



**HAL**  
open science

# Méthodes de diagnostic avancées des batteries pour favoriser leur utilisation en seconde vie

Nicolas Guillet, Jens Merten

► **To cite this version:**

Nicolas Guillet, Jens Merten. Méthodes de diagnostic avancées des batteries pour favoriser leur utilisation en seconde vie. Carac'2023, IRT nanoelec, Nov 2023, Paris, France. cea-04796792

**HAL Id: cea-04796792**

**<https://cea.hal.science/cea-04796792v1>**

Submitted on 21 Nov 2024

**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.



Session 2 | Mesurer et garantir la fiabilité des dispositifs & des systèmes  
21 novembre 2023

# Méthodes de diagnostic avancées des batteries pour favoriser leur utilisation en seconde vie





# Une approche systémique pour le solaire

## Intégration technologique

Modules et systèmes PV innovants  
(AgriPV, bâtiment véhicule, infrastructures, ...)

## Intégration aux systèmes et réseaux

Convertisseurs, pilotage, **stockage**

## Intégration économique et environnementale

Fiabilité, durabilité, modèles économiques et  
environnementaux

## Talents et compétences

Formation et rayonnement

ines.2s : ITE, Le Bourget du Lac (Savoie)

> **70** industriels

**73** brevets /an

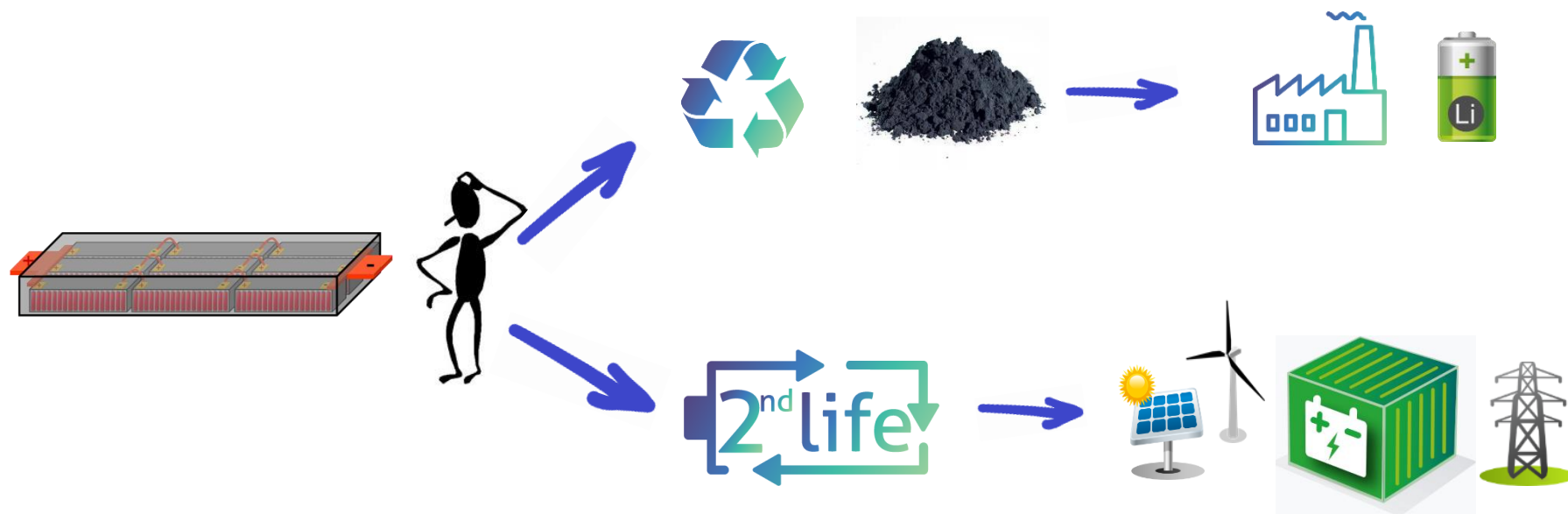
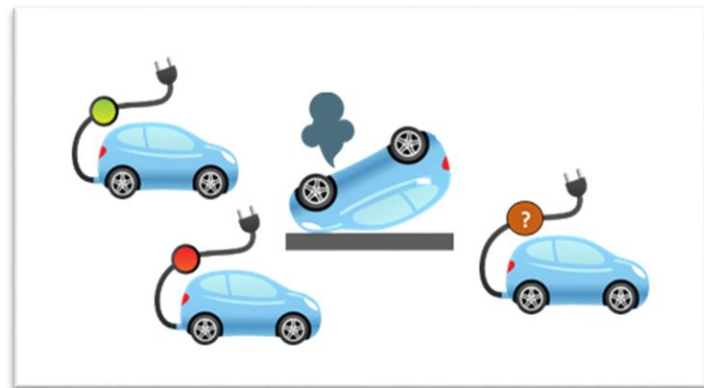
**17** thèses en cours



Heliup



# Ré-utilisation des batteries Li-ion en seconde vie ?



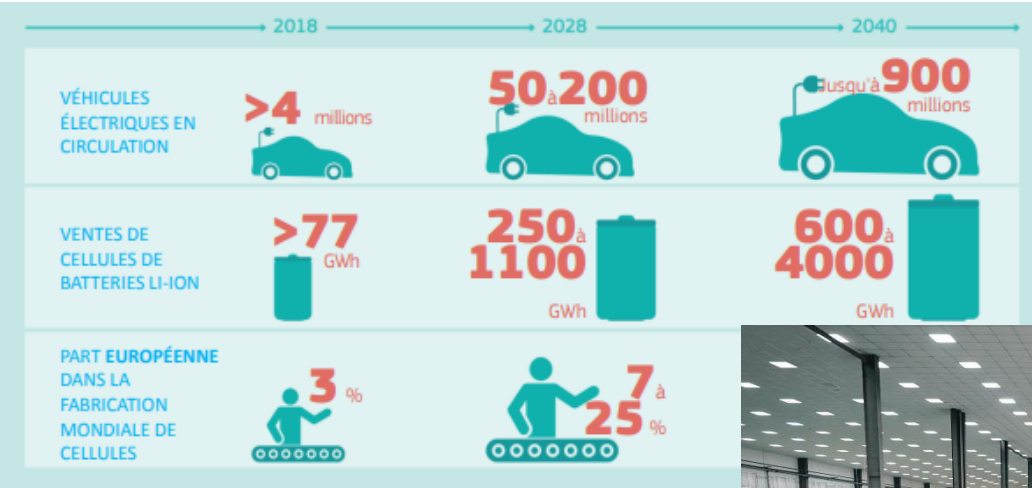
## Pourquoi envisager une utilisation en seconde vie ?

- Gains économiques
- Gains environnementaux
- Des besoins pour le stockage stationnaire
- ✓ le recyclage des batteries est encore très onéreux (~ 2000 – 3000 €/tonne)
- ✓ ne pas détruire un objet encore utilisable pour en reconstruire un autre similaire





# Pourquoi une seconde vie des batteries Li-ion ?



- ➔ Très forte croissance du nombre de batteries usagées dans les prochaines années
- ➔ Entre 50 et 75 % de la capacité de stockage encore disponible après 300 000 km d'utilisation des VE

RAPPORT DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN, AU CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL EUROPÉEN, AU COMITÉ DES RÉGIONS ET AU COMITÉ D'INVESTISSEMENT sur la mise en œuvre du plan d'action stratégique sur de valeur stratégique des batteries en Europe (2019) [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:72b1e42b-5ab2-11e9-9151-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:72b1e42b-5ab2-11e9-9151-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF)



Entrepôt de stockage de batteries (neuve) à Tangshan, province de Hebei (Chine) en 2020 [http://www.xinhuanet.com/english/2020-11/29/c\\_139551144\\_3.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2020-11/29/c_139551144_3.htm)

## Les batteries usagées bloquées sur l'île de La Réunion

Les compagnies maritimes refusent d'exporter les batteries lithium-ion en fin de vie. Le nombre de ces déchets dangereux explose avec le succès du véhicule électrique sur l'île.

Réservé aux abonnés

Aline Nippert

01 août 2023 | 16h00

2 min. de lecture

Réagir →



Les compagnies de l'île de La Réunion repoussent le transport maritime de ces déchets inflammables.

<https://www.usinenouvelle.com/article/les-batteries-usagees-bloquees-sur-l-ile-de-la-reunion.N2151622>

➔ Problèmes logistiques (transport, stockage)

➔ Sécurité / réglementation



# Diagnostic des batteries Li-ion usagées ?

## Pouvoir établir un diagnostic rapide et fiable des batteries usagées

- Détection d'éléments défectueux
- Quantification des performances restantes ?
- Estimation de l'espérance de vie en utilisation stationnaire ?



## Les défis à relever ?

- Diagnostic rapide (quelques secondes / minute par batterie)
- Fiabilité / précision du diagnostic
- Méthodes de caractérisation non intrusives, non destructives
- Faciles à mettre en œuvre dans l'industrie (atelier / robotisation)



<https://www.euractiv.fr/section/energie-climat/news/blossoming-batteries-boosted-by-eu-plan/> ©Romaset/AdobeStock

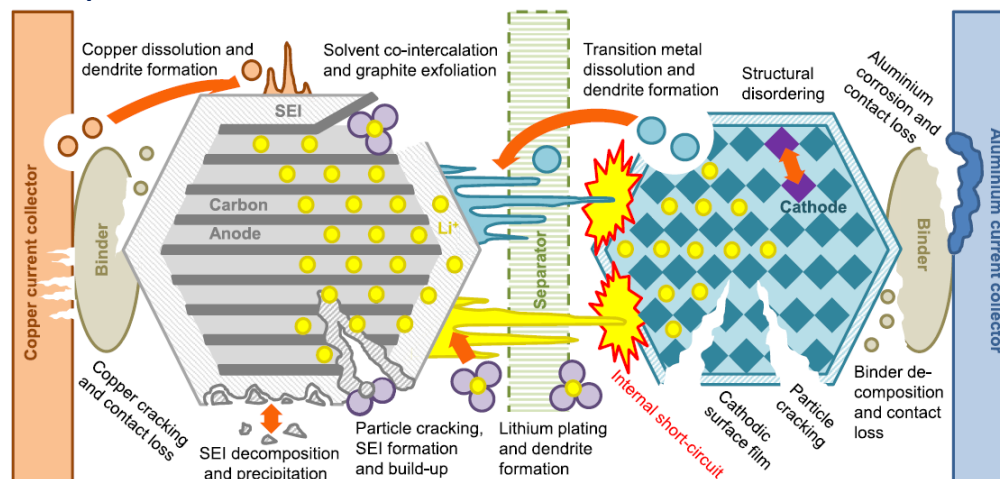
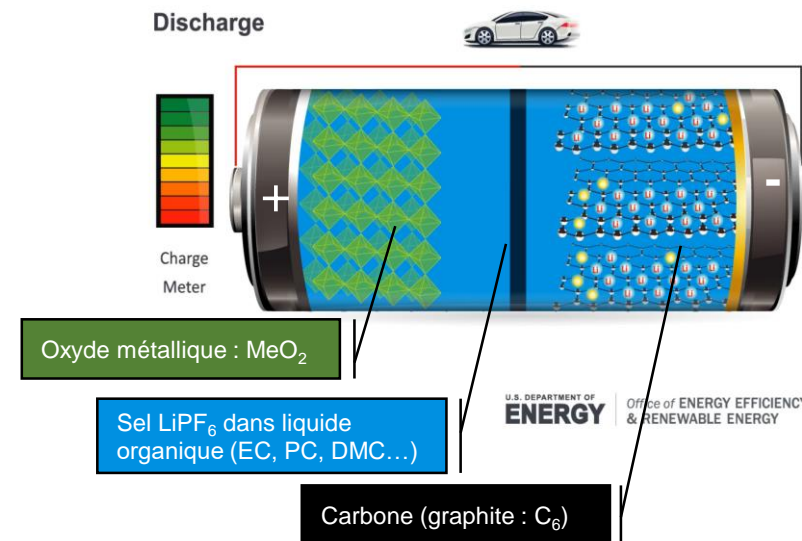


# Diagnostic des batteries Li-ion usagées ?

## Quel est le problème ?

- Une batterie est un système relativement simple
  - deux électrodes, un électrolyte
  - des ions et des électrons qui bougent sous l'effet d'un champ électrique...
- Mais des mécanismes de vieillissement complexes
  - Couplés et fortement liés à l'utilisation réelle
  - Plusieurs causes pour des conséquences similaires

## How Lithium-ion Batteries Work



R. Birkel, M.R. Roberts, E. McTurk, P.G. Bruce, D.A. Howey « Degradation diagnostics for lithium ion cells », *J. Power Sources*, vol.341, p.373-386 (2017) <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.12.011>



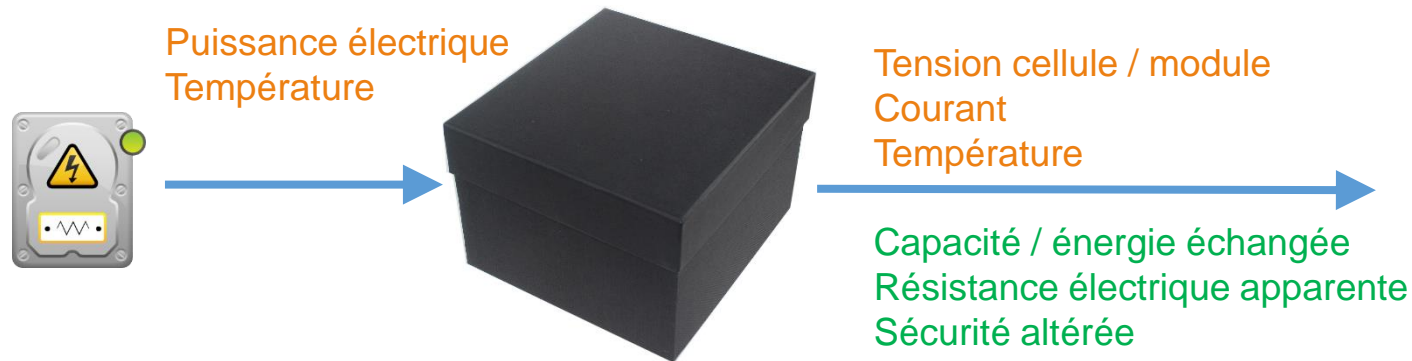


# Diagnostic des batteries Li-ion usagées ?

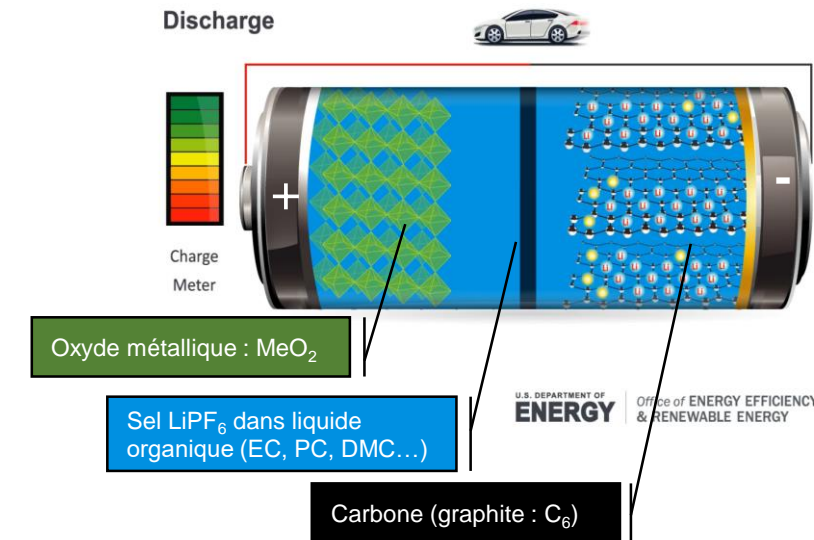
## Quel est le problème ?

- Une batterie est un système relativement simple
  - deux électrodes, un électrolyte
  - des ions et des électrons qui bougent sous l'effet d'un champ électrique...

... et finalement peu d'informations disponibles pendant le fonctionnement !!



## How Lithium-ion Batteries Work



↳ Identifier et combiner des méthodes de caractérisation physiques et électrochimiques pertinentes pour le diagnostic des batteries usagées





# Mise en place de techniques de caractérisation pertinentes ?

## Combinaison/association de multiples techniques de caractérisation complémentaires

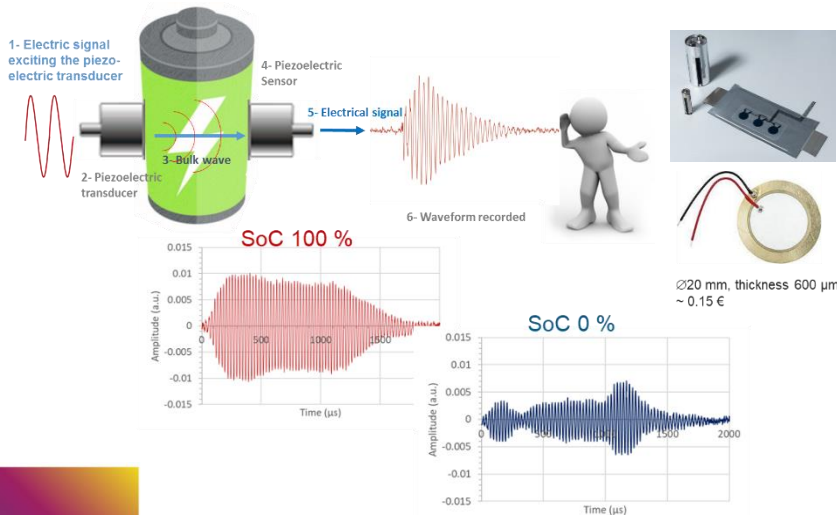


- Electrochimiques (EIS, pulses, CV, ICA ...) [1-12]
- Physiques (acoustique, déformation)[4-11]
- Thermique [3,12]
- Numériques (historique du BMS)

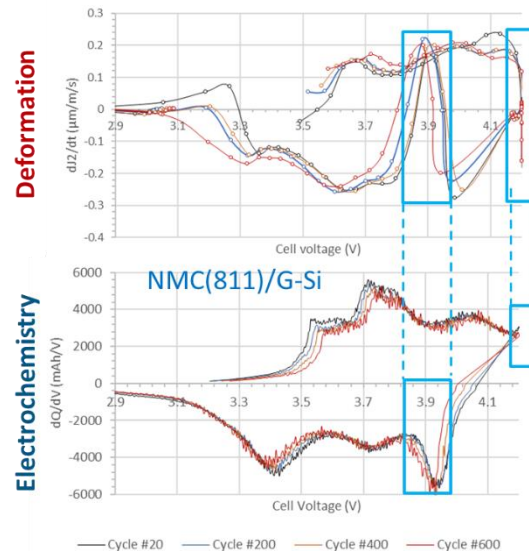
[1] H. Piret *et al.* Journal of Power Sources, vol. 312, p. 60–69, 2016  
 [2] H. Piret, « Mesure embarquée large bande de l'impédance électrique : application aux batteries », PhD thesis, Univ Grenoble Alpes, 2016  
 [3] D. Bloch *et al.* Batteries Li-ion - Du présent au futur, 2020.  
 [4] N. Guillet *et al.* International Operando Battery Days, 2022.  
 [5] L. Oca *et al.* Journal of Energy Storage, vol. 23, p. 29, 2019,  
 [6] J. Amici *et al.* Advanced Energy Materials, vol. 12, no 17, p. 2102785, 2022,  
 [7] A. Kirchev *et al.*, J. Electrochem. Soc., vol. 169, no 1, p. 010515, 2022  
 [8] A. Kirchev *et al.*, J. Electrochem. Soc. 170 010503, 2023  
 [9] A. Kirchev *et al.*. Batteries » 2023, 9, 338.  
 [10] D. Vidal *et al.*, Journal of Power Sources, vol. 514, p. 230552, 2021  
 [11] V. Gau, « Contribution au développement des méthodes d'interrogation acoustique pour les batteries », PhD thesis, Univ. Grenoble Alpes, 2022.  
 [12] N. Guillet *et al.* 2<sup>nd</sup> Scientific meeting of Mondragon unibertsitatea on battery-based energy storage,2022, Hernani Spain

+ 8 demandes de brevets sur ces sujets (2017 → 2023)

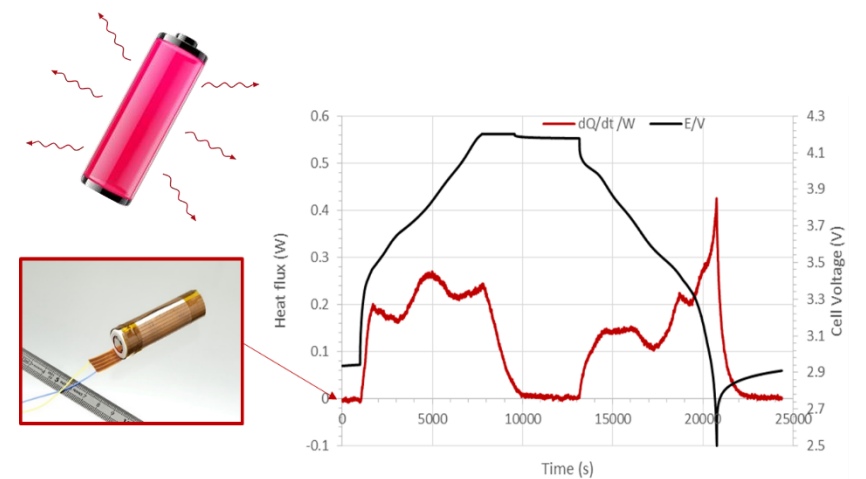
### Acoustique



### Déformation



### Thermique



Evolution de la tension de cellule et du flux de chaleur dégagé par une batterie de format 18650 au cours d'un cycle complet charge – décharge à un régime de C/2 et à 25 °C.

L'énergie et la force du signal transmis dépendent des propriétés des matériaux (densité, module d'Young, porosité, etc...).



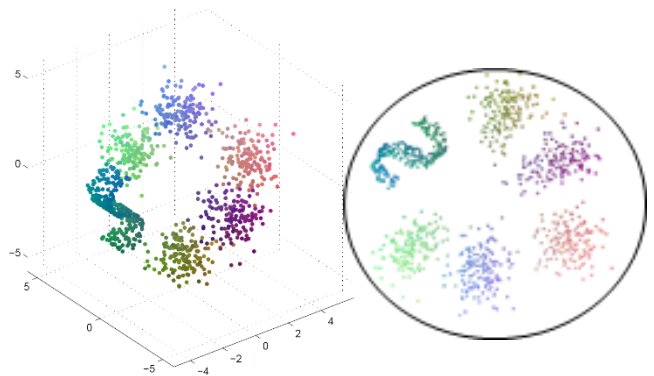


# Identifier des informations pertinentes ?

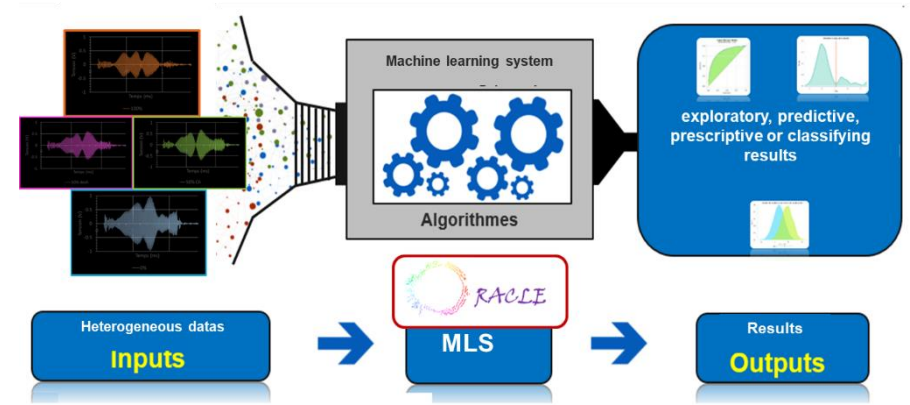
## Mise en place / développement d'outils mathématiques spécifiques pour le traitement et l'analyse des données hétérogènes de grande dimension



Données hétérogènes



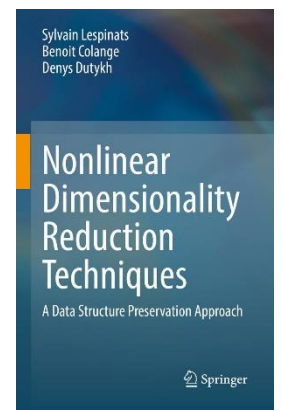
Classement grandes dimensions – application de techniques de réduction non-linéaire



Outils d'apprentissage machine (RBF par exemple...)

➔ Le développement des outils d'apprentissage machine permettent d'analyser de tels jeux de données très hétérogènes

F. Degret, Etude par couplage acoustique électrochimique des batteries Li-ion et Ni-Zn, PhD thesis, Université Grenoble Alpes, 2017  
 B. Colange, Diagnostic de systèmes énergétiques par l'analyse intelligente de structures de données de grande dimension, PhD thesis, Université Grenoble Alpes, 2021  
 S. Mutatea, Outils de diagnostic et de pronostic des onduleurs et modules PV par des approches machine-learning économes en moyens de calcul, PhD thesis, Université Grenoble Alpes (2021 – 2024)  
 S. Lespinats , B. Colange , D. Dutykh « Nonlinear Dimensionality Reduction Techniques, A Data Structure Preservation Approach » 2022, ISBN : 978-3-030-81025-2





## Mise en place et évaluation des méthodes de caractérisation et des outils mathématiques associés

- Détection de défauts

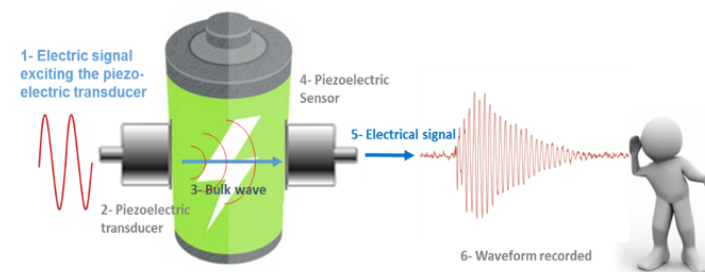
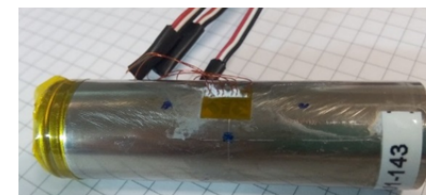
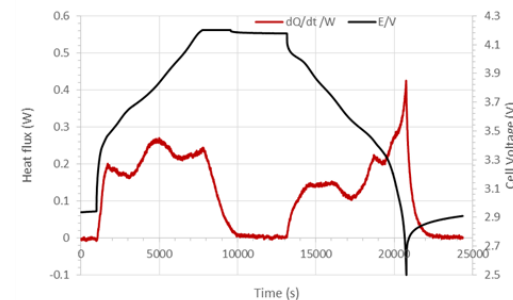


- Court-circuit externe
  - Surcharge
  - Stabilité thermique
- surchauffe, dégagement gazeux, gonflement ...

Chaleur: thermocouple, capteurs de flux

Déformation: jauge de contrainte

Evolution des propriétés physiques des matériaux : interrogation acoustique

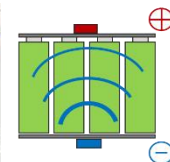
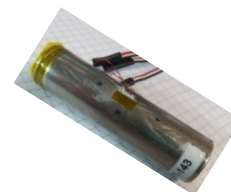




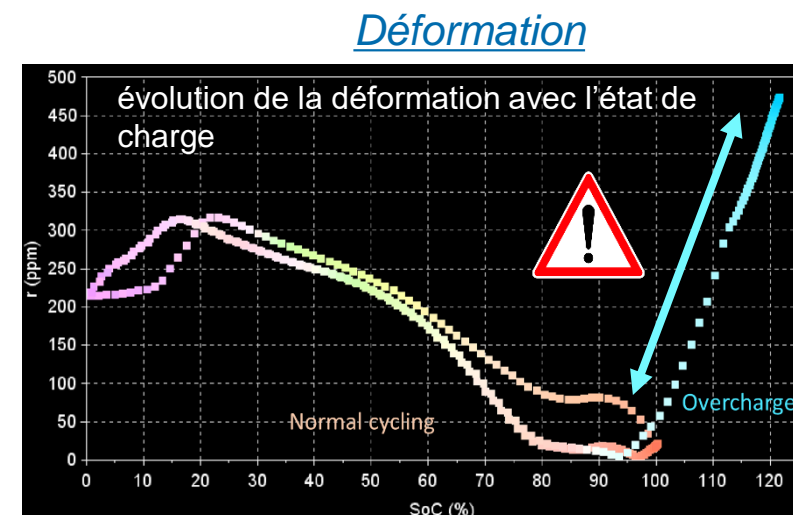
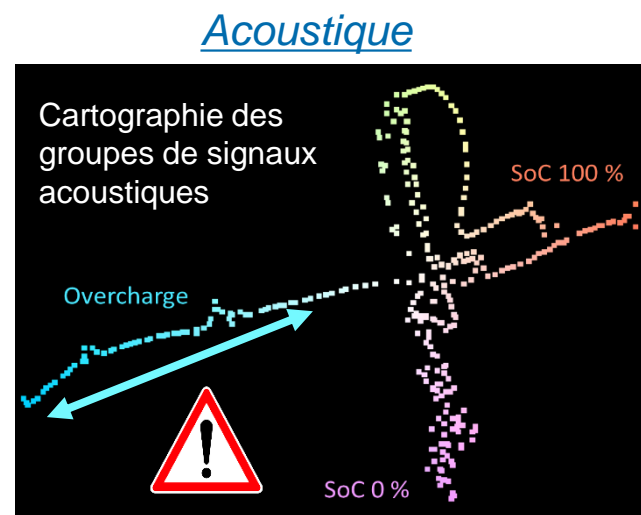
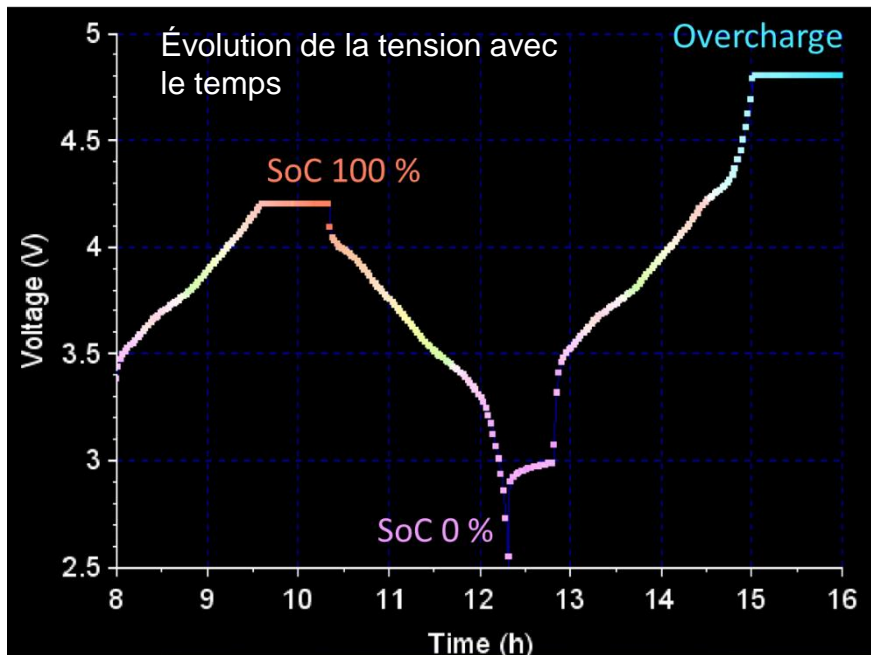


# Exemples de résultats expérimentaux ?

## Détection de défauts liés à une surcharge



Cellule unitaire, cylindrique, sachet souple, prismatique, module ...



- Chaque point coloré correspond à une mesure acoustique (1 ms de mesure toutes les 5 min)
- Même signal acoustique = même place sur la cartographie et même couleur

➔ Identification immédiate des modifications irréversibles des propriétés physiques des matériaux liés au défaut

L. Oca *et al.* « Lithium-ion capacitor safety assessment under electrical abuse tests based on ultrasound characterization and cell opening » Journal of Energy Storage, vol. 23, p. 29, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.02.033>  
 A. Kirchev *et al.* « Li-Ion Cell Safety Monitoring Using Mechanical Parameters, Part 3: Battery Behaviour during Abusive Overcharge. Batteries » 2023, 9, 338. <https://doi.org/10.3390/batteries9070338>

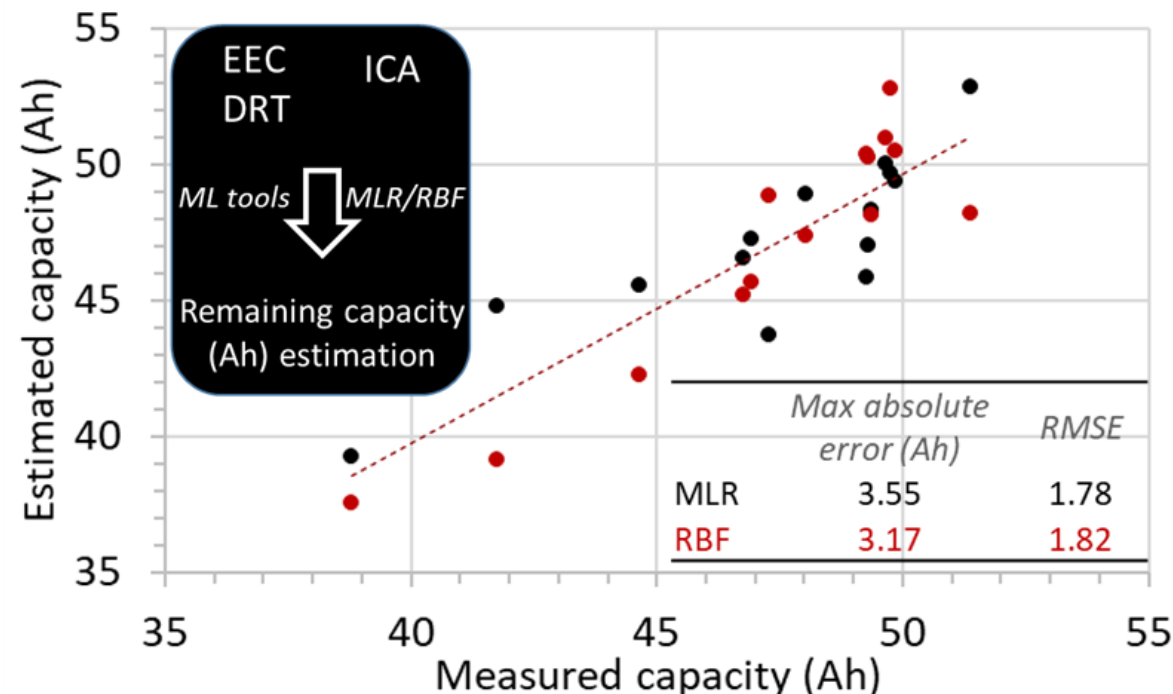


## Estimation de la capacité de stockage restante sur des modules de VE usagés

- Combinaison de mesures complémentaires
- Utilisation de différents algorithmes de corrélation



Modules batteries EV 60 Ah à l'état neuf



➔ Estimation assez précise de la capacité restante et sur des modules de batteries EV usagées en quelques dizaines de seconde (évolutions irréversibles des propriétés physiques liées des matériaux)



## Plateforme de test batteries à l'INES : 460 voies de test / 1100 m<sup>2</sup>

### Multi échelle

Depuis la cellule unitaire jusqu'au container de stockage (→ 250 kW)

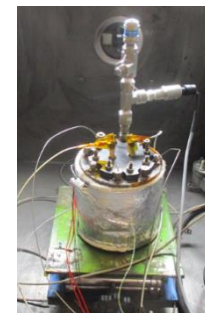
### Multi technologies

Expertise dans les batteries aqueuses (Ni-MH, Pb) → flux redox et Li-ion



### Labo tests abusifs (hors spec. nominales):

- Emballage thermique
- surcharge, court-circuit,...
- Caméra ultrarapides







**Certaines techniques de caractérisation non destructives présentent une réelle pertinence et une complémentarité pour la gestion des batteries :**

- Améliorer la précision des indicateurs de gestion des batteries (SoC, SoH, gestion thermique, sécurité);
- Développer des indicateurs pour un classement efficace des batteries usagées;
- Prédiction de l'espérance de vie restante et mesure.

**La pertinence d'autres techniques pour étudier les mécanismes de vieillissement peut également être évaluée**

- Réflectométrie électrique (CEA/LIST)
- Propriétés magnétiques
- ...

**→ Nous mettons en place et évaluons différentes techniques sur de vrais éléments de batteries en conditions opératoires représentatives d'un fonctionnement réel**

**→ Pour tous vos besoins, n'hésitez pas à nous contacter !!**



Merci pour votre attention  
nicolas.guillet@cea.fr

