

Evolution sous Contraintes Mécaniques des Caractéristiques Thermique et Electrique des Constituants Fondamentaux d'une Pile à Combustibles PEMFC.

M. Hamour¹, A. Ouibrahim¹

¹Laboratoire d'Energétique Mécanique et Matériaux - LEMM,

Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou, Algérie.

Abstract. The current energy issues lead us to consider and exploit all sources and all possible energy carriers. Confidence in a civilization based solely on oil has shown its limits, both in economic terms (prices and availability of raw material) and ecological (release of greenhouse gases) and geopolitical conflicts over reserve strategic).

Pollution, global warming and the depletion of fossil fuels have become global concerns for the future. Fuel cells are emerging as the technology of alternative power generation clean and high yields. They provide the conversion of chemical energy of gas consumed in power.

However, despite the attractiveness of this technology, many technological obstacles still and slow technology penetration of fuel cells in general and the fuel cell proton exchange membrane (PEMFC), particularly in the market of the energy.

In this sense, our contribution is concerned by the physical-chemical, thermal and electrical experimental properties of the cell including the diffusion layer GDL, which contribute to the knowledge of thermomechanical stresses developing in the stack, which are very important to optimize the thermal management and water.

Key words: PEMFC – Gas Diffusion Layer- Thermal conductivity- Electrical conductivity– Energy.

1- Introduction

Les problématiques énergétiques actuelles nous imposent à considérer et à exploiter toutes les sources et tous les vecteurs d'énergie possibles.

A ce jour, la production d'énergie a été principalement assurée par les énergies fossiles comme le pétrole, le gaz ou le charbon issu de la fossilisation de végétaux accumulés dans le sous-sol au fil des ères géologiques. En plus de n'être pas renouvelables, ces combustibles fossiles savent provoquer de nombreux et graves problèmes environnementaux et climatiques [1]. Ainsi, le réchauffement de la planète, sa pollution et l'épuisement de ces ressources fossiles deviennent des préoccupations mondiales pour les années à venir [2].

La pile à combustible peut constituer à cet égard, parmi tant d'autre, une énergie renouvelable, durable et respectueuse de l'environnement. Cette pile est un convertisseur d'énergie performant en termes de rendement, qui transforme l'énergie chimique de l'hydrogène en énergie électrique d'une part et en chaleur d'autre part [2,3]. Cependant, son coût est toujours trop élevé pour qu'elles deviennent des produits commerciaux viables [4-6]. Parmi les problèmes qui limitent la compréhension et l'optimisation du fonctionnement des PEMFC, on peut mentionner la gestion de l'eau et de la chaleur dans le cœur de ces piles [7-10].

Dans ce contexte, parmi les constituants fondamentaux au cœur de ces piles, nous nous sommes ainsi intéressés dans

cette étude à la couche de diffusion de gaz (Gas Diffusion Layer, GDL) et aux plaques bipolaires en graphite.

Dans une première contribution, l'effet des contraintes thermomécaniques sur les constituants clé du cœur de ces piles a été étudié pour constater leur influence sur la conductivité thermique [11-15] et électrique de la GDL et sur la mousse en acier inoxydable [16] dans le but de remplacer ces plaques bipolaires en graphites existantes par de la mousse en acier inoxydable SSF (Stainless Steel Foam AISI 316) afin d'améliorer les performances de ces PEMFC.

Ainsi, des expériences systématiques ont été entreprises sur ces deux matériaux pour mettre en évidence certains effets et en particulier, l'influence de la variation de la pression sur l'évolution des différentes propriétés thermique et électrique, qui, jusqu'à présent, semble ne pas avoir fait l'objet d'études systématiques.

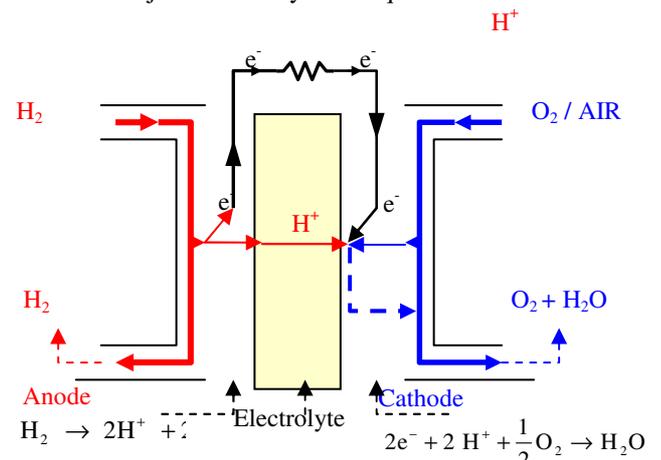


Figure 1: Schéma du fonctionnement d'une pile à membrane (PEMFC)

2 Expérimental

2.1- Conductivité thermique

Un fil en tantale, de 99,9% de pureté, d'environ 26 mm de longueur et de 25 μm de diamètre a été utilisé comme élément de mesure [15]. Le fil en tantale est soudé à ses deux extrémités à des broches de même matériau de 125 μm de diamètre. L'ensemble (fil avec broches) est fixé sur un cadre en Kapton pour former un capteur (Fig. 2).

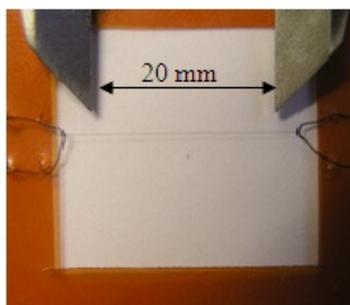


Figure 2: Fil chaud en tantale

Les différents éléments sont reliés à un micro-ordinateur par l'intermédiaire d'une interface GPIB et une programmation sous LabVIEW® (National Instruments) (fig 3), spécifiquement décrite pour la détermination de la conductivité thermique λ , commande les instruments et enregistre les données expérimentales [14-16]. Tous les appareils sont pilotés par un ordinateur et permettent de suivre l'évolution de la résistance électrique du fil en temps réel.

L'ensemble du système de mesure électrique, représenté sur la figure 3, est décrit en détail dans [14, 15]

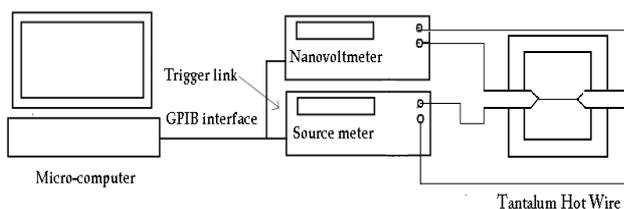


Figure 3 : Schéma du système de mesure

Le tissu de carbone représenté sur la figure 4 constitue la couche de diffusion (GDL) dont on cherche ici à déterminer la conductivité thermique. Un dispositif de chargement mécanique a été élaboré [14,18] afin de mettre sous compression les couches de la GDL.

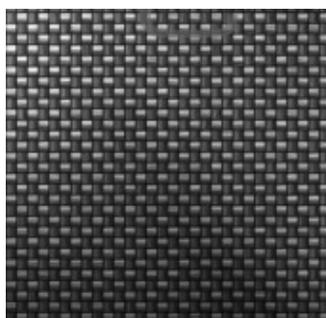


Figure 4 : Tissu de carbone(GDL)

La mousse SSF AISI 316 dont on cherche ici à déterminer aussi sa conductivité électrique est

représentée sur la figure 5 constitue les plaques bipolaires du cœur d'une pile à combustible. Un dispositif de chargement mécanique a été élaboré [16] afin de mettre sous compression les constituants du cœur d'une pile à combustibles.

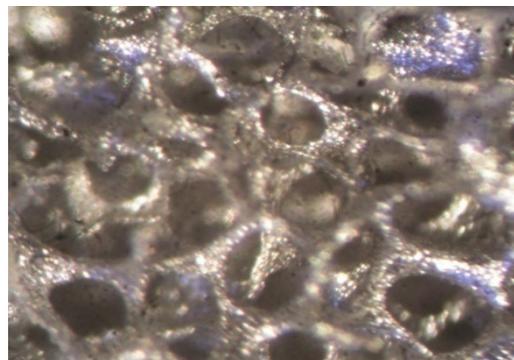


Figure 5 : Mousse SSF AISI 316

2. 2 – Conductivité électrique

Pour la détermination de la conductivité électrique de la GDL et de la mousse SSF AISI 316, un banc d'essai a été utilisé. Il est composé essentiellement du dispositif contenant ces quatre pointes, d'un générateur de courant constant de grande précision et de très bonne stabilité. Un nanovoltmètre connecté aux mêmes bornes du fil a été ajouté au circuit de mesure afin d'assurer une meilleure précision. Le dispositif de compression mécanique utilisé est représenté par la figure 6. Ce dispositif est décrit en détails dans [16,17]

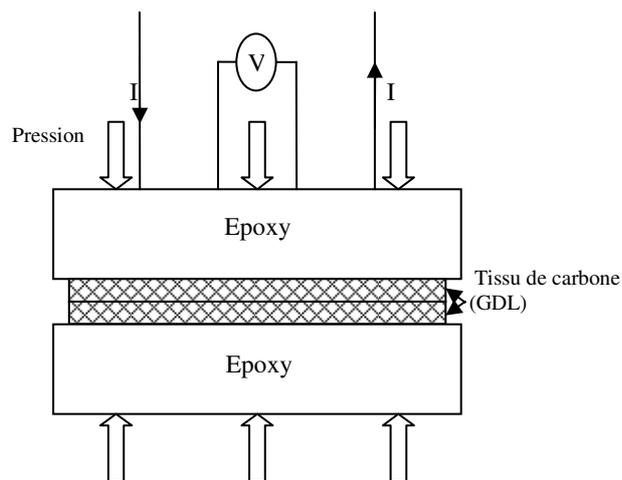


Figure 6: Mécanisme de compression mécanique

Pour toutes les expériences menées, et pour chaque pression appliquée, le courant électrique (délivré par le compteur source Keithley 2400) est fixé, il est d'une intensité de 300 mA.

L'application de ce courant électrique donne lieu à la création d'une différence de potentiel. L'automatisation de la procédure expérimentale de l'acquisition des données permet d'enregistrer la réponse en termes de la différence de potentiel V qui permettra ensuite d'évaluer la conductivité électrique [19-21]. Les électrodes sont disposées en lignes et espacées d'une distance de 12mm l'une de l'autre (fig. 7).



Figure 7: Dispositif de mesure à quatre points

Les différentes couches du tissu de carbone GDL sont prises en sandwich entre deux plaques planes en époxy non conductrices qui ont pour rôle la compression des couches de la GDL. Pour faciliter l'accès du système de mesure, les quatre points traversent la plaque supérieure de l'époxy puis elles sont implantées sur la surface de la GDL.

Le contact est assuré entre ces points et le matériau dont on veut déterminer sa conductivité électrique grâce à une pression délivrée par une presse mécanique. Un temps de compression d'une durée 2mn environ a été sélectionné pour chaque test.

3. Résultats Expérimentaux

Influence de la compression mécanique sur les deux conductivités thermique et électrique du tissu de carbone et de la mousse SSF AISI 316

A. Conductivité thermique

3.1-Conductivité thermique de la GDL

3.1.1- Faibles Pressions

On insère le capteur entre les couches du tissu de carbone d'une superficie de 25 cm^2 , puis on place l'ensemble à l'intérieur du dispositif de chargement. Dans un premier temps, les tests ont été effectués à faibles pressions en appliquant d'une façon progressive et par étape des petites masses allant de 79 jusqu'à 12 500g sur le dispositif de chargement contenant les trois couches du tissu de carbone

(épaisseur = 0.285 mm). Les mêmes essais ont été répétés dans les mêmes conditions en augmentant cette fois ci le nombre de couches en passant de trois à cinq puis à sept. Ces tests consistent à mesurer l'évolution de la conductivité thermique du tissu de carbone en fonction de la pression appliquée, conduisant ainsi aux résultats de la figure 8.

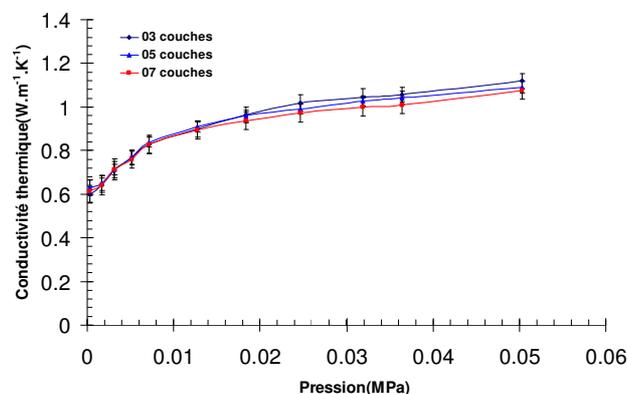


Figure. 8: Variation de la conductivité thermique en fonction de la pression pour les différentes couches du tissu de carbone à faibles pressions

3.1.2- Fortes Pressions

Afin d'obtenir des pressions élevées, correspondantes à celles obtenues par le serrage des boulons de la pile, une presse mécanique a été utilisée. Les mêmes expériences ont été répétées dans les mêmes conditions que précédemment en faisant varier la pression de zéro jusqu'à 8 méga Pascal (MPa) pour aboutir ainsi aux résultats explicités par la figure 9.

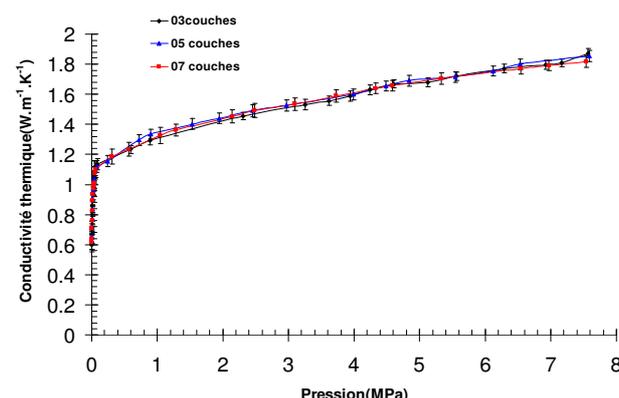


Figure. 9: Variation de la conductivité thermique en fonction de la pression pour les différentes couches du tissu de carbone à fortes pressions

3. 2. Conductivité électrique

3. 2.1- Conductivité électrique de la GDL

Le travail consiste en l'étude de l'influence de la pression mécanique sur la conductivité électrique du tissu de carbone GDL placé entre deux plaques en époxy non conductrices.

Des pressions variant de 0 jusqu'à 7 MPa ont été appliqués progressivement par étape à l'aide d'une presse mécanique sur le dispositif contenant la GDL. Dans un premier temps, les essais ont été effectués sur deux couches de la GDL. Les mêmes essais ont été refaits dans les mêmes conditions que précédemment en augmentant cette fois-ci le nombre de couche en passant de deux à quatre couches. L'emploi des différents nombres de couches permet de confirmer l'hypothèse du "milieu infini semi" et l'estimation de l'importance de la résistance de contact dans nos expériences. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 10.

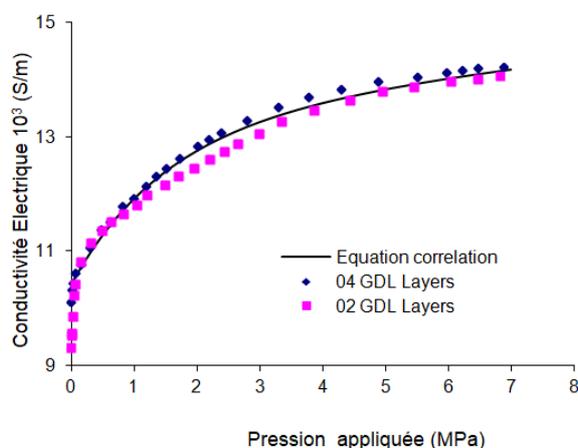


Figure. 10: comparaison de la variation de la conductivité électrique en fonction de la pression pour les différentes couches du tissu de carbone

3. 2.2- Conductivité électrique de la SSF AISI 316

Les mêmes expériences ont été répétées dans les mêmes conditions que précédemment en remplaçant la GDL par deux plaques en mousse SSF AISI 316 pour aboutir ainsi aux résultats explicités par la figure 11.

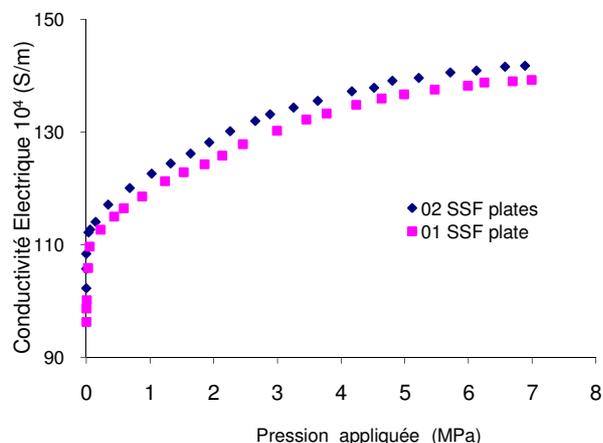


Figure.11 : Comparaison de la variation de la conductivité électrique en fonction de la pression pour les différentes couches de la mousse SSF AISI 316

4. Interprétation des résultats expérimentaux

Les deux conductivités thermique et électrique du tissu de carbone GDL et de la mousse SSF AISI 316 sous différents chargements mécaniques ont été testées. Pour chaque compression, plusieurs essais ont été menés, dans les mêmes conditions de fonctionnement pour vérifier la reproductibilité de ces résultats.

Tous les résultats expérimentaux obtenus montrent que l'évolution de ces deux conductivités De la GDL et de la SSF AISI 316 est une fonction monotone croissante de la pression appliquée (figures 9 à 11). Par ailleurs, on notera sur ces mêmes courbes que le nombre de couches n'a aucune influence sur l'amplitude de ces deux conductivités et qu'en fait quelque soit le nombre de couches choisi, on obtient pratiquement une courbe unique, comme si les courbes concernées par chacune des épaisseurs de couches collaient entre elles.

Pour des faibles compressions, l'augmentation de ces deux conductivités est remarquable. Ce résultat peut s'expliquer par la diminution du volume des pores du tissu de carbone pendant la compression. Le tissu de la GDL se comprime de plus en plus, le volume des pores diminue, l'air est évacué et le contact entre les fibres s'améliore, c'est ce qui conduit à une augmentation de la conductivité thermique et électrique.

5. Conclusion

Les expériences menées montrent l'indépendance des deux conductivités thermique et électrique mesurées du nombre de couches de la GDL et de la mousse SSF 316 et, par conséquent, justifie la robustesse des méthodes développées.

Les relations expérimentales constitutives peuvent être analysées dans deux régions. Dans la première région, pour de faibles compressions, nous avons une forte tendance à l'augmentation des deux conductivités thermiques et électrique en raison du matériau compacté. Dans la deuxième région pour des pressions suffisamment élevées, l'évolution est moins marquée, on commence à observer une certaine saturation dans l'augmentation des deux conductivités thermique et électrique qui correspond à une structure entièrement compactée.

L'emploi de plusieurs couches de ces matériaux, GDL et mousse SSF AISI 316 permet de confirmer l'hypothèse d'un milieu semi infini et d'estimer l'importance des résistances de contact dans nos expériences.

Références

- [1] <http://www.energies-renouvelables.org/>
- [2] GIEC. Climate change 2007. *http : //www.ipcc.ch, 2007*
- [3] Didierjean S, Lottin O., Lapicque. F , Ramousse j. Boillot M., Maillet D., La pile à combustible : un élément de diversification énergétique. Forces et faiblesses de la pile à membrane échangeuse de protons, Bulletin de la société Française de physique 2003, no. 141, pp. 6-9.
- [4] W. Vielstich, A. Lamm, H.A. Gasteiger (eds.), *Handbook of Fuel Cell Fundamentals, Technology and Application* (Wiley, Chichester, UK, 2003)
- [5] Tero Hottinen, Olli Himanen, Suvi Karvonen, Iwao Nitta, Journal of Power Sources 171, pp 113–121(2007)
- [6] Chaitanya J. Bapat, Stefan T. Thynell, J. of Power Sources 179 (2008) 240–251
- [7] Julien Ramousse Transferts couplés masse-charge- chaleur dans une cellule de pile à combustible à membrane polymère, 2005 Nancy
- [8] J. Kleemann, F. Finsterwalder, W. Tillmetz ; Journal of Power Sources 190 (2009) 92–102
- [9] Daniil Bograchev , Mikael Gueguen , Jean-Claude Grandidier , Serguei Martemianov, Journal of Power Sources 180 (2008) 393–401
- [10] Ahmet Kusoglu , Anette M. Karlssona, Michael H. Santare , Simon Cleghorn , William B. Johnson J. of Power Sources 161 (2006) 987–996
- [12] Jiabin Ge, Andrew Higier, Hongtan Liu, J. of Power Sources 159 (2006) 922–927
- [13] Iwao Nitta, Tero Hottinen, Olli Himanen, Mikko Mikkola, J. of Power Sources 171 (2007) 26–36
- [14] ROS. T. Sohn J L: Some issues on performance analysis of fuel cells in thermodynamic power point of view, J. of Power Sources 167(2) (2007) 295–301
- [15] M. Hamour, J.P. Garnier, J.C. Grandidier, A. Ouibrahim and S. Martemianov: Thermal Conductivity Characterization of Gas Diffusion Layer in Proton Exchange Membrane Fuel Cells and Electrolyzers Under Mechanical Loading, International Journal of Thermophysics, Vol. 32, N° 5, pp : 1025-1037,
- [16] M. Hamour, J.C. Grandidier, A. Ouibrahim, S. Martemianov, Electrical conductivity of PEMFC under loading, Journal of Power Sources, 289(2015) 160-167.
- [17] J.P. Garnier, J.P. Maye, J. Saillard, G. Thévenot, A. Kadjo, S. Martemianov, Int. J. Thermophys. 29, 468 (2008)
- [18] A. Kadjo, J.P. Garnier, J.P. Maye, S. Martemianov, Int. J. Thermophys. 29, 1267 (2008)
- [19] Valdes, L. Resistivity Measurements on Germanium for Transistors. Proceedings of the IRE, 42(2):420{427, 1954.
- [20] Van der Pauw, L. A method of measuring resistivity and Hall effect on lamellae of arbitrary shape. Philips technical review, 20 :220-224, 1958.
- [21] Van der Pauw, L. A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape. Philips Research Reports, 13 :1-9, 1958.