

Contrat Post-Doctorat (12 mois)

**« Analyse d'impact de défauts locaux d'assemblage membrane-électrodes
sur le fonctionnement d'une pile à combustible »**

Résumé :

L'équipe Hydrogène et Systèmes Electrochimiques (HSE) du LEMTA possède une expérience de plusieurs années dans la caractérisation et la modélisation des piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) [1, 2, 3, 4, 5].

Les PEMFC sont des systèmes de conversion de l'énergie chimique en énergie électrique à fort potentiel pour les applications stationnaires comme mobiles. Elles nécessitent encore un certain nombre d'améliorations en termes de coût et de durabilité pour pouvoir concurrencer les technologies en place, basées majoritairement sur les énergies fossiles. L'Assemblage Membrane-Electrodes (AME) qui constitue le cœur du système est en bonne partie responsable de ces limites. C'est pourquoi une attention particulière est portée par la R&D à la qualité de fabrication des AME et aux matériaux les constituant.

Si les mécanismes de dégradation sont bien documentés dans la littérature, peu d'informations sont disponibles sur l'impact des défauts de fabrication. En particulier leur influence sur la dégradation des zones saines d'une même cellule et sur les autres cellules voisines dans le stack, n'ont que très peu été étudiées. Le projet ANR LOCALI (2018-2022) qui réunissait les laboratoires LEPMI, LEMTA, G2ELab et le CEA-LITEN a permis de montrer qu'un manque de couche active important sur l'AME se propage au sein de la cellule et provoquait des dégradations tout au long d'un stack. Ces résultats, complètement nouveaux dans la littérature ont notamment fait l'objet de deux publications dans des journaux scientifiques internationaux [6, 7] et d'une communication spécifique par l'Institut INSIS du CNRS [8], et intéressent les industriels du domaine hydrogène énergie. Encouragé par ces résultats, l'objectif du projet ADELE (2024-2026) entre les mêmes laboratoires, en partenariat avec Hynology est d'aller plus loin pour étudier l'impact d'un défaut de fabrication représentatif pour des dispositifs commercialisés (en termes de taille et de différentes natures) sur la dégradation des performances d'une PEMFC.

Il s'agit en particulier d'identifier :

- La taille critique et la nature (GDL/MPL/couche catalytique/membrane) des défauts pouvant avoir un impact sur la vitesse de dégradation des AME.
- Les mécanismes de propagation, avec la possibilité s'il y a lieu d'agir sur les protocoles de fonctionnement des cellules et des stacks permettant de limiter cette propagation.

Le projet vise ainsi à lever un verrou majeur pour la commercialisation à grande échelle de PEMFC.

Les travaux à réaliser dans le cadre de ce post-doctorat s'inscrivent dans ce projet. Ils visent la caractérisation fine et en fonctionnement au niveau d'une cellule unitaire de PEMFC grâce à l'utilisation des cellules segmentées (Fig 1).

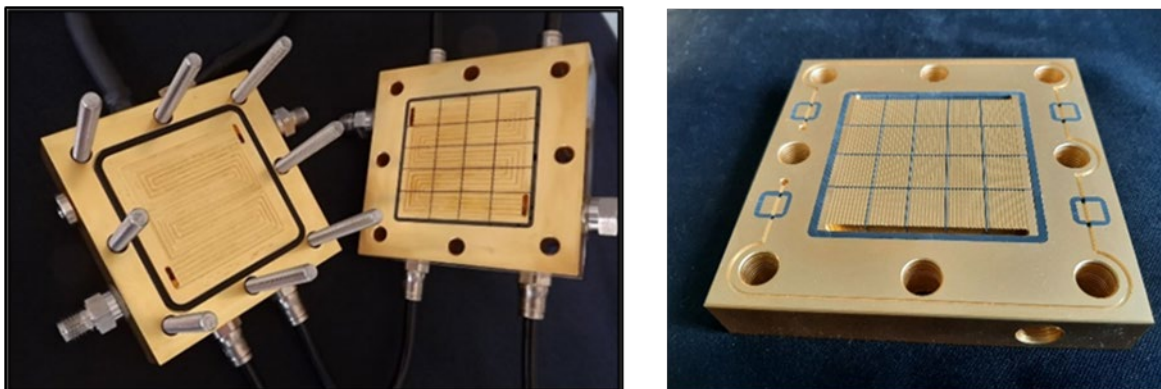


Figure 1 : cellule segmentée.

Ces outils uniques en leur genre développés au LEMTA permettent la mesure locale et in-situ de la densité de courant, des potentiels d'électrodes, de la surface électrochimique active (ECSA), de l'impédance électrochimique, etc. Cela permettra de caractériser comment les performances locales et globales de la pile à combustible sont impactées par la présence d'un défaut de l'AME. Un second objectif est d'analyser comment un défaut initial et contrôlé se propage lors du fonctionnement. Cela sera réalisé par l'application de tests de vieillissement accélérés (AST) représentatifs des contraintes que l'AME subit en fonctionnement réel et de suivre l'évolution des performances locales et globales sur la durée du test (Fig. 2).

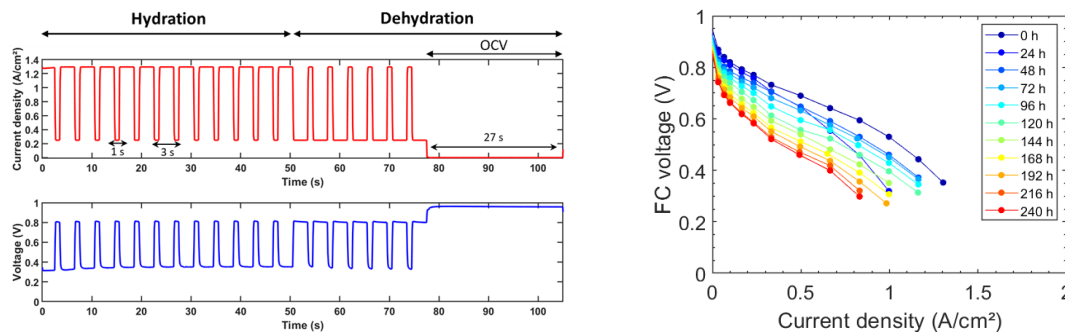


Figure 2 : test de vieillissement accéléré (à gauche) et évolutions des performances pendant la durée de celui-ci (à droite).

L'état des électrodes sera suivi par la mesure de l'ECSA, tandis que celui de la membrane par le courant de perméation à l'hydrogène. Ces mesures seront complétées par le suivi des spectres d'impédance électrochimique (EIS) et leur interprétation par modélisation sous forme de circuits électriques équivalents (EEC) [2]. Cela permettra d'identifier les sources du vieillissement des performances par le suivi des paramètres électriques correspondant aux phénomènes de transfert dans les composants de la cellule.

Le(la) candidat(e) devrait posséder une formation initiale en mécanique, physico-chimie, électrochimie et/ou génie électrique et un doctorat dans le domaine des systèmes électrochimiques associant idéalement travaux expérimentaux et de modélisation (Matlab ou Python).

Équipe de recherche : Hydrogen and Electrochemical Systems

Laboratoire : Laboratoire Énergies et Mécanique Théoriques et Appliquées (LEMTA) – CNRS - Université de Lorraine, Nancy, France

Contacts : Julia Mainka (julia.mainka@univ-lorraine.fr), Olivier Lottin (Olivier.lottin@univ-lorraine.fr)

Dates et durée : 12 mois à partir de l'automne 2025 (période octobre – décembre)

Salaire brut/mois : 2600€

Mots-clés : PEMFC, assemblage membrane-électrodes, caractérisation électrochimique, performance, durabilité

Post-doctorate (12 months)

« Impact analysis of local membrane-electrode assembly defects on fuel cell operation »

Abstract:

The Hydrogen and Electrochemical Systems (HES) team at LEMTA has several years of experience in characterizing and modeling proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) [1, 2, 3, 4, 5].

PEMFCs are systems that convert chemical energy into electrical energy and have great potential for both stationary and mobile applications. However, they still require a number of improvements in terms of cost and durability in order to compete with existing technologies, which are mainly based on fossil fuels. The membrane-electrode assembly (MEA), which forms the heart of the system, is largely responsible for these limitations. This is why R&D is paying particular attention to the manufacturing quality of MEAs and the materials they are made of.

While the degradation mechanisms are well documented in the literature, few information is available on the impact of manufacturing defects. In particular, their influence on the degradation of pristine areas of the same cell and on other neighboring cells in the stack has been studied very little. The ANR LOCALI project (2018-2022), which brought together the LEPMI, LEMTA, G2ELab, and CEA-LITEN laboratories, showed that a significant lack of active layer on the MEA spreads within the cell and causes degradation throughout a stack. These results, which are completely new in the literature, have been the subject of two publications in international scientific journals [6, 7] and a specific communication by the CNRS INSIS Institute [8], and are of interest to manufacturers in the hydrogen energy sector. Encouraged by these results, the objective of the ADELE project (2024-2026) between the same laboratories, in partnership with Hynology, is to go further in studying the impact of a manufacturing defect representative of commercial devices (in terms of size and different types) on the degradation of PEMFC performance.

In particular, the aim is to identify:

- The critical size and nature (GDL/MPL/catalytic layer/membrane) of defects that may have an impact on the rate of degradation of AMEs.
- The mechanisms of propagation, with the possibility, if necessary, of acting on the operating protocols of the cells and stacks to limit this propagation.

The project thus aims to remove a major obstacle to the large-scale commercialization of PEMFCs.

The work to be carried out as part of this postdoctoral fellowship is part of this project. It aims to characterize PEMFCs in detail and in operation at the level of a single cell using segmented cells (Fig. 1).

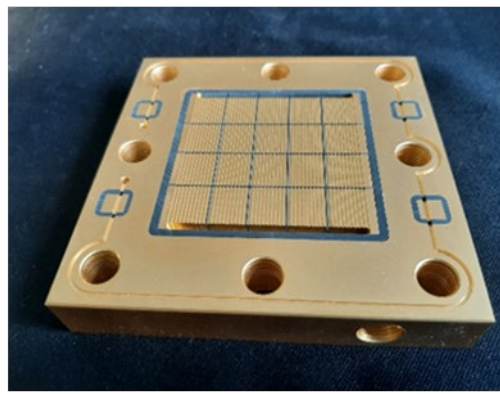
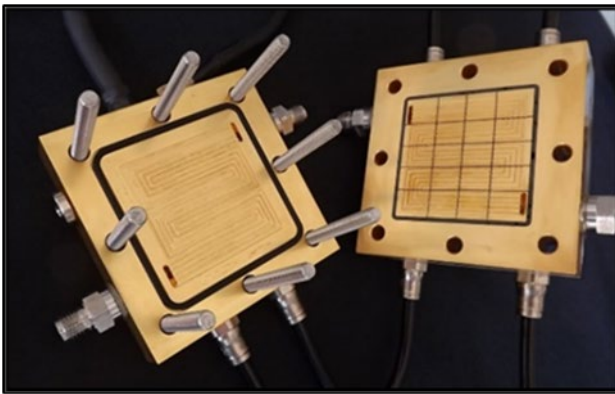


Figure 3: segmented cell.

These unique tools developed at LEMTA enable local and in-situ measurement of current density, electrode potentials, active electrochemical surface area (ECSA), electrochemical impedance, etc. This will make it possible to characterize how the local and overall performance of the fuel cell is impacted by the presence of a MEA defect. A second objective is to analyze how an initial, controlled defect propagates during operation. This will be achieved by applying accelerated aging tests (AST) representative of the stresses that the MEA undergoes in real operation and by monitoring the evolution of local and global performance over the duration of the test (Fig. 2).

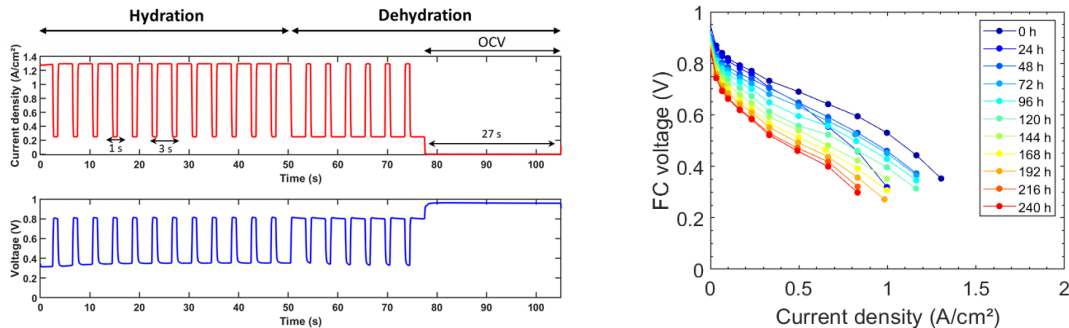


Figure 4: accelerated stress test (left) and performance changes during the test (right).

The condition of the electrodes will be monitored by measuring the ECSA, while that of the membrane will be monitored by measuring the hydrogen permeation current. These measurements will be supplemented by monitoring electrochemical impedance spectra (EIS) and interpreting them using equivalent electrical circuit (EEC) modeling [2]. This will enable the identification of sources of performance degradation by monitoring the electrical parameters corresponding to transfer phenomena in the cell components.

The candidate should have initial training in mechanics, physical chemistry, electrochemistry, and/or electrical engineering and a PhD in the field of electrochemical systems, ideally combining experimental work and modeling (Matlab or Python).

Research group: Hydrogen and Electrochemical Systems

Laboratory: Laboratoire Énergies et Mécanique Théoriques et Appliquées (LEMTA) – CNRS - Université de Lorraine, Nancy, France

Contact: Julia Mainka (julia.mainka@univ-lorraine.fr), Olivier Lottin (Olivier.lottin@univ-lorraine.fr)

Period and duration: 12 months starting between October and December 2025, depending on availability.
Gross salary/month: 2600€

Keywords: PEMFC, membrane-electrode assembly, electrochemical characterization, performance, durability

- [1] J. Mainka, G. Maranzana, J. Dillet, S. Didierjean et O. Lottin, «Effect of Oxygen depletion along the air channel of a PEMFC on the Warburg Diffusion Impedance,» *J. Electrochem. Soc.*, vol. 157, n° 111, pp. B1561-B1568, 2010.
- [2] S. Touhami, J. Mainka, J. Dillet, S. Ait Hammou Taleb and O. Lottin, "Transmission Line Impedance Models Considering Oxygen Transport Limitations in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 166, no. 15, pp. F1209-F1217, 2019.
- [3] J. Mainka, G. Maranzana, J. Dillet, S. Didierjean et O. Lottin, «On the estimation of high frequency parameters of Proton Exchange Membrane Fuel Cells via Electrochemical Impedance Spectroscopy,» *J. Pow. Sources*, vol. 253, pp. 381-391, 2014.
- [4] G. Maranzana, J. Mainka, O. Lottin, J. Dillet, A. Lamibrac, A. Thomas et S. Didierjean, «A PEMFC impedance model taking into account convection along the air channel: on the bias between the low frequency limit of the impedance and the slope of the polarization curve,» *Electrochim. Acta*, vol. 83, pp. 13-27, 2012.
- [5] J. Mainka, G. Maranzana, A. Thomas, J. Dillet, S. Didierjean et O. Lottin, «One-dimensional Model of Oxygen Transport Impedance Accounting for Convection Perpendicular to the Electrode,» *Fuel Cells*, vol. 12, n° 15, pp. 848-861, 2012.
- [6] S. Touhami, L. Dubau, J. Mainka, J. Dillet, M. Chatenet et O. Lottin, « ∇ Anode aging in polymer electrolyte membrane fuel Cells I: Anode monitoring by ElectroChemical impedance spectroscopy,» *J. Pow. Sources*, vol. 471, p. 228908, 2021.
- [7] S. Touhami, M. Crouillière, J. Mainka, J. Dillet, C. Nayoze-Coyel, C. Bas, L. Dubau, A. El-Kaddouri, F. Dubelley, F. Micoud, M. Chatenet, Y. Bultel et O. Lottin, «Anode defect's propagation in polymer electrolyte membrane fuel cells,» *Journal of Power Sources*, vol. 520, p. 230880, 2022.
- [8] [En ligne]. Available: <https://www.insis.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/piles-combustible-des-defauts-dans-les-electrodes-peuvent-se-propager-dautres-composants>.