
Titre : Customisation de l'écoulement incident à l'échelle de la pale d'une éolienne à l'aide d'essais en soufflerie et de simulations CFD

Mots clés : Jumeau numérique, aérodynamique, évolution de l'ECT, cellules de décollement, soufflerie, CFD.

Résumé : La thèse aborde deux défis majeurs : modéliser et prédire les écoulements turbulents atmosphériques et les charges aérodynamiques associées. Le premier défi utilise la CFD pour reproduire l'énergie cinétique turbulente (ECT). Un cadre pour simuler l'évolution de l'ECT est développé à partir de la turbulence générée par grille. Un modèle théorique de décroissance de l'ECT dans des écoulements homogènes est dérivé, basé sur l'échelle de Taylor et le spectre énergétique. Validé par des données expérimentales et des simulations avec le modèle k-w SST Menter, il prédit la décroissance de l'ECT sans ajustement. Les écoulements inhomogènes générés par demi-grilles montrent une turbulence soutenue due au cisaillement, avec des spectres suivant la loi de Kolmogorov $-5/3$, suggérant un développement futur des modèles.

Le second défi est de reproduire les charges aérodynamiques à des nombres de Reynolds élevés (plus de 20 millions), au-delà des limites expérimentales. Un jumeau numérique, validé par des données de soufflerie et extrapolé aux turbines offshore, est utilisé. Les tests au LHEEA confirment son exactitude, validant le modèle k-w SST Menter pour le calcul des forces. Les simulations DDES révèlent des structures d'écoulement 3D, incluant des cellules de décollement sur la face d'aspiration, expliquées par la vorticité. Les écoulements inhomogènes, ayant un impact plus fort sur les forces, sont étudiés avec les homogènes. Cette thèse valide l'utilité du jumeau numérique pour améliorer les prédictions et comprendre les effets des écoulements turbulents sur l'aérodynamique.

Title : Wind inflow customisation at wind turbine blade scale using wind tunnel experiments and CFD simulation

Keywords : Digital twin, aerodynamics, TKE evolution, stall cells, wind tunnel, CFD.

Abstract : The thesis addresses two main challenges: modelling and predicting turbulent flows in atmospheric conditions and the resulting aerodynamic loads. The first challenge uses computational fluid dynamics (CFD) to replicate turbulence kinetic energy (TKE). A framework for simulating TKE evolution is developed from grid-generated turbulence. A theoretical model for TKE decay in homogeneous inflows is derived, emphasising its reliance on the Taylor micro-scale and energy spectrum. Validated by experimental data and simulations using the k-w SST Menter model, the model accurately predicts TKE decay without fitting parameters. Inhomogeneous inflows generated by half grids show sustained turbulence due to shear, with energy spectra following Kolmogorov's $-5/3$ law, supporting further model development.

The second challenge involves replicating aerodynamic loads at high Reynolds numbers (over 20 million), beyond experimental limits. A digital twin framework, validated against wind tunnel data addresses this. Initial tests in the LHEEA wind tunnel confirm the twin's accuracy, supporting the k-w SST Menter model for force calculations. DDES simulations reveal 3D flow structures, including stall cells on the airfoil's suction side, explained by vorticity. Homogeneous and inhomogeneous inflows are studied, with the latter having a greater impact on aerodynamic forces. This thesis validates the digital twin and its role in improving fluid dynamics predictions and understanding turbulent flows' effects on airfoil aerodynamics.