



## Sujet de thèse de doctorat

### **Titre : Etude expérimentale, modélisation et optimisation du système de management thermique de pile à combustible en architecture multi-stacks**

**Laboratoire :** LAMIH UMR CNRS 8201 – Université Polytechnique Hauts-de-France, Valenciennes (59)

**Début :** septembre 2025

**Durée :** 36 mois

**Financement :** projet ANR

**Mots clés :** pile à combustible, gestion thermique, refroidissement, optimisation, dimensionnement, contrôle, modélisation, mesures expérimentales

#### **Contexte :**

L'hydrogène est un candidat majeur à la transition énergétique, permettant le stockage des énergies renouvelables et la décarbonation de la mobilité. Le développement du carburant « hydrogène » dans le domaine du transport, notamment avec la pile à combustible, repose sur la disponibilité de véhicules performants, fiables et abordables [1, 2]. Une façon de réduire le prix des piles est la production massive de produits standardisés qui peuvent ensuite être combinés pour atteindre la puissance requise selon les différentes applications [3]. Une pile donnée peut être utilisée pour des voitures de tourisme, tandis que 3 ou 4 piles devront être combinées pour des véhicules lourds. Cela semble être la stratégie industrielle visée par les fabricants de véhicules et de piles. Le coût des Assemblages Électrodes-Membranes pourrait être divisé par un facteur de 3 à 4, comme le souligne l'analyse de Thompson et al. [4]. Dans cette analyse, il est démontré que le coût des équipements auxiliaires représente environ 50 % du coût total, avec une contribution de 25 % et 11 % respectivement pour le système de boucle d'air et les circuits de refroidissement. En plus du coût du système, ses performances dépendent également fortement de l'efficacité des systèmes de gestion thermique et de la boucle d'air. L'efficacité et la durabilité des piles à combustible peuvent être améliorées grâce à une gestion thermique et énergétique appropriée, en particulier en ce qui concerne la température, l'humidité et la pression [5]. Un contrôle précis de l'alimentation en air et de la pression est nécessaire pour garantir un fonctionnement efficace. Les circuits de refroidissement doivent maintenir une pile PEMFC dans une plage de températures donnée pour des performances optimales [6] et sous une limite de température spécifique (généralement 80 °C) pour assurer sa durabilité. Cela doit être garanti en toutes circonstances et dans toutes les conditions d'exploitation, sous peine de détérioration des membranes de la pile. Cela est particulièrement complexe en raison des températures maximales du fluide de refroidissement réduites par rapport à celles des moteurs à combustion interne, ce qui nécessite la conception d'échangeurs de chaleur et de ventilateurs compacts mais efficaces [7-9]. Ces défis deviennent encore plus cruciaux pour les véhicules lourds fonctionnant à des vitesses réduites. Pour les véhicules routiers, des variations significatives de la consommation d'énergie résultent de divers scénarios d'utilisation, entraînant des opérations transitoires. Des batteries de grande capacité et des réservoirs d'eau de

refroidissement de grande taille peuvent atténuer les effets transitoires sur la pile à combustible, mais cela augmente le coût, la taille et le poids du système. Ainsi, la capacité de réponse transitoire d'un système de pile à combustible représente un compromis entre la taille de l'équipement et son coût.

### **Objectif et déroulement de la thèse :**

L'objectif de cette thèse est d'étudier le système de gestion thermique d'une pile à combustible en couplant les approches expérimentales et numériques [10, 11].

Le travail de thèse consistera tout d'abord à un état de l'art détaillé sur les composants d'une boucle de refroidissement, leurs performances et sur les études expérimentales et modélisation de gestion thermique de pile à combustible. Une modélisation système des différents composants (ventilateur, échangeurs, pompes, vannes, ...) et de leur couplage sera développée pour aboutir à des simulations dans des conditions transitoires. Un dispositif expérimental avec son instrumentation devra également être mis en place pour caractériser et contrôler la boucle de refroidissement des circuits d'eau et d'air de la PAC. Les composants de ce système aéro-thermo-hydraulique seront à dimensionner. Le comportement transitoire du système sera caractérisé expérimentalement et optimisé à l'aide des résultats de simulations. Les résultats expérimentaux pourront également mener à la définition de corrélations pour les modèles nodaux. La boucle de refroidissement sera couplée avec la boucle d'air en soulignant les interactions entre composants et sous-systèmes, avec une optimisation des stratégies de contrôle. Le système devra permettre un fonctionnement stationnaire et transitoire sur une plage de puissance étendue en tenant compte du couplage de plusieurs stacks. Les résultats obtenus devront mener à des préconisations techniques et technologiques afin d'assurer efficacité et compacité de la solution en configuration réelle.

La thèse sera financée par un projet ANR regroupant plusieurs laboratoires (LAMIH UPHF, LHEEA Centrale Nantes, LIFSE ENSAM Paris), qui travaillent sur l'étude expérimentale et numérique des piles à combustibles dans la propulsion et leurs systèmes auxiliaires.

Le laboratoire d'accueil sera le LAMIH UMR CNRS 8201 (<https://www.uphf.fr/lamih>) situé à Valenciennes (59). La thèse sera co-encadrée par des chercheurs du LAMIH et du LIFSE. La directrice de thèse sera Céline Morin, Professeure des Universités au LAMIH et le co-directeur Michaël Deligant, Professeur des Universités au LIFSE.

### **Profil du candidat :**

- Diplôme d'Ingénieur ou Master en Energétique, Thermique et/ou Mécanique des Fluides
- Intérêt pour les techniques de mesures expérimentales et la modélisation
- Rigoureux, dynamique, entreprenant
- Apte à travailler en équipe

**Pour candidater :** envoyer un CV détaillé, une lettre de motivation, les relevés de notes des trois dernières années, une lettre de recommandation à : [celine.morin@uphf.fr](mailto:celine.morin@uphf.fr)

### **Références bibliographiques :**

[1] O. Fakhreddine et al. Challenges and Solutions of Hydrogen Fuel Cells in Transportation Systems: A Review and Prospects. World Electric Vehicle Journal 14, 2023.

[2] A. Mancino et al. PEM Fuel Cell Applications in Road Transport. Energies 16, 2023.

- [3] M. Yue et al. Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 146, 2021.
- [4] S. T. Thompson et al. Direct hydrogen fuel cell electric vehicle cost analysis: System and high-volume manufacturing description, validation, and outlook. *J. Power Sources*, vol. 399, pp. 304–313, 2018.
- [5] L. Xing et al. Modeling and thermal management of proton exchange membrane fuel cell for fuel cell/battery hybrid automotive vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022.
- [6] V. Tino et al. Proton-Exchange Membrane Fuel Cell Balance of Plant and Performance Simulation for Vehicle Applications. *Energies* 15, n° 21, 2022.
- [7] H.S. Lee et al. Cooling performance characteristics of the stack thermal management system for fuel cell electric vehicles under actual driving conditions. *Energies*, vol 9-5, 2016.
- [8] Y. Yu et al. Thermal management system for liquid-cooling PEMFC stack: From primary configuration to system control strategy, *eTransportation*, Volume 12, 2022.
- [9] Y. Wu et al. Review of recent developments in fuel cell centrifugal air compressor: Comprehensive performance and testing techniques, *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 48, Issue 82, 2023.
- [10] M. Creyx, E. Delacourt, C. Morin, B. Desmet, Dynamic modelling of the expansion cylinder of an open Joule cycle Ericsson engine: A bond graph approach, *Energy*, 102, 2016.
- [11] M. Hübel, N. Nirmala, M. Deligant, L. Li. Hybrid physical-AI based system modeling and simulation approach demonstrated on an automotive fuel cell. 2022 Modelica Asian Conference, Tokyo, Japan.



## PhD Thesis

### **Title: Experimental study, modelling and optimization of thermal management for fuel cell stack system**

**Laboratory:** LAMIH UMR CNRS 8201 – Université Polytechnique Hauts-de-France, Valenciennes (59), France

**Start:** September 2025

**Duration:** 36 months

**Funding:** project ANR

**Keywords :** fuel cell, thermal management, cooling, optimization, design, control, modelling, experimental measurements

#### **Context and objectives**

Hydrogen is expected to play a major role in the energy transition allowing the storage of renewable energy and the decarbonization of mobility. The development of hydrogen transport with fuel cell electrical vehicles relies on the availability of efficient, reliable and affordable vehicles [1,2]. One way of reducing the price of the stacks is massive production of standard products which can then be combined to reach the required power of various applications [3]. A given stack can be used for automotive passenger car applications, and 3 or 4 stacks will have to be combined for heavy load vehicles. The cost of Membrane Electrode Assemblies could be divided by a factor 3 to 4 as highlighted in the analysis of Thompson et al. [4]. In this latter, it is demonstrated that the cost for the balance of plant (BoP) represents roughly 50% of the total cost with a contribution of 25% and 11% respectively for the air loop system and the coolant loops. In addition to the cost of the system, its performance is also greatly dependent on the air loop and thermal management systems efficiency. The efficiency and durability of the fuel cell stacks can be enhanced with the appropriate thermal and energy management of the stack in particular for temperature, humidity and pressure [5]. A precise control of air supply, and pressure is necessary to ensure efficient operation. The coolant loops have to ensure that the fuel cell stack is maintained in a given range of temperature for optimal performance [6] and under a given temperature limit (generally 80°C) for durability. This should be ensured at all times and for all operating conditions or the stack membranes will deteriorate. This is especially challenging with the reduced coolant maximum temperatures compared to those in internal combustion engines, necessitating the design of compact yet efficient heat exchangers and fans [7-9]. For both on-road and off-road vehicles, significant power consumption variations arise from diverse use case scenarios, leading to transient operations. Large batteries and high-capacity cooling water tanks can mitigate transient effects on the fuel cell stack but at the expense of increased cost and size of the fuel cell system. Thus, the transient response capability of a fuel cell system becomes a trade-off between equipment size and cost.

The objective of this thesis is to study the thermal management system of a fuel cell by coupling experimental measurements and modelling [10, 11].

A dynamic OD modelling of the different components (fan, heat exchanger, pumps, valves, ...) and their coupling will be developed, with simulations under transient conditions. An instrumented prototype will be implemented to characterize and control the air and water cooling loops of the fuel cell. The cooling loop will be coupled to the air loop by highlighting the interactions between components and sub-systems, with an optimization of control strategies. The system will have to allow for stationary and transient operation over a wide power range, taking into account the coupling of several stacks.

The results obtained will have to lead to technical recommendations in order to ensure the efficiency and compactness of the solution in real configuration.

### **Expected results**

From the experimental and numerical study of the fuel cell cooling system, its efficiency and durability can be improved. The system must allow for stationary and transient operation over a wide power range, taking into account the coupling of several stacks. The results obtained must lead to technical and technological recommendations to ensure the efficiency and compactness of the solution in a real configuration.

### **Details on the thesis supervision**

The thesis will be supervised by Prof. Céline Morin (LAMIH - Université Polytechnique Hauts-de-France), and co-supervised by Prof. Michaël Deligant (LIFSE -ENSAM Paris).

The thesis is funded by an ANR project with several laboratories (LAMIH-UPHF, LHEEA-Centrale Nantes, LIFSE-ENSAM Paris). The host laboratory will be LAMIH UMR CNRS 8201 (<https://www.uphf.fr/lamih>) located in Valenciennes (59).

### **Candidate profile:**

- Engineering degree or Master degree in Energy, Thermal and/or Fluid Mechanics
- Interest for experimental work and modelling
- Rigorous, dynamic, proactive
- Able to work in a team

**To apply:** send a detailed CV, a motivation letter, transcripts for the last three years, and a letter of recommendation to: [celine.morin@uphf.fr](mailto:celine.morin@uphf.fr)

### **References**

- [1] O. Fakhreddine et al. Challenges and Solutions of Hydrogen Fuel Cells in Transportation Systems: A Review and Prospects. *World Electric Vehicle Journal* 14, 2023.
- [2] A. Mancino et al. PEM Fuel Cell Applications in Road Transport. *Energies* 16, 2023.
- [3] M. Yue et al. Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 146, 2021.
- [4] S. T. Thompson et al. Direct hydrogen fuel cell electric vehicle cost analysis: System and high-volume manufacturing description, validation, and outlook. *J. Power Sources*, vol. 399, pp. 304–313, 2018.

- [5] L. Xing et al. Modeling and thermal management of proton exchange membrane fuel cell for fuel cell/battery hybrid automotive vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022.
- [6] V. Tino et al. Proton-Exchange Membrane Fuel Cell Balance of Plant and Performance Simulation for Vehicle Applications. *Energies* 15, n° 21, 2022.
- [7] H.S. Lee et al. Cooling performance characteristics of the stack thermal management system for fuel cell electric vehicles under actual driving conditions. *Energies*, vol 9-5, 2016.
- [8] Y. Yu et al. Thermal management system for liquid-cooling PEMFC stack: From primary configuration to system control strategy, *eTransportation*, Volume 12, 2022.
- [9] Y. Wu et al. Review of recent developments in fuel cell centrifugal air compressor: Comprehensive performance and testing techniques, *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 48, Issue 82, 2023.
- [10] M. Creyx, E. Delacourt, C. Morin, B. Desmet, Dynamic modelling of the expansion cylinder of an open Joule cycle Ericsson engine: A bond graph approach, *Energy*, 102, 2016.
- [11] M. Hübel, N. Nirmala, M. Deligant, L. Li. Hybrid physical-AI based system modeling and simulation approach demonstrated on an automotive fuel cell. 2022 Modelica Asian Conference, Tokyo, Japan.