

Dégradations d'une PEMFC en phases de démarrages et arrêts

Wafa Hafsa Saidouni^{1,2}, Marielle Marchand¹, David Gérard¹, Samir Jemei², David Bouquain²

¹*Ampère, Renault group, France*

²*Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France*

Le développement de véhicules à hydrogène est entravé par la durabilité des piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC). Leur dégradation peut être attribuée à divers modes de fonctionnement. En effet, selon Jouin et al. [1], la dégradation des PEMFC est principalement causée par trois facteurs : le fonctionnement au ralenti (28 %), les cycles de démarrage/arrêt (28 %) et les cycles de variation de puissance (44 %).

La majeure partie des dégradations lors du démarrage arrêt sont dues à un front H₂/O₂ à l'anode. En effet, lors de la phase d'arrêt, l'oxygène se propage de la cathode vers l'anode par pression différentielle. Ce phénomène, dit de *crossover*, a une incidence sur la durabilité de la membrane, celle-ci étant conçue exclusivement pour le transport des protons H⁺ dont la taille est inférieure à celle d'une molécule de gaz. A cela s'ajoute un phénomène de *starvation* qui se manifeste sur le côté anodique, en raison de l'occupation d'une partie du volume par l'oxygène. Ce phénomène induit une corrosion du support carbone du catalyseur engendrant une altération de la couche active. En effet les particules de platine, qui servent de catalyseur des réactions chimiques, se libèrent car elles n'ont plus de support [2]. Par ailleurs les taux de dégradations des PEMFC sont couramment exprimés en µV/cellule ou µV/cycle, unités de mesure qui peuvent être considérés comme peu représentatives.

Dans ce contexte, le travail de recherche mené en collaboration avec Ampere (Renault Group) se concentre sur l'impact des phases d'arrêt/démarrage, ainsi que sur le vieillissement calendaire. L'étude bibliographique a révélé que ces phénomènes sont peu étudiés à l'échelle d'un stack. Une campagne expérimentale a été initiée, ciblée sur les arrêts / démarrages, dans plusieurs conditions opératoires. Suites à ces essais, plusieurs objectifs sont visés.

Le premier consiste à mettre en évidence les mécanismes de dégradation, les confronter à la littérature et d'en comprendre leurs origines.

Ensuite, dans une démarche d'innovation, un outil d'analyse dynamique a été développé afin de dépasser les limites des approches classiques. Cet outil a pour vocation de suivre l'évolution des performances en fonctionnement. Cette approche méthodologique, mise en œuvre en parallèle de protocoles de vieillissement reproduisant des conditions d'usages réels, permettra d'analyser *in situ* des points de fonctionnement caractéristiques.

Enfin, un ou plusieurs protocoles d'arrêt / démarrage et de fonctionnement seront proposés afin d'augmenter la durabilité d'une PEMFC dans une application transport.

Les premiers résultats de l'étude mettent en évidence une dégradation graduelle des performances, dont l'intensité est proportionnelle au régime de sollicitation appliqué. Des comportements différents de la PEMFC ont été constatés en fonction des stratégies d'arrêts. De ces premières analyses pourra également en découler la définition d'un nouvel indicateur de dégradation considérant plusieurs paramètres.

- [1] M. Jouin, R. Gouriveau, D. Hissel, M.-C. Péra, et N. Zerhouni, « Degradations analysis and aging modeling for health assessment and prognostics of PEMFC », *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 148, p. 78-95, avr. 2016, doi: 10.1016/j.ress.2015.12.003.
- [2] W. H. Saidouni, M. Marchand, D. Gérard, S. Jemei, et D. Bouquain, « Impact of start-stop and load cycling on the lifetime of PEMFC-powered vehicles », in *2024 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Washington, DC, USA: IEEE, oct. 2024, p. 1-6. doi: 10.1109/VPPC63154.2024.10755359.