

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

**Titre en anglais :** Uncertainty analysis in a windfarm based on wind data

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

**Tel :**

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

**Laboratoire :** M2P2

**Financement :** demandé

**Type de financement :** MESRI

**Résumé en français :**

La production d'énergie à ce jour a une importance majeure et dans ce contexte les sources renouvelables attirent de plus en plus l'attention. Les systèmes de production d'énergie renouvelable ont gagné en complexité afin d'optimiser la production et d'assurer sa stabilité. L'étude de la fiabilité, de la durabilité, de la production et de l'efficacité de ces systèmes est essentielle pour garantir une production stable et suffisante. L'efficacité et la durabilité de ces systèmes nécessitent une analyse complète des facteurs qui impactent le fonctionnement de ces derniers. Cette analyse fait appel aux différents domaines scientifiques qui par leur avancés permettent une projection à long terme des différentes propriétés de ces systèmes [1].

Dans le cadre d'un parc éolien, le rendement et la durabilité des éoliennes dépend essentiellement des propriétés du vent, de la position géographique du parc ainsi que du placement des éoliens au sein du parc. Une étude approfondie de la durabilité et de l'efficacité des éoliennes ne peut se faire qu'après une analyse complète des facteurs d'entrées du système, c'est-à-dire le vent. Dans cet objectif, il est donc primordial de mener une étude de la variabilité du vent dans un parc éolien, analyser les différents paramètres impactant le vent et évaluer l'incertitude liée à ce dernier [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...)

Dans le cadre de la modélisation du vent dans un parc éolien, différentes sources et types d'incertitude peuvent être distingués, à savoir l'incertitude liée à la nature aléatoire du phénomène ou l'incertitude épistémique liée aux données, aux informations et au modèle [6]. Une première analyse sur les sources et les types d'incertitude dans le cadre de la modélisation du vent permettrait de se focaliser sur les facteurs les plus dominants. Par la suite, l'impact de ces incertitudes sur le modèle serait étudié via une modélisation mathématique. Une analyse de sensibilité serait à établir afin de pouvoir proposer un modèle permettant d'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 instationnaires 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, Contrôle) du laboratoire M2P2 (Mécanique, Modélisation et Procédés Propres).

### **Résumé en anglais :**

The energy production is an important issue and the renewal sources of energy production have attracted a lot of attention lately. The renewal 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 done 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, in a 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 permit 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 established 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].

### **Profil du candidat recherché :**

-Appétence pour la modélisation mathématique et la mise en œuvre des méthodes numériques.

-Formation en mathématiques appliquées ou mécanique ou statistiques

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

Processes).

Profile of the candidate :

- Appetence in mathematical modeling and implementation of numerical methods.
- Training in applied mathematics or mechanics or statistics

**Publications sur le sujet :**

- [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., & Papaalias, 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