

**Titre en français :** Analyse de l'incertitude dans un parc éolien

**Titre en anglais :** Uncertainty analysis in a windfarm

**Nom du directeur de thèse :** Mitra FOULADIRAD (directrice), Christophe FRIESS (directeur)

**E-Mail :** mitra.fouladirad@centrale-marseille.fr, christophe.friess@univ-amu.fr

**Laboratoire :** M2P2

**Type de financement :** MESRI

**Résumé en français :**

La production fiable d'énergie renouvelable est au coeur des enjeux sociétaux, économiques et politiques. Les systèmes de production d'énergie renouvelable ont gagné en complexité afin d'optimiser la production et d'assurer sa stabilité. Garantir une production stable et suffisante repose sur la fiabilité, la durabilité et l'efficacité des éoliennes. L'optimisation de ces derniers nécessite une analyse complète des facteurs qui impactent le fonctionnement des éoliennes. Cette analyse fait appel aux différents domaines scientifiques qui par leurs avancées, permettent une projection à long terme des différentes propriétés des éoliennes [1].

Dans le cadre d'un parc éolien, le rendement et la durabilité des éoliennes dépendent essentiellement des propriétés du vent, de la position géographique du parc ainsi que du placement des éoliennes au sein du parc. Une étude approfondie de la durabilité et de l'efficacité des éoliennes ne peut se faire qu'à travers l'étude du vent dans un parc éolien. Cette étude repose sur l'analyse des différents paramètres impactant le dynamique du vent et de l'incertitude liée à ces derniers [2,3].

En effet, les propriétés du vent, autant aérodynamiques que thermo-physiques, évoluent de façon spatio-temporelle, plus ou moins aléatoirement. Il s'agit ainsi d'étudier la couche limite atmosphérique. Cette dernière a déjà fait l'objet de nombreux travaux, expérimentaux et numériques [4,5]. Ce problème, alliant mécanique des fluides et météorologie, consiste à prédire l'évolution des paramètres du vent : vitesse, température, pression, humidité à proximité du sol. Ce dernier peut être plus ou moins complexe (vallonné, rugueux...)

Il existe différentes sources d'incertitude dans le cadre de la modélisation du vent dans un parc éolien [6]. Une première analyse sur ces sources permettrait de proposer une modélisation probabiliste adaptée. L'intégration de ce modèle dans le modèle physique du vent aiderait à évaluer les risques d'une baisse ou d'instabilité de production [7].

La caractérisation du vent amont se fera via une étude multi-physique de la couche limite atmosphérique. Cette étude sera faite principalement au moyen des méthodes hybrides RANS/LES, qui permettent de simuler les écoulements non-stationnaires à un coût de calcul modéré. Les aspects multi-physiques (turbulence en mécanique des fluides, thermodynamique, etc.) et topologiques (forme et rugosité au sol, dans le domaine simulé) seront au cœur de l'étude. En considérant les données simulées du vent ainsi que les paramètres sélectionnés, l'analyse de l'incertitude et la modélisation de cette dernière se feront à travers les méthodes statistiques et numériques [8].

Ce projet se déroule au sein de l'équipe ITC (Instabilités, Turbulence, Couplage) du laboratoire M2P2 (Mécanique, Modélisation et Procédés Propres).

**Profil du candidat recherché (prendre contact au plus tard le 31 mars 2024) :**

- Master ou diplôme d'ingénieur en mécanique des fluides, intérêt pour les méthodes numériques.

**Résumé en anglais :**

The energy production is an important issue and the renewable sources of energy production have attracted a lot of attention lately. The renewable energy production systems have gained in complexity in order to optimize the production and to ensure its stability. The reliability, availability, production and efficiency of these systems are essential to guarantee a stable and acceptable production level. The efficiency and the availability of these systems require a complete analysis of the major factors impacting the operation and production. This analysis relies on different scientific fields and permits to study long term properties of these systems [1].

In the context of a wind farm, the performance and durability of the wind turbines depends primarily on the wind properties, the geographical position of the wind farm and the placement within the wind farm. A thorough study of the durability and efficiency of wind turbines can only be performed after a complete analysis of the properties of the input factors of the system, i.e., the wind. In order to achieve this goal, it is essential to study the variability of the wind in a wind farm, to analyse the different parameters impacting the wind and evaluate the uncertainty related to this latter [2,3].

Indeed, the wind properties, both aerodynamic and thermo-physical, evolve spatially and temporally, more or less randomly. It is thus necessary to study the atmospheric boundary layer. The latter has already been the subject of numerous works, both experimental and numerical [4,7]. This problem, combining fluid mechanics and meteorology, consists in predicting the evolution of wind parameters: velocity, temperature, pressure, humidity near the ground. The latter can be more or less complex (hilly, rough...)

In the framework of wind speed modelling in a wind farm, different types and sources of uncertainty can be distinguished: uncertainty related to the random nature of the phenomenon, related to data, to the model or to the available information [6]. A first analysis of these sources, in the framework of wind speed modelling, will allow to focus on the major influencing factors. Afterward, the impact of these factors on the model will be studied through suitable mathematical tools. A sensitivity analysis will be performed in order to be able to evaluate the risk of production reduction or instability [7].

The characterization of the upstream wind will be performed via a multiphysics study of the atmospheric boundary layer. This study will be done mainly by means of hybrid RANS/LES methods, which allow the simulation of unsteady flows at a moderate computational cost. The multiphysics (turbulence in fluid mechanics, thermodynamics, etc.) and topological (shape and roughness on the ground, in the simulated domain) aspects will be at the heart of the study. Considering the simulated wind data and the selected parameters, the analysis of the uncertainty and the modelling of this latter will be performed through statistical and numerical methods [8].

This project takes place in the ITC team (Instabilities, Turbulence, Coupling) of the M2P2 laboratory (Mechanics, Modeling and Clean Processes).

**Candidate skills (please contact us before March, 31<sup>st</sup> 2024) :**

- Training in mechanics (Master), interest for numerical methods.

**Publications sur le sujet / Publications on the subject:**

- [1] Zakaria, A., Ismail, F. B., Lipu, M. H., & Hannan, M. A. (2020). Uncertainty models for stochastic optimization in renewable energy applications. *Renewable Energy*, 145, 1543-1571.
- [2] Pérez, J. M. P., Márquez, F. P. G., Tobias, A., & Papaelias, M. (2013). Wind turbine reliability analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 463-472.
- [3] Damiani, R. R. (2018). *Uncertainty and Risk Assessment in the Design Process for Wind* (No. NREL/TP-5000-67499). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- [4] Monin, A. S. (1970). The atmospheric boundary layer. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2(1), 225-250.
- [5] Stevens, R. J., & Meneveau, C. (2017). Flow structure and turbulence in wind farms. *Annual review of fluid mechanics*, 49, 311-339.
- [6] Lackner, M. A., Rogers, A. L., and Manwell, J. F. (July 1, 2008). "Uncertainty Analysis in MCP-Based Wind Resource Assessment and Energy Production Estimation." *ASME. J. Sol. Energy Eng.* August 2008; 130(3): 031006.
- [7] Murcia, J. P., Réthoré, P. E., Dimitrov, N., Natarajan, A., Sørensen, J. D., Graf, P., & Kim, T. (2018). Uncertainty propagation through an aeroelastic wind turbine model using polynomial surrogates. *Renewable Energy*, 119, 910-922.
- [8] Araya, D. A. (2021). *Offshore Wind Farm CFD Modelling: Uncertainty Quantification and Polynomial Chaos*. The University of Manchester (United Kingdom).

**Insertion professionnelle après thèse :** publique et/ou privée