

Diagnostic intelligent et fiabilité des réseaux de capteurs IoT pour la Maintenance 5.0

Contexte

La transition vers la Maintenance 5.0 repose sur une instrumentation croissante des systèmes industriels et énergétiques, s'appuyant sur des réseaux de capteurs connectés pour assurer la surveillance, le diagnostic et l'aide à la décision. La qualité des données issues de ces capteurs est un facteur déterminant pour la fiabilité des stratégies de maintenance, car des erreurs de mesure et des données incohérentes peuvent fausser l'analyse et la détection d'anomalies dès l'amont. Cette problématique de qualité des données et d'erreurs de monitoring a été mise en évidence à grande échelle dans des infrastructures énergétiques, soulignant l'impact direct des erreurs de mesure sur l'exploitation des bases de données et la confiance dans les indicateurs [1].

Dans les architectures IoT bas débit — notamment de type LoRa — les mesures et la transmission peuvent être affectées par des pertes de paquets, des variations de lien radio et des fluctuations de performance réseau. Les caractéristiques fondamentales de LoRa et leurs implications sur la transmission (portée, débit, robustesse, contraintes de communication) sont décrites de manière détaillée, ce qui justifie la prise en compte explicite des limitations réseau dans l'analyse de fiabilité [2]. Des campagnes expérimentales et modèles d'atténuation issus de mesures terrain montrent également que la couverture et la qualité de lien peuvent varier fortement selon l'environnement, ce qui contribue à expliquer des instabilités de communication et donc des discontinuités ou incohérences dans les données capteurs [3].

Face à ces difficultés, les approches d'intelligence artificielle ont démontré leur potentiel pour automatiser le diagnostic, notamment dans des systèmes énergétiques instrumentés. Une synthèse bibliométrique récente illustre l'essor et la diversité des approches IA pour le diagnostic de défauts et la gestion de données multi-sources, ce qui confirme l'intérêt d'intégrer des méthodes de traitement de données dans les chaînes de maintenance prévisionnelle [4]. Cependant, l'opacité de nombreux modèles reste un frein majeur pour l'industrialisation, particulièrement lorsque la traçabilité et la justification des décisions sont exigées. Les fondations et enjeux de l'IA explicable, ainsi que les grandes familles de méthodes d'explicabilité, ont été structurés dans des travaux de référence qui mettent en avant le besoin de transparence pour renforcer la confiance dans les modèles [5]. Dans la même logique, un ouvrage de référence sur l'interprétabilité insiste sur l'importance des modèles simples et des outils d'explication pour rendre les décisions compréhensibles et actionnables dans des contextes opérationnels [6]. Plus spécifiquement pour l'énergie, une revue récente dédiée à l'XAI en maintenance des systèmes énergétiques propose une cartographie des méthodes, des compromis explicabilité/temps réel et des perspectives d'intégration avec l'IoT et les jumeaux numériques, ce qui soutient le choix d'approches explicables et frugales pour la supervision [7].

Dans ce cadre, le projet INFINITY (Intelligent and Frugal Infrastructure for Innovation and Technology), soutenu dans le cadre de l'appel à projets AIRE, vise à étudier, modéliser et valider expérimentalement des méthodes de diagnostic intelligent et frugal appliquées aux réseaux de capteurs IoT eux-mêmes, et non uniquement aux équipements surveillés. Une attention particulière sera portée à la détection de dérives faibles sous bruit et aux changements de régime dans les signaux, en s'appuyant sur des outils statistiques classiques de détection précoce tels que le CUSUM, introduit historiquement comme un schéma d'inspection continue pour détecter rapidement des changements [8]. De manière complémentaire, les approches de contrôle statistique des procédés (dont EWMA) fournissent un cadre méthodologique robuste et largement utilisé pour surveiller des dérives progressives et quantifier des écarts significatifs dans le temps [9]. Enfin, au-delà du diagnostic, la réussite de la Maintenance 5.0 dépend fortement de l'architecture d'instrumentation (choix capteurs, placement, acquisition, communication, contrôle qualité). Un cadre récent orienté "instrumentation pour le diagnostic" propose précisément des lignes directrices pour concevoir des infrastructures de monitoring plus "diagnosis-ready", en articulant acquisition, gestion/qualité des données et communication en lien avec les besoins de localisation et caractérisation des défauts [10].

Plan de travail du stage

Le stage vise au développement et à la validation expérimentale d'un module de diagnostic frugal dédié à l'évaluation de la fiabilité des réseaux de capteurs IoT bas débit. Une part essentielle du stage sera consacrée au montage, à l'instrumentation et à l'intégration du réseau de capteurs, incluant l'installation physique des capteurs, leur synchronisation temporelle, ainsi que leur interfaçage avec une unité de calcul centrale (Raspberry Pi ou mini-PC).

Principales missions :

1. Participer au montage et au déploiement du réseau de capteurs IoT (LoRa), incluant l'installation physique des capteurs, leur configuration, leur synchronisation et la mise en place de la chaîne d'acquisition vers l'unité centrale.
2. Analyser les données issues de réseaux de capteurs IoT (LoRa), en identifiant les phénomènes de pertes, de variabilité, de dérives lentes et d'incohérences inter-capteurs.
3. Étudier et implémenter des méthodes statistiques de détection de dérives, incluant tests de rupture (CUSUM, EWMA), analyses de distribution et indicateurs de variabilité anormale.
4. Définir des indicateurs de cohérence multi-capteurs, exploitant les relations physiques attendues entre grandeurs mesurées.

5. Dans un second temps, développer un module de diagnostic frugal et centralisé, compatible avec des ressources de calcul limitées (Raspberry Pi ou mini-PC), intégrant des modèles explicables et parcimonieux.
6. Valider expérimentalement les méthodes proposées sur des dispositifs instrument s déployés à l'IUT de Perpignan, et en complément sur les plateformes expérimentales du PROMES-CNRS (Tecnosud, Odeillo).
7. Analyser la robustesse, la traçabilité et les limites du diagnostic, en comparant différentes configurations de capteurs et de conditions de communication.
8. Documenter le travail réalisé sous forme d'un rapport détaillé et de scripts reproductibles, constituant une base pour de futurs projets de recherche ou développements pédagogiques.

Profil recherché et compétences

-  tudiant e de Master 2 me année,  cole d'ingénieur 5 me année (EEA, data-science, énergie, automatique).
- Bonnes compétences en traitement du signal, statistiques ou analyse de données.
- Maîtrise de Python ; des notions de Matlab sont appréciées.
- Intérêt pour les systèmes instrument s, l'IoT, la maintenance intelligente et les approches explicables.
- Rigueur scientifique, autonomie, esprit analytique et curiosité

Encadrement et environnement

Le stage sera encadré par :

- **Edgar Hernando Sep lveda-Oviedo**, Maître de Conférences,  quipe Centrales Solaires de Prochaines Générations (CSPG), laboratoire PROMES-CNRS et du département Génie Industriel et Maintenance (GIM), IUT de l'Université de Perpignan Via Domitia;
- **Fabrice Frugier**, PRCE en Génie électrique, département Génie Industriel et Maintenance (GIM), IUT de l'Université de Perpignan Via Domitia ;
- **Armand Lachand**, PRAG en Mathématiques, département Génie Industriel et Maintenance, IUT de l'Université de Perpignan Via Domitia.

Le/la stagiaire évoluera dans un environnement associant recherche et enseignement, combinant :

- le PROMES-CNRS, spécialisé dans la fiabilité énergétique, la supervision et l'IA appliquée à l'énergie ;
- le département GIM de l'IUT de Perpignan, orienté vers la maintenance, l'instrumentation et la supervision industrielle.

Le lieu principal du stage sera Perpignan, avec des interactions possibles entre les plateformes expérimentales de l'IUT (UPVD) et du PROMES-CNRS selon les besoins du projet.

Nombre de personnes maximum : 1

Durée du stage : 6 mois

Période souhaitée : 1er semestre 2026 (Mars 2026)

Encadrants : Edgar Hernando Sepúlveda-Oviedo, Armand Lachand, Francois Vernay et Fabrice Frugier.

Mails de contacts : Merci d'envoyer lors de votre candidature vos **notes**, un **CV** et une **lettre de motivation** à edgar-hernando.sepulveda-oviedo@univ-perp.fr et armand.lachand@univ-perp.fr

Rémunération : Oui

Références

- [1] Choi, Jongwoo. "Analysis of data errors in the solar photovoltaic monitoring system database: An overview of nationwide power plants in Korea". Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2022).
- [2] Augustin, Aloÿs, Yi, Jiazi, Clausen, Thomas, Townsley, William Mark. "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things". Sensors. (2016).
- [3] Petäjäjärvi, Juha, Mikhaylov, Konstantin, Pettissalo, Matti, Janhunen, Janne, Linatti, Jari. "On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology". Proceedings (ITST / LPWAN coverage study). (2015).
- [4] Sepúlveda-Oviedo, Edgar Hernando, et al. "Fault diagnosis of photovoltaic systems using artificial intelligence: A bibliometric approach". Heliyon 9.11 (2023).
- [5] Samek, Wojciech, et al. "Explainable Artificial Intelligence: Understanding, Visualizing and Interpreting Deep Learning Models". Statistical Science. (2017).
- [6] Molnar, Christoph. "Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable". 2nd edition. (2022).
- [7] Shadi, Mohammad Reza, et al. "Explainable artificial intelligence for energy systems maintenance: A review on concepts, current techniques, challenges, and prospects". Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2025).
- [8] Page, E. S. "Continuous Inspection Schemes". Biometrika. (1954).
- [9] Montgomery, Douglas C. "Introduction to Statistical Quality Control". Wiley. (2007).
- [10] Sepúlveda-Oviedo, Edgar Hernando, Estibals, Bruno. "Framework for effective PV system instrumentation focused on fault diagnosis". Solar Energy Advances, Volume 5 (2025).