



Analyse Numérique des Excitations Aérodynamiques Instationnaires sur les Aubes de Turbine en présence d'Effets Technologiques

Numerical Investigation of Unsteady Aerodynamics Loads on Turbine Blades with Inter-disc Cavities and Purge Flow

Soutenance de thèse – Alessandro SCHENATTI

Lundi 15 décembre 2025 à 14h00

En présentiel : Salle AY-02-63 - ONERA/Meudon

et en distanciel : TEAMS : https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_YWQ5MDkxMGQtOTNlZC00ZDFILWJkZmYtODgxNWMzZjVhOWVh%40thread.v2/0?context=%7b%22id%22%3a%22d52b49b7-0c8f-4d89-8c4f-f20517306e08%22%2c%22oid%22%3a%224111c9d1-2819-4815-80c3-badff331558b%22%7d
(Configuration recommandée : navigateur Chrome)

Devant le jury composé de :

Examineurs :

- Paola CINNELLA, Professeure, Institut Jean le Rond d'Alembert – Sorbonne Université
- Nicolas BINDER, Professeur, ISAE-Supaéro

Rapporteurs :

- Carl SANGAN, Professeur, University of Bath
- Antoine DAZIN, Professeur, Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille Kampé de Fériet – Arts et Métiers ParisTech

Directeur de thèse :

- Emmanuel LAROCHE, ONERA Toulouse

Co-Directeur de thèse :

- Sergio LAVAGNOLI, Institut de Von Karman

Invités :

- Thomas BONTEMPS, ONERA Meudon
- Sébastien LE GUYADER, Safran Helicopter Engines

Résumé / Abstract :

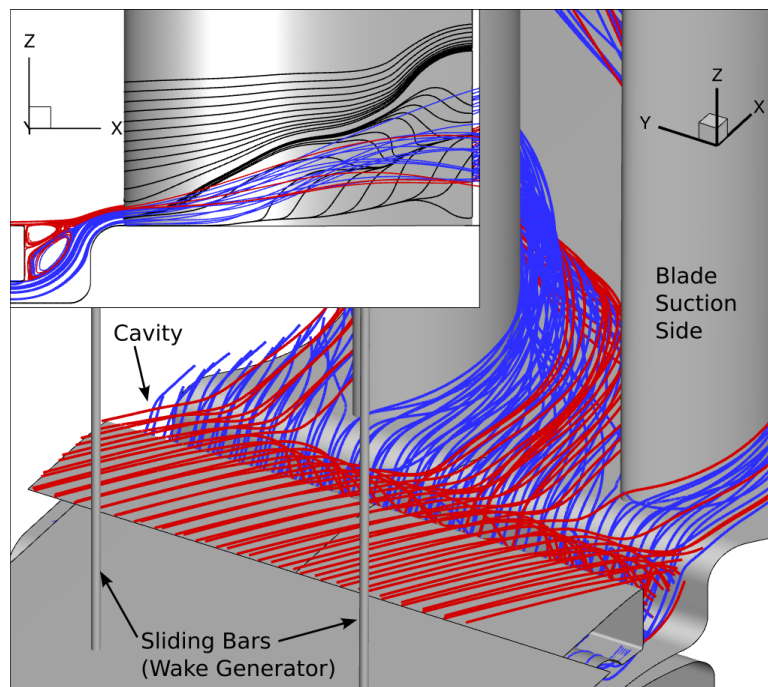


Figure 1 Time-averaged streamlines (red=mainstream and blue=purge flow) for the SPLEEN case with wake generator, cavity and 0.9 % purge mass flow ratio, upstream (main box) and side-view (top-left corner). Skin friction lines in black.

Les turbines basse (BP) et haute (HP) pression sont les composants du moteur dédiés à l'extraction de puissance. La géométrie d'une turbine est complexe et présente plusieurs éléments hors-veine (comme les cavités inter-disques ou les jeux en tête des aubes), qui sont cruciaux pour garantir l'assemblage de la turbine et son bon fonctionnement. Ces éléments ont une influence significative sur les performances aérodynamiques, puisqu'ils affectent et interagissent avec le flux principal. Les aubes sont donc soumises aux impacts périodiques des sillages des roues amont mais aussi à des excitations aérodynamiques instationnaires résultant de l'interaction avec ces composants. Dans le contexte industriel, les cavités inter-disques sont souvent négligées lors de la phase de conception mécanique et vibratoire des turbines. Cependant, la prise en compte des écoulements dans les cavités et de leur interaction avec l'écoulement principal dans la veine est devenue de plus en plus importante pour les fabricants de moteurs afin de prévoir précisément les performances des turbines ainsi que les excitations aérodynamiques sur les aubes. Cette thèse s'inscrit dans ce cadre et analyse de l'influence du débit de purge sur les fluctuations de pression sur les aubes du rotor. Pour atteindre ces objectifs, deux configurations expérimentales ont été étudiées : la grille linéaire SPLEEN et un banc turbine froid annulaire. La grille SPLEEN a été spécialement conçue pour étudier le développement des écoulements secondaires dans une turbine basse pression transsonique, tandis que le banc annulaire, développé et testé par Safran Helicopter Engines, est représentatif d'un étage de turbine haute pression moderne. Des simulations numériques ont été réalisées en utilisant une approche URANS sur des maillages non structurés, avec divers modèles de turbulence. L'influence de la modélisation de la transition laminaire-turbulent a également été évaluée. Les simulations ont réussi à reproduire les phénomènes clés observés lors des campagnes expérimentales, tant dans la grille linéaire que dans le banc annulaire. Les analyses ont révélé des mécanismes distincts d'interaction veine-cavité selon le type de configuration analysée. En particulier, l'effet de pompage du disque rotor modifie l'éjection de l'écoulement de purge dans l'anneau. Malgré ces différences, une réduction de l'amplitude des fluctuations de pression associées à la fréquence de passage des barreaux/aubes a été observée dans les deux configurations lorsque le flux de purge était introduit. Cette tendance a également été confirmée par des mesures instationnaires de pression sur la surface des aubes dans la configuration de grille linéaire.

The low-pressure (LP) and high-pressure (HP) turbines are the engine components dedicated to power extraction. The geometry of a turbine is complex and includes several elements, such as inter-disc cavities or blade tip clearance, which are essential for ensuring the turbine assembly and its proper operation. These features have a significant influence on aerodynamic performance, as they affect and interact with the main flow. The blades are therefore subjected to the periodic impacts of upstream blade row wakes, as well as to unsteady aerodynamic excitations resulting from interactions with these components. In industrial practice, inter-disc cavities are often neglected during the mechanical and vibratory design phases of turbine blades. However, accounting for the flows within these cavities and their interaction with the main annulus flow has become increasingly important for engine manufacturers in order to accurately predict turbine performance and aerodynamic excitations on the blades. This PhD thesis falls within this framework and investigates the influence of purge flow on pressure fluctuations on the rotor blades. To achieve these objectives, two experimental configurations were studied: the SPLEEN linear cascade and a cold-flow annular turbine rig. The SPLEEN cascade was specifically designed to study the development of secondary flows in a transonic low-pressure turbine. Instead, the annular rig (developed and tested by Safran Helicopter Engine) is representative of a modern high-pressure turbine stage. Numerical simulations were carried out using URANS equations on unstructured meshes, with several turbulence models. The influence of laminar–turbulent transition modelling was also assessed. The simulations successfully reproduced the key phenomena observed during the experimental campaigns, both in the linear cascade and in the annular rig. The analyses revealed distinct mainstream-cavity interaction mechanisms depending on the configuration studied. In particular, the pumping effect of the rotor disc modifies the ejection of the purge flow into the annulus. Despite these differences, a reduction in the amplitude of pressure fluctuations associated with the bar/blade passing frequency and its harmonics was observed in both configurations when the purge flow was introduced. This trend was also confirmed by unsteady pressure measurements on the blade surfaces in the linear cascade configuration.

Mots clés / Key words :

URANS - turbine basse pression - turbine haute pression - cavités inter-disque au moyeu et au carter - écoulement de purge - écoulements secondaires - excitations aérodynamiques

URANS - low-pressure turbine - high-pressure turbine - hub and shroud inter-disc cavities - purge flow - secondary flows - unsteady loading