

DESCRIPTIF DU SUJET ET ARGUMENTAIRE DU DIRECTEUR DE THESE

Nom et prénom du directeur de thèse : Pr Christophe FORGEZ (UTC)

Intitulé du sujet de thèse (en français) : ETHERION

Estimation de l'énergie stockée par l'analyse des flux thermiques dans des batteries li ion

Résumé du sujet de thèse (Décrire en français les objectifs visés en 1500 caractères maximum)

Le sujet proposé est un sujet générique visant à améliorer les modèles thermiques de batteries en vue d'améliorer leurs performances ou leurs géométries, augmenter leur durée de vie et effectuer un meilleur diagnostic en temps réel par une prise en compte plus précise des grandeurs thermiques.

Actuellement, les moyens expérimentaux utilisés au laboratoire pour caractériser les paramètres du modèle thermique restent relativement rudimentaires (enceinte adiabatique « faite maison », acquisition de points de température de surface à l'aide de thermocouple ou d'image infrarouge). Les prédictions des températures déterminées à l'aide de notre modèle thermique ainsi identifié sont relativement fiables et suffisamment précises dans le cadre d'une utilisation classique d'une batterie. Cependant pour des applications plus sévères, charge rapide ou charge à froid, les incertitudes sur les composants du modèle thermique se révèlent problématiques, notamment pour apprécier le drainage thermique.

Les objectifs visés concernent dans un premier temps la mise en œuvre de techniques de mesures de flux thermique sur des cellules de format cylindrique et prismatique. Ces manipulations doivent permettre d'améliorer la caractérisation de modèle thermique à constantes localisées de cellules de batterie. Ce modèle devra être vérifié dans le cadre d'assemblage de cellule en pack batterie.

Encadrement :

Prof. Christophe FORGEZ (co directeur)
Université de Technologie de Compiègne UTC
BP 20529
60205 Compiègne Cedex

Dr. Khadija EL KADRI BENKARA (co encadrante)
Ingénieure de recherche
Université de Technologie de Compiègne UTC
BP 20529
60205 Compiègne Cedex

Prof. Nazih MOUBAYED (co directeur de these)
Head of GIGP Research Unit
Scientific Research Center in Engineering (CRSI)
Lebanese University - Faculty of Engineering
P.O. Box: 310, Tripoli, Lebanon
Mobile: +961 3 87 99 56; Fax: +961 6 38 50 89
E-mail: nmoubayed@yahoo.com
nmoubayed@ieee.org

Eng. Rabih DIB, PhD (co encadrant)
Associate Professor
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering – Branch I
Lebanese University
Haykalieh |Rasmaska|North Lebanon | Lebanon
(t) +961 6 409 512 | (c) +961 03 687994

DESCRIPTIF DU SUJET (en 3 pages minimum)

1) Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique et économique :

Le sujet de thèse s'inscrit dans la lignée des travaux visant à améliorer l'utilisation des batteries principalement de type lithium ion (voire sodium ion) pour des applications à énergie électrique embarquée pour lesquelles les contraintes thermiques sont dimensionnantes. Le sujet proposé est un sujet générique visant à améliorer les modèles thermiques de batteries en vue d'améliorer leurs performances ou leurs géométries, augmenter leur durée de vie et effectuer un meilleur diagnostic en temps réel par une prise en compte plus précise des grandeurs thermiques.

2) L'état du sujet dans le laboratoire d'accueil :

Le laboratoire Roberval dispose au sein de l'équipe MEEI, des compétences développées depuis 20 ans sur la modélisation de batterie, principalement sur la modélisation des dynamiques électrochimiques et thermique. L'équipe dispose d'un leadership concernant la modélisation thermique de batterie et couplage avec la modélisation des phénomènes dynamiques électrochimiques [1-6].

La modélisation thermique est cruciale :

- pour maîtriser la performance du système de stockage : plus une batterie est chaude plus elle est efficace. A contrario, les recharges à froid (basses températures voire négatives) peuvent engendrer des problèmes de dépôt de lithium irréversible ce qui contribue à une baisse significative et rapide de la capacité de stockage. De la même manière, les décharges à froid ne permettent pas d'extraire la totalité de l'énergie stockée du fait d'une impédance trop élevée à froid.
- pour garantir la sûreté de fonctionnement (risques d'emballement thermique) : si des parties de matière active se retrouvent à des températures supérieures à 90°C, le risque d'emballement thermique incontrôlable est réel. Le modèle thermique doit permettre une surveillance temps réel de la température de cœur des cellules, ceux-ci étant inaccessibles pour la mesure de température.
- pour prédire voire limiter le vieillissement des batteries. Les études ont montré que la température élevée est le facteur de rang 1 contribuant au vieillissement de la batterie. L'estimation de la durée de vie des batteries est actuellement un élément essentiel pour l'estimation des coûts réels d'exploitation et donc de l'estimation de la compétitivité de ces systèmes de stockage.

Actuellement, les moyens expérimentaux utilisés au laboratoire pour caractériser les paramètres du modèle thermique restent relativement rudimentaires (enceinte adiabatique « faite maison », acquisition de points de température de surface à l'aide de thermocouple ou d'image infrarouge). Les prédictions des températures déterminées à l'aide de notre modèle thermique ainsi identifiées sont relativement fiables et suffisamment précises dans le cadre d'une utilisation classique d'une batterie. Cependant pour des applications plus sévères, charge rapide ou charge à froid, les incertitudes sur les composants du modèle thermique se révèlent problématiques, notamment pour apprécier le drainage thermique.

L'équipe souhaiterait donc se doter d'un calorimètre adiabatique et isothermique,

- d'une part pour améliorer la précision des modèles thermiques de batterie notamment sur la détermination des capacités thermiques et des pertes internes
- d'autre part pour quantifier et localiser les flux de chaleur en temps réel, ce qui permettra d'affiner les transferts de chaleur

L'équipement se rapprochant au mieux de ce besoin est un calorimètre isothermique et adiabatique (Fig. 1). Les dispositifs commerciaux permettent actuellement de caractériser des éléments d'un seul format (pile bouton ou cylindrique ou de type poche ou prismatique) et pour des puissances thermiques dégagées d'une dizaine de watts. Or dans le cadre de la caractérisation de batterie pour la recharge rapide, les dégagements thermiques peuvent aisément dépasser plusieurs dizaines de watts. Pour effectuer les mesures de transferts de chaleur localisés, le dispositif devra s'équiper d'une instrumentation (fluxmètre thermique) capable de caractériser les flux thermiques.



Fig. 1 : calorimètre adiabatique et isothermique

Ce dispositif scientifique requiert une mise en œuvre experte et à adapter pour chaque composant à caractériser. L'adaptabilité du calorimètre à différents formats de cellules notamment de puissance. Une demande d'équipement a été formulée pour le CPER 2021-2027 (CPER EE 4.0).

3) Les objectifs visés, les résultats escomptés

Les objectifs visés concernent dans un premier temps la mise en œuvre de techniques de mesures de flux thermique sur des cellules de format cylindrique et prismatique. Ces manipulations doivent permettre d'améliorer la caractérisation de modèle thermique à constantes localisées de cellules de batterie. Ce modèle devra être vérifié dans le cadre d'assemblage de cellule en pack batterie.

L'objectif visé en fin de thèse consiste à quantifier précisément les échanges d'énergie (thermique et électrique) afin de déterminer la quantité d'énergie réellement rechargée ou déchargée. Cette étude devrait compléter des études menées au sein de l'équipe sur les estimateurs d'état de charge établis uniquement sur la base de modèle électrique.

4) Le programme de travail avec les livrables et l'échéancier prévisionnel

Année 1 :

Etat de l'art de la calorimétrie, utilisation des appareils,
Mise en œuvre de mesures de flux thermiques

Année 2 :

Modélisation thermique d'une cellule lithium ion (format prismatique et cylindrique)
Modélisation d'un assemblage de cellule avec packaging

Année 3 :

Utilisation des mesures thermiques pour améliorer la connaissance de l'énergie embarquée lors de recharge ou décharge.

5) Les collaborations prévues (préciser le cadre, la nature des collaborations, l'ancrage national, international, la transdisciplinarité éventuellement)

Au niveau régional, l'équipe collabore dans le cadre d'une thèse avec la société TIAMAT (fabricant de batterie sodium ion) pour l'amélioration des modèles de batteries dans le but d'améliorer les estimateurs d'état de charge de batterie sodium ion. Cette société pourrait probablement nous fournir des cellules sodium ion, l'avantage est que cette société construit elle-même ses cellules, ce qui pourrait permettre une instrumentation interne de la cellule lors de la fabrication, ce qui faciliterait les vérifications expérimentales. Par ailleurs, l'étude des flux thermiques de leurs batteries pourrait en échange leur apporter des informations précieuses sur l'optimisation géométrique de celles-ci.

Cette thèse intègre parfaitement les activités du pôle I-TRANS en ce qui concerne la feuille de route stratégique de la fière automobile à l'horizon 2025-2030. Les travaux développés ont pour but de prendre un leadership scientifique sur les batteries pour l'électromobilité et plus précisément sur le thème : « AREA 3 : Battery end uses and operation ».

Des collaborations avec SAFRAN sur des thématiques similaires sont en cours. SAFRAN pourrait également probablement apporter une collaboration en termes de fourniture de cellules à tester de technologies innovantes.

Sur le plan international, cette thèse s'inscrirait dans le cadre d'une collaboration avec l'université libanaise faculté de Génie de Tripoli, une collaboration qui date de plus de 10 ans. Cette thèse consolidera notre collaboration et permettra de capitaliser des travaux qui ont déjà été effectués dans le cadre de l'encadrement de plusieurs stages de Master et de fin d'études.

Nous projetons de compléter le ½ financement région avec un ½ financement par le programme de cotutelles de thèse entre l'université Libanaise et le réseau UT-INSA.

6) Une liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet en soulignant celles du laboratoire

Publications du laboratoire [1-6] :

[1] "Thermal modeling of a cylindrical LiFePO₄/graphite lithium-ion battery", Journal of Power Sources, Volume 195, Issue 9, 1 May 2010, Pages 2961-2968, Christophe Forgez, Dinh Vinh Do, Guy Friedrich, Mathieu Morcrette, Charles Delacourt

[2] "Thermal modeling of large prismatic LiFePO₄/graphite battery. Coupled thermal and heat generation models for characterization and simulation", Journal of Power Sources, Volume 283, 1 June 2015, Pages 37-45, Nicolas Damay, Christophe Forgez, Marie-Pierre Bichat, Guy Friedrich

[3] "A method for the fast estimation of a battery entropy-variation high-resolution curve – Application on a commercial LiFePO₄/graphite cell", Journal of Power Sources, Volume 332, 15 November 2016, Pages 149-153, Nicolas Damay, Christophe Forgez, Marie-Pierre Bichat, Guy Friedrich

[4] « Contribution à la modélisation thermique de packs batteries LiFePO₄ pour véhicules décartonnés » par Nicolas Damay, Thèse de l'Université de Technologie de Compiègne en partenariat avec la société E4V, Soutenue le 11-12-2015.

[5] Temperature dependency modelling of LFP/C battery for an aeronautical application

Sayegh, M., Forgez, C., Tran, T.-H., Cherouvrier, G.

2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC 2016, 2017,

[6] Impedance observer for a Li-ion battery using Kalman filter

Do, D.V., Forgez, C., El Kadri Benkara, K., Friedrich, G.

IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(8), pp. 3930–3937

Publications externes [7-10] :

[7] Quantification of heat loss for different charging profiles in a Li-Ion Battery

S M Rakiul Islam; Sung-Yeul Park

December 2020 IEEE Transactions on Energy Conversion

[8] Investigation of Battery Heat Generation and Key Performance Indicator Efficiency Using Isothermal Calorimeter

Khan, Mohammad Rezwana; Kær, Søren Knudsen

Proceedings of 2016 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)

[9] Lithium-ion battery heat generation investigation based on calorimetric entropy measurements

Akram Eddahech; Olivier Briat; Jean-Michel Vinassa

2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics

[10] Isothermal calorimeter heat measurements of a 20Ah lithium iron phosphate battery cell

Lluís Millet; Maximilian Bruch; Peter Raab; Stephan Lux; Matthias Vetter

2017 Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)

ARGUMENTAIRE DU DIRECTEUR DE THESE

En quoi le projet répond à l'un au moins des critères de priorisation de la Région (cf. Délibération de lancement de l'appel à projets Allocations) ?

- Le projet répond au critère N°3 :
 - lien avec une demande de financement d'un équipement (calorimètre) dans le cadre du CPER 2021-2027 (CPER EE 4.0).
 - lien avec les perspectives d'innovation, notamment pour l'optimisation géométrique des cellules de batteries et l'amélioration des estimateurs d'énergie stockée.
 - Cette thèse intègre parfaitement les activités du pôle I-TRANS en ce qui concerne la feuille de route stratégique de la fière automobile à l'horizon 2025-2030.

En quoi le projet participe à la structuration de la recherche en Région ? (Indiquer si le sujet contribue ou non à un programme régional en cours ou envisagé, notamment un projet déposé au CPER 2021-2027, si le sujet est lié à l'arrivée d'un chercheur en région, à la création d'une nouvelle équipe, à un rapprochement d'équipes etc...)

- Une demande de financement d'un calorimètre a été effectuée dans le cadre du CPER 2021-2027 (CPER EE4.0). La thèse permettra de contribuer à sa mise en œuvre et son utilisation dans la génération de modèles thermiques de batteries.

En quoi le projet s'inscrit dans les priorités du cofinanceur sollicité ?

La collaboration entre notre laboratoire et l'université Libanaise date de 10 ans avec l'accueil de plusieurs stagiaires et depuis 3 ans la mise en place des cotutelles de thèse. Cette demande de cotutelle permet de continuer cette collaboration entre l'UTC et l'université libanaise.

Des travaux sur la batterie ont déjà démarré avec un premier stage avec l'université libanaise en 2011 (Stagiaire : Ahmad Massadeh, sujet de stage : Contribution au développement d'un simulateur véhicule électrique). Ensuite 3 stages Master ont été effectués sur la thématique de la batterie avec les stagiaires suivants :

- Marie Sayegh : Implantation sur calculateur temps réel d'un observateur d'état de charge d'un pack de batteries Lithium ion, stage effectué en 2013. La stagiaire a continué ses travaux au laboratoire avec une thèse financée par SAFRAN sur la même thématique.
- Ghabach Badwi : Implantation sur calculateur temps réel d'un observateur d'état de charge d'un pack de batteries Lithium ion et instrumentation du pack, stage en 2014.
- Achraf Nasser Eddine : Implantation sur calculateur temps réel d'un observateur d'état de charge d'un pack de batteries Lithium ion : Utilisation de la FPGA, stage en 2015.

Le sujet de thèse proposé est une continuité de tous ces travaux et ces collaborations et permet de renforcer les liens avec l'Université libanaise.

Par ailleurs, le sujet s'inscrit dans les thématiques prioritaires du programme UL-UT-INSA pour lequel nous demanderons le ½ financement complémentaire pour la thèse.

En quoi le projet pourrait être valorisé dans un cadre national, européen, international ?

- Au niveau national, à notre connaissance seuls l'IMS à Bordeaux, l'IFPEN à Lyon et l'INERIS utilisent des calorimètres pour la compréhension de la thermique batterie. Pour ces installations, la compréhension se limite à l'échelle macroscopique. Dans notre projet, nous avons pour volonté dans un premier temps de nous mettre au niveau des équipements de nos collègues tout en développant une originalité sur la quantification localisée des flux thermiques.

Quelles sont les perspectives de valorisation, de transfert et d'innovation sur le territoire des Hauts-de-France ? Le projet contribue-t-il à la Stratégie Recherche Innovation de la région (S3) ? Si oui, pour quel Domaine d'Activité Stratégique ? D'une façon plus générale, quelles sont les retombées socio-économiques pour le territoire régional ?

- L'étude des flux thermiques localisés au sein d'une batterie peut permettre une amélioration de la géométrie et du conditionnement d'une cellule électrochimique. La valorisation de cette étude pourrait intéresser la société TIAMAT qui construit elle-même des cellules sodium ion, société avec laquelle nous collaborons.

Le projet peut-il ou non contribuer à la Troisième Révolution Industrielle (TRI) ? Si oui, en quoi le projet répond à un ou plusieurs critères de la TRI (efficacité énergétique, énergie renouvelables distribuées, mobilité, réseaux intelligents et intelligence artificielle, économie circulaire, économie de la fonctionnalité) (cf. Référentiel sur la TRI enseignement supérieur et recherche) ? <https://rev3.fr/enseignement-superieur-recherche/>

Ce sujet de thèse s'inscrit pleinement dans les objectifs de la Troisième Révolution Industrielle et ceci en essayant de lever les verrous technologiques du **troisième pilier de la TRI** à savoir : **Se doter de capacités de stockage des énergies dans un contexte de production décentralisée**. En effet, notre connaissance approfondie de la batterie permet d'améliorer ses performances énergétiques et répondre au mieux aux besoins des systèmes électriques avec des systèmes de stockage d'énergie.

Fait à Compiègne le 08/04/2021

Christophe FORGEZ

Signature

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Forgez', written over a light blue horizontal line.