

# **Thèse CIFRE**

## **Airbus Defence and Space – LAPLACE (Toulouse)**

### **Texte de cadrage général, intérêt pour l'entreprise**

Airbus Defence and Space est une division d'Airbus Group responsable du développement de produits et services dans les domaines de la défense et du spatial. Le département Advanced Electrical Product apporte un support et une expertise dans plusieurs domaines dont les systèmes électriques et de puissance, les radio-fréquences, et la compatibilité électro magnétique. Le département est connu au sein d'Airbus Group en tant que Chambre de Référence pour les batteries pour des applications variées : avions, drones, taxis volants, ballons stratosphériques, satellites, lanceurs, rovers, ...

Depuis quelques années, Airbus design et produit à la BAL (Battery Assemble Line) ses propres batteries pour ses produits. Le département est équipé d'un laboratoire électrique dans lequel les batteries sont testées et caractérisées. Pour chaque projet batterie, il est nécessaire dès le début du développement d'estimer avec précision la durée de vie de la batterie en fonction de ses conditions d'utilisation, afin de la dimensionner correctement et de s'assurer qu'elle pourra être fonctionnelle sur toute la durée de vie du produit. Cette durée de vie varie selon le type d'application, et peut atteindre une dizaine d'années dans le cas d'un satellite. Aujourd'hui, les estimations se basent sur des résultats d'essais au niveau cellule batterie. Il n'est pas possible de tester en conditions exactes et sur une durée suffisante, ces données sont donc extrapolées et souvent dans le pire des cas. Il existe donc un réel besoin d'avoir une estimation plus fiable, plus rapide et nécessitant moins d'essais.

### **Objectifs**

Il est bien connu que plusieurs facteurs tels que les contraintes électriques (amplitude du courant, profondeur de décharge, fréquence), environnementales (température, humidité) et fonctionnelles (vibrations, sollicitations thermomécaniques) influencent la durée de vie des batteries des satellites de manière significative. Par contre, la mise en œuvre de modèles de durée de vie donnant des indicateurs de dégradations robustes incluant ces contraintes reste difficile.

Les travaux prévus dans cette thèse s'inscrivent dans le contexte méthodologique de la modélisation de la durée de vie et plus largement le pronostic, ainsi que la modélisation de la dégradation de batteries Li-Ion en contraintes accélérées et en contraintes opérationnelles pour des applications aérospatiales.

Pour les applications « véhicule électrique », des travaux ont été menés pour étudier le vieillissement des batteries Li-Ion et plus particulièrement de la combinaison des effets du vieillissement calendaire et de cyclage. Généralement, une loi de cumul des dommages est utilisée afin d'estimer le vieillissement dans le cadre d'une sollicitation mixte (calendaire + cyclage). Toutefois, ces modèles de vieillissement ont été peu étudiés dans le contexte particulier de l'industrie spatiale. Ainsi, dans le cadre des travaux de thèse, il convient :

- d'évaluer la robustesse des modèles de vieillissement basés sur la loi de cumul des dommages et voire d'adapter ces modèles afin de prendre en compte la combinaison et les interactions des effets du vieillissement calendaire et de cyclage pour des applications spatiales dont les contraintes électriques et thermiques sont différentes que dans le domaine de l'automobile.
- de se rapprocher des contraintes opérationnelles et non de contraintes volontairement amplifiées pour provoquer un vieillissement certes accéléré, mais pas nécessairement représentatif du vieillissement sous contraintes nominales, ce qui sous-entend l'identification de marqueurs du vieillissement. Il conviendra d'identifier plus finement par fouille de données notamment, la dynamique de dégradation des batteries en vue d'une modélisation de vieillissement afin de tendre vers le pronostic.
- de travailler la notion de « missions test représentatives » (1 ou 2 profils de mission caractéristiques) sans pour autant faire exploser le coût expérimental.

Bien sûr, l'objectif final de la méthodologie présentée étant le pronostic, il sera tout particulièrement intéressant, mais évidemment difficile, de tester des niveaux de contraintes plus bas, s'approchant des

conditions nominales de fonctionnement des composants. Ceci permettrait de tester la validité de la méthodologie et des modèles dans le domaine des longues durées de vie. Il sera également intéressant de travailler sur d'autres mesures que la durée de vie (et donc des tests destructifs) afin de modéliser la dégradation et ce à partir de données censurées.

Nous explorerons la modélisation statistique de la durée de vie et comment la distribution de cette durée de vie peut être influencée par les différentes contraintes notamment à travers le principe de Sedyakin. Différents processus statistiques (Gamma, Wiener, Poisson) seront étudiés en fonction des modes de dégradation observées de manière à prédire au mieux la durée de vie. Une attention particulière sera portée à l'actualisation et la correction de ces modèles au cours du temps en fonction des mesures existantes. Plusieurs pistes sont envisagées afin de prendre en compte le cyclage dans les modèles de prédiction. L'idée d'intégrer notamment la perte de durée de vie en fonction du temps passé sous différentes contraintes lors d'un profil donné ainsi que l'impact du nombre de cycles passés dans certaines conditions fortement dégradantes, constitueront une première solution à explorer.

En parallèle de la modélisation de la durée de vie, ce travail s'intéressera également aux indicateurs de la durée de vie des batteries Li-Ion. Ces indicateurs peuvent intervenir à 2 niveaux : soit de manière à alerter sur un niveau critique de la batterie et son incapacité à poursuivre la mission, soit de manière à enrichir et actualiser le modèle de durée de vie au cours du temps. Ces travaux pourront s'inspirer de la littérature abondante sur le sujet dans le cadre des utilisations terrestres en considérant les contraintes liées au spatial et aux profils de mission propre à cette thèse.

### **Expérience du LAPLACE**

6 thèses (notamment dans le cadre de coopérations industrielles) et un contrat post doctoral réalisés au LAPLACE ont d'ores et déjà permis :

- de mettre en évidence indicateurs simples et robustes adaptés au diagnostic de batteries automobiles au plomb en vue d'une seconde vie en termes de stockage d'énergie électrique dans des systèmes de production d'électrification rurale basés sur les principes de l'innovation frugale,
- de développer des modèles de batteries Li-ion pour la conception systémique de systèmes embarqués et stationnaires,
- de développer de modèles de durée de vie d'isolants de machines électriques en régime de contraintes statiques accélérées, basés sur les plans d'expériences, les surfaces de réponses et les arbres de décision. Des modèles hybrides de durée de vie (combinant le pouvoir de classification des arbres de régression et celui de modélisation des plans d'expériences) ont été proposés et validés,
- de réaliser des bancs de vieillissement représentatifs des contraintes électriques et thermiques subies par des systèmes d'isolation de moteurs alimentés par onduleurs;
- de valider les méthodes élaborées sur les isolants sur d'autres objets du génie électrique et de commencer à construire des modèles de dégradation ,

### **Expérimentations**

Les résultats des tests permettront la conception de modèles de durée de vie et de vieillissement multi-contraintes établis sous stress accélérés, dont la validité devra être étendue vers le domaine des contraintes plus proches des contraintes nominales, mais gardant la même physique de dégradation). Des mesures spécifiques électriques (résistance interne, paramètres de spectroscopie d'impédance, SOH...) seront réalisées à l'état neuf et périodiquement durant le vieillissement, qu'il soit calendaire, cyclique ou les deux.

Les éléments étudiés se présenteront sous forme de batteries des différents fournisseurs d'Airbus, qui restent généralement très discrets sur les paramètres de leurs produits, la manière dont ils les ont mesurés et leurs évolutions dans le temps.

### **Co-encadrants**

- Antoine Picot, Fabien Lacressonnière, Pascal Maussion LAPLACE, [pascal.maussion@laplace.univ-tlse.fr](mailto:pascal.maussion@laplace.univ-tlse.fr)
- Ada Czesnakowska, Didier Loup, Airbus

### **Statuts**

- CDD ingénieur doctorant CIFRE de 3 ans par Airbus Defence and Space, salaire 36k€ brut annuel
- Début : Septembre 2022

### **Thèses soutenues au LAPLACE**

- [PhD SAL] « *Méthodes statistiques de modélisation du vieillissement pour le pronostic* » Farah Salameh, bourse MESR, P. Maussion (Directeur de thèse 50%) et A. Picot, (co-Directeur de thèse 50%) du groupe CODIASE du LAPLACE, soutenance 7 novembre 2016, prix Léopold Escande INP, 2016 et prix 2017 des Sciences de l'Ingénieur de l'Académie des Belles Lettres de Toulouse, <https://oatao.univ-toulouse.fr/16622/>
- [PhD NGU] « *Etude de l'impact des contraintes aéronautiques sur les systèmes d'isolation des moteurs de conditionnement d'air* » Nguyen Manh Quan, Thèse financement FUI, Projet régional PREMEP, D. Malec (Directeur 50%) du groupe MDCE et P. Maussion (co-direction à 50%) du groupe CODIASE, soutenance le 20 février 2012
- [PhD SZC] « *Mise au point de méthodes permettant le test puis le choix du système d'isolation des moteurs basse-tension fonctionnant en régime de décharges partielles (alimentation par onduleur)* », Mateusz Jerzy SZCZEPANSKI, bourse CIFRE Leroy Somer, D. Malec (Directeur de thèse 50%) du groupe MDCE du LAPLACE et P. Maussion (co-Directeur de thèse 50%), soutenue le 29/3/2019 ; <http://thesesups.ups-tlse.fr/4385/>
- [PhD ALA] « *Degradation modeling and life cycle methods for electrical engineering prognosis* », Andrea Al Haddad, contrat doctoral Toulouse INP, P. Maussion (Directeur de thèse 50%) et A. Picot (co-Directeur de thèse 50%) du groupe CODIASE du LAPLACE, soutenance prévue en septembre 2021
- [PostD LAH] « *Etude, développement et mise en œuvre de plans d'expériences permettant la détermination de la durée de vie des systèmes d'isolation de moteurs utilisés dans le domaine aéronautique (conditionnement d'air)* », N. Lahoud, co-encadré à 50% avec D. Malec, groupe MDCE du LAPLACE, 2012-2013, financement du contrat FUI-pôle AESE du projet PREMEP
- [PhD FAU] « *Modélisation et émulation d'une turbine à gaz. Application à l'étude de systèmes multi-sourcés (hybridations turbine à gaz / batterie Li-Ions / pile à combustible) pour une fonction groupe électrogène (APU) destinée à des applications aéronautiques* », Mickaël Faucher, bourse CIFRE Microturbo, C. Turpin (directeur de thèse 50%) et F. Lacressonnière (encadrant 50%) du groupe GENESYS, soutenance 30 janvier 2017
- [PhD VAR] « *Modèles à échelle réduite en similitude pour l'ingénierie système et l'expérimentation simulée en "temps compacté": application à un microréseau incluant un stockage électrochimique* », Andy Varais, Thèse financement contrat de recherche, X. Roboam (directeur de thèse 50%) et F. Lacressonnière (encadrant 50%) du groupe GENESYS, soutenance le 10 janvier 2019.

### **Articles de revues internationales LAPLACE**

- [RI\_LAH13] “Electrical Aging of the Insulation of Low Voltage Machines: Model definition and test with the Design of Experiments”, N. Lahoud, J. Faucher, D. Malec, P. Maussion, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Vol.60, Issue 9, 2013, pp 4147 – 4155, <http://oatao.univ-toulouse.fr/9210/>
- [PIC15] “Lifespan Modeling of Low Voltage Machines Insulation Materials”, A. Picot, D. Malec, M. Chabert, P. Maussion, 2015\_European Journal of Electrical Engineering
- [RI\_LAH15] “Lifetime model of inverter-fed motors secondary insulation by using a design of experiments”, N Lahoud, M Q Nguyen, P Maussion, D Malec and D Mary, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 22, Issue 6, pp. 3170-3176, December 2015, <http://oatao.univ-toulouse.fr/16028/>
- [RI\_SAL170] “Regression methods for improved lifespan modeling of low voltage machine insulation”, F. Salameh, A. Picot, M. Chabert, P. Maussion, Mathematics and Computers in Simulation, Volume 131, January 2017, pp 200-216, MATCOM4259 PII: S0378-4754(15)00237-2, DOI:10.1016/j.matcom.2015.11.001, <http://oatao.univ-toulouse.fr/16027/>
- [RI\_SAL171] “Parametric and non-parametric models for lifespan modeling of insulation systems in electrical machines”, F. Salameh, A. Picot, M. Chabert, P. Maussion, IEEE Transactions on Industry Applications, Special Issue on Fault Diagnosis of Electric Machines, Power Electronics and Drives, 2017, Volume: 53, Issue: 3, Pages: 3119 – 3128, <http://oatao.univ-toulouse.fr/18455/>
- [RI\_SAL19] “Modeling the luminance degradation of OLEDs using Design of Experiments (DoE)”, Salameh, Farah; Al Haddad, Andrea; Picot, Antoine; Canale, Laurent; Zisis, Georges; Chabert, Marie; Maussion, Pascal, IEEE Transactions on Industry Applications, NOVEMBER/DECEMBER 2019, Volume: 55, Issue:6, pp 6548-6558, DOI: 10.1109/TIA.2019.2929150 <https://oatao.univ-toulouse.fr/25251/>
- [RI\_SZC20] “Design of Experiments (DoE) predictive models as a tool for lifespan prediction and comparison for enameled wires used in low voltage inverter-fed motor », Mateusz Szczepanski, David Malec, Pascal Maussion, Philippe Manfé, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 56,

Issue: 3 , May-June 2020), pp 3100–3113, DOI: [10.1109/TIA.2020.2970855](https://doi.org/10.1109/TIA.2020.2970855) <https://oatao.univ-toulouse.fr/26017/>

- [LAC 21]\_« *Scale electro-thermal model of a lithium-ion battery for time-accelerated experiments in a hardware in the loop process*», F. Lacressonnière, A. Varais, X. Roboam, E. Bru and T. Mullins, Journal of Energy Storage, vol. 39, 2021, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102576>

#### **Articles de conférences internationales LAPLACE**

- [KHE09] “Experimental designs for tracking the influent operating parameters on insulation reliability”, Y. Khelil, P. Maussion, T. Lebey, IEEE Symposium on Diagnostic of Electrical Machines, Power Electronics and Drives, SDEMPED 2009, Cargèse, France
- [DAR10] “PREMEP, a research project on electric motor optimization, diagnostic and power electronics for aeronautical applications”, O. Darnis, S. Poignan, K. Benmachou, M. Couderc, Z. Obeid, N.M. Quan, J. Régnier, D. Malec, D. Mary, P. Maussion, 4th International Conference on Recent Advances in Aerospace Actuation Systems and Components, INSA Toulouse, France, 5-7 May 2010
- [LAH10] “Electrical Ageing of the Insulation of Low Voltage Rotating Machines Fed by Inverters, The use of the design of experiments (DoE)”, N. Lahoud, M.N. Quan, P. Maussion, D. Malec, D. Mary, ISEI’10, International Symposium on Electrical Insulation, San Diego, California, USA, June 6-9, 2010
- [MAU101] “Design of Experiments for Low Voltage Electrical Machine Insulation Lifetime Modeling”, P. Maussion, J. Faucher, IEEE-ISIE 2010, July 2010, International Symposium on Industrial Electronics, Bari, Italy
- [LAH102] “Using the Design of Experiments (DoE) Method to Elaborate an Electrical Ageing Model for the Insulation of Low Voltage Rotating Machines Fed by Inverter”, N. Lahoud, M. Nguyen, P. Maussion, D. Malec, D. Mary, IEEE ICSD, 2010 IEEE International Conference on Solid Dielectrics, 4th - 9th July 2010, University of Potsdam, Potsdam, Germany, <http://oatao.univ-toulouse.fr/14322/>
- [LAH11] “Electrical Ageing Modeling of Insulation Low Voltage Rotating Machines Fed by Inverters with the Design of Experiments (DoE) Method”, N. Lahoud, J. Faucher, D. Malec, P. Maussion, IEEE Symposium on Diagnostic of Electrical Machines, Power Electronics and Drives, IEEE SDEMPED’11, Bologna, Italy,
- [PIC13] “Improvements on Lifespan Modeling of the Insulation of Low Voltage Machines with Response Surface and Analysis of Variance”, Antoine Picot, David Malec and Pascal Maussion, IEEE Symposium on Diagnostic of Electrical Machines, Power Electronics and Drives, IEEE SDEMPED’13, **best conference paper award** <http://oatao.univ-toulouse.fr/24151/>
- [URS14] “Regression methods for improved Lifespan Modeling of Low Voltage Machines Insulation”, S. Ursua, A. Picot, M.Q. Nguyen, M. Chabert, P. Maussion, Electrimacs 2014, Valencia, Spain,
- [CHA14] “Lifespan modelling of low voltage machine insulation”, M. Chabert, F. Salameh, A. Picot and P. Maussion, The Eleventh International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies, CM 2014 and MFPT 2014, 10-12 June 2014, Manchester, UK
- [MAU15] “Lifespan and Aging Modeling Methods for Insulation Systems in Electrical Machines: A Survey”, P. Maussion, A. Picot, M. Chabert and D. Malec, IEEE, 2nd IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnostics, Turin, March 2015, WEMDCD’15, **invited survey paper**, <http://oatao.univ-toulouse.fr/14326/>
- [SAL15] “Variable Importance Assessment in Lifespan Models of Insulation Materials: A Comparative Study”, F. Salameh, A. Picot, M. Chabert, E. Leconte, A. Ruiz-Gazen and P. Maussion, Proc. IEEE SDEMPED’15
- [SAL16] “Hybrid parametric/non-parametric models for lifespan modeling of insulation materials”, F. Salameh, A. Picot and P. Maussion, M. Chabert, The xx International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies, CM 2016
- [SAL17] “Statistical Methods for the Diagnosis of Small-Size Training Set Models. Application to the Lifespan Modelling of Insulation Materials », F. Salameh, A. Picot, M. Chabert, P. Maussion, Conference on Modeling and Simulation of Electrical Machines, Converters and Systems, Electrimacs’17 <http://oatao.univ-toulouse.fr/19037/>
- [MZC170] “Ozone concentration impact on the lifespan of enameled wires (conventional and corona-resistant) for low voltage rotating machines fed by inverters”, M Szczepanski, D Malec, P Maussion, B Petitgas, P Manfé, EIC 2017 <https://doi.org/10.1109/EIC.2017.8004637>
- [MZC171] « Prediction of the lifespan of enameled wires used in low voltage inverter-fed motors by using the Design of Experiments (DoE), M Szczepanski, D Malec, P Maussion, B Petitgas, P Manfé, IAS’2017 annual meeting, Cincinnati, USA <https://doi.org/10.1109/IAS.2017.8101798>



- [MZC18] “Use of Design of Experiments (DoE) predictive models as a method of comparison of enameled wires used in low voltage inverter-fed motors”, Mateusz Szczepanski, David Malec, Pascal Maussion, Benoit Petitgas, Philippe Manfé, IAS’2018 annual meeting, Portland, OR, USA DOI: [10.1109/IAS.2018.8544548](https://doi.org/10.1109/IAS.2018.8544548)
- [MOH19] “Lead-acid battery modelling in perspective of ageing: a review », M. Mohsin; A. Picot; P. Maussion, 2019 IEEE 12th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED), DOI: [10.1109/DEMPED.2019.8864849](https://doi.org/10.1109/DEMPED.2019.8864849)
- [MOH21] “Lead-acid Battery State-of-Health Evaluation with Short Discharge Method», M. Mohsin ; A. Picot; P. Maussion, 2021IEEE 13th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED), accepté

### Bibliographie générale (hors LAPLACE) relative au sujet de thèse

- [PhD IGLE] « Étude du vieillissement des batteries lithium-ion dans les applications "véhicule électrique": combinaison des effets de vieillissement calendaire et de cyclage», Eduardo Redondo Iglesias, Thèse de doctorat, université de Lyon, 2017 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01668529>
- [PhD BAD] « Étude des mécanismes et modélisation du vieillissement des batteries lithium-ion dans le cadre d'un usage automobile», Quentin Badey, Thèse de doctorat, Université de Paris Sud, 2012, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00693344>
- [SMI13] « Models for Battery Reliability and Lifetime: Applications in Design and Health Management », K. Smith, J. Neubauer, E. Wood, M. Jun, and A. Pesaran, in Battery Congress, Ann Arbor, Michigan, 2013.
- [BAG16] « Lithium battery aging model based on Dakin's degradation approach », I. Baghdadi, O. Briat, J. Y. Deléage, P. Gyan, and J. M. Vinassa, Journal of Power Sources, vol. 325, pp. 273-285, 2016, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.06.036>
- Ma, J., Shang, P., Zou, X., Ma, N., Ding, Y., Sun, J., ... & Lin, Y. (2021). A hybrid transfer learning scheme for remaining useful life prediction and cycle life test optimization of different formulation Li-ion power batteries. *Applied Energy*, 282, 116167. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116167>
- Tang, X., Zou, C., Yao, K., Lu, J., Xia, Y., & Gao, F. (2019). Aging trajectory prediction for lithium-ion batteries via model migration and Bayesian Monte Carlo method. *Applied Energy*, 254, 113591. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113591>
- Ma, J., Xu, S., Shang, P., Qin, W., Cheng, Y., Lu, C., ... & Lin, Y. (2020). Cycle life test optimization for different Li-ion power battery formulations using a hybrid remaining-useful-life prediction method. *Applied Energy*, 262, 114490. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114490>
- Khumprom, P., & Yodo, N. (2019). A data-driven predictive prognostic model for lithium-ion batteries based on a deep learning algorithm. *Energies*, 12(4), 660. <https://doi.org/10.3390/en12040660>
- Pang, X., Huang, R., Wen, J., Shi, Y., Jia, J., & Zeng, J. (2019). A lithium-ion battery RUL prediction method considering the capacity regeneration phenomenon. *Energies*, 12(12), 2247. <https://doi.org/10.3390/en12122247>
- Bak, T., & Lee, S. (2019, September). Accurate Estimation of Battery SOH and RUL Based on a Progressive LSTM with a Time Compensated Entropy Index. In *Annual Conference of the PHM Society* (Vol. 11, No. 1). <https://doi.org/10.36001/phmconf.2019.v11i1.833>
- Wu, J., Zhang, C., & Chen, Z. (2016). An online method for lithium-ion battery remaining useful life estimation using importance sampling and neural networks. *Applied energy*, 173, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.057>
- Wu, B., Widanage, W. D., Yang, S., & Liu, X. (2020). Battery digital twins: Perspectives on the fusion of models, data and artificial intelligence for smart battery management systems. *Energy and AI*, 1, 100016. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100016>
- Ma, J., Xu, S., Shang, P., Qin, W., Cheng, Y., Lu, C., ... & Lin, Y. (2020). Cycle life test optimization for different Li-ion power battery formulations using a hybrid remaining-useful-life prediction method. *Applied Energy*, 262, 114490. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114490>
- Vatani, M., Vie, P. J., & Ulleberg, Ø. (2018, October). Cycling lifetime prediction model for lithium-ion batteries based on artificial neural networks. In *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2018.8571814>
- Li, Y., Liu, K., Foley, A. M., Zülke, A., Bercebar, M., Nanini-Maury, E., ... & Hoster, H. E. (2019). Data-driven health estimation and lifetime prediction of lithium-ion batteries: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 113, 109254. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109254>

- Severson, K. A., Attia, P. M., Jin, N., Perkins, N., Jiang, B., Yang, Z., ... & Braatz, R. D. (2019). Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. *Nature Energy*, 4(5), 383-391. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0356-8>
- Daigle, M., & Kulkarni, C. S. (2016). End-of-discharge and end-of-life prediction in lithium-ion batteries with electrochemistry-based aging models. In *AIAA Infotech@ aerospace* (p. 2132). <https://doi.org/10.2514/6.2016-2132>
- Wang, L., Lu, D., Wang, X., Pan, R., & Wang, Z. (2020). Ensemble learning for predicting degradation under time- varying environment. *Quality and Reliability Engineering International*, 36(4), 1205-1223. <https://doi.org/10.1002/qre.2624>
- Zhang, Y., Xiong, R., He, H., & Pecht, M. G. (2018). Long short-term memory recurrent neural network for remaining useful life prediction of lithium-ion batteries. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(7), 5695-5705. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2805189>
- Tang, X., Liu, K., Wang, X., Liu, B., Gao, F., & Widanage, W. D. (2019). Real-time aging trajectory prediction using a base model-oriented gradient-correction particle filter for Lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 440, 227118. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227118>
- Sarasketa-Zabala, E., Martinez-Laserna, E., Berecibar, M., Gandiaga, I., Rodriguez-Martinez, L. M., & Villarreal, I. (2016). Realistic lifetime prediction approach for Li-ion batteries. *Applied energy*, 162, 839-852. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.115>
- Wang, H., Song, W., Zio, E., Kudreyko, A., & Zhang, Y. (2020). Remaining useful life prediction for Lithium-ion batteries using fractional Brownian motion and Fruit-fly Optimization Algorithm. *Measurement*, 161, 107904. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107904>
- Ren, L., Zhao, L., Hong, S., Zhao, S., Wang, H., & Zhang, L. (2018). Remaining useful life prediction for lithium-ion battery: A deep learning approach. *IEEE Access*, 6, 50587-50598. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2858856>
- Jia, J., Liang, J., Shi, Y., Wen, J., Pang, X., & Zeng, J. (2020). SOH and RUL Prediction of Lithium-Ion Batteries Based on Gaussian Process Regression with Indirect Health Indicators. *Energies*, 13(2), 375. <https://doi.org/10.3390/en13020375>
- Ma, Y., Wu, L., Guan, Y., & Peng, Z. (2020). The capacity estimation and cycle life prediction of lithium-ion batteries using a new broad extreme learning machine approach. *Journal of Power Sources*, 476, 228581. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228581>
- Kabir, M. M., & Demirocak, D. E. (2017). Degradation mechanisms in Li- ion batteries: a state- of- the-art review. *International Journal of Energy Research*, 41(14), 1963-1986. <https://doi.org/10.1002/er.3762>
- Preger, Y., Barkholtz, H. M., Fresquez, A., Campbell, D. L., Juba, B. W., Romàn-Kustas, J., ... & Chalamala, B. (2020). Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of Chemistry and Cycling Conditions. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(12), 120532. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/abae37>
- X. Xu, C. Yu, S. Tang, X. Sun, X. Si and L. Wu, "State-of-Health Estimation for Lithium-Ion Batteries Based on Wiener Process With Modeling the Relaxation Effect," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105186-105201, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2923095.
- Z. Wu *et al.*, "Online prognostication of remaining useful life for random discharge lithium-ion batteries using a gamma process model," *2019 20th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/EuroSimE.2019.8724567.
- Yin Shu, Qianmei Feng, Hao Liu, « Using degradation-with-jump measures to estimate life characteristics of lithium-ion battery », *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 191, 2019
- R. Mingant, J. Bernard, V. Sauvart-Moynot, « Novel state-of-health diagnostic method for Li-ion battery in service, » *Applied Energy*, Volume 183, 2016, Pages 390-398,
- Daniel Juarez-Robles *et al.*, « *Overcharge and Aging Analytics of Li-Ion Cells* » 2020 *J. Electrochem. Soc.* **167** 090547
- Jie Yang, Chunyu Du, Wen Liu, Ting Wang, Liqin Yan, Yunzhi Gao, Xinqun Cheng, Pengjian Zuo, Yulin Ma, Geping Yin, Jingying Xie, « State-of-health estimation for satellite batteries based on the actual operating parameters – Health indicator extraction from the discharge curves and state estimation », *Journal of Energy Storage*, Volume 31, 2020,