

## Soutenance de thèse

**Aurélié ORTOLAN** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EdyF et intitulée « *Etude aérodynamique de ventilateurs axiaux réversibles à performance duale compressor/turbine élevée* »

**Le 19 octobre 2017 à 14h30, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

M. Nicolas BINDER	Professeur ISAE-SUPAERO	Codirecteur de thèse
M. Gérard BOIS	Professeur ENSAM Lille	Examineur
M. Xavier CARBONNEAU	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Florent CHALLAS	Ingénieur SAFRAN Ventilation Systems	Examineur
M. Rob MILLER	Professeur University of Cambridge	Rapporteur
M. Joerg SEUME	Professeur Leibniz Universität Hannover	Rapporteur

### Résumé

Le travail présenté dans ce manuscrit est le fruit d'une thèse CIFRE menée en collaboration avec SAFRAN Ventilation Systems et l'ISAE-SUPAERO dans le cadre du projet CORAC GENOME. Dans le contexte des avions plus électriques, le potentiel de récupération d'énergie de ventilateurs de refroidissement embarqués est étudié. Ces compresseurs conventionnels, utilisés uniquement au sol, fonctionnent en autorotation libre en vol. Dans cette dernière configuration, appliquer un couple donné sur l'arbre permet de récupérer de l'énergie électrique, le ventilateur fonctionne alors en autorotation chargée (mode turbine). Cependant, dans ce mode, un ventilateur conventionnel obtient de faibles rendements, causés par des incidences fortement négatives sur les deux roues conduisant à des décollements massifs sur la face en pression des pales. Le principal objectif du travail présenté est de concevoir une machine axiale réversible capable de fonctionner de manière duale en mode compresseur et turbine tout en ayant une performance élevée dans les deux cas. Une telle turbomachine permettrait alors de capitaliser l'équipement sur la durée totale de la mission. Premièrement, un état de l'art de la littérature concernant l'autorotation de compresseurs conventionnels est réalisé. L'adéquation de l'approche quatre-quadrants et du formalisme ( $\psi, \phi^*$ ) à propos du mode dual de turbomachines est soulignée, au détriment des représentations classiques qui séparent les performances compresseur et turbine. Les propriétés des écoulements d'autorotation, connues jusqu'à présent, sont résumées. Un point sur la prédictivité d'outils analytiques, numériques et expérimentaux dans ce fonctionnement hors adaptation est également effectué. Deuxièmement, les machines étudiées sont présentées ainsi que les méthodologies utilisées qui sont ensuite évaluées au regard des données d'essais. Troisièmement, une analyse du fonctionnement d'un ventilateur conventionnel du mode compresseur à l'autorotation chargée est proposée. Les propriétés génériques des écoulements d'autorotation sont mises en évidence et les paramètres impactant la performance identifiés comme étant les effets d'incidence, les interactions rotor/stator, la compressibilité et les distorsions d'entrée. Quatrièmement, le concept de machine

duale est présenté et les performances d'un premier prototype du mode compresseur à l'autorotation chargée sont analysées. Les spécificités de ce design particulier sont identifiées et son concept validé grâce aux grands rendements obtenus en essais. Ensuite, une étude paramétrique sur la géométrie de la machine est menée pour mieux comprendre l'influence du design sur la performance en vue d'améliorer le prototype actuel. Cinquièmement, la géométrie finale de la machine duale optimisée est proposée. Une procédure, dédiée au design de machines duales à partir d'une spécification à deux points est aussi donnée. Tout au long de cette étude, des efforts ont été mis en œuvre afin de changer la vision classique actuelle des turbomachines qui consiste à les classer selon leur mode de fonctionnement (compresseur ou turbine). Une vision plus générale, définissant une turbomachine comme un équipement qui échange du travail avec un fluide au moyen de la rotation de rotors, doit être adoptée. Ce travail ouvre la voie au design de turbomachines axiales duales avec une spécification multi-points.

## Summary

The present work is part of a CIFRE partnership between SAFRAN Ventilation Systems and ISAE-SUPAERO within the scope of the CORAC GENOME consortium. In the context of "more electric aircrafts", the energy recovery potential of onboard axial cooling fans is investigated. These conventional compressors, only used at the ground, operate at freewindmill in flight. In this last configuration, electrical power is recoverable if a given torque is applied on the shaft, the fan thus operates at load-controlled windmill (turbine functioning). However, in this mode, a conventional compressor design obtains very poor efficiency, due to highly negative incidences on both rows leading to massive separations on the blades pressure surface. The main objective of the present work is therefore to design a reversible axial machine which allows a dual compressor/turbine functioning, characterized by high performances in both cases, capitalizing this way the equipment throughout the mission. Firstly, a state of the art of the literature works regarding the windmilling operation of conventional fans is conducted. The suitability of the four-quadrants approach and  $(\psi, \phi^*)$  formalism for dual operations is underlined, at the detriment of classical representations that separate the compressor and turbine performances. The properties of windmilling flows, experienced so far, are summarized. This predictivity of analytical, experimental and numerical approaches in case of this far off-design operation is also stated. Secondly, the methodologies used in the present project are presented and assessed in relation to experimental data. The different machines studied are also presented. Thirdly, an analysis of a conventional fan operation from compressor to load-controlled windmill is proposed. Generic properties of windmilling flows are highlighted and the performances-impacting parameters are identified as effects of incidence, rotor/stator interaction, compressibility and inlet distortion. Fourthly, the dual machine concept is presented and the performances of a first prototype from compressor to load-controlled windmill is analyzed. The specificities of this particular design are identified and the dual machine concept is validated by the high experimental efficiencies obtained. Then, a parametric study based on the machine geometry is carried out to better understand the influence of the design on the performance in the hope of improving the current prototype. Fifthly, the final optimized dual machine design is proposed. A general procedure, dedicated to the design of dual machines according to a two-point specification, is also given. Throughout this present project, efforts have

been carried out to change the current classical vision regarding the classification of axial turbomachines according to the functioning mode (compressor or turbine). A more general vision, defining a turbomachine only as a device that exchanges work with the fluid through rotors rotation, must be adopted. This work opens the way to the design of dual axial turbomachines with multi-points specifications.