



## Avis de Soutenance

Monsieur ZHIGUANG HUA

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **mercredi 08 décembre 2021** à 14h00  
Lieu : UTBM, 13 Rue Thierry Mieg, 90010 Belfort Cedex, France  
Salle : E107

Titre des travaux : Prédiction de la durée de vie du système de pile à combustible à membrane échangeuse de protons

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 63

Unité de recherche : FEMTO-ST Franche Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies

Directeur de thèse : Fei GAO

Co-directrice de thèse : Marie-Cécile PERA  HDR  NON HDR

Soutenance :  Publique  A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Fei GAO	Professeur des universités	Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM	Directeur de thèse
M. Loïc BOULON	Full professor	l'Université du Québec à Trois-Rivières	Rapporteur
M. Belkacem OULD BOUAMAMA	Professeur des universités	l'Université de Lille 1	Rapporteur
M. Christophe TURPIN	Directeur de recherche	Laplace laboratory	Examineur
Mme Nada ZAMEL	Docteure	Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE	Examinatrice
Mme Huizi WANG	Senior Lecturer	Imperial College London	Examinatrice
Mme Zhixue ZHENG	Maître de conférences	Université de Lorraine & CentraleSupélec	Co-encadrante de thèse
Mme Marie-Cécile PERA	Professeur des universités	Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM	Co-directrice de thèse

**Mots-clés :** Piles à combustible, Pronostic, Durée de vie utile restante, Data-driven, Echo state network,

## Résumé de la thèse (en français) :

La pile à combustible à membrane échangeuse de protons est considérée comme un dispositif de conversion de puissance prometteur dans différents domaines, néanmoins, la durée de vie limitée est l'un des principaux obstacles à leur déploiement industriel à grande échelle. Le pronostic basé sur les données vise à estimer la durée de vie utile restante sans avoir besoin d'une connaissance complète des phénomènes physiques se produisant dans le système. En tant que structure améliorée d'un réseau de neurones récurrent, l'écho state network a démontré de meilleures performances, en particulier en réduisant la complexité de calcul et en accélérant le taux de convergence. Des indicateurs couramment employés tels que la tension ou la puissance ne permettent pas toujours de donner une image fidèle de l'état de santé de la pile. Aussi, un nouvel indicateur de santé nommé taux de perte de puissance relatif, facile à calculer, est introduit dans cette thèse. Selon la courbe de polarisation au début de la vie, la puissance initiale sous différents profils de mission peut être identifiée. Ensuite, la puissance réelle est obtenue en surveillant le courant et la tension en continu. Enfin, le taux de perte de puissance relatif est calculé sur la base de la puissance initiale et de la puissance réelle. Une structure d'algorithme echo state network multi-entrées et multi-sorties est développée et testée pour différents profils de mission de la pile. Le réseau d'états d'écho à double entrée pourrait imiter plus suffisamment les propriétés de dégradation et améliorer la précision de la prédiction dans les conditions de fonctionnement dynamiques. Sur la base de l'indicateur taux de perte de puissance relatif, une méthode combinée, à savoir la transformée en ondelettes discrète et echo state network est proposée pour traiter les caractéristiques multi-échelles de temps et améliorer la précision de la prédiction à long terme. Une solution associant l'approche par les données, un algorithme génétique, un echo state network et la transformée en ondelettes discrètes est proposée pour améliorer les performances de prédiction. Les performances des algorithmes proposés sont évaluées sur plusieurs cas d'études expérimentaux dans des conditions de fonctionnement en régime permanent, quasi-dynamique et dynamique.

## Abstract (in English):

The proton exchange membrane fuel cell is considered a promising power conversion device in different areas, nevertheless, the limited lifetime is one of the key barriers to their large-scale industrial deployment. The data-driven prognostic method aims to estimate the remaining useful life without the need for complete knowledge about the system's physical phenomena. As an improved structure of the recurrent neural network, the echo state network has demonstrated better performances, especially in reducing the computational complexity and accelerating the convergence rate. To overcome the weakness of static health indicators commonly used (e.g., voltage and power), a convenient and practical health indicator named relative power-loss rate is proposed in this thesis. According to the polarization curve at the beginning of life, the initial power under different mission profiles can be identified. Then the actual power is obtained by monitoring the current and voltage continuously. Finally, the relative power-loss rate is calculated based on the initial power and actual power. A multi-input and multi-output echo state network structure is developed and tested for the steady-state, quasi-dynamic, and full dynamic operating conditions of the fuel cell. The echo state network with double inputs could imitate the degradation properties more sufficiently and improve the prediction precision under the dynamic operating conditions. Based on the relative power-loss rate indicator, a combined method, namely discrete wavelet transform and ensemble echo state network is proposed to deal with the multi-timescale features and improve the long-term prediction accuracy. A data-driven approach of discrete wavelet transform-echo state network-genetic algorithm is proposed to further improve the prediction performance. The performance of the proposed approaches is evaluated by different experimental datasets under steady-state, quasi-dynamic, and full dynamic operating conditions separately.