

Sujet de Thèse CIFRE

Modélisation d'une chaîne de traction à pile à combustible pour véhicules lourds et étude des phénomènes de dégradation sur la pile.

Heavy Duty Vehicle Powertrain Modelling using by Fuel Cell and degradations phenomena study.

Contexte de la thèse :

L'hydrogène et la pile à combustible présentent un intérêt majeur pour les véhicules lourds, tels que les camions, les bus et les engins industriels, en offrant une solution durable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Contrairement aux batteries électriques, qui peuvent être lourdes et limitées en autonomie pour les longs trajets, les piles à combustible génèrent de l'électricité en combinant l'hydrogène avec l'oxygène, ne rejetant que de l'eau comme sous-produit. Cela permet une autonomie étendue et un temps de recharge rapide, comparable à celui des véhicules à carburant fossile. De plus, l'hydrogène peut être produit à partir de sources renouvelables, renforçant son potentiel écologique. Pour les secteurs du transport routier et de la logistique, où la performance et la fiabilité sont cruciales, l'hydrogène représente une alternative prometteuse pour décarboner les activités tout en maintenant une forte efficacité opérationnelle.

La puissance et dynamique demandées pour les véhicules lourds étant importantes, une hybridation de la pile à combustible avec d'autres sources de puissance (Batteries et/ou supercondensateurs) pourrait être envisagée. Ainsi, la modélisation de la chaîne de traction avec la phase de dimensionnement est d'une importance cruciale afin de déterminer la topologie du véhicule, connaître les puissances mises en jeu ainsi que les contraintes poids/volumes/coût engagées.

Les phénomènes de dégradation sur la pile à combustible seront étudiés à travers leurs effets sur les variables électriques et physiques mesurables. Une investigation sera menée pour identifier le vieillissement naturel et la dégradation par des méthodes telles que la spectroscopie électrochimique d'impédance.

Travail de thèse :

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet européen auquel sont inscrits le laboratoire de recherche Femto-ST et la société Actoat (Projet CORNET). Les travaux du doctorant seront portés en partie sur la livraison d'un modèle de pile à combustible tenant compte des phénomènes de dégradations et de vieillissement. Une autre partie consistera en l'exploitation des résultats d'autres équipes de recherches intégrées au projet européen dans le but d'établir des algorithmes de gestion d'énergie.

Ainsi, une première étape, dans ce travail de thèse, consistera à faire un état de l'art sur ce qui existe en termes d'architecture de véhicule lourd à pile à combustible. Ensuite se basé sur un gabarit donné pour dimensionner la chaîne de traction, les sources, le stockage (hydrogène), les convertisseurs associés. Une modélisation sous Matlab/Simulink est attendue afin de valider la phase de dimensionnement sur un profil donné.

Une partie théorique consistant en une gestion de l'énergie entre les différentes sources/stockage est envisagée afin d'optimiser le fonctionnement et d'assurer une autonomie pour le véhicule.

L'étude des mécanismes de dégradation sur la pile à combustible seront investigués et simulés afin de proposer un modèle de simulation tenant compte du vieillissement naturel ou de défaut dans le fonctionnement de la pile.

Connaissances souhaitées : Automatique, Génie Electrique, Programmation

PHD Context:

Hydrogen and fuel cells present a major interest for heavy vehicles, such as trucks, buses, and industrial machinery, by offering a sustainable solution to reduce greenhouse gas emissions. Unlike electric batteries, which can be heavy and limited in range for long trips, fuel cells generate electricity by combining hydrogen with oxygen, emitting only water as a byproduct. This allows for extended range and quick refueling times, comparable to those of fossil fuel vehicles. Additionally, hydrogen can be produced from renewable sources, enhancing its ecological potential. For the road transport and logistics sectors, where performance and reliability are crucial, hydrogen represents a promising alternative for decarbonizing activities while maintaining high operational efficiency.

Given the significant power and dynamics required for heavy vehicles, hybridization of the fuel cell with other power sources (batteries and/or supercapacitors) could be considered. Thus, modeling the powertrain with a sizing phase is crucial to determine the vehicle's topology, understand the powers involved, and assess the weight/volume/cost constraints incurred.

Degradation phenomena on the fuel cell will be studied through their effects on measurable electrical and physical variables. Natural ageing and degradation will be investigated using methods such as electrochemical impedance spectroscopy.

Expected PhD Work:

This thesis is integrated into an European project (CORNET project) containing the research laboratory Femto-ST and the company named Actoat. The work of the PhD student will be partially done on the delivery of a fuel cell model, which considers degradation and aging phenomena. Another part will consist of the exploitation of the results of other research teams integrated in the European project in order to establish energy management algorithms.

The first step in this thesis work will be to conduct a state-of-the-art review of existing heavy vehicle fuel cell architectures. Next, a given template will be used to size the powertrain, sources, storage (hydrogen), and associated converters. Modeling in Matlab/Simulink is expected to validate the sizing phase based on a given profile.

A theoretical part will involve energy management among the various sources/storage to optimize operation and ensure autonomy for the vehicle.

The study of degradation mechanisms on the fuel cell will be investigated and simulated in order to propose a simulation model that takes account of natural ageing or faults in the operation of the cell.

Ref biblio :

- H. S. Ramadan, Q. de Bortoli, M. Becherif, L. Boulon, F. Claude, "Multi-Stack Fuel Cell Efficiency Enhancement based on Thermal Management", IET Electrical System in Transportation, Vol 7(1), pp: 65-73, 2016 DOI: 10.1049/iet-est.2016.0027.
- M. Becherif, F. Claude, T. Hervier and L. Boulon, "Multi-stack fuel cells powering a vehicle", Elsevier Energy Procedia, Vol. 74, pp: 308-319, 2015. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.613.
- HS Ramadan, M Becherif, F Claude, "Energy Management Improvement of Hybrid Electric Vehicles via Combined GPS/Rule-Based Methodology", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol 14(2), pp: 586-597, 2017. DOI: 10.1109/TASE.2017.2650146, 2017.

Encadrants laboratoire (Supervisors):

Mohamed Becherif: Femto-ST UMR CNRS 6174, mohamed.becherif@utbm.fr

Amel Benmouna: Femto-ST UMR CNRS 6174, abenmouna@esta-groupe.fr

Youcef Ait Amirat, Femto-ST UMR CNRS 6174, youcef.aitamirat@univ-fcomte.fr

Contacts Industriels (Industrial contacts):

M. Eric Robert, Dr. Soichi Fukuhara

Email : eric.robet@act oat.fr, soichi.fukuhara@external.stellantis.com

Type de financement (Funding): Thèse CIFRE entre laboratoire et industriel

Durée de la thèse (Duration): 36 mois

Début de la thèse (Starting): T4 2025

Lieu laboratoire (Address): UTBM, Femto-ST UMR CNRS 6174, Rue Thierry Mieg, 90010 Belfort Cedex, France

Lieu industriel (Industrial Partner): Actoat, Etupes, France

Rémunération (Salary) : selon salaire minimum en vigueur sur convention CIFRE (Cifre minimum grid salary)

Niveau de recrutement (Minimum Applicant level) : Ingénieur, Master 2

Procédure pour candidater (How to apply): Envoi de CV + lettre de motivation aux mails des encadrants (Send CV + motivation letter to supervisors)

Compétences attendues (Background) : Bases solides en Automatique, Génie Electrique, Matlab, des compétences en expérimentation et montage de bancs de tests seraient appréciées (automatic control, Electrical Engineering, Matlab, Skills in experimental test bench will be appreciated)