

Etude expérimentale de l'influence de la compression mécanique d'une couche de diffusion de gaz sur la résistance électrique de contact dans une pile à combustible à membrane échangeuse de protons.

Khadija BOUZIANE^{1,2,3,4,*}, El Mahdi KHETABI^{1,2,3,4}, Rémy LACHAT^{3,5}, Yann MEYER^{2,3},
Denis CANDUSSO^{1,4}, Xavier FRANÇOIS^{3,4}.

¹ Laboratoire SATIE (UMR 8029), ENS Paris Saclay, IFSTTAR, Université Paris Saclay, Université Paris-Sud, 25 allée des marronniers, 78000 Versailles Satory, France.

² Sorbonne Universités, Université de Technologie de Compiègne, CNRS, UMR 7337 Roberval, Centre de recherche Royallieu, CS 60 319, 60203 Compiègne cedex, France.

³ Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, Rue Thierry Mieg, 90010 Belfort Cedex, France.

⁴ FR FCLAB, Plateforme pile à combustible, UTBM bât. F, Rue Thierry Mieg, 90010 Belfort Cedex, France.

⁵ ICB UMR 6303, CNRS Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, Belfort, France.

[*] Contact: khadija.bouziane@utbm.fr; tél. : +33 (0)3 84 58 37 88; autres adresses courriels : el-mahdi.khetabi@ifsttar.fr, remy.lachat@utbm.fr, yann.meyer@utbm.fr, denis.candusso@ifsttar.fr, xavier.francois@utbm.fr

RESUME - Cette étude vise à mieux appréhender l'influence des contraintes mécaniques subies par la couche de diffusion des gaz (GDL) sur les performances électriques d'une pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC). Pour cela, la résistance électrique de contact entre cette GDL et les plaques bipolaires (source de pertes ohmiques importantes dans la pile) a été mesurée par la méthode dite des lignes de transmission. La mesure a été faite ex-situ, sur six références de GDL commerciales sous contrainte mécanique cyclique. Les caractérisations ont donné lieu aux observations suivantes. La compression diminue la résistance de contact de manière non-linéaire. L'agent hydrophobe augmente la résistance de contact et la résistance mécanique. La couche microporeuse diminue la résistance de contact. Les GDLs de la société Toray présentent les résistances les plus faibles.

Mots-clés— Pile à combustible, GDL, résistance de contact, compression mécanique, chargement cyclique

1. INTRODUCTION

La PEMFC est confrontée à de nombreuses sources de contraintes mécaniques, liées d'une part à son environnement de travail (les vibrations, les chocs dans les véhicules) et d'autre part aux phénomènes physiques internes à la pile (le maintien par compression de l'assemblage, la variation de la charge en eau déformant la membrane, la dilatation thermique des composants de la pile) [1]. La couche de diffusion de gaz (GDL) est l'élément de la pile le plus sensible à ces sollicitations mécaniques, du fait de sa forte porosité [2]. Ces compressions mécaniques que subit la GDL vont influencer les performances électriques de la PEMFC, notamment les pertes ohmiques dues à la résistance de contact entre la GDL et la plaque bipolaire distribuant les réactifs. Ces pertes figurent parmi les plus fortes

perdes ohmiques de l'empilement. Dans cette étude, nous allons mesurer la résistance électrique de contact entre une GDL comprimée et la plaque bipolaire à l'aide de la méthode TLM (*Transmission Line Method*), initialement développée pour déterminer la résistance de contact entre un semi-conducteur et un métal. Très peu d'études font apparaître une mesure de cette résistance de contact réalisée à partir d'une sollicitation cyclique. Or, plusieurs travaux ont montré que le comportement mécanique d'une GDL ne se stabilisait qu'au bout de 5 cycles de compression [3]. Dans nos expériences de mesure ex-situ de la résistance de contact, la GDL est placée sous une contrainte mécanique cyclique. La méthode TLM permet de mesurer la résistance de contact des deux côtés de la GDL sans que ceux-ci soient symétriques (contrairement aux méthodes de soustraction). L'expérience et les résultats sont donnés dans la suite de cet article.

2. EXPERIENCE

Nous avons mesuré la résistance de contact de 6 différents échantillons de GDL sous compression mécanique. Le Tableau 1 présentent les caractéristiques des 6 références de GDL étudiées.

Tableau 1. Caractéristiques des GDL utilisées dans l'étude.

Type de GDL	Epaisseur (µm)	Structure et composition
Sigracet SGL 24 AA	190+/-30	Papier carbone
Sigracet SGL 24 BA	190+/-30	Papier carbone avec 5% de PTFE (agent hydrophobe)

Sigracet SGL 24 BC (2 faces différentes : PTL : Couche fibreuse et MPL : Couche Microporeuse)	235 +/-30	Papier carbone avec 5% de PTFE + couche microporeuse
Toray H-90	280	Papier carbone
Toray H-120	370	Papier carbone
Freudenberg H2315 I3	210	Fibre de carbone en feutre + agent hydrophobe

Pour cela, nous avons utilisé une machine d'analyse mécanique dynamique (DMA) pour exercer une sollicitation en compression cyclique entre 0 et 8 MPa, un porte-échantillon fabriqué dans le laboratoire qui permet de comprimer les GDLs avec deux indenteurs dont l'écartement est modifiable, ainsi qu'un générateur de tension continue (Fig. 1).

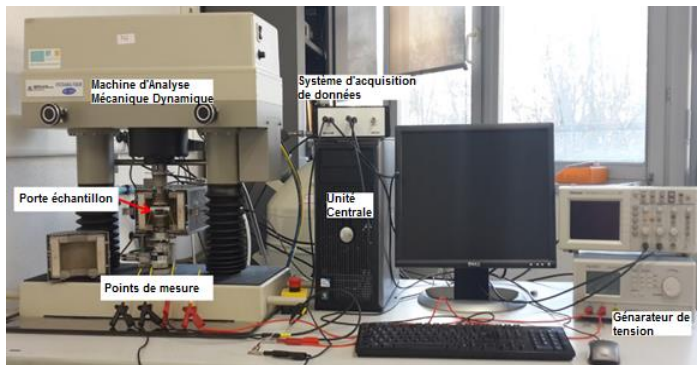


Fig. 1: Montage expérimental

2.1. La méthode TLM

La méthode TLM, utilisée pour mesurer la résistance de contact, repose sur le principe que la résistance totale R_t (Ω) du système indenteurs-GDL varie linéairement avec la distance d (cm) séparant les deux indenteurs, comme l'indique l'équation (1) [4] :

$$R_t = R_s \frac{d}{W} + 2R_c = a \cdot d + b \quad (1)$$

Avec : R_s : Résistance carrée (Ω/\square)

W : Largeur des GDLs (cm)

R_c : La résistance de contact (Ω)

Nous mesurons donc la résistance totale pour 4 valeurs de distance et obtenons la résistance de contact R_c à l'aide de la méthode des moindres carrés qui permet de retrouver les paramètres « a » et « b » de la droite, pour chaque valeur de pression mécanique appliquée (Fig. 2).

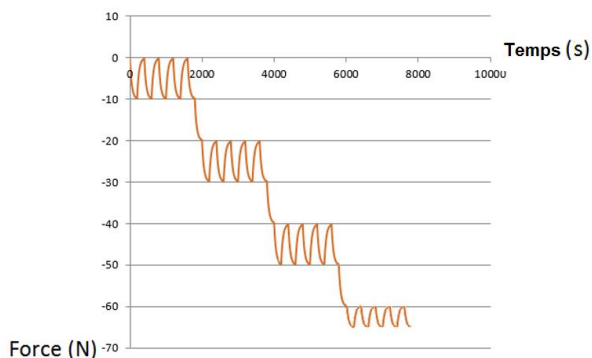


Fig. 2: Contrainte mécanique appliquée en fonction du temps.

Les informations sont enregistrées durant les expériences par un système d'acquisition de données.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La compression mécanique réduit la résistance électrique de contact entre la GDL et la plaque bipolaire. La diminution de résistance s'effectue de façon non-linéaire. On observe une diminution rapide jusqu'à 3 MPa, puis une diminution plus lente jusqu'à 8 MPa. On observe que la GDL 24 BA (qui possède un agent hydrophobe contrairement à la GDL 24 AA) présente une plus grande résistance de contact. Les GDLs de type Toray ont la plus petite résistance de contact. On observe que le côté de la couche microporeuse a une résistance de contact largement plus faible que le côté fibreux de la GDL de type SGL 24 BC (Fig.3).

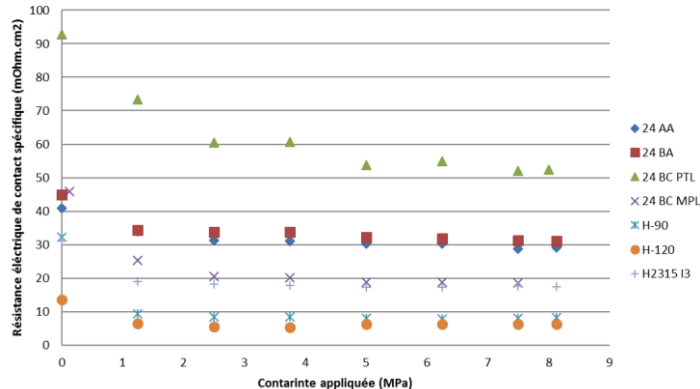


Fig. 3. Résistances électrique de contact entre la GDL et la plaque bipolaire en fonction de la contrainte mécanique pour les six références de GDLs étudiées (mesure réalisée après 5 cycles de compression).

4. CONCLUSIONS

La compression mécanique diminue la résistance de contact. L'agent hydrophobe augmente la résistance de contact. Le contact est amélioré par la couche microporeuse. Les GDLs Toray ont une faible résistance de contact et sont moins sensibles aux cycles de compression ; cela pourrait être s'expliquer par leur méthode de fabrication, différente de celle des Sigracet.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Région Bourgogne Franche-Comté qui a financé ce travail via les projets ELICOP et MIREPOix (ref. CRFC 2015C-4944 et CRFC 2015C-4948).

6. REFERENCES

- [1] Bouziane K, Candusso D, Meyer Y. Effects of mechanical stresses on GDL physical properties – A review. HYCELTEC 2017 – 6th Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries, Porto, Portugal, Juin 2017.
- [2] Zhou Y, Jiao K, Du Q, Yin Y, Li X. Gas diffusion layer deformation and its effect on the transport characteristics and performance of proton exchange membrane fuel cell. Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 38, n°29, 30 Septembre 2013, pp. 12891-12903.
- [3] Gigos PA, Faydi Y, Meyer Y. Mechanical characterization and analytical modeling of gas diffusion layers under cyclic compression, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 40, n°17, 11 mai 2015, pp. 5958-5965.
- [4] Gary Tuttle. Contact resistance and TLM measurements. Dept. of Electrical and Computer Engineering, Iowa State Univ. Site internet : http://tuttle.merc.iastate.edu/ee432/topics/metals/tlm_measurements.pdf (consulté le 23.08.2017).