

# **Sujet de thèse : Diagnostic intelligent et pronostic des éléments de stockage dans les réseaux de distribution AC/DC : approches hybrides pour l'intégration fiable des systèmes de stockage d'énergie**

## **Contexte général**

L'objectif principal du projet DC-Architect, inscrit dans le PEPR TASE du plan France 2030, est de concevoir des réseaux de distribution aptes à transporter l'énergie sous forme de courant continu, à moyenne tension. Ces réseaux se situent entre les micro-réseaux locaux (souvent isolés ou résilients) et les grands réseaux interconnectés, qui évoluent également vers des infrastructures DC dans certains cas.

La thèse proposée se situe donc dans le contexte national du plan de relance France 2030 et en particulier dans le projet PEPR nommé DC-Architect incluant plus de 16 laboratoires de recherche du Génie Electrique. Cela implique ainsi une présentation et discussion régulière des avancements des travaux avec l'ensemble des partenaires. Les travaux de recherche envisagés se situent dans le domaine de l'étude des systèmes de stockage d'énergie (ESS) dans un environnement sévère d'architectures de conversion telles que les réseaux de distribution.

Avec l'essor des énergies renouvelables, souvent connectées via des convertisseurs électroniques de puissance (CEP), les réseaux de distribution deviennent hybrides AC/DC, dynamiques et de plus en plus complexes. Ces sources manquent souvent d'inertie ou sont soumises aux conditions météorologiques, rendant leur pilotage difficile. Dans ce contexte, les ESS, qu'ils soient stationnaires ou embarqués (ex. véhicules électriques), jouent un rôle clé en apportant souplesse et stabilité.

Cependant, ces ESS constituent aussi une zone de fragilité du réseau, car leur fiabilité est mal connue et leur comportement peut fortement varier selon l'usage, la température, la configuration des convertisseurs, etc. Leur intégration fiable nécessite donc une surveillance fine de leur état de santé (SoH) et de leur durée de vie restante (RUL).

L'ambition du projet DC-Architect est également d'aborder simultanément les problématiques de conception des modules de conversion de puissance avec le coefficient d'énergie primaire qui est un indicateur permettant d'identifier la perte d'énergie entre le moment où elle est produite et le moment de sa consommation et qui traduit bien les besoins opérationnels du réseau de distribution. Le candidat devra ainsi s'imprégner du contexte complet des réseaux électriques et de leur évolution avec une intégration massive des convertisseurs. Il devra ainsi proposer en fin de thèse des solutions potentielles pour associer aux convertisseurs les ESS avec leur système de gestion d'énergie (EMS) associés incluant les indicateurs de SoH et autres moyens de surveillance.

---

## **Objectif de la thèse**

L'objectif principal de cette thèse est de concevoir des outils avancés de diagnostic et de pronostic des batteries Li-ion, adaptés aux conditions réelles des réseaux AC/DC, et intégrables dans une logique de supervision temps réel. Il s'agit de répondre à trois enjeux :

1. Fiabilité du stockage dans des architectures complexes et multi-niveaux ;
2. Prédiction de la dégradation en conditions dynamiques d'usage ;
3. Optimisation de la gestion énergétique (EMS) en tenant compte du vieillissement.

Pour cela, la thèse proposera des approches hybrides, combinant :

- Modèles équivalents physiques paramétrés (ex. R-C, Thevenin, électrochimique simplifié),
- Algorithmes d'optimisation pour l'extraction de paramètres dynamiques,
- Méthodes de machine learning supervisé ou non supervisé,

- Et des outils de régression symbolique pour produire des modèles interprétables et généralisables.

Le diagnostic reposera sur des mesures courantes (courant, tension, température), exploitables en conditions réelles, avec un objectif final de mise en œuvre embarquée.

---

## Travail de recherche

### *1. Revue bibliographique détaillée*

- Mécanismes de vieillissement des batteries Li-ion ,
- Modèles équivalents dynamiques (R-C, modèles simplifiés électrochimiques),
- Méthodes classiques et intelligentes de SoH/RUL estimation,
- Techniques d'optimisation (PSO, algorithmes évolutionnaires),
- Méthodes avancées de machine learning (réseaux de neurones, random forest, LSTM),
- Applications récentes de la symbolic regression à la modélisation énergétique.

### *2. Développement de modèles physiques paramétrables*

- Implémentation de modèles par circuits électriques équivalents,
- Extraction de paramètres dynamiques à partir de données synthétiques ou semi-réelles,
- Utilisation d'algorithmes d'optimisation (PSO, moindres carrés, heuristiques) pour calage.

### *3. Apprentissage automatique et régression symbolique*

- Construction de jeux de données (réels ou simulés),
- Estimation du SoH/RUL à partir de mesures de terrain par modèles ML/DL,
- Utilisation de bibliothèques comme PySR ou Eureka pour générer des expressions explicites.

### *4. Simulation système et évaluation réseau*

- Intégration du vieillissement des batteries dans une simulation de convertisseur multi-port AC/DC,
- Évaluation de l'impact de la dégradation sur la qualité de service, l'efficacité énergétique,
- Proposition d'indicateurs opérationnels (SoH, CEP) pour la gestion embarquée.

### *5. Vers une supervision complète*

- Élaboration d'un prototype de stratégie de gestion énergétique (EMS) intégrant SoH/RUL,
  - Préparation à une intégration dans des plateformes de test du consortium DC Architect.
- 

## Environnement et collaborations

Le doctorant évoluera dans un environnement de recherche interdisciplinaire, en interaction avec :

- LAAS-CNRS (Toulouse, encadrement principal),
- IMS (Bordeaux, encadrement complémentaire),

Le projet est intégré dans le consortium DC Architect (plus de 16 laboratoires en génie électrique), avec échanges techniques réguliers, accès à des plateformes de simulation et données expérimentales, et participation à des workshops collectifs. Une certaine mobilité sera demandée au candidat à la fois sur les réunions régulières d'avancement et liée à l'encadrement venant de deux équipes de recherche sur 2 laboratoires.

---

## Profil recherché

- Master 2 ou diplôme d'ingénieur (EEA, énergie, automatique, IA),
  - Une bonne connaissance des systèmes de stockage, réseaux électriques, électronique de puissance est un plus pour ces travaux,
  - Compétences en modélisation, optimisation, machine learning,
  - Maîtrise de Python (scikit-learn, PyTorch, PySR) et Matlab/Simulink,
  - Intérêt marqué pour la fiabilité énergétique et l'IA explicable.
-

## Encadrants et laboratoire

- Encadrante principale : Corinne ALONSO (LAAS-CNRS, Toulouse)
  - Co-encadrant : Jean-Michel Vinassa (IMS, Bordeaux)
  - Durée : 3 ans – début de la thèse : automne 2025
  - Financement : projet PEPR TASE – France 2030
- 

## Références

- [1] Berecibar M. et al., *Critical review of state of health estimation methods of Li-ion batteries for real applications*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 56, pp. 572–587, 2016.
- [2] Han D. et al., *Improving the state-of-health estimation of lithium-ion batteries based on limited labeled data*, Journal of Energy Storage, vol. 100, 2024.
- [3] Chen L. et al., *State of health estimation of lithium-ion batteries based on equivalent circuit model and data-driven method*, Journal of Energy Storage, vol. 73, 2023.
- [4] Qi Q. et al., *Battery pack capacity estimation for electric vehicles based on enhanced machine learning and field data*, Journal of Energy Chemistry, vol. 92, 2024.
- [5] Xiong R. et al., *Battery State of Health Monitoring Methods: A Review*, Journal of Power Sources, vol. 405, pp. 18–29, 2018.
- [6] Li G. et al., *Equivalent circuit modeling and state-of-charge estimation of lithium titanate battery under low ambient pressure*, Journal of Energy Storage, vol. 77, 2024.
- [7] Gaetani-Liseo M., *Thèse de doctorat*, Université Paul Sabatier, 2021.
- [8] Barré A. et al., *A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications*, Journal of Power Sources, vol. 241, 2013.
- [9] Maures M., « Modélisation des performances et du vieillissement des assemblages parallèles de cellules lithium-ion pour la détermination de l'état de santé et de la durée de vie des batteries », Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2021.

Les résultats des travaux seront partagés aux autres membres partenaires du projet, voir la figure ci-après.



**Nombre de personnes maximum : 1**

**Lien :** <https://www.pepr-tase.fr/projet/dc-architect/>

**Encadrants :** Corinne ALONSO (LAAS, Toulouse), Jean-Michel Vinassa (IMS, Bordeaux).

**Mail(s) de contact(s) :** [corinne.alonso@laas.fr](mailto:corinne.alonso@laas.fr), [jean-michel.vinassa@ims-bordeaux.fr](mailto:jean-michel.vinassa@ims-bordeaux.fr)

**Merci d'envoyer lors de votre candidature vos notes, un CV et un courrier de motivation.**