

PROPOSITION DE STAGE M1-M2 –2026

Étude des mécanismes de dégradation des membranes échangeuses des anions (AEM) pour électrolyse de l'eau

Contacts	Cristina IOJOIU, Marian CHATENET, Antoine BONNEFONT & Gabriel LEAL MARTINEZ – Laboratoire d'Electrochimie et Physicochimie des Matériaux et des Interfaces Tel : 04.76.82.67.77 – gabriel.leal-martinez@grenoble-inp.fr
Localisation	Laboratoire LEPMI, Campus Universitaire de Saint Martin d'Hères

Le **LEPMI** est un laboratoire d'électrochimie dont les études se concentrent principalement sur les thématiques de l'énergie et du développement durable. <http://lepmi.grenoble-inp.fr/>

Contexte et descriptif du stage

Le réchauffement climatique impose une transition urgente vers des énergies propres. Dans ce contexte, l'hydrogène joue un rôle central comme vecteur énergétique durable, capable de réduire fortement les émissions de carbone dans les secteurs les plus polluants.

En particulier, l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau, lorsqu'il est alimenté par des énergies renouvelables, constitue une solution propre et durable. Contrairement à l'hydrogène issu des combustibles fossiles, ce procédé ne génère pas de CO₂. Il permet donc de stocker l'énergie renouvelable, de produire de l'électricité via des piles à combustible et d'alimenter les transports et l'industrie sans pollution.

Il existe différentes technologies d'électrolyse de l'eau, mais elles reposent toutes sur les mêmes composants clés : deux électrodes et un électrolyte (solide ou liquide). Parmi elles, l'électrolyse à membrane échangeuse d'anions (AEMWE) se distingue comme une solution récente et prometteuse pour la production d'hydrogène vert, grâce à sa flexibilité adaptée aux énergies renouvelables intermittentes et à la possibilité d'utiliser des catalyseurs à base de métaux abondants, comme le fer et le nickel, réduisant ainsi les coûts [1]. Le développement récent de membranes anioniques plus performantes a permis à l'AEMWE de progresser rapidement. En effet, la membrane joue un rôle central car elle sépare les électrodes tout en assurant le transport des ions hydroxyles [2]. Pour être efficace, elle doit présenter une **conductivité ionique élevée**, une **stabilité chimique et mécanique**, ainsi qu'une **résistance à l'oxydation**. Ces propriétés garantissent des performances optimales, une longue durée de vie et une compatibilité avec un fonctionnement intermittent. Cependant, malgré les avancées sur l'AEMWE, la compréhension des mécanismes de dégradation de la membrane et des interfaces reste partielle. Ces dégradations entraînent une perte progressive de performance et de stabilité, ce qui constitue encore un verrou important pour son industrialisation fiable [3].

Actuellement, un doctorant du LEPMI travaille sur la compréhension des mécanismes de dégradation du système complet (électrodes et membrane). Le ou la stagiaire participera à ces travaux de thèse, en se concentrant spécifiquement sur la dégradation en **conditions électrochimiques d'une membrane commerciale**.

Dans un premier temps, nous vérifierons la **stabilité de cette membrane** en testant différentes solutions neutres afin de déterminer les conditions qui permettent de préserver au mieux ses propriétés. Ensuite, nous réaliserons des tests préliminaires sur des films minces d'ionomère en cellule trois électrodes, afin de nous familiariser avec les **protocoles de vieillissement accéléré (AST)** et d'identifier les conditions qui

provoquent des modifications de la membrane. Après validation, nous poursuivrons par des mesures quantitatives de la perte de masse des films d'ionomère grâce à **une cellule couplée à une microbalance à quartz (QCM)** sous différentes conditions (température, potentiel appliqué, présence d'impuretés, entre autres) [5]. À chaque étape, les modifications de la structure chimique seront suivies principalement par **résonance magnétique nucléaire (RMN)**, mais également par d'autres techniques comme le **Raman** ou le **FTIR**, afin de révéler les mécanismes de dégradation et de déterminer les seuils limites en potentiel ou en concentration d'impuretés.

Si le temps le permet, nous réaliserons des expériences complémentaires de suivi chimique en temps réel par **spectroscopie EC-FTIR**.

Enfin, les résultats obtenus seront comparés à ceux de membranes ayant vieilli dans des stacks d'électrolyse fournis par un partenaire industriel.

Profil et niveau requis

Deuxième ou Troisième année école ingénieur, équivalent master 1 ou 2 en chimie, matériaux ou électrochimie.

Curiosité, autonomie et intérêt pour la recherche expérimentale sont des qualités essentielles.

Des connaissances en chimie de polymères et des techniques de caractérisation (RMN, Raman, FTIR et d'autres) sont **nécessaires**.

Des connaissances en électrochimie sont **très appréciées**.

Période et conditions

Stage de 3 à 6 mois à partir de mai 2026

Indemnité de stage : environ 600 €/mois

Pour postuler à ce stage de master, veuillez envoyer votre CV à Gabriel Leal Martinez (gabriel.leal-martinez@grenoble-inp.fr).

Références bibliographiques

[1] Hua, D., Huang, J., Fabbri, E., Rafique, M., & Song, B. (2023). Development of anion exchange membrane water electrolysis and the associated challenges: A review. *ChemElectroChem*, 10(1), e202200999

[2] Liu, L., Ma, H., Khan, M., & Hsiao, B. S. (2024). Recent advances and challenges in anion exchange membranes development/application for water electrolysis: A review. *Membranes*, 14(4), 85.

[3] Ferriday, T. B., Sampathkumar, S. N., Middleton, P. H., Kolhe, M. L., & Van Herle, J. (2024). A review of membrane electrode assemblies for the anion exchange membrane water electrolyser: Perspective on activity and stability. *International Journal of Energy Research*, 2024(1), 7856850.

[4] Khalid, H., Najibah, M., Park, H. S., Bae, C., & Henkensmeier, D. (2022). Properties of anion exchange membranes with a focus on water electrolysis. *Membranes*, 12(10), 989.

[5] Krivina, R. A., Lindquist, G. A., Yang, M. C., Cook, A. K., Hendon, C. H., Motz, A. R., ... & Boettcher, S. W. (2022). Three-electrode study of electrochemical ionomer degradation relevant to anion-exchange-membrane water electrolyzers. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(16), 18261-18274.