

Offre de sujet de thèse

Titre : Développement d'un modèle de batterie électrochimique-thermique et conception d'un système de management thermique hybride innovant

Ecole doctorale	Ecole Doctorale Polytechnique Hauts-de-France
Laboratoire	LAMIH UMR CNRS 8201, Département de mécanique – UPHF, Valenciennes
Direction	Souad HARMAND souad.harmand@uphf.fr Mustapha MAHDAOUI mustapha.mahdaoui@uphf.fr
Lieu	Université Polytechnique Hauts de France
Date du début	01/10/2024

Contexte scientifique :

Le réchauffement climatique et les phénomènes météorologiques extrêmes menacent toutes les espèces sur Terre, en particulier les humains. Dans de nombreux pays, des plans d'action sont en place pour réduire les gaz à effet de serre (GES) et atteindre une neutralité carbone. Des secteurs industriels variés, comme celui du transport routier, s'engagent à réduire leurs émissions pour contribuer à cette cause. Pour réduire ces émissions, on substitue progressivement les véhicules fonctionnant à l'essence ou au diesel par des véhicules électriques ou hybrides électriques. L'essor continu du domaine des véhicules électriques a incité les chercheurs à concevoir de nouveaux systèmes de stockage d'énergie, à savoir les batteries pour véhicules électriques. Ces batteries sont développées avec des critères clés tels que l'efficacité, la sécurité et la fiabilité. Elles constituent la source d'énergie la plus fiable dans les environnements actuels ; cependant, plusieurs propriétés négatives de ces batteries empêchent leur utilisation à plein potentiel.

Actuellement, les batteries lithium-ion sont considérées comme la source d'énergie la plus populaire en raison de leur densité énergétique élevée, de leur capacité de charge et de décharge rapide, de leur absence d'effet mémoire et de leur faible taux d'autodécharge. Il convient de noter que la batterie lithium-ion est un dispositif de stockage d'énergie électrochimique typique, impliquant diverses réactions électrochimiques, ainsi que des

processus de transfert de masse, de charge et de chaleur. Il est donc essentiel de bien comprendre et modéliser le comportement thermique interne des cellules lithium-ion pour les protéger et prévenir les défaillances thermiques. Par conséquent, pour identifier la criticité des défaillances thermiques du Li-ion, il est impératif d'étudier avec précision les phénomènes associés à l'aide de techniques modernes de simulation et d'analyse. De plus, en utilisant différents modèles thermiques de batteries dans des simulations numériques, les chercheurs peuvent mieux comprendre les batteries Li-ion et développer des techniques de prévention de leur état de santé, leur emballage thermique

La principale difficulté lorsqu'il s'agit de fabriquer des batteries à haute performance réside dans la défaillance thermique engendrée par l'élévation de la température. Les systèmes de gestion thermique des batteries (SGTB) demeurent un défi complexe à résoudre. Le développement d'un SGT-B efficace qui maintient la température de fonctionnement de la batterie entre 15 et 35 °C est vital car la plupart des technologies actuelles n'y parviennent pas.

Récemment, plusieurs approches actives ont été proposées et examinées en termes de coût de production, de performances et d'intégration des SGTB avec des batteries. Généralement, les SGTB sont classés en cinq types : refroidissement par air, refroidissement par liquide externe ou en immersion, refroidissement par matériau à changement de phase (MCP), refroidissement par caloduc et refroidissement hybride. La multiplicité des circuits des fluides dans le véhicule générant alors la complexité globale de la chaîne de traction véhicule.

Objectif de la thèse :

Ce projet s'inscrit pleinement dans la problématique de la gestion thermique des batteries en faisant appel à des technologies de refroidissement innovantes, permettant de préserver leur durée de vie tout comme leur sécurité et fiabilité, notamment dans des situations d'emballage thermique et de prise de feu dans des situations extrêmes comme les accidents routiers. Cette thèse a un double objectif : développer des modèles électrochimiques des batteries pour modéliser le comportement thermique interne des batteries et coupler ces modèles avec de nouvelles méthodes de refroidissement faisant appel à de nouvelles technologies hybrides et à l'asservissement du système de refroidissement au

profils dynamiques de dégagement de la chaleur, afin d'optimiser le fonctionnement des batteries.

Profil du candidat :

Les candidats doivent être titulaires d'un diplôme d'ingénieur ou de Master 2 en physique ou en énergétique ou en mécanique de fluide, avec une solide formation en **électrochimie**, thermique, mécanique des fluides, programmation et CFD. Une excellente maîtrise de l'anglais est indispensable pour publier et présenter les résultats lors de conférences internationales et dans des revues internationales.

Modalité de candidature :

Contacts :

- Souad HARMAND souad.harmand@uphf.fr
- Mustapha MAHDAOUI mustapha.mahdaoui@uphf.fr

Éléments à fournir :

- Lettre de motivation + Curriculum Vitae ;
- Relevés de notes de M1 et M2 ;
- Lettres de recommandations

Mots clés :

Batteries lithium-ion ; modèle électrochimique- thermique ; systèmes de gestion thermique ; couplage

Références

Brevet :

- B1.** [Modèle de tension d'une batterie en fonction du courant et de la température](#), Thanh-Ha Tran, Frederic Pailloux, Souad Harmand : Partenariat PSA, Ref 1160912 FR
- B2.** Dispositif de refroidissement pour cellule de batterie cylindrique, Thanh-Ha Tran, Frederic Pailloux, Souad Harmand : Partenariat PSA, Ref 1252026 FR
- B3.** Dispositif de refroidissement de batterie employant un caloduc et un matériau à changement de phase, Thanh-Ha Tran, Frederic Pailloux, Souad Harmand : Partenariat PSA, Ref 1253541 FR

- B4.** Dispositif combinant un caloduc et une matrice de matériau à changement de phase (PCM) au niveau de l'évaporateur pour refroidir les cellules de batteries, Thanh-Ha Tran, Frederic Pailloux, Souad Harmand : Partenariat PSA, Ref 1254751 FR
- B5.** Système de distribution d'air exploitant l'effet de cheminée pour refroidir un stockeur électrique automobile, Thanh-Ha Tran, Frederic Pailloux, Souad Harmand : Partenariat PSA, Ref 1260775 FR

Publications

- [Réf1]** Experimental investigation on the feasibility of heat pipe cooling for HEV/EV lithium-ion battery. Tran T. H., Harmand S., Desmet B., Filangi S. [Volume 63, Issue 2](#), 22 February 2014, Pages 551–558, Applied Thermal Engineering.
- [Réf2]** Tran T. H., Harmand S., Sahut B., Experimental investigation on heat pipe cooling for HEV/EV lithium-ion battery. Journal of Power Sources, [Volume 265](#), 1 November 2014, Pages 262–272, **IF 5,257**
- [Réf3]** Thermal characterization of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ graphite battery, T. Tran, S. Harmand, B. Desmet, F. Pailloux, Journal of Electrochemical Society, 160, pp. 775–780.
- [Réf4]** International Energy Agency. Batteries and Secure Energy Transitions. 2024.
- [Réf5]** Sadeh, M., Tousi, M., Sarchami, A., Sanaie, R., Kiani, M., Ashjaee, M., & Houshfar, E. (2024). A novel hybrid liquid-cooled battery thermal management system for electric vehicles in highway fuel-economy condition. *Journal of Energy Storage*, 86, 111195.
- [Réf6]** Murali, G., Sravya, G. S. N., Jaya, J., & Vamsi, V. N. (2021). A review on hybrid thermal management of battery packs and its cooling performance by enhanced PCM. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111513.
- [Réf7]** Khan, A., Yaqub, S., Ali, M., Ahmad, A. W., Nazir, H., Khalid, H. A., ... & Sopian, K. (2024). A state-of-the-art review on heating and cooling of lithium-ion batteries for electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 76, 109852.
- [Réf8]** Zhao, Y., Zhang, X., Yang, B., & Cai, S. (2024). A review of battery thermal management systems using liquid cooling and PCM. *Journal of Energy Storage*, 76, 109836.
- [Réf9]** Liu, Q., Qin, L., Shi, Q., Yao, X., Xu, C., & Ju, X. (2024). Optimization of the active battery immersion cooling based on a self-organized fluid flow design. *Journal of Energy Storage*, 76, 109851.
- [Réf10]** Yu, X. K., Tao, Y. B., & Deng, Q. Q. (2024). Experimental study on thermal management of batteries based on the coupling of metal foam-paraffin composite phase change materials and air cooling. *Journal of Energy Storage*, 84, 110891.
- [Réf11]** Wei, W., Luo, Z., Qiao, S., Zhai, J., & Lei, Z. (2024). Analysis and design of module-level liquid cooling system for rectangular Li-ion batteries. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 225, 125435.
- [Réf12]** Briache A, Afass A, Ouardouz M, Ahachad M, Mahdaoui M. A Comparative Analysis of Enhancement Techniques in a PCM-Embedded Heat Sink: Fin forms, Nanoparticles, and Metal Foam. *Int J Heat Mass Transf* 2024;229:125730.

- [Réf13]** Mahdaoui M, Kouksou T, Blancher S, Ait Msaad A, El Rhafiki T, Mouqallid M. A numerical analysis of solid-liquid phase change heat transfer around a horizontal cylinder. *Appl Math Model* 2014;38:1101–10.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.08.002>.
- [Réf14]** Huang, H., Zhou, Z., Wu, W. T., Wei, L., Li, Y., Lv, X., ... & Song, Y. (2024). Electrochemical reactions coupled multiphysics modeling for lithium ion battery with non-heterogeneous micro-scale electrodes structures. *Journal of Energy Storage*, 78, 110050.
- [Réf15]** Alkhedher, M., Al Tahhan, A. B., Yousaf, J., Ghazal, M., Shahbazian-Yassar, R., & Ramadan, M. (2024). Electrochemical and thermal modeling of lithium-ion batteries: A review of coupled approaches for improved thermal performance and safety lithium-ion batteries. *Journal of Energy Storage*, 86, 111172.
- [Réf16]** Adhikari, N., Bhandari, R., & Joshi, P. (2024). Thermal analysis of lithium-ion battery of electric vehicle using different cooling medium. *Applied Energy*, 360, 122781.