**Titre Anglais :** From analytical to fully numerical predictions of the broadband noise radiated by a full fan-OGV stage.

**Titre Français :** Prédictions analytiques et numériques du bruit à large bande rayonné par un étage de soufflante.

**Résumé en Anglais:**

The fan-Outlet Guide Vane (OGV) stage of aircraft engines is currently being considered as one of the major contributors to the total noise radiated by an aircraft, particularly at approach and take-off operating conditions. This trend will intensify with the future Ultra High Bypass Ratio engine architecture, which will be characterized by an increased bypass ratio resulting from a larger diameter. To meet the increasingly stringent noise regulation requirements, significant progress has already been achieved by aircraft manufacturers. Most of these improvements are related to the tonal component of the fan-OGV stage noise, while less progress has been made in reducing the broadband component. The latter originates from stochastic phenomena involving the interaction of turbulent structures with solid surfaces such as walls, blades and vanes. At subsonic operating points, the main mechanism responsible for both broadband and tonal noise generation is the rotor-stator interaction (RSI), which results from the impingement of the turbulent rotor wakes onto the stator, generating unsteady loading on the vanes. The present study focuses on the latter mechanism and aims at assessing the capacity of two state of the art methods, with different levels of computational cost and accuracy, to provide reliable broadband noise predictions. The first one couples a simulation solving the Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) equations with analytical models. It provides broadband RSI noise estimates at moderate computational costs and is particularly well suited for pre-design studies. The second method, more accurate but significantly more demanding in terms of computational resources, is a hybrid numerical approach. It couples a Large Eddy Simulation (LES), for the computation of the noise sources, with an acoustic analogy, dedicated to the propagation of the sound in the far-field. It is currently considered as one of the most advanced method to carry out comprehensive acoustic analyses on a fan-OGV stage. These two approaches are applied to a realistic fan-OGV stage geometry operating at approach conditions, and are directly compared to each other through comprehensive aerodynamic and acoustic analyses. The capacity of both approaches to provide reliable noise predictions is demonstrated, with a significant increase in accuracy observed with the second approach, which is obtained as a trade-off with a higher computational cost. The impact of the modeling hypotheses of each method on the reliability of their respective noise predictions is assessed, and an overall better understanding of the complex flow features characterizing the approach operating condition is provided. Furthermore, additional noise sources on both the OGV and the fan are brought to light. Their relative contribution to the total noise is directly compared to that of the RSI noise, showing that the RSI mechanism is not necessarily the only dominant noise source at approach conditions.

**Keywords**: aeroacoustics, turbomachinery, rotor-stator interaction, broadband noise, fan noise, analytical modeling, large eddy simulation, unsteady simulation.

**Résumé en Français:**

L’étage de soufflante des turboréacteurs est actuellement considéré comme l’une des principales sources de bruit d’un avion, en particulier en phase d’approche et de décollage. Face à une règlementation de plus en plus contraignante vis à vis de la pollution sonore, et par anticipation de l’intensification du bruit de soufflante induite par les futures configurations à très fort taux de dilution, un certain nombre d’initiatives ont été prises dans le but de limiter l’émission de bruit par les moteurs. Elles portent cependant majoritairement sur la composante tonale du bruit, tandis que le bruit à large bande n’a été réduit que de manière marginale. Ce dernier provient de l’interaction de structures turbulentes avec les surfaces solides du moteur telles que son carénage, les pales du rotor ou les aubes du stator. Cette composante du bruit est majoritairement produite par le mécanisme d’interaction rotor-stator, également responsable d’une partie du bruit tonal, notamment en phase d’approche et de décollage. Ce dernier résulte de l’impact des sillages turbulents du rotor sur le stator de l’étage de soufflante (OGV), générant ainsi des fluctuations de charge sur les aubes du stator. Le présente thèse propose une étude de ce mécanisme et plus particulièrement de sa composante à large bande. Elle a notamment pour but d’évaluer la capacité de deux méthodes à fournir des prédictions de bruit à large bande fiables. Ces deux méthodes définissent l’état de l’art actuel et proposent deux niveaux différents de coût et de précision. La première couple une simulation d’écoulement par la méthode des équations de Navier-Stokes moyennées (RANS) avec des modèles analytiques de prédiction de bruit. Cette méthode permet d’estimer le bruit à large bande d’interaction rotor-stator et est particulièrement adaptée aux étapes de pré-conception dans le contexte industriel grâce à son faible coût. La seconde est une méthode numérique hybride couplant une simulation aux grandes échelles (LES), permettant de calculer les sources acoustiques au sein de l’étage de soufflante, avec une analogie acoustique, en charge de la propagation en champ lointain du bruit émis par ces dernières. Cette méthode, qui est l’une des plus avancées pour ce type de problématique, fournit des prédictions de bruit à large bande plus précises mais requiert l’utilisation d’importantes ressources de calcul. Les deux approches sont appliquées à une géométrie représentative d’un étage de soufflante en phase d’approche, et directement confrontées à travers une étude aérodynamique et acoustique complète. La capacité des deux approches à fournir des prédictions de bruit fiables est démontrée, en particulier pour la seconde méthode un gain substantiel de précision est observé, mais requiert un coût de calcul supplémentaire important. L’impact des hypothèses de modélisation de chaque méthode sur la fiabilité de leurs prédictions acoustiques respectives est évalué, et les particularités de l’écoulement caractérisant la phase d’approche sont mises en évidence. Par ailleurs, des sources de bruit à large bande supplémentaires sont identifiées sur le rotor et le stator, et leurs contributions respectives au bruit à large bande total sont estimées et comparées à celle du mécanisme d’interaction rotor-stator, révélant que ce dernier n’est pas nécessairement l’unique source de bruit prépondérante en phase d’approche.

**Mots-clés**: aéroacoustique, turbomachine, interaction rotor-stator, bruit à large bande, bruit de

soufflante, modèle analytique, simulation aux grandes échelles, simulation instationnaire.