

Theoretical study of the exergy balance method and extension to the performance analysis of steady rotating flows

Étude théorique de la méthode du bilan d'exergie et extension pour l'analyse de performance d'écoulements stationnaires tournants

Soutenance de thèse – Ilyès BERHOUNI

Jeudi 07 décembre 2023 à 14H00

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

En distanciel : **Jitsi** : <https://rdv.onera.fr/DefenseBerhouni>

Devant le jury composé de :

- Directeur de Thèse :

- Laurent JACQUIN, Professeur, Ecole Polytechnique, Directeur Scientifique de domaine, ONERA

- Encadrants de Thèse :

- Didier BAILLY, Ingénieur de recherche, ONERA
- Ilias PETROPOULOS, Ingénieur de recherche, ONERA

- Rapporteurs :

- Sven SCHMITZ, Professor, Pennsylvania State University
- Paola CINNELLA, Professeur, Sorbonne Université

- Examineurs :

- Eric LAURENDEAU, Professeur, Polytechnique Montréal
- Benoît RODRIGUEZ, Ingénieur, SafranTech
- William THOLLET, Ingénieur, Airbus

- Invités :

- Edoardo PALADINI, Ingénieur, Safran Aircraft Engines

Abstract / Résumé :

The ambition of the civil aviation sector concerning the reduction of its environmental impact requires the development of disruptive technologies in terms of aerodynamics, motorisation and thus efficiency of innovative configurations. Classical examples of such technologies aiming at reducing specific fuel consumption are the ultra-high bypass ratio (UHBR) or open fan engines. The performance analysis of these configurations requires the development of new theoretical and numerical paradigms that are more adapted than methods classically used in the industry, relying for example on force calculations. This thesis consists in the investigation of a promising method based on an exergy balance, allowing to take into account both mechanical and thermal effects and tackle performance evaluation without relying on a drag/thrust bookkeeping. A theoretical study of the formulation is first performed in an inertial reference frame, allowing to obtain a version of the formulation adapted to the analysis of unsteady flows. Through this first step, clarifications are provided on the interpretation of the different terms of the balance and refinements are developed in terms of their phenomenological decomposition. The domain of validity of the formulation is then extended to the analysis of steady flows in a rotating frame of reference (thus non-inertial), and a phenomenological decomposition of the balance is carried out in order to extract appropriate performance metrics for the analysis of turbomachinery configurations. This new formulation is finally used for the physical analysis and performance evaluation of steady rotating flow configurations. The first is the external aerodynamics case of the subsonic ONERA HAD-1 propeller configuration. The second is the internal transonic flow in the case of the NASA compressor Rotor 37. In these investigations, physical links are made with respect to classical performance evaluation approaches, and the additional information provided by the exergy balance is studied.

L'ambition du secteur de l'aviation civile concernant la réduction de son impact sur l'environnement nécessite le développement de technologies de rupture en termes d'aérodynamique, de motorisation et donc d'efficacité de configurations innovantes. Les moteurs à très haut taux de dilution (UHBR) ou à soufflante non-carénée sont des exemples classiques de technologies visant à réduire la consommation spécifique de carburant. L'analyse des performances de ces configurations nécessite le développement de nouveaux paradigmes théoriques et numériques plus adaptés que les méthodes classiquement utilisées dans l'industrie, reposant par exemple sur des calculs de force. Cette thèse consiste en l'étude d'une méthode prometteuse basée sur un bilan d'exergie, permettant de prendre en compte les effets mécaniques et thermiques et de réaliser des évaluations de performances sans qu'un partage traînée/poussée ne soit nécessaire. Une étude théorique de la formulation est d'abord réalisée dans un repère inertiel, ce qui permet d'obtenir une version de la formulation adaptée à l'analyse d'écoulements instationnaires. À travers cette première étape, des clarifications et un raffinement concernant l'interprétation des différents termes du bilan sont effectués en terme de décomposition phénoménologique. Le domaine de validité de la formulation est ensuite étendu à l'analyse des écoulements stationnaires dans un repère en rotation (donc non inertiel), et une décomposition phénoménologique du bilan est effectuée afin d'extraire des métriques de performance appropriées pour l'analyse de

configurations type turbomachines. Cette nouvelle formulation est finalement utilisée pour l'analyse physique et l'évaluation des performances de configurations d'écoulement stationnaires tournants. Le premier cas d'étude est celui de la configuration externe d'hélice subsonique ONERA HAD-1. Le second est celui de la configuration interne de compresseur transsonique NASA Rotor 37. Dans ces études, des liens physiques sont établis avec les approches classiques d'évaluation de performance, et les informations supplémentaires fournies par le bilan d'exergie sont étudiées.

Key words / Mots clés :

Compressible flow, Exergy balance, Heat transfer, Turbomachinery, Propeller, FFX

Écoulements compressibles, Bilan d'exergie, Transfert thermique, Turbomachines, Hélices, FFX