

Titre : Analyse Physique de la Couche Limite autour des Pales d'Hélices Marines: Influence des Instabilités Centrifuges sur la Transition Laminaire-Turbulente

Mots clés : Instabilités Centrifuges, DNS, LES, Transition Turbulente, Hélices Marines

Résumé : Cette thèse présente une approche numérique et expérimentale pour étudier la transition laminaire-turbulente se développant autour des pales d'hélices marines. Peu d'études s'intéressent aux mécanismes de transition dans le cas de pales en rotation, en raison de la difficulté d'accès aux données sur la dynamique de la couche limite. Une simulation aux grandes échelles sans filtrage des petites échelles turbulente (ILES) de l'écoulement en proche paroi d'une pale, étudiée dans les années 1970, est menée avec le code aux éléments spectraux Nek5000, pour faire un état des lieux des types de transitions rencontrés. Les conditions d'écoulement utilisées sont identiques aux conditions de l'étude expérimentale de référence à $Re = 600\,000$. L'analyse des résultats ILES permet de dresser une carte complète des régimes de couche limite sur la pale étudiée. Elle met en évidence le développement d'instabilités cen-

trifuges sur l'intrados. Sur l'extrados, les efforts centrifuges sont en partie masqués par l'effet du gradient de pressions. Une méthodologie jointe numérique et expérimentale, basée sur la pale de série B de Wageningen, est ensuite développée pour analyser l'influence de la géométrie des pales sur la dynamique de la couche limite transitionnelle. Un outil de génération automatique de maillage est développé pour mener des études paramétriques sur un domaine de calcul spécifique aux hélices. Expérimentalement, des essais en canal de recirculation de l'École Centrale de Nantes sont effectués en eau libre pour mesurer les performances (poussée et couple) pour diverses conditions d'opérations. L'écoulement proche paroi est étudié grâce à l'utilisation de penons répartis sur la surface des pales. Ces résultats expérimentaux constituent une base de validation pour les futures simulations ILES.

Title : Physical Analysis of the Boundary Layer Flow around Marine Propeller Blades: Influence of the Centrifugal Instabilities on the Laminar-to-Turbulent Transition

Keywords: Centrifugal Instabilities, DNS, LES, Turbulent Transition, Marine Propeller

Abstract: This PhD thesis studies the turbulent transition in boundary layer flow around marine propeller blades using numerical simulations and experiments. Accessing the boundary layer dynamic data is complex, and few studies focused on the transitional boundary layer mechanisms. Instead, the transitional region location is analyzed in the literature. A large Eddy Simulation without explicitly filtering the small turbulent eddies (ILES) of the near-wall flow of a propeller blade, studied experimentally in the 1970s, is conducted using the Nek5000 spectral element code to describe the different transition dynamics encountered. The operating conditions are taken from the reference study at $Re = 660\,000$. A complete map of the boundary layer regime is drawn from the analysis of the ILES results. It highlights the development of centrifugal instabilities on the

the centrifugal force is partly hidden behind the effect of the high pressure gradient developing on the blade surface. A joint experimental and numerical methodology is developed based on the blade of the Wageningen B-series marine propeller to study the influence of the blade geometry on the dynamics of the transitional boundary layer. An automatic mesh-generation tool is developed to conduct ILES of the near-wall flow in a numerical domain specific for marine propeller applications. Tests in the recirculating tank of the École Centrale de Nantes are conducted to experimentally measure the open-water performance (thrust, torque) of the B-series propeller for various operating conditions. The near-wall flow is investigated using tufts placed on the blades. These experimental results will be used to validate the future LES results.