Résumé

Titre: Modélisation des compresseur axiaux à l’aide d’un calcul méridien volume finis et d’une méthode potentielle.

Dans le milieu de la propulsion aéronautique, les premières étapes de conception des compresseurs demandent des outils très rapides de prédiction des performances qui vont servir à fixer les principales caractéristiques de la machine pour qu’elle puisse satisfaire les contraintes imposées par le cycle thermodynamique du turboréacteur. Directement après les outils 0D/1D, ce sont les solveurs méridiens qui permettent un nombre d’itérations important avant d’aboutir à une première géométrie acceptable qui sera ensuite optimisée avec des méthodes plus précises, mais beaucoup plus couteuses. Il est donc important que ces solveurs méridiens soit fiables et évoluent avec les capacités informatiques actuelles.

La problématique associée à ces outils est que pour être rapides, ils ne peuvent résoudre les équations de la mécanique des fluides et doivent faire appel à des modélisations pour simuler l’écoulement très complexe dans un compresseur multi-étage. La plupart du temps, ce sont plus des corrélations basées sur une expérience de l’existant que des modélisations physiques qui sont utilisées par les motoristes, ce qui freine et complexifie le développement de nouveaux concepts.

L’objectif de cette thèse est de poser les nouvelles bases pour le développement d’un solveur méridien en privilégiant une modélisation physique des phénomènes associés aux écoulements rencontrés dans les compresseurs. Au vu du large spectre que cela représente, la thèse débute cette étude en se focalisant sur les écoulements subsoniques. Le solveur ASTEC, développé par Safran Tech, a été choisi pour implémenter les modélisations. Dans cette thèse, ASTEC résout les équations de Navier-Stokes pour un fluide non-visqueux moyennées dans la direction circonférentielle en couplant le solveur elsA développé par l‘ONERA avec un module externe dans lequel sont implantés les termes sources servant à modéliser la présence d’aubages et la viscosité du fluide. Le domaine de calcul est décomposé en un empilement de surface aube-à-aubes qui interagissent entre elles via ASTEC. Le calcul des forces d’aubages repose sur la détermination de l’écoulement incompressible dans une grille d’aubes de compresseur en utilisant la méthode potentielle Hess & Smith, auquel est associée l’influence des effets visqueux des couches limites obtenue par la méthode intégrale de Von Karman. Une modélisation des effets de sillages basée sur la méthode de Lakshminarayana est proposée dans les zones inter roues. Les pertes induites par les écoulements de jeu sont calculées en améliorant le modèle de Denton par la prise en compte des distributions de vitesses sur l’intrados et l’extrados de l’aubage, obtenues par la méthode potentielle. Les écoulements secondaires proches moyeu restent à être modélisés dans ce travail.

Plusieurs configurations d’écoulements ont été confrontées à des expériences et des outils éprouvés (corrélations de Lieblein, code MISES, calculs RANS) et montrent un accord remarquable sur les configurations 2D de type grille d’aubes et des résultats très prometteurs pour une machine réelle, le compresseur CME2, à différent points de fonctionnement. L’approche utilisée a l’avantage de pouvoir prendre en compte les propriétés locales de l’écoulement pour une meilleure modélisation des phénomènes, à la différence des outils de type ligne-de-courant basés sur des corrélations entrée-sortie.

**Keywords:** Computational Fluid Dynamics, Throughflow solver, Potential method, Integral boundary layer method, Profile boundary layer, Tip leakage flow, Wakes, Modeling

Abstract

Title: Axial compressor modeling with CFD-based throughflow and potential approach

In the field of aeronautical propulsion, the initial steps of compressor design require very rapid performance prediction tools to determine the main characteristics of the machine so that it can meet the constraints imposed by the thermodynamic cycle of the turbojet engine. Following the 0D/1D tools, throughflow solvers allow for a significant number of iterations before reaching an acceptable initial geometry, which is then further optimized with more accurate but much more expensive methods. Therefore, it is crucial for these meridional solvers to be reliable and evolve with current computing capabilities.

The challenge associated with these tools is that, to be fast, they cannot directly solve the fluid mechanics equations and must rely on modeling to simulate the highly complex flow in a multi-stage compressor. Most of the time, engine manufacturers use correlations based on existing experience rather than physical modeling, which hinders and complicates the development of new concepts.

The objective of this thesis is to establish new foundations for the development of a throughflow solver, prioritizing a physical modeling approach to the phenomena associated with flows encountered in compressors. Considering the broad spectrum this represents, this thesis proposes to begin this study by focusing on subsonic flows. The ASTEC solver, developed by Safran Tech, has been chosen to implement the models. In this thesis, ASTEC solves the averaged Navier-Stokes equations for an inviscid fluid in the circumferential direction, coupling with the elsA solver developed by ONERA and uses an external module in which the source terms are implemented to model the presence of blades and the fluid viscosity. The computational domain is decomposed into a stack of blade-to-blade surfaces that interact with each other through ASTEC. The calculation of blade forces relies on determining the incompressible flow in a compressor blade grid using the potential method of Hess & Smith, along with the influence of viscous effects from boundary layers obtained through the integral method of Von Karman. A modeling of the wake effects based on the Lakshminarayana method is proposed in the inter-row regions. The losses induced by tip clearance flows are calculated by improving the Denton model, considering the velocity distributions on the blade pressure and suction sides obtained by the potential method. However, modeling of near-hub secondary flows remains to be addressed in this work.

Several flow configurations were compared to experiments and well-established tools Lieblein correlations, MISES code, RANS calculations), showing remarkable agreement for 2D configurations, such as compressor cascade, and very promising results for a real machine, the CME2 compressor, at various operating points. The approach used offers the advantage of considering local flow properties for a better modeling of phenomena, unlike streamline-based tools that rely on input-output correlations.

**Keywords:** Computational Fluid Dynamics, Throughflow solver, Potential method, Integral boundary layer method, Profile boundary layer, Tip leakage flow, Wakes, Modeling