

Soutenance de thèse

Francesco SCARANO soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée «*Etude expérimentale de la couche limite turbulente sur des cavités circulaires*»

Le 20 février 2022 à 09h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Xavier CARBONNEAU	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Jonathan MORRISON	Full professor Imperial College	Rapporteur
M. Jens FRANSSON	Full professor KTH	Examineur
M. Erwin GOWREE	Professeur Associé ISAE-SUPAERO	Co-encadrant de thèse
M. Jean-Paul BONNET	Professeur Université de Poitiers	Rapporteur
M. Marc C. JACOB	Professeur École centrale de Lyon	Co-directeur de thèse

Résumé : Les parois perforées comme moyen potentiel de réduire le frottement turbulent a été un sujet d'intérêt dans la dernière décennie. Bien que plusieurs études aient démontré les propriétés de réduction du frottement d'une paroi perforée, une caractérisation détaillée de la topologie de l'écoulement ainsi que la modification de l'activité turbulente ne sont pas présentes dans la littérature. De plus, plusieurs désaccords persistent sur les mécanismes possibles impliqués dans la réduction du frottement. Une étude expérimentale a été menée pour étudier les modifications de la couche limite en présence d'un réseau de cavités. Les techniques utilisées sont l'anémométrie à fil chaud et la vélocimétrie par image de particules. Une caractérisation détaillée des statistiques de l'écoulement, de l'activité turbulente près de la paroi ainsi que des structures à grande échelle est fournie pour le cas de base d'une plaque plate lisse. Les résultats, comparés à des références récentes de simulation numérique directe, apportent une confiance dans la qualité de l'installation. L'analyse des zones de momentum uniforme fournit des preuves qu'une disposition hiérarchique des vortex en épingle à cheveux est réalisable même aux nombres de Reynolds modérés des études actuelles. Les résultats obtenus sur la paroi perforée confirment la possibilité de réduire le frottement de peau avec des cavités circulaires jusqu'à 20%. Le frottement a été évalué en utilisant la technique du diagramme de Clauser et les résultats ont été confirmés par un ajustement linéaire dans la sous-couche visqueuse. Plusieurs configurations ont été testées, le paramètre qui gouverne la modification de la couche limite turbulente est le ratio de surface ouverte, défini comme le rapport entre la surface perforée et la surface non perforée. Une influence négligeable de l'alignement, de la hauteur et du nombre de Reynolds de la cavité a été trouvée. Les statistiques sont assez uniformes dans le sens de l'envergure. Les statistiques jusqu'au troisième ordre, ainsi que l'activité turbulente, sont modifiées par les cavités. Les résultats montrent des similitudes frappantes avec une couche limite turbulente avec un soufflage uniforme, qui est connu pour réduire le frottement de peau. Au moins pour le ratio de surface ouverte le plus élevé, les cavités favorisent la formation d'un pic externe dans l'intensité de la turbulence, comme cela se produit pour un nombre de Reynolds très élevé. La distribution spectrale 2D montre un comportement de "bi-bosse". Le pic interne du spectre est déplacé vers des longueurs d'onde plus faibles, ce qui suggère que les stries sont raccourcies par les cavités, le pic externe peut être associé à la formation de rouleaux allongés quasi-sensoriels dans la région externe de la couche limite. Ces structures peuvent être liées à une diminution de la vitesse modale de la première zone de momentum uniforme. La contribution de la pression à la traînée

totale, due à l'impact de la couche limite sur le coin aval de la cavité, est évaluée à partir de simulations LES. Une augmentation de la traînée de pression avec le nombre de Reynolds peut être mise en évidence. La traînée de pression réduit l'avantage du frottement de peau, mais il est démontré qu'une réduction de la traînée totale jusqu'à 6 % peut être obtenue.

Mots-clés : aérodynamique expérimentale, cavité circulaire, couche limite turbulente

Summary: Porous acoustic liners have played an important role in reducing the noise from jet engines down to certification levels. They are also effective in reducing vibro-acoustic failure modes in combustion chambers of rocket engines for successful launch of the space vehicle. Due to their strict noise attenuation requirements they are highly optimised for acoustic performance, but to the detriment of aerodynamic performance in the form of significant increment in skin friction drag. An experimental campaign by E. Gowree at City, University of London showed that at Mach number greater than 0.6, the drag rise is significantly larger than that observed on equivalent rough surfaces. But, at Mach number less than 0.5, the friction drag was significantly low and in some cases lower than that on an imperforated, smooth surface. A recently published study by Gowree et al. (Aero. Sci. & Tech. 2019) has shown that in the absence of external acoustic forcing, the perforated surface can have the opposite effect of reducing the skin friction drag. This is potentially due to the re-organisation of the coherent structures in the turbulent boundary layer by the discrete 3D circular cavities. The rapid drag rise in the presence of large amplitude acoustic sources is still not very well understood as it is both experimentally and numerically challenging to resolve the fine turbulence scales in the vicinity of the perforated surface and the secondary flow through the cavity which potentially helps the noise attenuation. Therefore we propose an experimental campaign to confirm the physical mechanism responsible for the drag reduction, as well as the sudden drag rise at high Reynolds number and acoustic forcing, while resolving the coherent structures in the turbulent boundary layer. The first part of the experiment will involve direct skin friction measurement using a floating element balance on the cases studied by Gowree et al. (2019) and near wall turbulent structure measurements using laser diagnostic technique such as PIV to confirm the underlying mechanism responsible for the drag reduction. This will be followed by similar experiment, but with acoustic forcing to simulate the oscillation of the mean flow present in the engine environment. The results from this campaign will help in characterising the different regimes of the flow and identify the critical conditions which lead to rapid drag rise, through more knowledge of the physical mechanism, currently missing in the literature. Finally, a parametric analysis will be conducted to propose a strategy for the development of lower drag perforated surface for acoustic treatment, but without compromise on the acoustic attenuation characteristics.

Keywords: circular cavities, experimental aerodynamics, turbulent boundary layer, coherent structures