

Sujet de thèse CIFRE

Définition de stratégies de fonctionnement et d'arrêt démarrage de pile à combustible PEMFC dans l'objectif d'augmenter considérablement sa durabilité.

Directeur de thèse	Prof. Dr. David BOUQUAIN	FEMTO-ST CNRS, équipe SHARPAC, Université de Franche-Comté, Directeur-adjoint FCLAB CNRS david.bouquain@univ-fcomte.fr
Co-Directeur de thèse	Prof. Dr. Samir JEMEI	FEMTO-ST CNRS, équipe SHARPAC, Université de Franche-Comté, Directeur adjoint département Energie FEMTO-ST CNRS Responsable pôle Systèmes Pile à Combustible FEMTO-ST CNRS samir.jemei@univ-fcomte.fr
Co-encadrant de thèse industriel	Marielle MARCHAND	TECHNOCENTRE RENAULT 1 avenue du Golf 78288 GUYANCOURT Cedex

1. Généralités

Il s'agit d'une thèse CIFRE¹, en collaboration entre l'institut FEMTO-ST (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique – Sciences et Technologies, UMR CNRS 6174), département Energie, équipe SHARPAC (localisée à Belfort, Bourgogne Franche-Comté), et l'entreprise RENAULT Group, service DEA-IRE (E-Technologies & Systèmes Avancés – localisée à Guyancourt).

Cette thèse se déroulera principalement à l'institut FEMTO-ST au sein de l'équipe SHARPAC à Belfort. Ce laboratoire dispose d'un savoir-faire de plus de 20 années dans le test, la caractérisation et la modélisation des systèmes hydrogène et dispose par ailleurs d'une plateforme de test dédiée. Le doctorant devra également faire des séjours chez Renault pour intégrer les avancées technologiques et stratégiques de ce sujet chez Renault. Cela représentera au maximum 20 % de son temps.

La langue de travail sera le français.

2. Contexte

Pour répondre à l'urgence climatique, l'électrification des véhicules Renault va prendre une part de plus en plus croissante à l'avenir. En complément des véhicules entièrement électriques, la stratégie de Renault est d'inclure le développement de véhicules utilitaires électriques intégrant des systèmes pile à hydrogène PEMFC alimentés par de l'hydrogène embarqué dans le véhicule.

Une pile à hydrogène est composée d'un assemblage de cellules électrochimiques, appelé stack, qui à partir d'hydrogène et l'oxygène de l'air, fournit de l'électricité. Pour fonctionner le cœur de pile a besoin d'auxiliaires, comme un compresseur d'air, un système de refroidissement, un réservoir de stockage d'hydrogène. Le rendement global de ce système évolue entre 50 et 70 %. Renault intègre ce type de système dans certains véhicules utilitaires en tant que Range Extender pour augmenter l'autonomie et la charge utile de ce type de véhicule.

Bien que la technologie des piles à hydrogène ait fortement progressé ces dernières vingt dernières années, avec l'apparition de membranes renforcées extra-fines (< 15 µm), il est nécessaire d'approfondir les recherches pour en améliorer notamment sa durabilité. Ces leviers sont importants pour pouvoir augmenter la compacité du système pile à hydrogène et réduire son coût.

3. Objectifs de la thèse

Les principaux problèmes de durabilité des piles à hydrogène PEMFC concernent :

- La corrosion du carbone de la cathode. Ces problèmes apparaissent quand l'oxygène migre de la cathode vers l'anode par exemple lors des périodes d'arrêt ou si un appauvrissement en hydrogène à l'anode se produit. Pendant un court instant, une partie du stack fonctionne en électrolyseur, ce qui cause la corrosion du carbone de la cathode,
- Le fonctionnement sous des tensions de cellule élevées (> 0.8 V/cellule par exemple),

¹ Le dispositif Cifre (Conventions industrielles de formation par la recherche) permet aux entreprises de droit français de recruter un doctorant dont le projet de recherche, mené en collaboration avec un laboratoire public, mènera à la soutenance d'une thèse. <https://www.anrt.asso.fr/fr/le-dispositif-cifre-7844>

- Les problématiques de durabilité plus classiques comme les tenues mécaniques & thermiques de la membrane et des électrodes.

La question de recherche posée consiste à déterminer les stratégies de fonctionnement et d'arrêt/démarrage du cœur de pile de manière à optimiser sa durée de vie. L'objectif est d'atteindre en moyenne un taux de décroissance inférieure à 10 $\mu\text{V/h}$ voire si possible 5 $\mu\text{V/h}$ pour une durée de vie globale comprise entre 8 000 et 12 000 h.

4. Description des activités de recherche

Le travail débutera par une analyse bibliographique précise pour synthétiser les travaux récents déjà réalisés sur le sujet de l'amélioration de la durée de vie du cœur de pile. Les causes aujourd'hui identifiées concernent les arrêts / démarrage, les démarrages à froid ou certaines conditions opératoires particulières (températures élevées, humidités faibles ...). Bien entendu la thèse pourra mettre en évidence d'autres causes récemment recensées dans la littérature. Cette étude bibliographique permettra d'identifier les principaux axes de recherche à suivre durant la thèse en les hiérarchisant par rapport à leur impact sur la durée de vie (décroissance en $\mu\text{V/h}$). Une première campagne d'essais expérimentaux sur un ou plusieurs petits cœurs de pile de référence permettra de corroborer les données de l'étude bibliographique par rapport aux résultats de mesure obtenus.

Une fois les phénomènes bien identifiés, une analyse fine des causes et de leur impact sur le vieillissement devra être menée dans le but de proposer des solutions techniques et des stratégies pour y répondre et améliorer la durée de vie. Une phase de modélisation au niveau système et cœur de pile sera également réalisée afin d'identifier puis valider les solutions technologiques et les stratégies. Un processus itératif alternant expérimentation et paramétrage du modèle permettra d'optimiser les solutions proposées et de quantifier les gains obtenus sur la durée de vie.

Les études seront d'abord faites en priorité sur des petits cœurs de pile de quelques kW. Cependant, si cela était jugé nécessaire, des études sur des cœurs de pile de plus fortes puissances pourraient être réalisées.

Les principaux livrables seront :

- 1) Etude bibliographique.
- 2) Rapport d'essais sur banc mettant en évidence les taux de décroissance observés ($\mu\text{V/h}$, $\mu\text{V/cycle}$...) pour les principales causes de problèmes de durabilité.
- 3) Rapport d'étude permettant l'identification et la hiérarchisation des causes des dégradations observées (thermiques, mécaniques, électrochimiques).
- 4) Modélisation physique sur Matlab Simulink.
- 5) Etude détaillant l'identification et la mise en œuvre expérimentale des solutions pour améliorer la durabilité (techniques, stratégie de fonctionnement, optimisation des conditions opératoires ...).
- 6) Rapport de thèse.

A noter qu'au cours de ces travaux de recherche, un objectif de 2 publications scientifiques dans des revues internationales à comité de lecture Q1 sera envisagé, associées à 3 communications scientifiques dans des congrès nationaux et internationaux du domaine. Par ailleurs, toute

opportunité de prise de brevet identifiée au cours des travaux, sera investiguée, en lien avec l'entreprise.

5. Candidature

Pour candidater, merci d'envoyer un CV et une lettre de motivation par courriel à david.bouquain@univ-fcomte.fr et samir.jemei@univ-fcomte.fr.