Jury

Thomas Carolus; Professeur ; Université de Siegen ; Rapporteur/Referee

Marlène Sanjosé ; Professeure ÉTS, Université du Québec ; Rapporteure/Referee

Jérôme Boudet ; Jérôme Maître de conférence LMFA ; Examinateur/Member

Xavier Carbonneau ; Professeur ; ISEA-Suparéo ; Examinateur/Member

Michel Roger ; Professeur ; LMFA ; Directeur de thèse/Advisor

Guillaume Daviller ; Docteur ; CERFACS ; Encadrant de thèse/Co-advisor

Hélène De Laborderie ; Ingénieur ; Safran Aircraft Engines ; Invitée/Invited Member

Titre

Sources de bruit aérodynamique liées à l’écoulement de jeu en tête de pale de soufflante de turboréacteur à double flux

Résumé

Au regard de l’augmentation du trafic aérien soutenue par les pays émergents ainsi que des certifications acoustiques de plus en plus strictes, les motoristes portent une attention particulière à la compréhension, la prédiction et le contrôle du bruit de soufflante. L’étage de soufflante des futurs turbofans à très haut taux de dilution devrait être responsable d’une partie non-négligeable du bruit rayonné par un avion. De plus, la contribution du bruit de soufflante, aussi bien tonal que large bande, sur les architectures actuelles est importante pour des régimes d’approche et au décollage. Parmi les mécanismes physiques générant le bruit de soufflante, le bruit de jeu en tête de pale est actuellement considéré de second ordre et n’est pas pris en compte dans l’évaluation du bruit de soufflante. L’évolution vers des architectures à très haut taux de dilution peut faire évoluer l’importance du bruit de jeu du second au premier ordre. Dans ce contexte, des simulations aux grandes échelles résolvant les grandes structures tourbillonnaires et modélisant les petites, sont réalisées sur un profil isolé fixe et une soufflante à échelle réduite représentative d’un turbofan à très haut taux de dilution. Basée sur une comparaison avec des mesures, cette méthode numérique montre une capacité prédictive de l’aérodynamique instationnaire de l’écoulement de jeu. Une approche avec une loi de paroi permet la simulation d’applications turbomachines telles que la soufflante à échelle réduite. De plus, l’adaptation de maillage basée sur des quantités physiques se présente comme une méthodologie appropriée à la résolution des structures tourbillonnaires complexes tridimensionnelles des écoulements secondaires d’une turbomachine comme l’écoulement de jeu. Des fonctions d’identification sont également appliquées afin de caractériser le tourbillon de jeu en tête de pales. Afin d’augmenter la connaissance pour la définition de nouveaux modèles du bruit de jeu, une analyse des écoulements de jeu des deux configurations est réalisée. Parmi les mécanismes aérodynamiques sources du bruit de jeu, la diffraction des structures tourbillonnaires dans le jeu par les arêtes de l’extrémité de pale apparaît comme le mécanisme dominant sur les architectures à très haut taux de dilution.

Mots-clés

Écoulement de jeu, Bruit de jeu, Profil isolé, Soufflante à échelle réduite, Simulation aux grandes échelles, Adaptation de maillage, Identification de tourbillon.

Title

Aerodynamic noise sources due to the tip flow in the fan stage of turbofan engines

Abstract

Regarding the growth of global air transport sustained by the emerging countries and the more and more stringent noise certification, engine manufacturers pay particular attention on the understanding, prediction and control of fan noise. The fan stage of future ultra-high by-pass ratio turbofans may be responsible for a significant part of the noise radiated by an aircraft. Moreover, the fan noise contribution on the current turbofans, whether tonal or broadband, is large at both approach and take-off operating points. Among several physical mechanisms generating the fan noise, the tip clearance noise at the tip of fan blades is considered as a secondary source of noise on the current turbofan architectures and is not accounted for the evaluation of fan noise. The evolution towards ultra-high by-pass ratio architectures may bring the tip clearance noise from a secondary source to a primary one. In this context, large-eddy simulations resolving the large eddies and modelling the small ones, are performed on an isolated airfoil and a rig-scaled fan representative of future ultra-high by-pass ratio turbofan engine. Based on a comparison with measurements, the numerical method shows its capacity to recover the unsteady aerodynamics of the tip flow. A wall-modelled approach allows for the computation of turbomachinery applications such as the rig-scaled fan. Moreover, mesh adaptation based on flow quantities appears to be an appropriate methodology to resolve the complex three-dimensional vortical structure of turbomachinery secondary flows such as the tip flow. Identification functions are also applied to characterise the tip leakage vortex at the tip of fan blades. To bring knowledge for the definition of new models of tip clearance noise, an analysis of tip flows on the two configurations is carried out. Among several aerodynamic source mechanisms of tip clearance noise, the scattering of vortical structures in the gap by the tip edges appears to be the dominant mechanism on ultra-high by-pass ratio turbofan engine.

Keywords

Tip leakage flow, Tip clearance noise, Isolated airfoil, Rig-scaled fan, Large eddy simulation, Mesh adaptation, Vortex identification.

Image