



**HAL**  
open science

# Étude du vieillissement en usage réel des batteries Li-ion : combinaison des effets calendaire et de cyclage dans des applications transport

Eduardo Redondo-Iglesias, Pascal Venet, Serge Pelissier

► **To cite this version:**

Eduardo Redondo-Iglesias, Pascal Venet, Serge Pelissier. Étude du vieillissement en usage réel des batteries Li-ion : combinaison des effets calendaire et de cyclage dans des applications transport. 10 ans du Laboratoire Ampère - CNRS UMR5005, Mar 2017, Lyon, France. 2017. hal-01496632v2

**HAL Id: hal-01496632**

**<https://hal.science/hal-01496632v2>**

Submitted on 26 Sep 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Étude du vieillissement en usage réel des batteries Li-ion : Combinaison des effets calendaire et de cyclage dans des applications transport.

Eduardo REDONDO-IGLESIAS <sup>(1,2)</sup>, Pascal VENET <sup>(2)</sup>, Serge PELISSIER <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Univ Lyon, IFSTTAR, AME, LTE, 69500 Bron, France

<sup>(2)</sup> Univ Lyon, UCB Lyon 1, AMPERE UMR CNRS 5005, 69100 Villeurbanne, France

## La batterie, composant critique

### Véhicules électriques

- ▶ Autonomie  $\Leftrightarrow$  énergie embarquée  $\Leftrightarrow$  capacité de la batterie
- ▶ Rendement et puissance  $\Leftrightarrow$  impédance de la batterie
- ▶ Sécurité  $\Leftrightarrow$  tension et température de la batterie

### Batterie

- ▶ Faible densité d'énergie comparée à celle du pétrole
- ▶ Coût élevé par rapport au prix total du véhicule
- ▶ Sensible aux conditions d'utilisation et stockage

Meilleure connaissance de la dégradation des batteries  
↓  
Utilisation optimale (rendement, vieillissement, sécurité)

## Vieillissement des batteries

### Mécanismes de vieillissement

- ▶ Réactions parasites entre les composants de la cellule
  - électrodes, électrolyte, collecteurs
- ▶ Dépendant de
  - température (Arrhenius)
  - concentrations (État de charge)
  - variations de concentration (Courant)
  - interactions entre mécanismes (Utilisation passée)

### Types de vieillissement $\Leftrightarrow$ Usages

- ▶ Vieillissement calendaire  $\Leftrightarrow$  stationnement
- ▶ Vieillissement en cyclage  $\Leftrightarrow$  roulage, charge
- ▶ Vieillissement combiné  $\Leftrightarrow$  usage réel

## Modélisation du vieillissement

### Loi d'Eyring

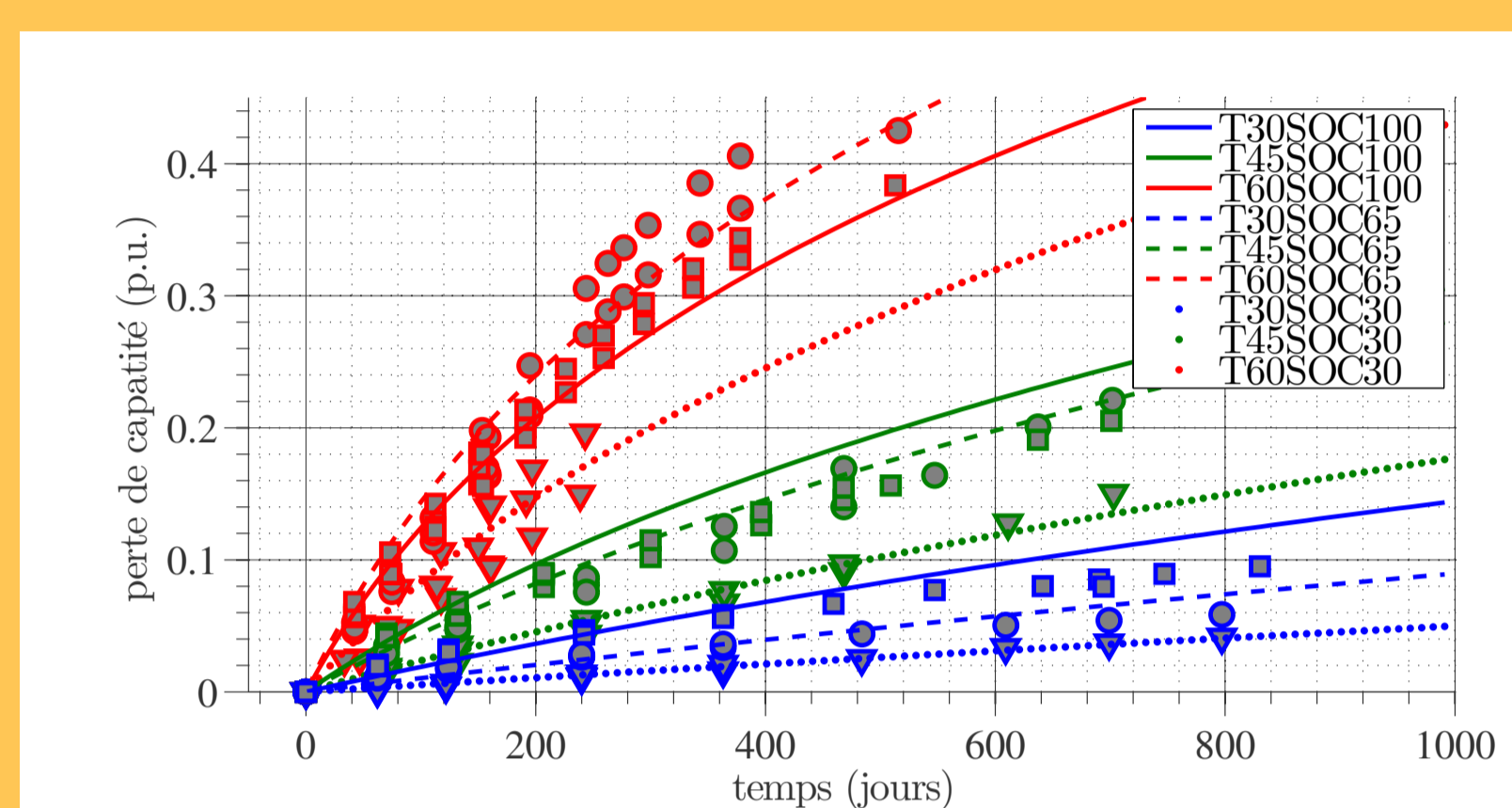
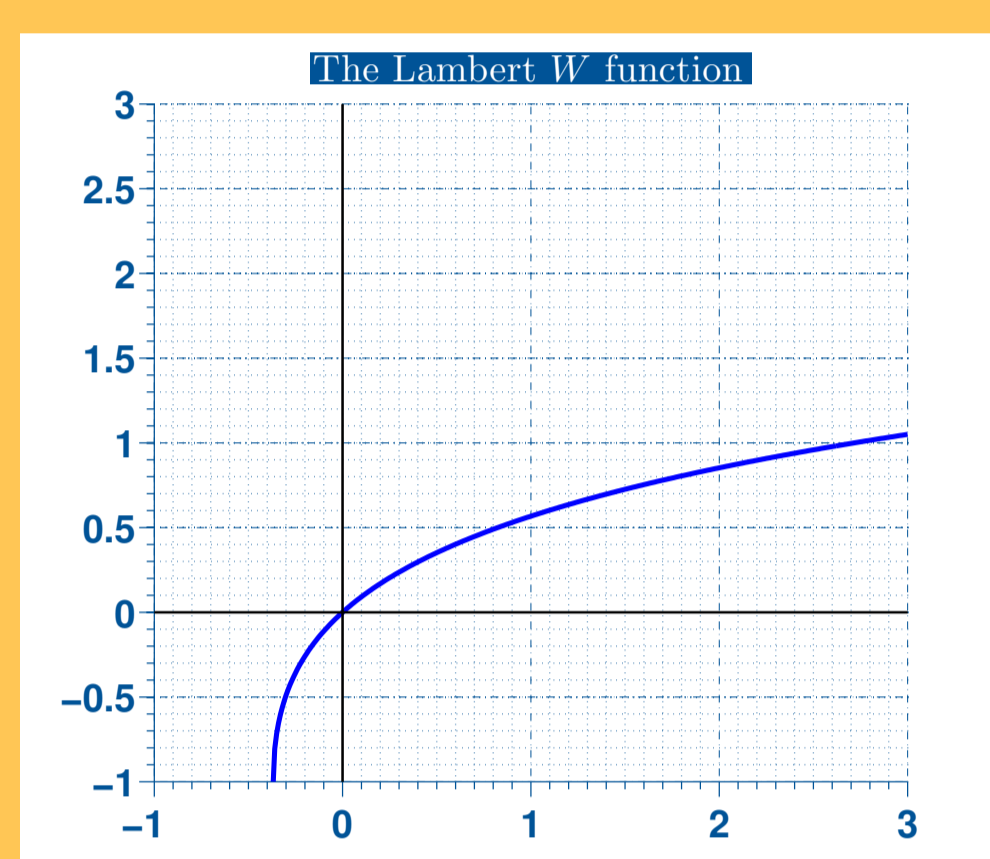
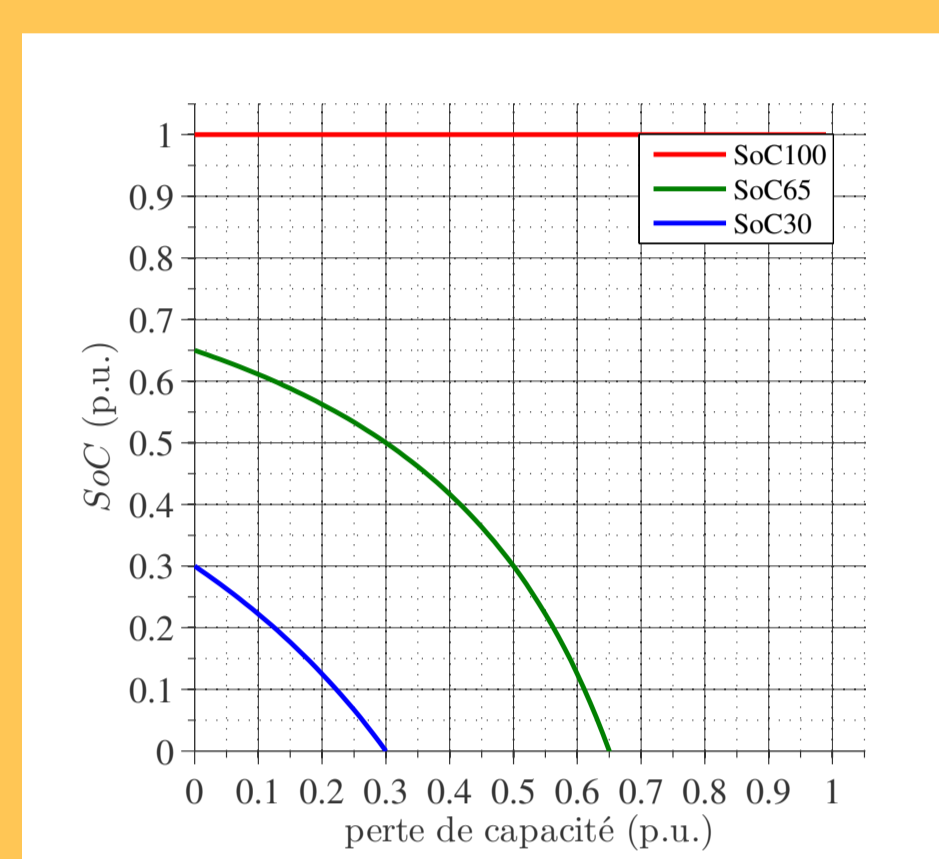
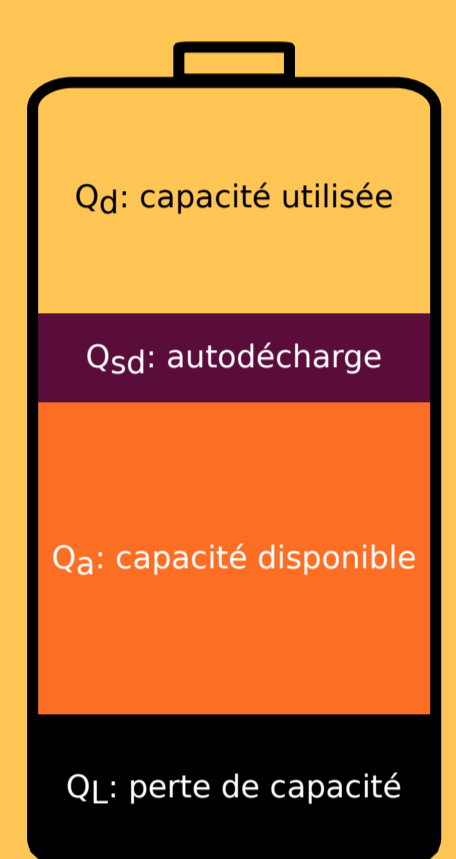
$$Q_L = A \cdot e^{(-E_a/kT + \sum_i (B_i S_i + C_i S_i/T))} f(t)$$

- ▶ Loi semi-empirique (extension de la loi d'Arrhenius)

- $f(t) = t^z$
- $T, S_i$  : contraintes

- ▶ Modulaire  $\Rightarrow$  étude par étapes

- vieillissement calendaire
- vieillissement en cyclage
- vieillissement combiné

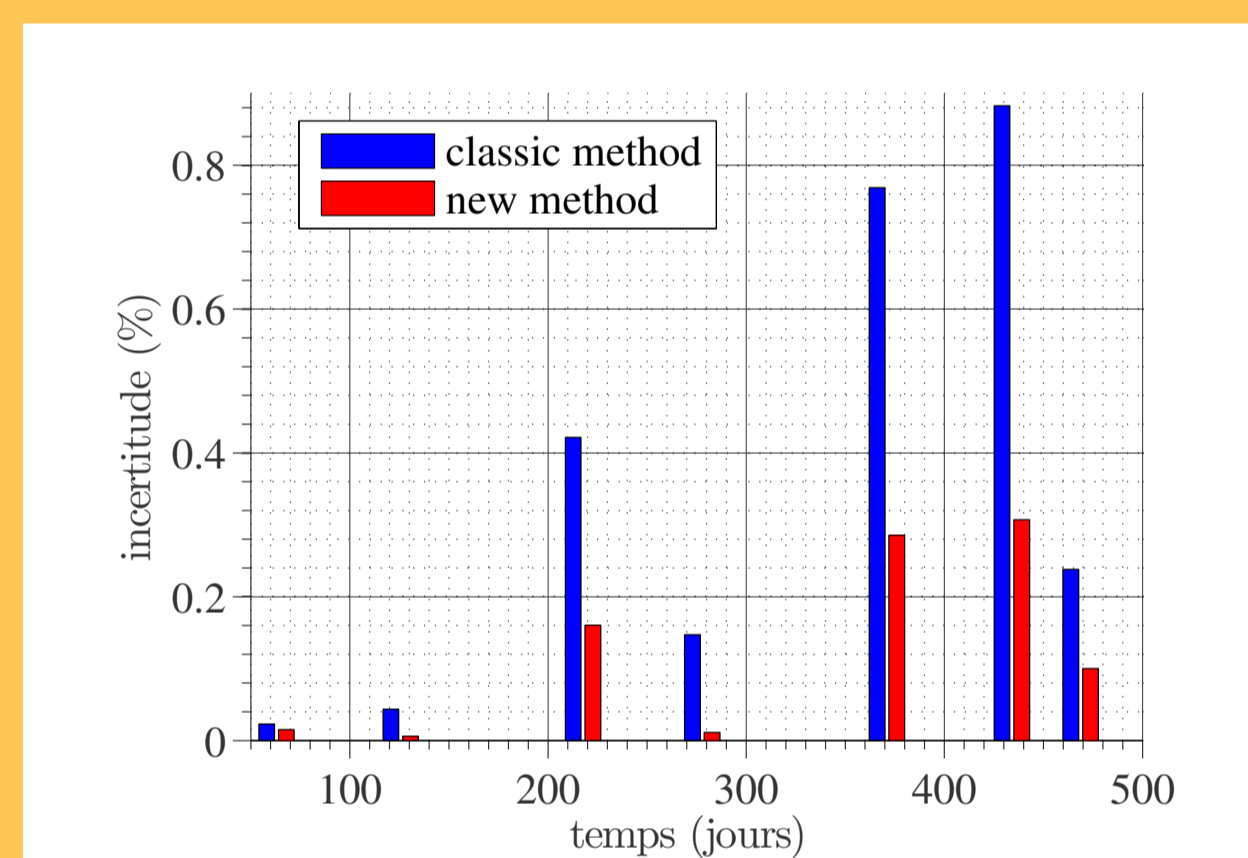
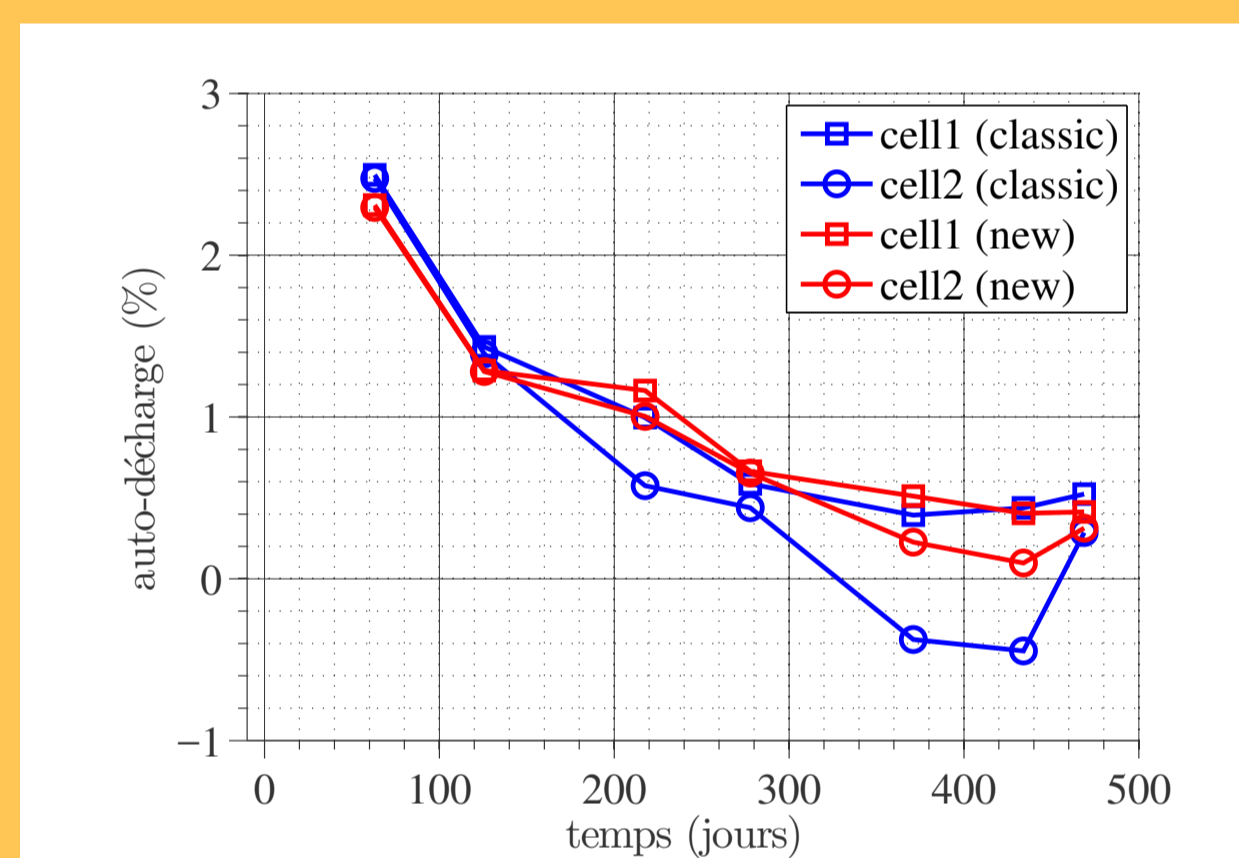


$$SoC(Q_{sd}, Q_L) = \left(1 - \frac{Q_{sd} + Q_L}{Q_0 - Q_L}\right) \Rightarrow Q_L(t) = \frac{W_0 \left( A' \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{kT}\right)} \cdot e^{-B \cdot Q_d} \cdot t^z \right)}{B}$$

## Analyse de l'évolution des performances avec le vieillissement

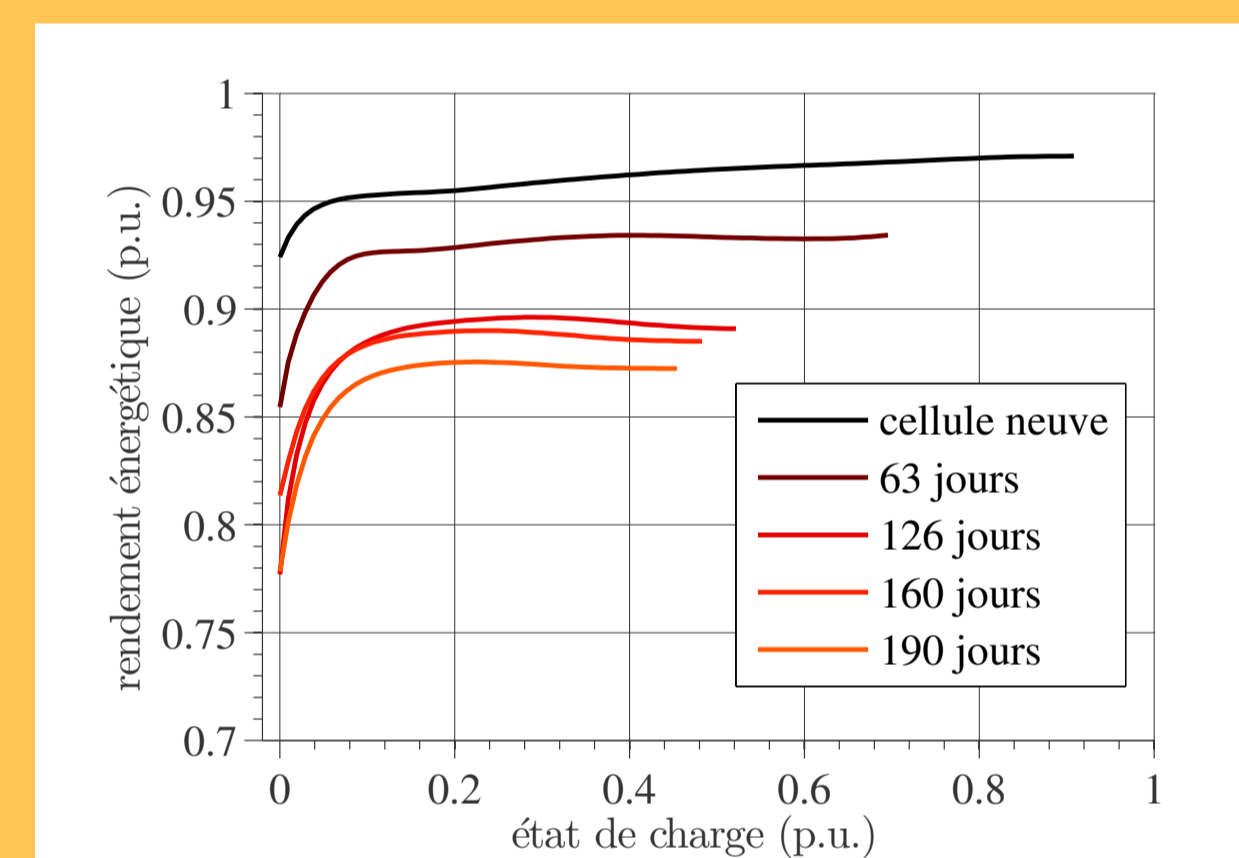
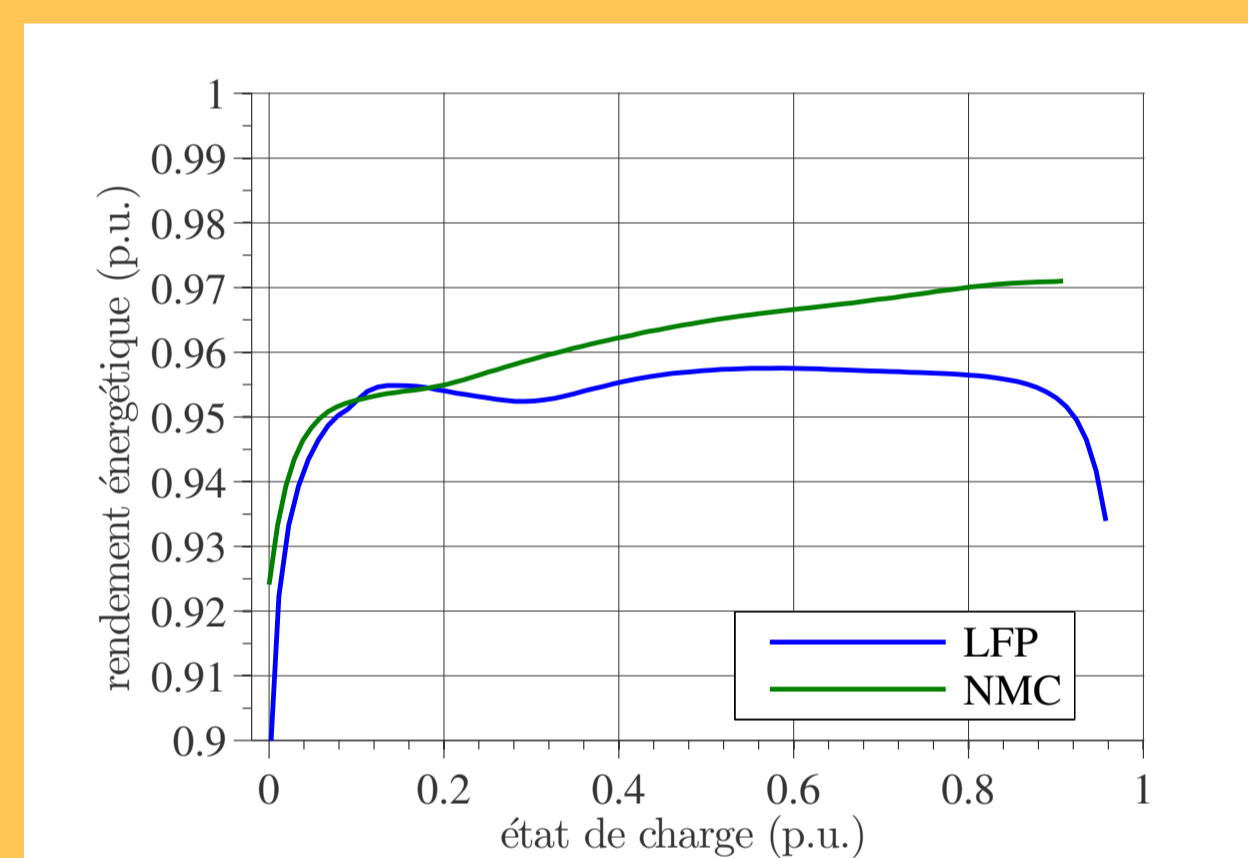
### Auto-décharge

- ▶ Nouvelle méthode pour l'analyse de l'autodécharge
- ▶ Indépendante de l'état de relaxation
- ▶ Amélioration de précision (x2 à x6)



### Rendement énergétique

- ▶ Analyse du rendement en fonction du SoC
- ▶ Détermination de la plage optimale d'utilisation
- ▶ Comportement propre à chaque technologie de batteries



Évaluation de l'évolution des performances au cours du vieillissement

- ▶ Permet d'identifier différents modes de vieillissement
- ▶ Indicateurs d'état de santé (SoH)

## Influence de l'alternance d'état de charge dans le vieillissement

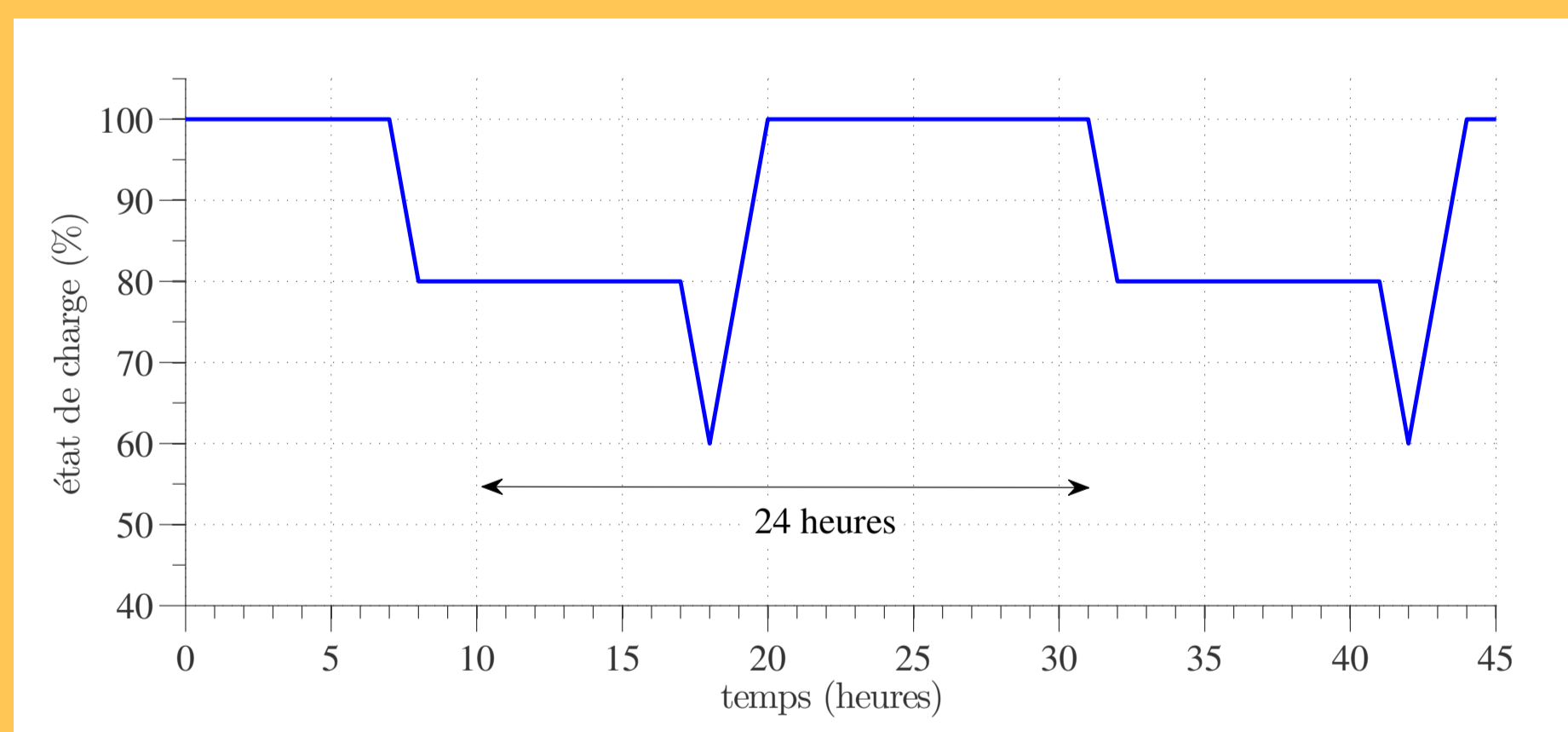
### Essais

#### Vieillissement calendaire alterné :

- ▶ La plupart du temps au repos
- ▶ Changements périodiques de SoC
- ▶ Faible régime
- ▶ Faible nombre de cycles
- ▶ 7 profils pour mesurer l'influence
  - du régime de courant
  - de la plage de SoC
  - du nombre de cycles
  - de la quantité de charge (Ah)
  - du maintien de tension en fin de charge

#### Exemple de profil (véhicule électrique) :

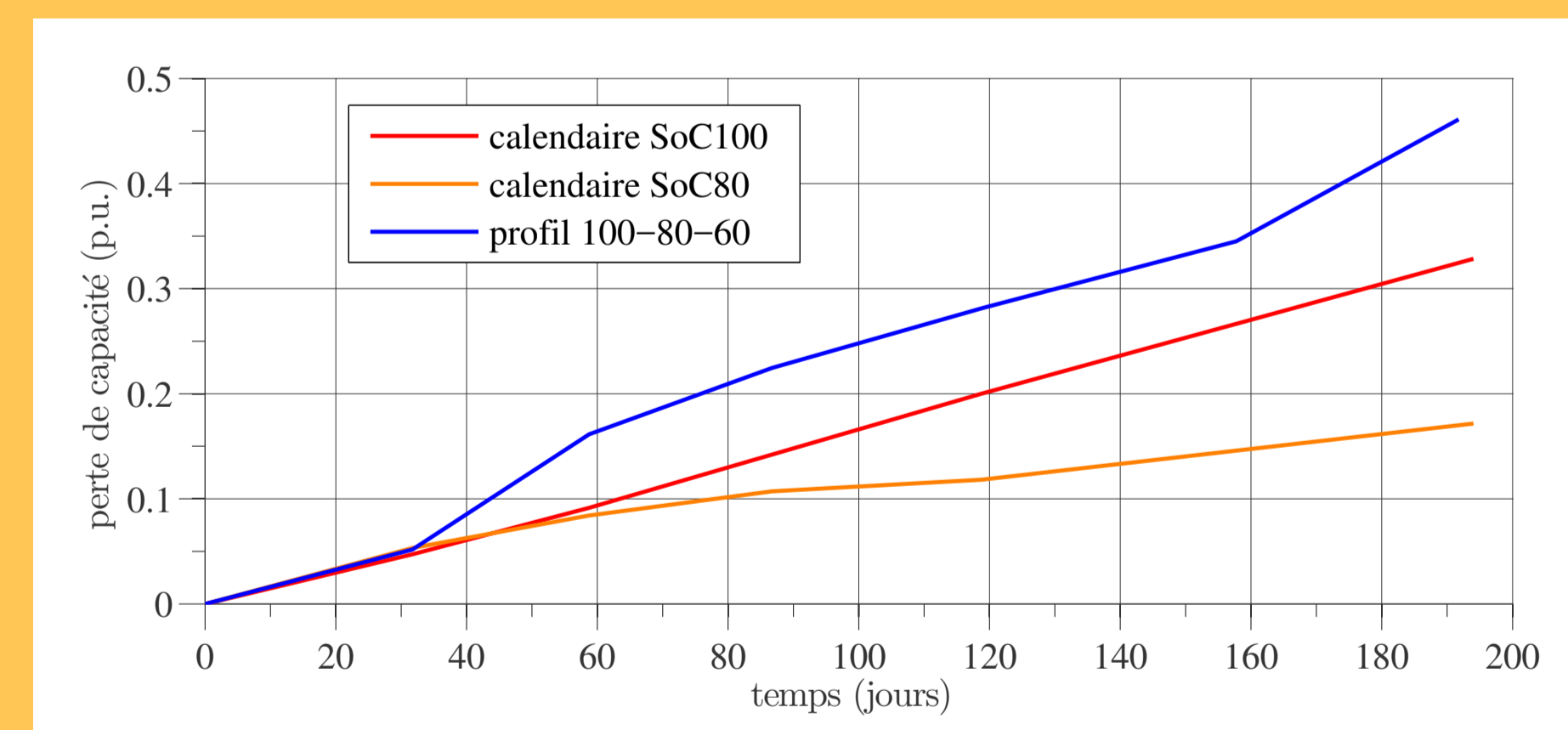
- ▶ Fondamentalement calendaire
- ▶ Faible influence du cyclage
- ▶ Régime de courant faible



### Résultats

#### Facteurs ayant une influence :

- ▶ Plage de SoC
- ▶ Nombre de cycles
- ▶ Maintien de tension en fin de charge



Changements d'état de charge  $\Leftrightarrow$  accélération du vieillissement calendaire

## Perspectives

### Vers un modèle global de vieillissement :

$$SoH(t, T, Q_a, n_t) = A \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{kT} + B \cdot Q_a + C \cdot Q_a^2 + D \cdot n_t\right)} t^z$$

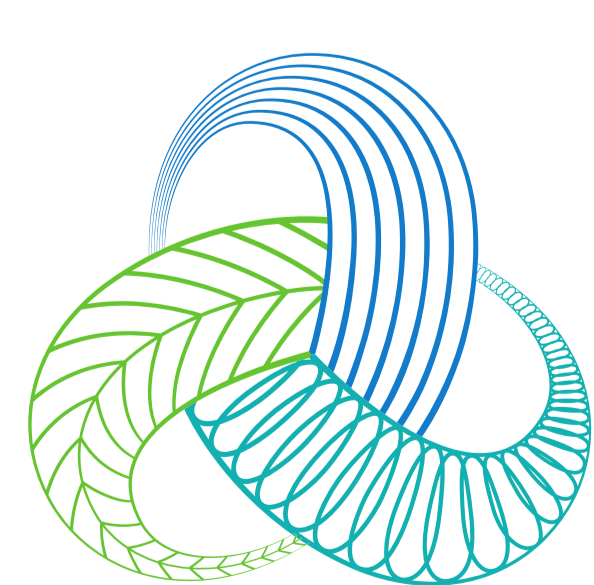
- ▶ SoH : état de santé (capacité, impédance)
- ▶  $t$  : temps
- ▶  $T$  : température
- ▶  $Q_a$  : capacité disponible (état de charge)
- ▶  $n_t$  : nombre de transitions de SoC

Références et contact :  
[cv.archives-ouvertes.fr/redondo](http://cv.archives-ouvertes.fr/redondo)



## Conclusions

- ▶ Compréhension des principaux mécanismes de vieillissement
- ▶ Nouvelles méthodes d'analyse des performances
  - amélioration de la précision
  - étude des performances selon la technologie
  - étude de l'évolution des performances avec le vieillissement
- ▶ Approche globale à la modélisation du vieillissement
  - semi-empirique
  - modulaire
  - évolutive
- $\Rightarrow$  multiples mécanismes, multiples modes de vieillissement
- ▶ Vieillissement calendaire alterné  $\neq$   $\Sigma$  vieillissements calendaires



IFSTTAR



UNIVERSITÉ DE LYON

