

Tremplin Recherche 2025-2026

Étude et application de modèles d'ordre réduit pour l'analyse d'une cellule de batterie sous sollicitation de charge rapide pulsée

Laboratoire d'accueil :

SATIE (UMR 8029 CNRS), groupe EPIC

Encadrants :

Ayda HALOUANI ayda.halouani@univ-eiffel.fr

Brian OSPINA AGUDELO brian.ospinaagudelo@esiee.fr

Filières concernées : Energies.

Année d'étude : E4 ou E5

Mots clés : Modelisation des batteries, Modèle d'état-espace linéarisé, Charge rapide des batteries.

Contexte et Problématique :

La charge rapide constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour le développement et l'adoption massive des véhicules électriques. Alors que la recharge classique peut nécessiter plusieurs heures, les stations de charge rapide visent à réduire ce temps à quelques dizaines de minutes, voire moins. Les sollicitations pulsées des cellules lithium-ion en phase de charge permettaient de recharger rapidement les cellules. Ce concept a été développé et breveté [1] dans le cadre du projet IBIS par Stellantis, SAFT, E2CAD et Sherpa Engineering avec l'appui des laboratoires de GeePs, Lepmi et SATIE. Cependant, ce régime impose des sollicitations intenses et brèves qui mettent en jeu des dynamiques internes complexes dans la cellule lithium-ion (diffusion, transfert de charge, gradient de concentration). La simulation de ce comportement avec des modèles physiques (ex. modèles Doyle–Fuller–Newman (DFN)) est souvent trop coûteuse [2] pour les usages embarqués ou les études paramétriques intensives. Les modèles réduits (reduced-order models) offrent un compromis crucial : capturer les phénomènes internes essentiels tout en restant économes en calcul.

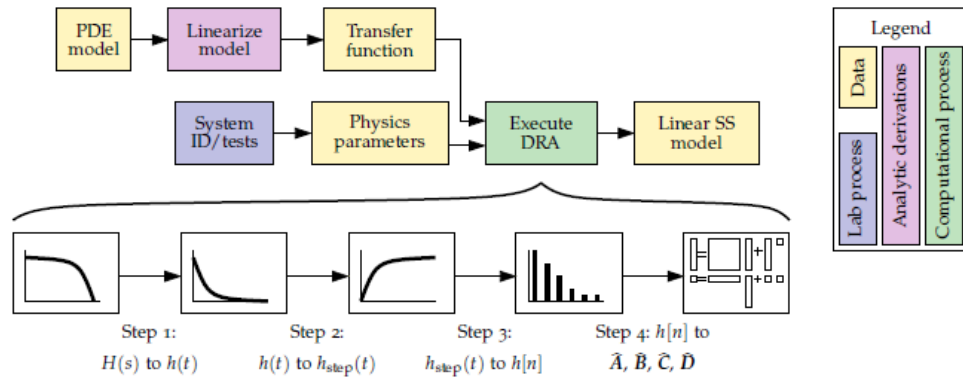


Figure 1: Illustration du processus méthodologique utilisé pour construire un modèle d'état-espace linéaire fondé sur des variables linéarisées [3].

Le modèle réduit, dont les étapes sont présentées en figure 1, consiste à convertir les équations différentielles partielles (EDP) détaillant les phénomènes électrochimiques et physiques de la cellule dans le temps et l'espace. Ces équations non linéaires sont linéarisées autour d'un point de fonctionnement spécifique. Cette linéarisation permet de transformer les relations complexes en fonctions de transfert, qui décrivent comment chaque variable interne de la cellule répond à de petites perturbations en courant ou tension. Ensuite, le Discrete-time Realization Algorithm (DRA) utilise ces fonctions de transfert linéaires pour générer un modèle d'état-espace discret, c'est-à-dire un ensemble d'équations aux différences couplées. Ce modèle est beaucoup plus simple à simuler tout en conservant les dynamiques essentielles de la cellule. La figure 1 résume le processus de génération d'un modèle d'état-espace linéarisé ; PDE complètes → linéarisation → fonctions de transfert → modèle d'état-espace discret.

Travail proposé :

Ce stage vise à développer un modèle réduit d'une cellule de batterie sous sollicitation de charge rapide pulsée intégrant les phénomènes de vieillissement.

Le candidat devra dans un premier temps effectuer une revue bibliographique ciblée sur les modèles réduits appliqués aux phénomènes électrochimiques et physiques d'une cellule lithium-ion, ainsi que sur les approches de modélisation du vieillissement « lithium plating », incluant les modèles DFN adaptés et les modèles empiriques. Ensuite, le candidat procédera à l'implémentation numérique du modèle réduit basé sur les méthodes sélectionnées. Une étape de validation comparative avec un modèle complet (full-order model) de référence consistera à simuler la charge pulsée et à analyser les écarts de tension, l'évolution de l'état de charge et la dynamique interne, tout en évaluant la robustesse du modèle. Par la suite, si le temps le permet, les équations de lithium plating seront intégrées afin d'étudier l'impact du phénomène sur la capacité et la performance de la cellule. Enfin, le candidat réalisera une analyse d'optimisation de la charge pulsée pour minimiser la perte de lithium cyclable, la baisse de capacité et les effets cumulés sur la durée de vie de la batterie.

Pour les élèves E4 :

Le tremplin recherche offre une opportunité de découvrir et de se former à la recherche pendant la période académique. Il permet également de bénéficier d'un contrat d'études personnalisé, adapté aux intérêts et au profil de chaque élève.

Pour les élèves E5 :

Le sujet inclut une période initiale (novembre-février) en parallèle avec les enseignements, suivie d'une période à temps plein (stage de fin d'études de 5-6 mois). Le tremplin recherche constitue une opportunité pour anticiper et amorcer le stage de fin d'études au sein du laboratoire SATIE - Versailles dans le cadre du projet IBIS2 ([IBIS : Stellantis et Saft dévoilent une 'batterie intelligente' et plus efficace pour les véhicules électriques et le stockage stationnaire | Stellantis](#)) (5-6 mois à partir de février/mars).

Références bibliographiques :

- 1) Thorned Gentien et al. "Procédé de charge impulsioonelle en régulation de tension à paliers d'amplitude variable". EP 410 1047 A1, France.
- 2) Lee James et al. "One-dimensional physics-based reduced-order model of lithium-ion dynamics." Journal of Power Sources 220 (2012): 430-448.
- 3) Plett, Gregory L. Battery management systems, Volume I: Battery modeling. Artech House, 2015.