

Project proposal – participation to IPRW

How Can One Predict the Lifetime of Lithium-Ion Batteries?

Yasmine Benabed¹, Myunghun Cho¹, Chisu Kim¹

¹Centre of Excellence in Transport Electrification and Energy Storage, Hydro-Québec, Varennes, Canada.

Abstract

Developing advanced battery technologies is essential to meet the rapidly growing global energy demand and support the transition toward cleaner technologies. Today, lithium-ion batteries remain the most widely used and best-performing option for portable and mobile applications. However, the materials that make up these batteries still face important challenges in terms of safety, power capability, and long-term durability. These limitations highlight the need for continuous innovation and the development of next-generation battery systems.

One of the key indicators of battery quality is its lifetime, which reflects the ability of a battery to maintain performance over repeated use. To evaluate it, we rely on a standardized electrochemical test, which consists of repeated charge–discharge cycling at different temperatures and rates to simulate realistic operating conditions, while monitoring how much energy the battery can store over time. Most commercial lithium-ion batteries exhibit a predictable and almost linear decline in capacity as cycling progresses, eventually reaching ~70–80% of their initial capacity—a threshold commonly associated with end-of-life.

At our research center, we focus on emerging but promising battery technologies, with a particular interest in assessing their long-term behavior. We have cycled hundreds of cells under various temperatures and operating regimes until they reached their end-of-life, while recording *operando* all relevant metrics such as current, voltage, resistance, and capacity. Unlike commercial systems, many of these young technologies exhibit highly nonlinear capacity-fade behavior: long stable plateaus followed by abrupt drops, or even slight increases followed by sudden declines. These patterns are likely driven by degradation mechanisms that are still poorly understood, making true lifetime prediction challenging. Because these late-stage failures only appear after extensive cycling campaigns, they represent a significant loss of experimental time and resources.

In this context, developing a model capable of predicting a battery's future behavior and lifetime from only the first few measurements and/or first few cycles would be a strategic breakthrough. Such a tool would greatly accelerate the screening, selection, and optimization of new generations of battery materials and technologies.

Proposition de projet – participation à l'ARPI

Comment Prédire la Durée de Vie des Batteries au Lithium ?

Yasmine Benabed¹, Myunghun Cho¹, Chisu Kim¹

¹Centre d'Excellence en Électrification des Transports et Stockage d'Énergie, Hydro-Québec, Varennes, Canada.

Résumé

Le développement des batteries est essentiel pour répondre à la croissance rapide de la demande énergétique mondiale et soutenir la transition vers des technologies plus propres. Les batteries au lithium représentent aujourd'hui la technologie la plus répandue et la plus performante pour les applications portables et mobiles. Cependant, les matériaux qui constituent les batteries au lithium présentent encore des défis importants de sécurité, de puissance et de durabilité. Ces contraintes justifient le besoin d'innovation continue dans le développement de nouvelles générations de batteries.

L'un des facteurs clés pour déterminer la qualité d'une batterie est la durée de vie, qui reflète la capacité d'une batterie à maintenir sa performance au fil de l'utilisation. Afin de l'évaluer, on utilise un test standard en électrochimie qui consiste à réaliser des cycles répétés de charge/décharge à différentes températures et vitesses, visant à reproduire des scénarios d'utilisation réalistes, puis d'en monitorer la **capacité** à stocker de l'énergie. Les batteries commerciales conventionnelles montrent généralement un déclin de capacité prévisible, et quasi linéaire au fur et à mesure des cycles, jusqu'à atteindre ~70-80% de leur capacité initiale, seuil souvent considéré comme la fin de vie de la batterie.

Dans notre centre de recherche, nous nous intéressons aux technologies de batteries jeunes mais prometteuses, et nous cherchons à en évaluer la durée de vie. Pour cela, nous avons cyclé ces centaines de batteries à différentes températures et à différents régimes jusqu'à ce qu'elles atteignent leur fin de vie, en prenant soin d'enregistrer *operando* toutes les métriques pertinentes; courant, potentiel, résistance et capacité. On remarque que la majeure partie des batteries exhibe un déclin de capacité non-linéaire, caractérisé par des plateaux stables suivis de chutes, ou encore de légères augmentations suivies de chutes, probablement liés à des mécanismes de dégradation encore mal compris, ce qui rend la durée de vie réelle imprévisible. Comme ces défaillances tardives ne se révèlent qu'après de longues campagnes de cyclage, elles entraînent une perte importante de temps et de ressources expérimentales. Dans ce contexte, développer un modèle capable de prédire, dès les premières mesures et/ou les premiers cycles, le comportement futur et l'espérance de vie d'une batterie serait donc un outil stratégique majeur pour accélérer la sélection et l'optimisation de nouvelles générations de batteries.