

Indicateurs d'éco-conception pour batteries et piles à combustible modulaires et évolutives dans les véhicules électrifiés lourds

Eco-design indicators for modular and scalable batteries and fuel cells in heavy-duty electrified vehicles

Organisme employeur | Host organization: Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, France

Laboratoires impliqués | Laboratories involved:

Laboratoire Ampère, Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne, France

L2EP, Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, France

Institut FEMTO-ST, Université de Technologie de Belfort Montbéliard, Belfort, France

Dates: du 15 septembre 2025 au 28 février 2026 à mi-temps et du 1^{er} mars 2026 au 4 septembre 2026 à plein temps | from September 15, 2025, to February 28, 2026, part-time, and from March 1, 2026, to September 4, 2026, full-time

Contacts: Dr. HdR Walter LHOMME – walter.lhomme@univ-lille.fr
Dr. Hugo HELBLING – hugo.helbling@univ-lyon1.fr
Dr. Clément MAYET – clement.mayet@univ-lille.fr
Dr. Halima IKAOUASSEN – halima.ikaouassen@univ-fcomte.fr

Profil recherché | Required profile:

Etudiant en 2^{ème} année de Master (ou équivalent) en génie électrique, avec des compétences en batteries, piles à combustible et véhicules électrifiés. Une connaissance de l'approche d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) serait un atout. Une maîtrise du formalisme graphique REM serait également appréciée. Des compétences en communication anglaise (orale et écrite) sont requises.

2nd-year master's student (or equivalent) in electrical engineering, with skills in batteries, fuel cells, and electrified vehicles. Knowledge of the Life Cycle Assessment (LCA) approach would be an asset. Proficiency in the EMR graphical formalism would also be appreciated. English communication skills (oral and written) are required.

Financement | Funding: Agence National de la Recherche (ANR)

Candidature | Application:

CV, lettre de motivation, relevés de notes, lettres de recommandation éventuelles

CV, cover letter, transcripts, possible recommendation letters

Contexte | Context

Contrairement aux nouveaux véhicules légers routiers, pour lesquels des normes obligatoires d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) sont en vigueur dans l'Union Européenne (UE) depuis une décennie, les normes d'émissions de CO₂ pour les nouveaux Véhicules Lourds Routiers (VLR) n'ont été adoptées qu'en 2019. Ce retard est principalement dû à des exigences plus strictes pour remplacer les VLR à moteur diesel, notamment en termes de durée de vie, d'autonomie ou de temps de ravitaillement. Aujourd'hui, un déploiement rapide de nouveaux types de VLR est nécessaire afin de réduire l'empreinte écologique du transport. Pour y parvenir, l'UE vise à mettre en circulation des véhicules zéro émission utilisant des batteries ou des piles à hydrogène. Afin de favoriser une croissance rapide de ces véhicules, la tendance est au développement de plateformes modulaires et évolutives. Appliquées aux systèmes d'alimentation, ces plateformes conduisent à l'utilisation de batteries modulaires et de piles à combustible multi-stacks. Dans cette optique, MARSHALL (Modular and Scalable battery and fuel cell systems for on-road Heavy-duty electrified vehicles) est un nouveau projet, financé par l'Agence nationale de la recherche française (ANR), dans le cadre du réseau national français



MEGEVH¹ sur les véhicules électrifiés. Ce projet réunit trois laboratoires : Ampère, FEMTO-ST et L2EP, et a pour objectif de développer une méthodologie générique pour la conception de batteries modulaires et de piles à combustible multi-stacks appliquées aux VLR. L'ambition du projet est d'accélérer le processus de conception de l'architecture des systèmes de batteries et de piles à combustible d'au moins 20 %, réduisant ainsi le délai de mise sur le marché des VLR électriques. L'applicabilité de la méthode générique sera également évaluée sous le prisme des impacts environnementaux (méthode d'analyse sur cycle de vie, éco-conception) de batteries multi-modules et de piles à combustible multi-stacks mises à l'échelle. Développer une méthode générique en tenant compte des caractéristiques d'ingénierie et d'éco-conception dans une approche globale constitue un défi interdisciplinaire. Si l'aspect de modularité semble être pleinement intégré dans les caractéristiques d'éco-conception, telles que la réparabilité et les aspects de démontabilité, il est nécessaire de quantifier la contribution de la modularité sur les impacts environnementaux des systèmes considérés. De plus, appliquer une approche d'éco-conception de la mise à l'échelle des systèmes de batteries et piles à combustible modulaires permettrait de quantifier l'effet d'échelle, potentiellement fortement non linéaire, sur les impacts environnementaux.

Unlike for new on-road light-duty vehicles, for which mandatory carbon dioxide (CO₂) emissions standards have been in place in the European Union (EU) for a decade, the CO₂ emissions standards for new on-road Heavy-Duty Vehicles (HDV) were only adopted in 2019. This delay is particularly due to more stringent requirements, to substitute the diesel engine-based HDV, in terms of lifetime, driving range or refueling time. Today, a fast deployment of new types of on-road HDV to reduce the ecological footprint of transportation is then required. To tackle this, the EU aims to deploy zero-emission vehicles using battery or hydrogen fuel cell. In order to expect a rapid growth of these vehicles the trend is to develop scalable and modular platforms. Applied to the power supplies, the modular and scalable platforms result to use multi-module batteries and multi-stack fuel cells. For this purpose, MARSHALL (ModULAR and Scalable battery and fuel cell systems for on-road HeAVy-duty eLectrified vehicLes) is a new project, funded by the French National Research Agency (ANR), within the framework of the French national network MEGEVH¹ on the electrified vehicles, between three labs; Ampère, FEMTO-ST and L2EP; to develop a generic methodology for the design of multi-module batteries and multi-stack fuel cells applied to on-road HDV. The ambition of the project is to accelerate the system architecture design process of the battery and fuel cell systems by at least 20%, thereby reducing the time-to-market of battery and fuel cell HDV. The applicability of the generic method will also be assessed from the perspective of environmental impacts (life cycle analysis method for eco-design) of scalable multi-module batteries and multi-stack fuel cells. Developing a generic method that takes into account engineering and eco-design features in a holistic approach is an interdisciplinary challenge. While the aspect of modularity seems to be fully integrated into the eco-design features, such as reparability and disassembly aspects, it is necessary to quantify the contribution of modularity to the environmental impacts of the considered systems. Furthermore, applying an eco-design approach to the scalability of modular battery and fuel cell systems would allow for the quantification of the scaling effect, which could be significantly nonlinear, on environmental impacts.

Objectif du stage de Master | Objective of the master thesis

Le stage de master vise à identifier les indicateurs d'éco-conception pertinents, en tenant compte à la fois des aspects environnementaux (émissions de gaz à effet de serre, épuisement des ressources naturelles, écotoxicité...) et des aspects de conception (réparabilité, modularité, fiabilité, démontabilité...) des batteries et des piles à combustible dans le cadre de la mise à échelle et de la modularité. En raison de l'orientation technologique du projet MARSHALL, l'accent sera mis sur la définition d'indicateurs technologiques destinés directement aux concepteurs des systèmes étudiés. Ces indicateurs permettront d'évaluer l'impact des systèmes de batteries et de piles à combustible modulaires et mises à l'échelle sur l'ensemble du cycle de vie. Cela implique notamment la mise en œuvre d'un inventaire du cycle de vie à l'échelle des deux systèmes (incluant potentiellement différents niveaux de puissance et/ou de modularité), en tenant compte du pack de batteries et du stack de la pile à combustible, ainsi que de leurs auxiliaires, mais aussi de la réparabilité et de la fiabilité de ces systèmes. Les systèmes éco-conçus et non éco-conçus seront comparés afin d'évaluer les avantages d'une telle approche du point de vue de la performance énergétique et de l'impact environnemental. L'étude prendra en compte plusieurs études de cas de véhicules lourds de différentes catégories.

¹ MEGEVH est un groupe de recherche français visant à favoriser la collaboration entre les partenaires académiques et industriels axée sur la modélisation et la gestion de l'énergie des véhicules électrifiés / MEGEVH is a French research group to foster collaborations between academic and industrial partners, into a coordinated and coherent whole from different disciplines, on the modelling and power management of electrified vehicles.



The master's thesis aims to identify relevant eco-design indicators, taking into account both environmental aspects (greenhouse gas emissions, depletion of natural resources, eco-toxicity...) and design aspects (repairability, modularity, reliability, disassemblability ...) of batteries and fuel cells within the framework of scaling and modularity. Due to the technological orientation of the MARSHALL project, the focus will be on defining technological indicators directly intended for the designers of the studied systems. These indicators will allow for the assessment of the impact of modular and scaled battery and fuel cell systems over their entire life cycle. This notably involves implementing a life cycle inventory at the scale of both systems (potentially including different power levels and/or modularity), taking into account the battery pack and fuel cell stack, as well as their auxiliaries, and also the repairability and reliability of these systems. Eco-designed and non-eco-designed systems will be compared in order to evaluate the benefits of such an approach from the perspectives of energy performance and environmental impact. The study will consider several case studies of heavy-duty vehicles from different categories.

Laboratoires impliqués | Laboratories involved

Le Laboratoire Ampère (CNRS UMR 5005, <http://www.ampere-lab.fr>) travaille depuis 30 ans dans le domaine des systèmes de stockage d'énergie : batteries, supercondensateurs et condensateurs. Les principales compétences développées concernent la caractérisation et la modélisation électriques, électrochimiques et électrothermiques, ainsi que les aspects de développement durable, d'optimisation de la gestion et d'éco-conception. Une plateforme de caractérisation expérimentale et de fiabilité est dédiée aux systèmes de stockage d'énergie, comprenant une pluralité de bancs de caractérisation et de vieillissement.

Le L2EP (Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance, ULR 2697, <https://l2ep.univ-lille.fr>) regroupe environ 100 chercheurs, dont 36 enseignants-chercheurs et 42 doctorants, spécialisés dans les systèmes électriques innovants. Son équipe commande est reconnue internationalement pour la gestion énergétique des véhicules électrifiés. Depuis 1990, cette équipe a développé plusieurs méthodologies génériques, notamment le formalisme graphique REM (Représentation Énergétique Macroscopique). La REM est aujourd'hui enseignée à l'international, et une école d'été annuelle lui est consacrée (www.emrwebsite.org). Une plateforme scientifique de 150 m² est dédiée à la validation de nouveaux concepts de véhicules électrifiés, allant des sous-systèmes aux véhicules complets, afin de développer des solutions de transport plus efficaces et moins polluantes (<https://ev-platform.univ-lille.fr/>).

L'institut FEMTO-ST (Franche-Comté Électronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies, CNRS UMR 6174, <https://www.femto-st.fr>) est un laboratoire de recherche commun regroupant plusieurs disciplines des sciences de l'ingénieur à travers ses 7 départements, dont le département Énergie. Avec 130 membres, ce département est fortement impliqué dans la recherche sur l'énergie hydrogène, en vue de concevoir, évaluer, développer et intégrer des systèmes exploitant ce vecteur énergétique pour des applications stationnaires et embarquées, tout en intégrant les dimensions humaines et sociales. Une plateforme de 600 m² est dédiée aux tests de systèmes à hydrogène. Elle comprend 8 salles de test entièrement sécurisées pour les essais avancés sur l'hydrogène. Des tests longue durée peuvent être réalisés sur des bancs d'essai dédiés aux piles à combustible, couvrant une plage de puissance allant de 500 W à 120 kW ([lien](#)).

Les trois laboratoires, et en particulier les chercheurs impliqués dans ce projet, disposent d'une expertise reconnue dans le domaine, comme en témoignent leurs publications directement liées au sujet.

The Ampère Laboratory (CNRS UMR 5005, <http://www.ampere-lab.fr/?lang=en>) has been working for 30 years in the field of energy storage systems, including batteries, supercapacitors, and capacitors. The main skills developed include electrical, electrochemical, and electro-thermal characterization and modelling, as well as aspects of sustainable development, management optimization, and eco-design. An experimental characterization and reliability platform is dedicated to energy storage systems, comprising multiple characterization and aging benches.

The L2EP (Laboratory of Electrical Engineering and Power Electronics, ULR 2697, <https://l2ep.univ-lille.fr/en/>) has about 100 researchers, including 36 Professors and 42 PhD students, in the field of innovative electrical systems. Its control team is internationally recognized for the energy management of various electrified vehicles. Since 1990, the control team of L2EP has developed various generic method, such as the EMR graphical formalism. EMR is nowadays internationally taught and annual EMR summer school is organized every year (www.emrwebsite.org). A scientific platform of 150 m² is dedicated to validate new electrified vehicle concepts, from subsystems to vehicles, for more efficient and less pollutant transportation systems (<https://ev-platform.univ-lille.fr/>).

The FEMTO-ST (Franche-Comté Electronics Mechanics Thermal Science and Optics - Sciences and Technologies) institute (CNRS UMR 6174, <https://www.femto-st.fr/en>) is a joint research laboratory whose competences cover several fields of engineering sciences with 7 departments, including the Energy department. With 130 members, the Energy department is very involved in Hydrogen Energy to design, evaluate, develop and integrate systems based on the use of



the hydrogen energy vector for stationary and on-board applications, while taking account human and social sciences. An existing platform of 600 m² is dedicated to hydrogen system test. That includes 8 test rooms fully secured for advanced hydrogen testing. Long duration tests could be performed on test benches for fuel cell stack tests, ranging from 500 W to 120 kW ([link](#)).

The three laboratories, and in particular the people involved in this project, have a proven expertise in the field which can be demonstrated by the publications directly related to the subject.

Bibliographie en lien avec la thèse | Bibliography related to the PhD thesis

- [1000kmPlus 19] 1000kmPLUS, “Scalable European powertrain technology platform for cost-efficient electric vehicles to connect Europe”, European H2020 project, 2019-2023, [link](#) (Feb. 2023)
- [Aroua 23] A. Aroua, W. Lhomme, F. Verbelen, M. N. Ibrahim, A. Bouscayrol, P. Sergeant, K. Stockman, “Impact of scaling laws of permanent magnet synchronous machines on the accuracy of energy consumption computation of electric vehicles”, eTransportation, vol. 18, no. 100269, 2023, [doi](#)
- [Ben-Marzouk 21] M. Ben-Marzouk, G. Clerc, S. Pelissier, A. Sari, P. Venet, “Generation of a real-life battery usage pattern for electrical vehicle application and aging comparison with the WLTC profile”, IEEE trans. on Vehicular Technology, vol. 6, no. 70, 2021, [doi](#)
- [Chew 22] X. Q. Chew, W. J. Tan, N. Sakundarini, C. M. M. Chin, A. Garg, S. Singh, “Eco-design of electric vehicle battery pack for ease of disassembly”, Enabling Industry 4.0 through Advances in Mechatronics, Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, [doi](#)
- [Domingues 19] G. Domingues, F. J. Marquez, P. Fyhr, A. Reinap, M. Andersson, M. Alakula, “Optimization of electric powertrains based on scalable cost and performance models”, IEEE trans. on Industry Applications, vol. 55, no. 1, pp. 751-764, 2018, [doi](#)
- [Freiberger 05] S. Freiberger, “Design for recycling and remanufacturing of fuel cells”, 4th IEEE International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japan, 2005, [doi](#)
- [German 20] R. German, S. Shili, A. Sari, P. Venet, A. Bouscayrol, A. Desrevelaux “Dynamical coupling of a battery electro-thermal model and the traction model of an EV for driving range simulation”, IEEE trans. on Vehicular Technology, vol. 69, no. 1, 2020, [doi](#), [HAL Id](#)
- [Grunditz 20] E. A. Grunditz, T. Thiringer, N. Saadat, “Acceleration, drive cycle efficiency and cost trade-offs for scaled electric vehicle drive system”, IEEE trans. on Industry Applications, vol. 56, no 3, p. 3020-3033, 2020, [doi](#)
- [HELIOS 21] HELIOS, “High-performance modular battery packs for sustainable urban electromobility services”, European H2020 project, 2017-2024, [link](#) (Feb. 2023)
- [iModBatt 17] iModBatt, “Industrial modular battery pack concept addressing high energy density, environmental friendliness, flexibility and cost efficiency for automotive applications”, European H2020 project, 2017-2021, [link](#) (Feb. 2023)
- [Lai 22] X. Lai, Q. Chen, X. Tang, Y. Zhou, F. Gao, Y. Guo, R. Bhagat, Y. Zheng, “Critical review of life cycle assessment of lithium-ion batteries for electric vehicles: A lifespan perspective”, eTransportation, pp. 100169, 2022, [doi](#)
- [Lhomme 20] W. Lhomme, F. Verbelen, M. N. Ibrahim, K. Stockman, “Energetic macroscopic representation of scalable permanent magnet synchronous machines”, IEEE-VPPC 2020, virtual, 2020, [doi](#)
- [Macias 21] A. Macias, N. El Ghossein, J. Trovão, A. Sari, P. Venet, L. Boulon, “Passive fuel cell/lithium-ion capacitor hybridization for vehicular applications”, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 46, no. 56, 2021, [doi](#)
- [MARBEL 21] MARBEL, “Manufacturing and assembly of modular and reusable electric vehicle battery for environment-friendly and lightweight mobility”, European H2020 project, 2017-2024, [link](#) (Feb. 2023)
- [Ndiaye 21] A. Ndiaye, R. German, A. Bouscayrol, P. Venet, E. Castex, “Influence of electric vehicle charging on lithium-ion batteries aging”, IEEE-VPPC 2021, Gijon (Spain), 2021, [doi](#)
- [Picatoste 22] A. Picatoste, D. Justel, J. M. F. Mendoza, “Circularity and life cycle environmental impact assessment of batteries electric vehicles: Industrial challenges, best practices and research guidelines”, Renewable and Sustainable Energy Review, vol. 169, pp. 112941, 2022, [doi](#), ResearchGate [link](#)

