

## **Soutenance de thèse CNRM**

***lundi 28 septembre 2026 à 14h***

### ***INTERACTIONS ENTRE LES ÉOLIENNES ET LA STRATIFICATION DE L'ATMOSPHÈRE : IMPACTS SUR LA MÉTÉOROLOGIE PROCHE DE LA SURFACE***

**par Paul BOUMENDIL (CNRM/GMME)**

**au CIC**

Lien visioconférence : <https://meteo.webex.com/metefr/j.php?MTID=m03de022e7c14929690bb6f8a39c1904f>

#### **Membres du jury**

|                          |                          |                       |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Mme Sandrine AUBRUN      | Ecole Centrale de Nantes | Rapporteuse           |
| M. Philippe DROBINSKI    | CNRS                     | Rapporteur            |
| Mme Christine LAC        | Météo-France/CNRM        | Examinatrice          |
| M. Boris CONAN           | Ecole Centrale de Nantes | Examineur             |
| M. Valéry MASSON         | Météo-France/CNRM        | Directeur de thèse    |
| M. Pierre-Antoine JOULIN | IFPEN                    | Co-encadrant de thèse |
| M. Quentin Rodier        | Météo-France/CNRM        | Invité, Co-encadrant  |

#### **Résumé de la thèse en français :**

L'énergie éolienne occupe une place croissante dans la transition vers une production d'électricité bas carbone. Cependant, de nombreuses études ont mis en évidence des modifications de la température, de l'humidité, du vent et des flux turbulents près de la surface en présence de parcs éoliens. L'objectif de cette thèse est d'étudier l'impact des éoliennes sur les conditions atmosphériques proches du sol afin de mieux comprendre l'influence de ces infrastructures sur leur environnement immédiat. Pour répondre à cette problématique, une méthode

**CNRM, UMR 3589**

numérique couplée, basée sur des simulations à haute résolution, a été développée, validée et appliquée à des cas d'étude réalistes. La première partie des travaux a consisté à implémenter et valider un modèle de disque actuateur en rotation (Actuator Disk with Rotation, ADR) dans le modèle atmosphérique de simulation aux grandes échelles turbulentes (Large-Eddy Simulation, LES) Meso-NH. L'objectif était d'étudier les variations de température induites par une éolienne isolée. La comparaison avec des mesures expérimentales a montré que les simulations idéalisées reproduisent correctement les variations de température observées sous différentes conditions de stabilité atmosphérique. Les résultats ont également mis en évidence le rôle des mouvements verticaux induits par les éoliennes et notamment de la rotation du sillage dans la formation des anomalies de température près de la surface.

Dans le prolongement de ces premiers travaux, une méthode utilisant des simulations multi-échelles a été développée afin de s'affranchir des conditions atmosphériques idéalisées. Cette approche combine un forçage météorologique issu de modèles opérationnels, le modèle atmosphérique Meso-NH, le modèle de surface SURFEX ainsi que la paramétrisation ADR des éoliennes. Cette méthode numérique permet de reproduire des conditions atmosphériques réalistes et complexes et offre un outil adapté à l'étude détaillée des interactions entre les éoliennes et l'atmosphère. Ce dispositif a ensuite été utilisé pour étudier les interactions entre un parc éolien implanté dans une zone viticole en terrain complexe et une atmosphère fortement stable lors d'un épisode de gel radiatif printanier. Les simulations montrent que le fonctionnement des éoliennes génère un mélange vertical susceptible de perturber la formation des couches d'air froid près du sol. Dans des conditions très stables, un réchauffement local pouvant atteindre 1,6 °C est observé à proximité immédiate de certaines éoliennes, suggérant un effet potentiel d'atténuation du risque de gel au sein du parc. À l'échelle de la ferme éolienne, environ une heure de fonctionnement suffit à modifier la circulation atmosphérique locale et à déplacer un écoulement catabatique d'air froid de 100 à 400 m.

Cette thèse montre que les simulations couplées haute résolution atmosphère-surface-éoliennes constituent un outil performant pour étudier les interactions complexes entre les parcs éoliens et la météorologie locale dans des conditions atmosphériques réalistes. Le cadre de modélisation développé ouvre de nouvelles perspectives pour l'étude des impacts des parcs éoliens sur les processus atmosphériques et contribue au développement durable de l'énergie éolienne, tout en favorisant une meilleure intégration de ces infrastructures dans leur environnement.

**Résumé de la thèse en anglais :**

Wind energy is playing an increasingly important role in the transition toward low-carbon electricity production. However, several studies have reported changes in near-surface temperature, humidity, wind, and turbulent fluxes associated with wind farms. The objective of this thesis is to investigate the impact of wind turbines on near-surface atmospheric conditions to better understand the influence of such infrastructures on their immediate environment. To address this issue, a high-resolution coupled numerical framework was developed, validated, and applied to realistic case studies. The first work focused on the implementation and validation of an Actuator Disk with Rotation (ADR) model within the Large-Eddy Simulation (LES) atmospheric model Meso-NH to investigate temperature variations induced by a single wind turbine. Validation against experimental measurements demonstrated the ability of the idealized simulations to reproduce temperature variations under different atmospheric stability conditions. The results also highlighted the role of turbine-induced vertical motions and wake rotation in shaping near-surface temperature variations. Building upon these first developments, a multi-scale modeling framework was designed and validated to move beyond idealized atmospheric conditions. This approach combines large-scale meteorological forcing from operational weather models, the Meso-NH atmospheric model, the SURFEX land surface model, and ADR wind turbine parameterization. The resulting framework demonstrated the capability to reproduce realistic and complex atmospheric conditions, enabling detailed investigations of turbine-atmosphere interactions. This framework was subsequently applied to investigate the interaction between a wind farm located in a vineyard area with complex terrain and a highly stable atmosphere during a spring radiative frost event. Results showed that turbines operation can induce vertical mixing capable of disrupting the formation of near-surface cold air layers. Under highly stable atmospheric conditions, local warming of up to 1.6 °C was found in the immediate vicinity of some wind turbines, suggesting a potential mitigation effect on frost occurrence within the wind farm. At the wind-farm scale, approximately one hour of turbine operation modified the local atmospheric circulation, leading to a displacement of a katabatic cold-air flow by 100 to 400 m. Overall, this thesis demonstrates that high-resolution coupled simulations combining the atmosphere, the surface, and wind turbines are capable of investigating complex interactions between wind farms and local meteorology under realistic atmospheric conditions. The developed framework opens new perspectives for studying wind farm impacts on atmospheric processes and for supporting the sustainable development of wind energy in the future.