

Soutenance de thèse

Félix DUCAFFY soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée «*Etude expérimentale de l'influence de la rugosité de surface sur la transition laminaire/turbulent d'une couche limite 2D en écoulement incompressible*»

Le 8 juillet 2022 à 10h00, Auditorium ONERA Toulouse

devant le jury composé de

Mme Estelle PIOT	Ingénieure de recherche ONERA	Directrice de thèse
M. Maxime FORTE	Ingénieur de recherche ONERA	Co-directeur de thèse
Mme Annie LEROY	Maîtresse de conférences Université d'Orléans	Rapporteuse
M. Jean-Christophe ROBINET	Professeur ENSAM	Rapporteur
Mme Sandrine AUBRUN	Professeure Université Nantes	
M. Grégoire CASALIS	Professeur ISAE-SUPAERO	

Résumé : L'influence de la rugosité de surface sur la transition laminaire/turbulente d'une couche limite 2D incompressible est examinée de manière expérimentale en soufflerie. En particulier, l'effet de la rugosité sur la réceptivité, et surtout l'amplification des ondes de Tollmien-Schlichting (ondes T-S) est analysée. Une expérience dont la rugosité de surface peut être partiellement changée est conçue en usinant une plaque plane pour que trois inserts rectangulaires amovibles y soient placés. Ces inserts sont soit lisses (usinés en métal) soit rugueux, fabriqués par une imprimante 3D à stéréolithographie. La plupart des résultats sont obtenus par l'anémométrie à fil chaud. Si les premiers résultats ont permis de mettre en lumière un potentiel effet de la rugosité de surface sur la réceptivité des ondes de Tollmien-Schlichting, l'essentiel de ce manuscrit est consacré à l'étude de la suramplification de ces instabilités en présence de rugosité de surface. L'accent est dans un premier temps mis sur l'étude des phénomènes par lesquels la rugosité de surface suramplifie les ondes T-S. Aucune déformation du profil moyen n'est constatée mis à part une légère inflexion à proximité immédiate de la rugosité, mais les études effectuées montrent la limite de l'anémométrie à fil chaud pour les études dans les régions aussi proches de la paroi. La possibilité que la rugosité de surface génère des stries est étudiée et confirmée, mais dans certains cas seulement. Cette génération de stries semble en effet n'avoir lieu que lorsque la rugosité de surface possède les longueurs d'ondes adaptées, au sens de la théorie des perturbations optimales, pour déclencher ce type d'instabilités. L'avancée de la position de transition est ensuite étudiée de manière quantitative en fonction des paramètres de hauteur moyenne, de position et de longueur de la zone rugueuse. Des positions de transition obtenues dans les cas avec rugosité sont déduites des ΔN , représentant un surcroît d'amplification des ondes T-S. Pour une longueur de rugosité donnée, la hauteur moyenne adimensionnée par l'épaisseur de déplacement (R_a/δ_1) semble être un paramètre majeur et l'évolution ΔN induit par la rugosité en fonction de ce paramètre est proche d'une loi linéaire. Aucune influence de la position le long de la plaque plane n'est observée tant que la réceptivité n'est pas modifiée. La longueur de la zone rugueuse se révèle également être un paramètre fondamental, et donner lieu là encore à une évolution proche d'une loi linéaire de ΔN . Basées sur ces résultats expérimentaux, deux modélisations, dites par ΔN et ΔN réparti inspirées des modèles en ΔN utilisés dans le cadre des rugosités 2D localisées ont été mises au point pour

calculer le Delta N induit par une surface rugueuse. La première est une approche globale quand la seconde propose une formulation locale.

Mots-clés : Couche limite, transition, laminaire, Turbulent, Rugosité

Summary: The influence of surface roughness on the laminar/turbulent transition of an incompressible 2D boundary layer is examined experimentally in a wind tunnel. In particular, the effect of roughness on the receptivity and especially the amplification of Tollmien-Schlichting waves (T-S waves) is analyzed. An experiment in which the surface roughness can be partially changed is designed by machining a flat plate so that three removable rectangular inserts are placed on it. These inserts are either smooth (machined from metal) or rough, fabricated by a stereolithography 3D printer. Most of the results are obtained by hot wire anemometry. If the first results have highlighted a potential effect of surface roughness on the receptivity of Tollmien-Schlichting waves, the main part of this manuscript is devoted to the study of the overamplification of these instabilities in the presence of surface roughness. The emphasis is first put on the study of the phenomena by which the surface roughness overdrives the T-S waves amplification. No distortion of the mean profile is observed except for a slight inflection in the immediate vicinity of the roughness, but the studies carried out show the limitation of hot-wire anemometry for studies in regions so close to the wall. The possibility that surface roughness generates streaks is studied and confirmed, but only in some cases. This generation of streaks seems to take place only when the surface roughness has the appropriate spanwise wavelengths, according to the theory of optimal perturbations, to trigger this type of instability.

The advance of the transition position is then studied quantitatively as a function of the parameters of average height, position and length of the rough zone. From the transition positions obtained in the cases with roughness are deduced ΔN , representing an overamplification of the T-S waves. For a given roughness length, the average height scaled by the displacement thickness (R_a/δ_1) seems to be a major parameter and the ΔN evolution induced by the roughness as a function of this parameter is close to a linear law. No influence of the position along the flat plate is observed as long as the receptivity is not modified. The length of the rough area is also a fundamental parameter, and shows an evolution close to a linear law of ΔN too. Based on these experimental results, two models, called by ΔN and ΔN distributed inspired by the ΔN models used in the framework of localized 2D roughness, have been developed to calculate the ΔN induced by a rough surface. The first one is a global approach while the second one proposes a local formulation.

Keywords: Boundary layer, transition, laminar, turbulent, roughness