# Assessment and optimisation of guide fins for corner separation control in a compressor cascade

## Abstract

**Context**

Corner separation is one of the major phenomena limiting the operability of aeronautical compressors. In this thesis, a new approach on passive technological effects for corner separation control is undertaken with the concept of guide fins, defined as “profiled devices of a priori non-conventional shapes fixed to the hub”. The underlying idea is to investigate shapes typical of existing technological effects, as well as potentially interesting intermediate shapes, with a limited a priori on the physical mechanisms to implement. Through the concept of guide fins, the objectives of this thesis are a) to establish basic design rules for passive corner separation means of control, and b) to identify the physical mechanisms yielding a corner separation reduction.

**Method**

This work is based on an academic configuration (subsonic compressor cascade, M=0.11, Re=3.2 105, modern stator blades) where the aerodynamic conditions are thoroughly controlled. In a first step, a numerical chain is set up to evaluate various guide fin shapes by Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) computations. A parametrisation integrating aerodynamic constraints is developed (15 parameters). Given the complexity of the shapes involved, a hybrid mesh approach (structured-unstructured) is used. The limitations of RANS modelling are clearly identified, and the Quadrative Constitutive Relation (QCR) correction is used to improve this modelling. This numerical chain is then used within an optimisation process that aims at reducing the endwall losses at design and near-stall operating conditions. Due to the relatively high numerical cost of RANS simulations, an optimisation strategy based on the iterative refinement of Kriging surrogate models is performed. Using this strategy, two design spaces are explored. A RANS database containing about 500 guide fins is generated for each space, as well as low-fidelity Kriging surrogate models predicting the effect of guide fin design parameters on endwall losses.

**Results**

The analysis of the optimisation results reveals the existence of three guide fin families: a) Short Fence: short and straight guide fins, located rather upstream within the channel b) Long Fence: long and straight guide fins, covering the whole channel c) 3D: long guide fins with a pyramidal aspect, located rather downstream within the channel. These families are mainly sensitive to 6 design parameters, and notably to their axial position, height and thickness at hub.

A representative guide fin of each family is tested experimentally. Large gains at near stall incidence are obtained (-2.4 pt to -2.9 pt, equivalent to -49% to -59% of relative loss reduction) without degrading neither the nominal losses (-0.1 pt to +0.1 pt) nor the stator deflection. The operability of the stator is thus increased, and no longer limited by the corner separation, but by the midspan separation occurring on the stator blade.

The associated RANS computations are validated experimentally. Numerical investigations of each guide fin reveal several beneficial mechanisms for reducing corner separation, and notably the mechanisms of i) Tip vortex (energises the endwall boundary layer) ii) Fence (divides the passage flow in two parts) iii) Guide (re-orientation of the passage flow by local effect of incidence).

**Perspectives**

This work reveals the potential of guide fins for efficiently reducing the phenomenon of corner separation in a low Mach compressor cascade. Because of their passive aspect, their robustness and their efficiency, guide fins have a high potential for industrial applications. As a perspective, their performance on realistic configurations (compressible flow, realistic inlet boundary layer) should thus be assessed.

# Validation et optimisation du concept d’ailettes pour le contrôle du décollement de coin dans une grille linéaire de compresseur aéronautique

## Résumé

**Contexte**

Le décollement de coin est l'un des principaux phénomènes limitant l'opérabilité des compresseurs aéronautiques. Dans cette thèse, une nouvelle approche de contrôle passif du décollement de coin est entreprise avec le concept d'ailettes. Ces dernières sont définies comme des "dispositifs profilés de formes a priori non conventionnelles fixés au moyeu". L'idée sous-jacente est d'étudier des formes typiques d'effets technologiques existants, ainsi que des formes intermédiaires potentiellement intéressantes, avec un a priori limité sur les mécanismes physiques à mettre en place. Au travers du concept d'ailettes, les objectifs de cette thèse sont a) d'établir des règles de conception de base pour des moyens de contrôle passif du décollement de coin, et b) d'identifier les mécanismes physiques permettant de réduire le décollement de coin.

**Méthode**

Ce travail est fondé sur une configuration académique (cascade de compresseurs subsoniques, M=0.11, Re=3.2 105, aubes de stator modernes) où les conditions aérodynamiques sont soigneusement contrôlées. Dans une première étape, une chaîne numérique est mise en place pour évaluer différentes formes d'ailettes par des calculs RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes). Une paramétrisation intégrant nativement des contraintes aérodynamiques est développée (15 paramètres). Compte tenu de la complexité des formes impliquées, une approche de maillage hybride (structuré / non structuré) est utilisée. Les limites de la modélisation RANS sont clairement identifiées, et la correction QCR (Quadrative Constitutive Relation) est utilisée pour améliorer cette modélisation. Cette chaîne numérique est ensuite utilisée dans le cadre d'un processus d'optimisation. Ce dernier vise à réduire les pertes liées au décollement de coin aux points de fonctionnement nominaux et proche décrochage. En raison du coût numérique relativement élevé des simulations RANS, une stratégie d'optimisation basée sur le raffinement itératif de métamodèle de Krigeage est entreprise. Cette stratégie permet d'explorer deux espaces de conception. Une base de données RANS contenant environ 500 ailettes est générée pour chaque espace, ainsi que des métamodèles de Krigeage prédisant l'effet des paramètres de conception sur les pertes liées au décollement de coin.

**Résultats**

L'analyse des résultats de l'optimisation révèle l'existence de trois familles d'ailettes : a) Short Fence : ailettes courtes et fines, situées dans la partie amont du canal b) Long Fence : ailettes longues et fines, couvrant tout le canal c) 3D : ailettes longues avec un aspect pyramidal, situées dans la portion aval du canal. Ces familles sont principalement sensibles à 6 paramètres de conception, et notamment à leur position axiale, leur hauteur et leur épaisseur au moyeu.

Une ailette représentative de chaque famille est testée expérimentalement. Des gains importants à haute incidence sont obtenus (-2.4 pt à -2.9 pt, équivalent à -49% à -59% de réduction relative des pertes) sans dégrader ni les pertes nominales (-0.1 pt à +0.1 pt) ni la déflexion du stator. L'opérabilité du stator est donc augmentée, et n'est plus limitée par le décollement de coin, mais par le décollement apparaissant à mi-envergure sur le stator.

Les calculs RANS correspondant sont validés expérimentalement. Une investigation numérique révèle plusieurs mécanismes bénéfiques pour réduire le décollement de coin, et notamment les mécanismes de i) Tourbillon de bout de pale (énergise la couche limite moyeu) ii) Barrière (divise l'écoulement de passage en deux) iii) Guide (réoriente l'écoulement de passage par effet d'incidence local).

**Perspectives**

Ce travail révèle le potentiel des ailettes pour réduire drastiquement les effets néfastes liés au décollement de coin dans une grille linéaire de compresseurs subsonique. En raison de leur aspect passif, leur robustesse et leur efficacité, les ailettes ont un fort potentiel pour des applications industrielles. La perspective principale de ces travaux consiste donc à évaluer leurs performances sur des configurations plus réalistes (écoulement compressible, couche limite incidente réaliste).