

Modélisation des Défaillances et Caractérisation des Réponses dans les Smartgrids pour le Développement Futur de Systèmes d'IA de Maintenance Prédictive

Spécialité du doctorat	<i>Génie électrique</i>
Université d'inscription	<i>Université d'Angers</i>
Ecole doctorale	<i>Ecole doctorale Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes</i>
Mots clés	Smartgrids, modélisation, défaillance, maintenance prédictive
Date limite candidature	<u>28 avril 2025</u>
Période du doctorat	<u>01/10/2025 au 30/09/2028</u>

Le Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes (LARIS) est une équipe d'accueil EA7315 de l'université d'Angers, composée de 3 équipes interconnectées :

- Systèmes Dynamiques et Optimisation (SDO)
- Information, Signal, Image et Sciences du Vivant (ISISV)
- Sûreté de Fonctionnement et aide à la Décision (SFD).

Le laboratoire compte 44 enseignants-chercheurs, 7 membres associés, 7 personnels d'appui à la recherche, 2 post-doctorants et 33 doctorants.

La thèse sera réalisée au sein de l'équipe SFD.

Rémunération : 2 200 euros brut par mois

Possibilité d'effectuer des vacances d'enseignement.

Contact :

- Directrice de thèse : Mihaela BARREAU mihaela.barreau@univ-angers.fr
- Co—encadrant de thèse : Xavier SIDAMBAROMPOULÉ xavier.sidambarompoule@univ-angers.fr

1- Contexte et enjeux scientifiques

La transition vers des systèmes énergétiques durables et résilients est une priorité mondiale pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et optimiser les ressources. Les villes intelligentes et les réseaux électriques intelligents (smartgrids) sont des solutions clés pour intégrer les énergies renouvelables et rationaliser la distribution d'électricité. Cette thèse se concentre sur les défis techniques et scientifiques liés à l'optimisation et à la gestion des smartgrids. L'objectif est de développer des méthodes innovantes pour garantir la fiabilité et la disponibilité de ces réseaux, en tenant compte des contraintes de ressources et de la variabilité des flux énergétiques.

Une avancée majeure de cette thèse est la modélisation précise des composants des smartgrids et de leurs interactions. Cela nécessite des modèles numériques sophistiqués pour représenter les éléments comme les panneaux photovoltaïques, les batteries, et les systèmes de stockage énergétique. Il est crucial de caractériser les défaillances potentielles de ces composants et d'analyser leurs impacts sur la stabilité du réseau. Un autre aspect est la création d'une base de données pour développer des méthodes de détection précoce des défaillances à l'aide de l'intelligence artificielle, permettant une maintenance prédictive. Cette approche anticipe les besoins de maintenance, optimise les opérations, et réduit les coûts de réparation.

En conclusion, cette thèse contribue significativement à la recherche sur les smartgrids, proposant une approche innovante pour relever les défis techniques et scientifiques liés à leur maintenance. Elle ouvre la voie à des progrès dans la gestion et l'optimisation des réseaux électriques, soutenant ainsi la transition énergétique.

2- Présentation du projet

2.1 - Positionnement par rapport à l'état de l'art

Les recherches actuelles sur les défaillances des composants des smartgrids se concentrent sur plusieurs strates du réseau, notamment les composants physiques, logiciels, de communication et commerciaux. Cette thèse se focalise sur les composants physiques.

Des études ont développé des modèles numériques de smartgrids sous MATLAB/Simulink pour intégrer des sources d'énergies renouvelables et des systèmes de stockage, permettant de tester et valider les technologies de réseau intelligent [1], [2], [3], [4]. Par exemple, Gupta et al. [5] ont utilisé une approche probabiliste pour identifier les causes critiques de défaillances en cascade, tandis que Mousa et al. [4] ont modélisé des défauts comme les courts-circuits et les circuits ouverts.

Les modèles de maintenance prédictive, souvent basés sur l'intelligence artificielle, sont essentiels pour optimiser la disponibilité énergétique des smartgrids [6]. Ces modèles nécessitent des jeux de données importants sur les états fonctionnels et défaillants des composants [7],[8].

L'objectif de cette thèse est de modéliser un smartgrid et ses défaillances courantes, d'observer les réponses électriques et de créer une base de données pour l'apprentissage des intelligences artificielles dans la détection précoce des défaillances.

2.2 - Programme / échéancier prévisionnel

Le programme prévisionnel permettant l'accomplissement des objectifs est le suivant.

Mois 1-3 / Veille continue : Revue de la Littérature

Durant les premiers mois, la/le candidat(e) effectuera une revue approfondie de la littérature scientifique sur les smartgrids, la modélisation des composants, des défaillances et la détection de ces dernières. Cependant, elle/il poursuivra tout du long du doctorat une veille scientifique pour se tenir à jour des dernières avancées.

Mois 4-9 : Modélisation Avancée des Composants

Une fois que la/le candidat(e) aura acquis les connaissances requises pour la réalisation du travail de thèse, celle-ci/celui-ci renforcera ses compétences à l'utilisation de MATLAB/Simulink pour la modélisation des composants des smartgrids. En parallèle, elle/il identifiera les caractéristiques physiques clefs (comportement en fonction de la température, de l'ensoleillement, de la tension du bus continu...) nécessaires au développement de modèles numériques sophistiqués pour représenter le comportement dynamique des composants dans divers scénarios opérationnels. Ces scénarios s'orienteront sur différentes périodes saisonnières, notamment sur les saisons estivales et hivernales où les consommations énergétiques sont inversées mais où les productions photovoltaïques le sont aussi en étant en opposition avec la consommation.

Mois 10-19 : Modélisation des Défautes

L'étape suivante concerne l'identification des principaux types de défaillances des composants dans les smartgrids sur plusieurs échelles de temps. Une fois les principaux défauts identifiés, la/le candidat(e) élaborera des modèles de défaillance dans MATLAB/Simulink afin de simuler divers scénarios de panne. Les réactions du système aux défaillances simulées seront analysées pour évaluer leur incidence sur la stabilité et les performances du réseau, ainsi que pour identifier leurs signatures dans les comportements des composants.

Mois 20-30 : Caractérisation des Défaillances et Construction de la Base de Données

Les signatures des réponses du système aux défaillances simulées seront ensuite analysées pour identifier des motifs caractéristiques dans les signaux électriques. Ces motifs seront ensuite catalogués pour permettre la construction d'une base de données des défaillances potentielles, de leurs échelles temporelles et des signatures électriques associées. Ces signatures seront validées par l'utilisation de nouveaux scénarios de fonctionnement du smartgrid en évaluant si ces signatures sont bien pertinentes pour des situations dans lesquelles elles n'avaient pas été identifiées.

Mois 31-36 : Rédaction et Soutenance de la Thèse

Les derniers mois seront dédiés à la rédaction des chapitres de la thèse et à la révision et la correction par le directeur de thèse et le co-encadrant, mais également à la préparation de la soutenance de thèse pour la présentation des résultats devant le jury.

Ce programme prévisionnel est sujet à des ajustements en fonction de l'avancement du projet et des résultats obtenus au cours de la recherche.

3- Objectifs et résultats attendus

La thèse vise à explorer les défis techniques et scientifiques des smartgrids pour garantir leur fiabilité et disponibilité. Les résultats attendus auront un impact significatif sur la gestion et la résilience des réseaux électriques intelligents.

L'objectif principal est de perfectionner la modélisation des composants des smartgrids en utilisant MATLAB Simulink. Cette approche permettra de mieux comprendre le comportement dynamique des éléments clés tels que les panneaux photovoltaïques, les batteries, et les convertisseurs de puissance. En intégrant les caractéristiques physiques et électriques de ces composants, la modélisation avancée permettra une conception plus précise des smartgrids, adaptable à différentes tailles et compositions.

La recherche porte également sur la modélisation des défaillances potentielles des smartgrids. En simulant divers types de pannes dans un environnement contrôlé, l'objectif est d'évaluer leur impact sur la stabilité et la performance du système. Ces modèles de pannes pourront être utilisés pour valider leur pertinence et permettre des avancées pour la communauté scientifique. Cette approche permettra d'anticiper et de prévenir les défaillances, renforçant ainsi la robustesse des réseaux électriques intelligents.

Le résultat attendu est la création d'une base de données des défaillances potentielles, de leurs échelles temporelles et des signatures électriques associées. Cette base de données servira de référence pour le développement de modèles de

simulation et d'algorithmes de détection des défaillances, permettant de tester la solidité et l'efficacité des méthodes proposées. Elle constituera une ressource précieuse pour la communauté de recherche sur les smartgrids, favorisant la collaboration et le partage des connaissances.

En conclusion, cette thèse promet d'apporter une contribution significative à l'avancement des connaissances sur les smartgrids, en proposant des solutions innovantes pour relever les défis techniques et scientifiques associés à ces systèmes complexes. Les résultats permettront de développer des outils de maintenance prédictive par intelligence artificielle, contribuant ainsi à façonner l'avenir de l'énergie durable et intelligente.

4- Profil recherché

La/le candidat(e) doit être en possession d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur dans le domaine du génie électrique à la rentrée 2025. Il devra avoir de solides connaissances dans les domaines de l'électrotechnique, le génie énergétique et une bonne maîtrise des outils de simulation, tels que MATLAB Simulink. Une bonne compréhension des principes de fonctionnement des systèmes photovoltaïques, des batteries, des piles à hydrogène, des électrolyseurs et des convertisseurs de puissance est essentielle pour appréhender correctement les phénomènes étudiés.

Une bonne compréhension en traitement du signal et en analyse des systèmes électriques est également requise, car une partie importante de la recherche consistera à étudier les réponses des composants et du réseau aux défauts simulés. La/le candidat(e) devra être capable de développer des modèles numériques robustes et de proposer des méthodologies innovantes pour caractériser les signatures électriques des défaillances.

Enfin, la/le candidat(e) devra faire preuve d'autonomie, de curiosité scientifique et de rigueur méthodologique, tout en ayant une bonne aptitude à travailler en équipe et à communiquer ses résultats, que ce soit à travers des rapports techniques, des publications scientifiques ou des présentations orales.

5- Bibliographie sélective

- [1] S. Mallapuram, P. Moulema, et W. Yu, « A smart grid simulation testbed using Matlab/Simulink », in *Cyber Sensing 2014*, SPIE, juin 2014, p. 30-38. doi: 10.1117/12.2050392.
- [2] V. Gaikwad, A. Tcolov, et I. Yatchev, « Matlab Modeling of Real Grid for Fault Analysis », in *2018 International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech)*, juin 2018, p. 1-6. doi: 10.1109/HiTech.2018.8566258.
- [3] P. Chowdhury, I. Koley, S. Sen, P. K. Saha, et G. K. Panda, « Modelling, simulation and control of a grid connected non conventional solar power generation system using matlab », *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2, n° 4, p. 1183-1191, 2013.
- [4] M. Mousa, S. Abdelwahed, et J. Kluss, « Review of Diverse Types of Fault, Their Impacts, and Their Solutions in Smart Grid », in *2019 SoutheastCon*, Huntsville, AL, USA: IEEE, avr. 2019, p. 1-7. doi: 10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020355.
- [5] S. R. Gupta, F. S. Kazi, S. R. Wagh, et N. M. Singh, « Probabilistic framework for evaluation of smart grid resilience of cascade failure », in *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, mai 2014, p. 255-260. doi: 10.1109/ISGT-Asia.2014.6873799.
- [6] M. Laurent Karsenti, M. Christophe Feuillard, et M. Yann Toravel, « Roll Out and Learnings of Smart Grids (The French Experience) », in *ISGW 2018 Compendium of Technical*



Papers: 4th International Conference and Exhibition on Smart Grids and Smart Cities, Springer, 2020, p. 89-96.

- [7] S. Barja-Martinez, M. Aragüés-Peñalba, Í. Munné-Collado, P. Lloret-Gallego, E. Bullich-Massagué, et R. Villafafila-Robles, « Artificial intelligence techniques for enabling Big Data services in distribution networks: A review », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 150, p. 111459, oct. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111459.
- [8] T. Jiang *et al.*, « Research on Power Grid Fault Diagnosis Technology Based on Deep Learning », in *2022 Power System and Green Energy Conference (PSGEC)*, août 2022, p. 533-542. doi: 10.1109/PSGEC54663.2022.9880915.