

Sujet de la thèse

Approche probabiliste pour l'analyse de dégradation en vue d'un contrôle optimal des éoliennes.

Cadre de la thèse

Allocation doctorale pour trois ans attribuée dans la cadre des bourses inter-ED et accordées par le collège doctoral d'Aix-Marseille.

1. Contexte général et problématique scientifique

La hausse de la demande d'énergie a permis d'augmenter les investissements dans ce domaine, de diversifier les sources de production et d'intensifier les nouvelles pistes d'exploration. La production d'énergies renouvelables a pu ainsi passer à grande échelle et apporter une possibilité de production à faible gaz à effet de serre. L'efficacité de la production d'énergie repose essentiellement sur sa stabilité. Dans le cadre énergies renouvelables, la production étant contrainte aux conditions environnementales, la stabilité nécessite des technologies très avancées et des appareils de production durables.

Dans le cadre des éoliennes, le vent n'étant pas une source maîtrisable, la stabilité de la production repose sur la technologie, les matériaux utilisés, le contrôle et l'efficacité de maintenance. La fiabilité et la durabilité des composants sont en amélioration continue mais certaines sources de dégradation et de défaillance sont au cœur des enjeux énergétiques actuels. Les dernières études menées sur les éoliennes montrent que les composants électroniques et le système de régulation automatique de vitesse sont les causes d'une grande majorité des défaillances. Le régulateur est un élément essentiel à la survie d'une éolienne, afin d'éviter la destruction de l'aéromoteur lorsque le vent est trop violent. Le système de régulation aérodynamique actif s'effectue à l'aide d'un contrôleur automatique en boucle fermée et il est efficace mais considéré comme le plus complexe des contrôleurs. La dégradation de ce système de régulation peut entraîner une baisse de production, des arrêts inattendus et même la panne complète de l'éolienne, voire la casse lors d'un vent très violent. C'est pourquoi, l'étude de la dégradation de ce régulateur permet de détecter rapidement ses dérives et d'agir efficacement pour éviter une panne ou une très grande perte de production. La dégradation du contrôleur n'est pas directement mesurable. Ainsi, l'action de maintien des pâles dans une la direction désirée, à travers le contrôleur, entraîne une mise en place d'un processus de détériorations en chaine dommageable pour le système éolien.

La qualité de l'estimation de la durée de vie restante (RUL) repose sur d'une part sur la capacité à modéliser et à simuler la dégradation du système de régulation aérodynamique actif et, d'autre part, sur le choix et la modélisation de l'indicateur de dégradation observable. La dégradation de ce système de régulation a déjà été considéré dans la littérature [1]. Cependant, les auteurs n'ont pas réussi à exhiber un indicateur de dégradation observable. En simplifiant le système de contrôle et en minimisant l'incertitude liée aux facteurs environnementaux les auteurs dans [2,3] ont réussi à proposer un indicateur de dégradation et des méthodes pour estimer la durée de vie restante de l'éolienne. Notons que la prise en compte exhaustive de l'incertitude dans la modélisation du vent est essentielle pour une prédiction pertinente de la durée de vie restante de l'éolienne. Pour ce faire, des modèles statistiques existants dans la littérature peuvent être exploités et enrichis en intégrant le phénomène de turbulence dans la modélisation [4,5]. La modélisation de dégradation peut se fonder sur des résultats obtenus sur la modélisation stochastique de la dégradation de ce systèmes de contrôle aérodynamique [6,7]. De manière

générale, l'approche adoptée est basée sur des modèles probabilistes évoluant dans le temps, leur calibration en présence de données et l'analyse de leur propriétés mathématiques [8].

2. Objectif de la thèse et organisation des travaux de recherche

L'objectif de la thèse est de développer des outils d'analyse de dégradation, de nature probabiliste, en vue d'une exploitation efficace des éoliennes et fondée sur un contrôle optimale et adaptatif. Il s'agit d'une thématique de recherche intéressante et un challenge technologique tout à fait d'actualité.

La réalisation de l'objectif global de la thèse nécessite d'aborder plusieurs aspects interdisciplinaires, à savoir :

- Identification des sources et types de dégradations possibles
- Analyse du contrôle et mise en œuvre d'outil simulation
- Analyse des phénomènes de vieillissement et environnementaux
- Etude de l'effet des dégradations sur le positionnement des pales
- Synthèse de contrôle adaptatif

Les travaux de thèse seront organisés en plusieurs étapes :

- Recherche bibliographique et état de l'art. Cette étape obligatoire dans tous travaux de thèse, consiste à faire un état de l'art sur les différentes approches d'analyse de dégradation notamment celles fondées sur des approches probabilistes. Aussi, une synthèse des techniques de régulation aérodynamique actif serait très utile pour la réalisation des travaux de thèse.
- Simulation du fonctionnement de l'éolienne. Le but est de disposer d'un simulateur de description de l'éolienne dans son environnement venteux. Le simulateur sera primordial pour collecter en temps réel les données sur les dérives du positionnement des pales ou de la production électrique. Les compétences en modélisation des systèmes mécaniques et de logiciels dédiés disponibles dans un laboratoire d'accueil (à savoir, M2P2) seront utiles à la réalisation du simulateur.
- Etude de la fiabilité et la durabilité. Une analyse de la fiabilité du système et de sa durabilité est une étape important de la thèse. Cette étude sera fondée sur les données collectées en temps réel à partir du simulateur conçu à l'étape précédente. Une analyse statistique permettra d'extraire des indicateurs de l'état de santé de l'éolienne. Finalement, l'estimation de la RUL permet d'établir des mesures de fiabilité et de durabilité du système.
- Synthèse de contrôle optimal adaptatif. Après la détermination d'une méthodologie pour l'estimation de la RUL, la synthèse d'un régulateur adaptatif tenant compte de l'état de santé de l'éolienne sera abordée. Il s'agit d'établir une stratégie de contrôle adaptative et tenant compte de l'état de santé de l'éolienne. Les compétences sur la commande des systèmes et en génie électrique disponibles au laboratoire LIS seront mis à disposition en vue de la synthèse du régulateur.
- Validation des différentes stratégies. Afin de valider les différentes stratégies établis, des tests seront réalisés sur des procédés d'émulation d'éolienne disponibles aux deux laboratoires LIS et GIPSA-Lab (voir Figure 1)

3. Candidature

La thèse sera réalisée conjointement entre les laboratoires M2P2 et LIS (Marseille) et en collaboration avec le laboratoire GIPSA-lab (Grenoble). Les activités de recherche sont de nature interdisciplinaire exploitant simultanément des compétences en mathématiques appliquées, en mécanique des fluides, en automatique et en génie électrique. Le profil idéal serait une personne disposant d'une formation en mathématique appliquée ou en EEA qui serait motivée par la modélisation des aspects physiques, notamment ceux issues de la mécanique des fluides et des procédés issues du génie électrique. Pour plus d'information, les encadrants de thèse sont disponibles aux adresses suivantes :

mitra.fouladirad@centrale-marseille.fr (Mitra Fouladirad)

rachid.outbib@univ-amu.fr (Rachid Outbib)

Références

- [1] Ma, J., Fouladirad, M., & Grall, A. (2018). Flexible wind speed generation model: Markov chain with an embedded diffusion process. *Energy*, 164, 316-328.
- [2] Obando, D. R., Martinez, J. J., & Bérenguer, C. (2021). Deterioration estimation for predicting and controlling RUL of a friction drive system. *ISA transactions*, 113, 97-110.
- [3] Félix, M. S., Martinez, J. J., Bérenguer, C., & Tidiri, K. (2022, November). Degradation analysis in a controlled flexible drive train subject to torsional phenomena under different wind speed conditions. In *2022 10th International Conference on Systems and Control (ICSC)* (pp. 90-95). IEEE.
- [4] Monbet, V., Ailliot, P., & Prevosto, M. (2007). Survey of stochastic models for wind and sea state time series. *Probabilistic engineering mechanics*, 22(2), 113-126.
- [5] Porté-Agel, F., Bastankhah, M., & Shamsoddin, S. (2020). Wind-turbine and wind-farm flows: A review. *Boundary-layer meteorology*, 174, 1-59.
- [6] Langeron, Y., Grall, A., & Barros, A. (2015). A modeling framework for deteriorating control system and predictive maintenance of actuators. *Reliability Engineering & System Safety*, 140, 22-36.
- [7] Nguyen, D. N., Dieulle, L., & Grall, A. (2015). Remaining useful lifetime prognosis of controlled systems: a case of stochastically deteriorating actuator. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [8] Kahle, W., Mercier, S., & Paroissin, C. (2016). *Degradation processes in reliability*. John Wiley & Sons.

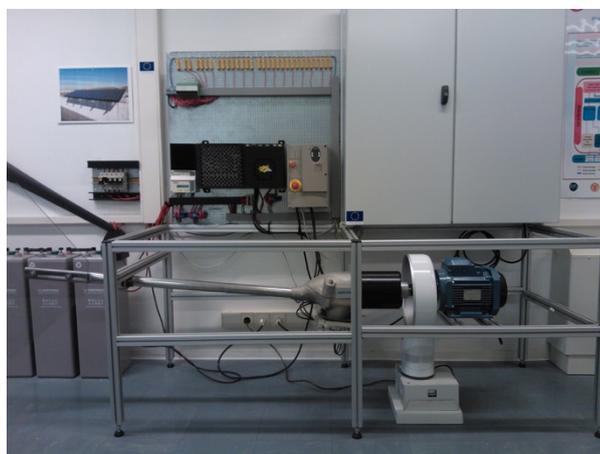


Figure 1 Dispositif d'émulation d'éolienne (Plateforme SUPER – Laboratoire LIS)