qui est l'un des principaux problèmes lors de la conception des piles à combustible. D'un autre côté, si l'eau formée est

insuffisamment éliminée du côté cathode de la pile, les fuites d'eau atténuent le fonctionnement de la pile. Mesurer l'humidité au niveau de la vapeur de combustible permet de contrôler l'humidification, d'estimer les équilibres de masse pour l'eau et d'assurer l'humidification correcte de la membrane.

Pour améliorer l'efficacité de la réaction, des quantités abondantes de gaz de réaction peuvent être dirigées vers les surfaces catalytiques. Du combustible inaltéré humide en provenance de la sortie de l'anode peut être réinjecté dans l'entrée de l'anode pour humidifier la vapeur de combustible. Cette réinjection peut provoquer un amas de contaminants qui est particulièrement dangereux dans le cas des PEMFC.

Outre le contrôle de l'humidité au niveau de la vapeur de combustible, les mesures d'humidité dans les vapeurs à l'anode et à la cathode peuvent être utilisées dans les mesures d'impureté (lorsque la pression totale et les pressions partielles de l'hydrogène et de l'eau sont connues, on peut estimer la pression partielle des impuretés dans la circulation).

## La technologie de sonde chauffée contribue à relever le défi visant à effectuer des mesures dans les environnement à forte humidité

Les mesures d'humidité dans les applications avec pile à combustible sont réalisées dans un environnement à forte humidité, généralement plus

de 80 % d'humidité relative. Effectuer des mesures d'humidité dans des environnements proches de la condensation est une tâche compliquée car la condensation peut saturer le capteur d'humidité relative. Le séchage du capteur et sa récupération peuvent prendre plus de temps et, pendant ce temps, la mesure est indisponible et l'humidité au niveau de la vapeur de combustible ne peut pas être contrôlée.

La technologie de sonde chauffée de Vaisala offre un moyen de relever ce défi puisque l'humidité relative peut être réduite au-dessous du niveau de condensation en chauffant le capteur au-dessus de la température ambiante. Avec un capteur de température supplémentaire situé près du capteur d'humidité, la température du process réelle peut également être mesurée. En combinant ces deux valeurs, il est possible de calculer l'humidité relative réelle dans le processus à humidité élevée tout en évitant le problème de condensation.

Le VTT (du finnois Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus pour Centre National de la Recherche Technique), l'un des plus grands organismes de recherche en Finlande, mène des travaux de recherche sur les piles à combustible à basse température (PEMFC) et à haute température (SOFC). Le VTT utilise les instruments d'humidité HMT310F, HMT337 et HMP7 de Vaisala ainsi que les transmetteurs de CO<sub>2</sub> GMP343 dans ses recherches sur les piles à combustible.

« Les capteurs d'humidité de Vaisala sont activement utilisés dans nos recherches. Pour nous, il est essentiel de connaître l'humidité des gaz réactifs à la fois avec les piles à combustible à basse température et les piles à haute température », explique Mikko Kotisaari, chercheur en piles à combustible chez VTT.

En savoir plus  
[www.vaisala.fr/piles-a-combustible](http://www.vaisala.fr/piles-a-combustible).



Transmetteur d'humidité et de température Vaisala HUMICAP® HMT337



Sonde d'humidité et de température Vaisala HUMICAP® HMP7

# VAISALA

Veuillez nous contacter à l'adresse suivante  
[www.vaisala.com/contactus](http://www.vaisala.com/contactus)



Scanner le code pour obtenir plus d'informations

Ref. B211405FR-C ©Vaisala 2019

Ce matériel est soumis à la protection du droit d'auteur. Tous les droits d'auteur sont retenus par Vaisala et ses différents partenaires. Tous droits réservés. Tous les logos et/ou noms de produits sont des marques déposées de Vaisala ou de ses partenaires. Il est strictement interdit de reproduire, transférer, distribuer ou stocker les informations contenues dans la présente brochure, sous quelque forme que ce soit, sans le consentement écrit préalable de Vaisala. Toutes les spécifications - y compris techniques - peuvent faire l'objet de modifications sans préavis.

[www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)