

Titre : Caractérisation spatio-temporelle de cellules de décrochages d'un profil de pale d'éolienne pleine échelle.

Mots clés : Soufflerie, aérodynamique, cellules de décrochage, grand nombre de Reynolds.

Résumé : Cette thèse s'inscrit dans le projet franco-suisse **MISTERY**, financé par l'ANR et le FNS, visant à mieux comprendre les interactions entre turbulence atmosphérique et profils aérodynamiques à grand nombre de Reynolds, et à développer des modèles réduits de charge pour capteurs embarqués. Les travaux se concentrent sur la **séparation de l'écoulement** sur un profil de pale de rotor de 2 MW reproduit à l'échelle 1, avec des nombres de Reynolds jusqu'à $4,2 \times 10^6$ et des angles d'attaque de -10° à 28° , en particulier 12° – 16° où apparaissent de fortes fluctuations locales.

Deux campagnes expérimentales ont été réalisées : la première a mesuré des pressions pariétales et les forces globales pour caractériser la cellule de décrochage et ses effets sur les charges locales.

La seconde a intégré des mesures de champ de vitesse par **PIV**, permettant d'étudier l'organisation tridimensionnelle et les déplacements de la cellule. Une analyse statistique et la **décomposition POD** ont montré que trois modes principaux capturent plus de 50 % de l'énergie, révélant la cohérence spatio-temporelle des cellules de décrochage. Les résultats indiquent qu'à Reynolds élevé, une seule cellule est observée, tandis qu'à Reynolds plus faible elle se divise en deux. Les fluctuations locales présentent des pics au début et à la fin du décrochage, contrastant avec l'évolution plus lisse des mesures globales. Ces travaux fournissent une **compréhension détaillée de la dynamique des cellules de décrochage**, essentielle pour la modélisation réduite et l'optimisation du suivi par capteurs.

Title : Spatio-temporal characterisation of stall cells from a full scale wind-turbine blade profile.

Keywords : Wind tunnel, aerodynamic, stall cells, high Reynolds number.

Abstract : This thesis is part of the Franco-Swiss **MISTERY** project, funded by the ANR and FNS, which aims to improve understanding of the interactions between atmospheric turbulence and aerodynamic profiles at high Reynolds numbers, and to develop reduced-order load models for embedded sensors. The work focuses on **flow separation** over a full-scale 2 MW rotor blade airfoil, with Reynolds numbers up to 4.2×10^6 and angles of attack from -10° to 28° , particularly between 12° and 16° , where strong local fluctuations occur.

Two experimental campaigns were conducted: the first measured wall pressures and global forces to characterize the stall cell and its effects on local loads.

The second included velocity field measurements using **PIV**, allowing the study of the three-dimensional organization and motion of the stall cell. Statistical analysis and **POD decomposition** revealed that three primary modes capture more than 50 % of the unstable energy, highlighting the spatio-temporal coherence of the stall cell. Results show that at high Reynolds numbers, a single stall cell is observed, while at lower Reynolds numbers, it splits into two. Local fluctuations exhibit peaks at both the onset and near the full stall angle, contrasting with the smoother global measurements. This work provides a **detailed understanding of stall cell dynamics**, essential for reduced-order modeling and optimizing sensor monitoring.