

**CARACTÉRISATION ET MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLES DES HÉTÉROGÉNÉITÉS DANS LES ÉLECTROLYSEURS À MEMBRANE POLYMÈRE (PEMWE)****PROTON EXCHANGE MEMBRANE WATER ELECTROLYZERS MULTISCALE HETEROGENEITY CHARACTERIZATIONS AND MODELLING**

*Etablissement* **Université Marie et Louis Pasteur**

*École doctorale* **SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques**

*Spécialité* **Génie électrique**

*Unité de recherche* **Franche Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies**

*Encadrement de la thèse* **Zhongliang LI**

**Financement** du 01-11-2025 au 31-03-2029

*Début de la thèse le* **1 novembre 2025**

*Date limite de candidature (à 23h59)* **26 octobre 2025**

## Mots clés - Keywords

---

caractérisation in-operando, modélisation multi-échelles, hétérogénéités, électrolyseurs à membrane polymère, dégradations  
in-operando characterization, multi-scale modelling, heterogeneity, proton exchange membrane water electrolyzers, degradations

## Description de la problématique de recherche - Project description

---

L'électrolyseur à membrane échangeuse de protons (PEMWE) est considéré comme l'une des technologies les plus prometteuses pour la production d'hydrogène à partir de sources renouvelables. Toutefois, les facteurs influençant la durabilité du PEMWE, ainsi que leur importance dans des conditions réelles d'utilisation, restent encore peu compris.

Parmi eux, l'hétérogénéité à différentes échelles d'un stack PEMWE est un facteur clé, car les défaillances apparaissent et se développent souvent à partir d'un point localisé. Il est donc essentiel de concevoir et contrôler les PEMWE de manière à maintenir des conditions physiques internes et des propriétés de matériaux homogènes dans des conditions pratiques.

Pour cela, il est nécessaire de pouvoir mesurer, quantifier et évaluer l'impact des hétérogénéités à différentes échelles – ce qui reste jusqu'à présent peu abordé. D'un côté, les mesures in-situ et in-operando des conditions physiques hétérogènes et des performances font encore défaut dans les cellules et stacks d'électrolyseurs en fonctionnement. De l'autre, la quantification de l'impact de ces hétérogénéités sur la dégradation du PEMWE reste largement inexplorée en raison du manque de données expérimentales dédiées. Afin de relever ces défis, ce projet de thèse vise à étudier les impacts des hétérogénéités multi-échelles sur la dégradation des performances du PEMWE, en développant et en utilisant des outils de caractérisation in-operando innovants, ainsi que des modèles de dégradation multi-échelles.

Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolyzer (PEMWE) is regarded as one of the most promising technologies for hydrogen generation from renewable sources. The factors impacting PEMWE's durability, and their importance in practical use conditions are still unclear. Among them, the heterogeneity at various scales of a PEMWE stack is one of the key factors since a failure always begins and develops from a small local point. It is therefore important to design and control the PEMWEs in the way that the internal physical states and the material properties could be maintained homogenous under practical conditions.

To achieve this, being able to measure, quantify and evaluate the impacts of the heterogeneity at different scales is necessary but has not yet been well addressed until now. On the one hand, the in-situ in-operando measurements of the heterogenous physical conditions and performance characterizations are still lacking in running electrolyzer cells and stacks; on the other hand, the quantification of the impact of heterogeneity factors on PEMWE degradation remains largely unaddressed due to the lack of dedicated experimental data. To overcome these challenges, this PhD project aims to investigate the impacts of multiscale heterogeneity on PEMWE performance degradation through developing and adopting novel in-situ in-operando characterization tools, as well as multiscale degradation models.

## Thématique / Domaine / Contexte

---

caractérisation et modélisation d'électrolyseurs

génie électrique, énergie renouvelable

L'électrolyseur à membrane échangeuse de protons (PEMWE) est considéré comme l'une des technologies les plus prometteuses pour la production d'hydrogène à partir de sources renouvelables. Toutefois, les facteurs influençant la durabilité du PEMWE, ainsi que leur importance dans des conditions réelles d'utilisation, restent encore peu compris.

Parmi eux, l'hétérogénéité à différentes échelles d'un stack PEMWE est un facteur clé, car les défaillances apparaissent et se développent souvent à partir d'un point localisé.

## Objectifs

---

étudier les impacts des hétérogénéités multi-échelles sur la dégradation des performances d'électrolyseurs à membrane échangeuse de protons

## Méthode

---

appliquer des outils de caractérisation in-operando innovants, ainsi que des modèles de dégradation multi-échelles

## Résultats attendus - Expected results

---

clarification des impacts des hétérogénéités sur la dégradation des performances

## Références bibliographiques

---

1. Zerrougui, I., Li, Z., & Hissel, D. (2025). Physics-Informed Neural Network for modeling and predicting temperature fluctuations in proton exchange membrane electrolysis. *Energy and AI*, 20, 100474.
2. Zerrougui, I., Li, Z., & Hissel, D. (2025). Investigating bubble impacts on PEM electrolysis performance through enhanced multiphysics modeling. *International Journal of Hydrogen Energy*, 98, 626-638.
3. Lin, N., Feng, S., & Wang, J. (2022). Multiphysics modeling of proton exchange membrane water electrolysis: From steady to dynamic behavior. *AIChE Journal*, 68(8), e17742.
4. Gass, R., Li, Z., Outbib, R., Jemei, S., & Hissel, D. (2025). An advanced 1D physics-based model for PEM hydrogen fuel cells with enhanced overvoltage prediction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 97, 1108-1125.
5. Gass, R., Li, Z., Outbib, R., Jemei, S., & Hissel, D. (2025). An advanced 1D physics-based model for PEM hydrogen fuel cells with enhanced overvoltage prediction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 97, 1108-1125.
6. Touil, W., Li, Z., Outbib, R., Hissel, D., & Jemei, S. (2025). A system-level modeling framework for predicting Pt catalyst degradation in proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, 625, 235628.
7. Tang, W., Chang, G., Xie, J., Shen, J., Pan, X., Yuan, H., ... & Dai, H. (2024). A comprehensive investigation on performance heterogeneity of commercial-size fuel cell stacks during dynamics operation. *Energy Conversion and Management*, 301, 117998.
8. Bawab, A., Giurgea, S., Depernet, D., Gantzer, M., Harel, F., & Hissel, D. (2024). Proton Exchange Membrane Fuel Cells non-invasive data-based diagnosis through a new external magnetic field measurement methodology. *International Journal of Hydrogen Energy*, 67, 91-100.

## Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

---

le co-encadrant sera désigné après

## Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

---

les essais expérimentaux seront effectués au FCLAB, toutes matérielles seront financées par le projet ANR Multi-Hero.

## Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

---

les travaux de recherche seront valorisés par des publications scientifiques

## Collaborations envisagées

---

dans le projet ANR, une collaboration avec laboratoire LCPME à Nancy est envisagée.

## Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

---

Les candidats doivent être titulaires d'une formation en ingénierie. Une expérience en conception, automatisation et tests de systèmes à pile à combustible hydrogène ou électrolyseur constituera un atout majeur. La capacité à travailler en équipe et à collaborer efficacement est indispensable.

Candidates must hold a degree in engineering. Experience in the design, automation, and testing of hydrogen fuel cell or electrolyzer systems will be a major asset. The ability to work in a team and to collaborate effectively is essential.

Dernière mise à jour le 26 septembre 2025