

# Modélisation numérique des écoulements de cavités dans les turbines basse-pression par une approche RANS

## *RANS modeling of cavity flows in low-pressure turbines*

Soutenance de thèse – Fatih UNCU

**Vendredi 06 octobre 2023 à 13H30**

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

En distanciel : **Jitsi** : [https://rdv.onera.fr/06\\_10\\_2023\\_soutenance\\_Fatih\\_Uncu](https://rdv.onera.fr/06_10_2023_soutenance_Fatih_Uncu)

### Devant le jury composé de :

- **Directeur de Thèse :**
  - \* Georges GEROLYMOS, Professeur, Sorbonne Université
- **Rapporteurs :**
  - \* Rémi MANCEAU, Directeur de recherche CNRS, Université de Pau
  - \* Antoine DAZIN, Professeur, Arts et Métiers ParisTech
- **Examineurs :**
  - \* Paola CINNELLA, Professeure, Sorbonne Université
  - \* Eric GONCALVÈS DA SILVA, Professeur, ENSMA
- **Encadrants :**
  - \* Benjamin FRANÇOIS, Ingénieur de recherche, ONERA/DAAA
  - \* Nicolas BUFFAZ, Ingénieur, Safran Helicopter Engines

---0---

### Résumé / Abstract

Les turbines aéronautiques possèdent de nombreux effets technologiques (cavités, talons, congés) qui ont une influence notable sur leurs performances aérodynamiques. Prendre en compte la géométrie réelle de ces éléments dans les simulations est important pour améliorer la prévision des performances aérodynamique en phase de conception. Cependant, l'utilisation de maillages structurés devient difficile à mettre en œuvre dans les simulations numériques pour ces géométries complexes. Les maillages non-structuré offrent plus de flexibilité et de possibilités, mais ils ont été peu éprouvés sur ce type d'applications. Le premier objectif de la thèse a donc été d'établir des pratiques méthodologiques de maillage non-structuré pour réaliser des simulations numériques avec des effets technologiques.

Aussi, les écoulements au sein des effets technologiques présentent des décollements, des recirculations et des zones de mélanges entre deux écoulements transverses. Les modèles de turbulence RANS classiques à deux équations sont souvent mis en défaut dans ces configurations.

L'hypothèse de Boussinesq n'est plus vérifiée dans les régions à forte anisotropie et fort taux de turbulence, ce qui est le cas des écoulements de talon et de cavité. Le choix de la modélisation de la turbulence est donc un aspect important dans la simulation RANS des écoulements de cavité. Le second objectif de la thèse a donc été de déterminer les modélisations de la turbulence les plus adaptées pour reproduire le plus fidèlement ces écoulements par une approche RANS stationnaire. Cette analyse a permis de mieux comprendre les limites des différents modèles de turbulence pour divers types d'écoulements et de formuler des recommandations appropriées quant à leur utilisation.

La stratégie adoptée pour répondre à la problématique repose sur l'étude de configurations de complexité croissante. Les premières études se sont portées vers des configurations d'écoulements canoniques représentatives d'un écoulement de talon dans une turbine basse pression. Elles ont permis d'éprouver différentes méthodes de maillage non-structuré mais aussi d'évaluer différents modèles de turbulence en se comparant à des données expérimentales. Une configuration intermédiaire constituée d'une grille d'aubes fixes de turbine avec une cavité et un écoulement de purge, a été utilisée pour valider l'utilisation de maillages multi-éléments (hexaédriques/tétraédriques) permettant de minimiser la dissipation numérique et la taille du maillage. Il a été démontré que les modèles à deux équations, couramment utilisés dans l'industrie aéronautique, restent insuffisants dans la prévision des interactions veine/hors-veine. L'utilisation d'un modèle plus avancé à transport des tensions de Reynolds (RSM) a été nécessaire pour capturer la sensibilité des pertes aérodynamiques vis-à-vis de la géométrie de la cavité. Ce dernier a également été le seul modèle capable de prendre en compte la turbulence externe, les modèles de type Boussinesq étant mis en défaut. L'avantage du modèle RSM s'est confirmé lors de la simulation d'une configuration de turbine libre bi-étages industrielle comportant des talons en tête des roues mobiles. Dans les écoulements complexes caractéristiques de cette configuration, impliquant divers phénomènes physiques tels que les écoulements secondaires, l'interaction rotor-stator et les effets de compressibilité, le modèle RSM a été aussi stable que les modèles à deux équations tout en prévoyant le rendement le plus proche des données expérimentales.

---/---

*Aeronautical turbines feature numerous off-channel components (cavities, tip shrouds, squealer) that have a significant influence on their aerodynamic performance. Considering the actual geometry of these elements in simulations is crucial to enhance aerodynamic performance prediction during the design phase. However, using structured meshes is challenging for numerical simulations of these complex geometries. The use of unstructured meshes offers greater flexibility and feasibility but is relatively untested in such applications. Therefore, the primary objective of this thesis was to establish methodological practices for unstructured meshing to simulate configurations with off-channel components.*

*Flows within these off-channel components exhibit separations, recirculations, and mixing zones between two transverse flows. Classical two-equation RANS turbulence models fall short in these configurations. The Boussinesq hypothesis is no longer valid in regions with high anisotropy and turbulence rates, such as tip shrouds and cavity flows. Therefore, choosing the appropriate turbulence modeling is crucial in RANS simulations of cavity flows. The second objective of this thesis was to determine the most suitable turbulence models to reproduce these flows accurately using a steady RANS approach. This analysis aided in better understanding the limitations of different turbulence models for various flow types and formulating appropriate recommendations for their use.*

*The strategy adopted to address the issue involved a progression in the complexity of the studied configurations. Initial studies focused on simplified flow configurations representative of a low-pressure turbine tip shroud flow. They allowed us to test various unstructured meshing methods and assess different turbulence models through comparisons with experiments. An intermediate configuration consisting of a cascade turbine blade with the presence of a cavity and a purge flow was used to validate the use of multi-element meshes (hexahedral and tetrahedral) which minimize numerical dissipation and mesh size. It was demonstrated that the commonly used two-equation models in the aerospace industry are insufficient in predicting channel/cavity interactions. The use of a more advanced Reynolds Stress Model (RSM) was necessary to capture the sensitivity of aerodynamic losses to cavity geometry. It was also the only model able to account for the external*

*turbulence, while the turbulent viscosity models overestimated the losses. The advantage of this model was confirmed in the simulation of an industrial two-stage low-pressure turbine configuration with tip shrouds. In the complex flows typical of this configuration, which involve various physical phenomena such as secondary flows, rotor-stator interaction, and compressibility effects, the RSM model remained as stable as the two equation models and has showed the closest alignment with experimental measurements in predicting performance.*

**Mots clés / Key words**

TURBINE BASSE-PRESSION, MODELE DE TURBULENCE, ECOULEMENT DE CAVITE, RANS

*LOW-PRESSURE TURBINE, TURBULENCE MODEL, CAVITY FLOW, RANS*