

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641

*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*

Spécialité : *Génie Électrique*

Par

Raymonda DIAB

**Towards Safe Fast Charging of Lithium-ion Batteries :
Design, Parameterization, and Experimental Validation of a
Homogenization-Based Pseudo-2D Electrochemical Model**

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire, le 6 Mars 2026

Unité de recherche : Institut de Recherche en Énergie Électrique de Nantes Atlantique - UR 4642

Rapporteurs avant soutenance :

Christophe FORGEZ Professeur des Universités, Université de Technologie de Compiègne
Yann BULTEL Professeur des Universités, Grenoble INP - UGA

Composition du Jury :

Président :	Prénom NOM	Fonction et établissement d'exercice (à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Marie-Cécile PÉRA	Professeur des Universités, Université de Franche-Comté
	Sara ABADA	Cheffe de projet-Modélisation des batteries, IFP Energies nouvelles
	Elie KARAM	Professeur des universités, Université de Balamand, Liban
Dir. de thèse :	François AUGER	Professeur des universités, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Philippe POIZOT	Professeur des universités, Nantes Université
Encadrant de thèse :	Emmanuel SCHAEFFER	Maître de conférences, Nantes université

Invité(s) :

Jean-François COUSSEAU PhD, Dirigeant de One-sixone
Venkat NEHRU BANDLA PhD, Expert-Modélisation Électrochimique, Stellantis

Titre : Vers une Recharge Rapide et Sécurisée des Batteries Li-ion : Conception, Paramétrisation et Validation Expérimentale d'un Modèle Electrochimique Pseudo-2D Fondé sur l'Homogénéisation

Mot clés : Batterie lithium-ion, Charge rapide, Modèle Pseudo-2D, Paramétrisation, Technique d'homogénéisation, Dépôt de lithium

Résumé : La charge rapide des batteries lithium-ion demeure un défi majeur en raison de la dégradation, des risques de sécurité et du vieillissement. La prévention du dépôt de lithium métallique lors de la charge rapide impose un ajustement dynamique du courant afin de conserver le potentiel de l'électrode négative supérieur à 0 V vs. Li^+/Li . Dans la mesure où ce potentiel est inaccessible à la mesure directe dans les accumulateurs commerciaux, nous proposons une nouvelle variante du modèle électrochimique pseudo-bidimensionnel, permettant l'estimation en temps réel du profil de potentiel dans

l'épaisseur des électrodes. Une représentation d'état non linéaire est obtenue à partir des équations aux dérivées partielles couplées du système, via une approche d'homogénéisation des électrodes et une discrétisation sur grille non uniforme. La paramétrisation expérimentale du modèle est réalisée à l'aide d'un montage à trois électrodes. Le modèle présente une robuste stabilité numérique, permettant des simulations fiables jusqu'à 10C. Enfin, sa capacité prédictive est démontrée par une validation couplée à l'estimation des paramètres pour des régimes de charge constants compris entre 2C et 6C.

Title: Towards Safe Fast Charging of Li-ion Batteries: Design, Parameterization, and Experimental Validation of a Homogenization-Based Pseudo-2D Electrochemical Model

Keywords: Lithium-ion battery, Fast charging, Pseudo-2D model, Parameterization, Homogenization Technique, Lithium plating

Abstract: Despite the growing demand for shorter charging times, fast charging of lithium-ion batteries remains challenging due to performance degradation, safety risks, and aging constraints. Preventing lithium plating during fast charging necessitates dynamically adjusting the charging current to keep the negative electrode potential above 0 V vs. Li^+/Li . As this potential is not directly measurable in commercial cells, this work develops a novel pseudo-two-dimensional electrochemical model variant. The model enables real-time estimation of the through-thickness po-

tential profile in each electrode. Derived from coupled partial differential equations via electrode homogenization and a non-uniform grid, the model is formulated as a non-linear state-space system. The experimental parameterization of the model is achieved using a three-electrode assembly. The model demonstrates robust numerical stability, enabling reliable simulations at rates as high as 10C. Finally, the model's predictive capability is demonstrated through simultaneous validation and parameter estimation across charging rates of 2C to 6C.