

## Journée Inter GDR

### ***Diagnostic/pronostic des systèmes industriels***

**Date :** Le 7/11/2024

**Lieu :** Salle Villier à l'ENSAM, 151, boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris

#### **Organisateurs :**

- Raphael ROMARY, LSEE, Université d'Artois, [raphael.romary@univ-artois.fr](mailto:raphael.romary@univ-artois.fr)
- Moussa BOUKHNIFER, LCOMS, Université de Lorraine, [moussa.boukhnifer@univ-lorraine.fr](mailto:moussa.boukhnifer@univ-lorraine.fr)
- Benoit MARX, CRAN, Université de Lorraine, [benoit.marx@univ-lorraine.fr](mailto:benoit.marx@univ-lorraine.fr)
- Antoine GRALL, LIST3N, Université de Technologie de Troyes, [antoine.grall@utt.fr](mailto:antoine.grall@utt.fr)
- Ghaleb HOBLOS, IRSEEM, ESIGELEC – Université de Rouen, [ghaleb.hoblos@esigelec.fr](mailto:ghaleb.hoblos@esigelec.fr)

#### **Contexte**

De nos jours, les systèmes d'énergies ont des caractéristiques de plus en plus exigeantes pour satisfaire à des critères de sûreté de fonctionnement devenus très stricts. Dans ce cadre, la détection et le diagnostic de défauts est une étape déterminante pour limiter les pertes économiques mais également les événements destructifs consécutifs à la présence d'un défaut non détecté ou mal estimé. En effet, les secteurs du transport, de la production, des communications, restent très attentifs à des solutions proposées dans le domaine du diagnostic de différents éléments constituant un système global de conversion d'énergie : les machines électriques, les convertisseurs d'électronique de puissance, les batteries, les panneaux photovoltaïques, les systèmes éoliens/hydroliens, les composants électroniques, les roulements à billes, les connecteurs, les câbles, etc. Dans ce cadre, de nombreux travaux sont développés dans le domaine du diagnostic et du pronostic par les communautés scientifiques différentes, soit sur des aspects méthodologiques (traitement de l'information, signal et image), soit au travers des applications spécifiques dépendant du secteur d'application (énergie, électronique, mécanique, ...). Le point commun de tous ces acteurs est qu'ils développent et mettent en oeuvre différents outils de traitement de l'information au sens large (traitement du signal et des images, outils statistiques, Machine Learning) pour proposer des solutions de diagnostic/pronostic efficaces, robustes et fiables. Un des challenges scientifiques importants est de proposer des solutions pour la détection et l'identification des défauts le plus tôt possible permettant de mettre en place des solutions de suivi et de maintenance en fonction de l'évolution du défaut.

#### **Objectifs**

La thématique du Diagnostic/Pronostic fait appel à des aspects pluridisciplinaires avec un lien fort entre les sciences « fondamentales » et les sciences plus appliquées ou expérimentales. Aussi nous proposons l'organisation d'une journée de valorisation des recherches dans ce domaine dans les GDR Seeds et Macs et plus particulièrement les CT « Diagnostic-pronostic » et S3 (Sûreté, Surveillance, Supervision) de ces deux GDR.

## ***Programme de la journée***

**10h-10h30 : Accueil des participants**

**10h30-11h :** Diagnostic de défauts capteurs utilisant la théorie de l'information et l'apprentissage : Application à la robotique mobile

**Zaynab El Mawas, Cindy Cappelle, Maan El Badaoui El Najjar**

CRISAL, Université de Lille

**11h-11h30 :** Diagnostic non invasif des défauts statoriques dans les machines synchrones par analyse de la corrélation du champ magnétique externe

**M. Talbaoui<sup>(a)</sup>, Y. Azzoug<sup>(a)</sup>, S. Ramel<sup>(b)</sup>, R. Pusca<sup>(a)</sup>, E. Lefevre<sup>(b)</sup>, R. Romary<sup>(a)</sup>**

(a) LSEE, (b) LGI2A, Université d'Artois, Béthune

**11h30-12h :** Post-prognosis decisions for energy management and stack replacement for a multi-stack fuel cell system

**Mouhamad Houjayrie, Catherine Cadet, Christophe Bérenguer**

Gipsa-lab, Grenoble-INP et Université de Grenoble Alpes

**12h-14h : Pause déjeuner libre**

**14h-14h30 :** Prédiction de la durée de vie des batteries avec du Deep Learning

**Lama Itani, Nadia Bedjaoui**

MathWorks France | 2 rue de Paris, 92196 Meudon

**14h30-15h :** Robust Sensor Fault Diagnosis in Electric Vehicle Conversion Chains Using Model-Based Techniques

**Youssef Ajra, Ghaleb Hoblos, Hiba Al-Sheikh, Nazih Moubayed**

IRSEEM, ESIGELEC et LARGE, Université Libanaise

**15h-15h30 :** Nouvel Observateur Hybride pour une Classe de Supercondensateur

**Imane Benghazi, Tarek Ahmed Ali**

CESI LINEACT, ENIS de Caen

**15h30-16h :** Prognostics Avancés dans la Régénération des Batteries : Amélioration de la Fiabilité et de la Durabilité

**Ahmad Al-Mohamad**

BE Energy, 178 Rue de l'Aulanière, 84000 Avignon

**16h : Fin de la journée Inter GDR**

## ***Résumés des présentations***

**10h30-11h :** Diagnostic de défauts capteurs utilisant la théorie de l'information et l'apprentissage : Application à la robotique mobile

**Zaynab El Mawas, Cindy Cappelle, Maan El Badaoui El Najjar**  
CRISAL, Université de Lille

**Résumé.** Depuis plusieurs décennies, la recherche sur le diagnostic en ligne des systèmes dynamiques, incluant la détection, la localisation et l'identification des défauts, s'est avérée être un domaine très actif. La littérature sur ce sujet est vaste et peut être divisée en deux grandes catégories : les approches basées sur des modèles et celles guidées par les données.

Les travaux présentés se concentrent sur l'utilisation de mesures informationnelles pour le diagnostic des défauts de capteurs, en s'appuyant sur des modèles stochastiques. L'objectif est de garantir une navigation autonome sécurisée et tolérante aux fautes pour les robots mobiles. Cette présentation met en avant les recherches récentes menées au sein de l'équipe ToSyMA (Tolérance aux Fautes des Systèmes Mobiles Autonomes) du laboratoire CRISAL (UMR 9198). Ces travaux se focalisent sur la conception de résidus informationnels, spécifiquement développés pour détecter et isoler les erreurs des mesures capteurs.

Pour développer cette approche, une base de données de mesures provenant des capteurs a été générée, couvrant divers scénarios de trajectoires et de défauts. La phase de décision s'appuie sur des techniques d'apprentissage automatique, dans le but d'améliorer les performances des méthodes de diagnostic selon différents critères, et plus particulièrement en apprenant à identifier de nouveaux types/comportements de défauts et en s'adaptant à des environnements dynamiques.

**11h-11h30 :** Diagnostic non invasif des défauts statoriques dans les machines synchrones par analyse de la corrélation du champ magnétique externe

**M. Talbaoui<sup>(a)</sup>, Y. Azzoug<sup>(a)</sup>, S. Ramel<sup>(b)</sup>, R. Pusca<sup>(a)</sup>, E. Lefevre<sup>(b)</sup>, R. Romary<sup>(a)</sup>**

(a) LSEE, (b) LGI2A, Université d'Artois, Béthune

**Résumé.** Cette présentation propose une méthode innovante et non invasive pour détecter et quantifier les défauts de court-circuit entre spires statoriques dans une machine synchrone. L'approche repose sur l'utilisation du coefficient de corrélation de Pearson pour l'analyse des mesures du champ magnétique externe, obtenues par un réseau de capteurs disposés autour de la machine. Les résultats révèlent une corrélation élevée (environ 0,99 en simulation et 0,85 en expérimental) en l'absence de défaut, avec une diminution notable en présence de défauts impliquant 2 ou 5 spires. Cette baisse de corrélation permet de diagnostiquer la présence et la sévérité des défauts. En outre, l'étude montre que la sensibilité de la méthode aux défauts mineurs et sa robustesse dépendent en partie de la disposition des capteurs par rapport à la localisation des défauts. Cette technique offre ainsi des perspectives prometteuses pour la surveillance proactive des machines synchrones, en facilitant une détection précoce des défaillances.

**11h30-12h :** Post-prognosis decisions for energy management and stack replacement for a multi-stack fuel cell system

**Mouhamad Houjayrie, Catherine Cadet, Christophe Bérenguer**

Gipsa-lab, Grenoble-INP et Université de Grenoble Alpes

**Résumé.** Fuel cell systems represent promising solutions for sustainable power generation. However, they encounter significant challenges concerning durability, reliability, and operational costs. This paper focuses on post-prognosis decisions to enhance the reliability and durability of multi-stack fuel cell systems.

Multi-stack systems offer potential solutions to some of these limitations by enabling the distribution of load demand across multiple cells that can be optimized through an Energy Management Strategy (EMS). The Prognosis phase to estimate the State of Health (SOH) of the system and its Remaining Useful Life (RUL) is necessary for making informed decisions within a degradation-aware EMS.

In this work, the degradation process of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) is modeled as a non-homogeneous gamma process. This model is made load-dependent by introducing an empirical model linking degradation level to load demand. The prognosis involves estimating the RUL of the PEMFC. Given a known load demand in the future, the advantages of the gamma process lie in its well-defined probability density function of failure time, eliminating the need for Monte Carlo simulations used in other processes, and thereby facilitating straightforward RUL calculations.

Then, an energy management strategy of a system composed of two PEMFCs is developed. An objective function that includes the total degradation of the system is proposed and optimized using Sequential Quadratic Programming (SQP) method under constraints to supply the load demand. Finally, a maintenance strategy and a replacement policy are proposed to minimize the operation and maintenance costs of the system. The maintenance strategy can be coupled with the EMS for better performance and will be compared to other classical techniques such as average load split, providing insights into the efficacy of the proposed approach.

**14h-14h30 :** Prédiction de la durée de vie des batteries avec du Deep Learning

**Lama Itani, Nadia Bedjaoui**

MathWorks France | 2 rue de Paris, 92196 Meudon

**Résumé.** La prédiction de la durée de vie des batteries lithium-ion est complexe à cause des variations d'utilisation et des différences de vieillissement. Cette présentation porte sur une approche en deep learning pour estimer la durée de vie restante (RUL) des batteries. À partir de données réelles de plusieurs cycles de charge rapide, un réseau de neurones convolutionnel (CNN) est formé pour prédire la durée de vie en transformant les mesures de capteurs (tension, température, capacité) en un format matriciel 2D. Ce format permet au modèle d'apprendre des relations potentielles entre différentes mesures au fil des cycles. L'architecture inclut plusieurs couches convolutionnelles, suivies de couches de pooling et de couches entièrement connectées pour améliorer l'extraction des caractéristiques et la précision des prédictions. L'utilisation des données brutes de décharge, sans extraction manuelle des caractéristiques, permet au modèle d'apprendre directement des données. Cette méthode montre un potentiel prometteur pour la maintenance prédictive des systèmes de batteries.

**14h30-15h :** Robust Sensor Fault Diagnosis in Electric Vehicle Conversion Chains Using Model-Based Techniques

**Youssef Ajra, Ghaleb Hoblos, Hiba Al-Sheikh, Nazih Moubayed**  
IRSEEM, ESIGELEC et LARGE, Université LibanaiseTitre présentation

**Résumé.** The rapid growth of electric vehicles (EVs) and renewable energy systems has heightened the need for efficient fault detection and diagnosis (FDD) techniques to ensure system reliability and safety. This study focuses on robust sensor fault diagnosis within the conversion chain of an EV, comprising a Cuk DC-DC converter, a voltage source inverter (VSI), and an LCL filter. The FDD methods are evaluated and compared, emphasizing model-based approaches due to their effectiveness when accurate mathematical models are available. Sensor faults, particularly bias faults, are identified as a critical concern due to their impact on data integrity and control, while component faults are shown to affect physical performance. A state-space model of the conversion chain is developed, and both open- and closed-loop control strategies are simulated using MATLAB. Kalman filtering and Generalized Likelihood Ratio (GLR) testing are employed to detect and diagnose sensor faults. A Generalized Observer Scheme (GOS) of Kalman filters is proposed to handle multiple sensor faults in various subsystems, ensuring fault detectability even in the presence of component faults. The proposed method is robust against system uncertainties and demonstrates high accuracy in detecting sensor bias faults as low as 3% under closed-loop conditions. This diagnostic technique ensures continued system observability and can enhance EV system reliability by reducing the risk of undetected faults.

This work contributes to the development of more resilient FDD systems in EVs, particularly in the diagnosis of sensor faults, which is crucial for maintaining the operational integrity of the power conversion chain and supporting the widespread adoption of EV technologies.

**15h00-15h :** Nouvel observateur hybride pour une classe de supercondensateur

**Imane Benghazi, Tarek Ahmed Ali**  
CESI LINEACT, ENIS de Caen

**Résumé.** Dans ce travail, nous proposons un nouvel observateur avec prédicteur de sortie pour un modèle de supercondensateur à trois branches. Ce modèle permet une estimation précise des états du système à partir de mesures discrètes, tout en prenant en compte les dynamiques internes complexes propres aux supercondensateurs.

L'approche développée garantit une estimation en temps réel des paramètres critiques, même en présence d'un échantillonnage à fréquence réduite, et améliore ainsi la précision et la robustesse de la gestion de l'énergie dans le système.

**15h30-16h :** Prognostics Avancés dans la Régénération des Batteries : Amélioration de la Fiabilité et de la Durabilité

**Ahmad Al-Mohamad**  
BE Energy, 178 Rue de l'Aulanière, 84000 Avignon

**Résumé.** L'intégration des approches de pronostics avancées dans la vision de la transition énergétique permet d'optimiser les processus de régénération des batteries, tout en réduisant la consommation d'énergie et en facilitant une maintenance prédictive (plomb, NiMH, lithium). En anticipant la dégradation et en orientant la régénération, ces approches renforcent la fiabilité et la durabilité des batteries, contribuant à des systèmes énergétiques plus durables et à une prolongation significative de la durée de vie des batteries.

**16h00 :** Fin de la journée Inter GDR