# Conception du fan UHBR ECL5 pour une analyse des mécanismes d'interactions multi-physiques à l’origine du flottement

## Mots-clés

Aéroélasticité, Flottement, Fan, Conception, Composite, LRANS

## Résumé

L'évolution des fans tend vers de nouvelles architectures qui les rendent plus sensibles aux instabilités aéroélastiques. Le flottement est une de ces instabilités. Elle se produit lorsque l'échange d'énergie entre le fluide et la structure est déstabilisant. Un tel échange d'énergie est causé par les fluctuations de l'écoulement qui sont induites par la vibration de la roue aubagée et réciproquement. L'enjeu de ce travail est d'améliorer la compréhension des mécanismes menant à l'émergence du flottement dans un fan UHBR. L'étude porte sur le fan transsonique ECL5, un nouveau cas test ouvert dédié à la compréhension des instabilités dont la conception est finalisée ici et qui doit être testé sur le banc d'essai ECL-B3.

Différents méthodes numériques sont utilisés pour simuler les différentes physiques : simulations stationnaires de l'écoulement (RANS), simulations structurales (FEM) et simulations instationnaires linéarisées de l'écoulement (LRANS) autour du fan isolé. La sensibilité de la solution à divers paramètres numériques est évaluée et une attention particulière est portée aux effets de la déformation du maillage.

La conception de l'ECL5 finale est caractérisée par une large plage de rendement élevé pour des écoulements transsoniques. L'orientation des fibres composites a été définie de manière à assurer une large marge vis-à-vis des contraintes statiques et dynamiques. De plus, l'étude de stabilité aéroélastique systématique sur plusieurs points de fonctionnement à vitesse nominale et à vitesse partielle pour les trois premiers modes propres mécaniques confirme que le fan est stable sur une large plage de fonctionnement.

Par ailleurs, une instabilité aéroélastique du fan couplée à une résonance du système linéaire est détectée à vitesse partielle proche de la limite de stabilité aérodynamique. L'analyse montre que les principales fluctuations de l'écoulement sont liées à des phénomènes de convection : le battement de la couche limite décollée sur l'extrados et la fluctuation de l'écoulement de jeu. La résonance apparaît lorsqu'il y a concordance entre le temps de propagation des phénomènes convectifs dans l'écoulement de jeu et le déphasage inter-aube.

Une méthodologie est proposée pour identifier la chaîne de causalité entre les sources générant les fluctuations de l'écoulement et les récepteurs où les principaux échanges d'énergie entre l'aube et le fluide ont lieu. Cette méthode s'appuie sur le principe de superposition, le principe de quasi-stationnarité appliqué à une échelle locale et le déphasage inter aube. La méthodologie est appliquée à plusieurs configurations aéroélastiques transsoniques à la vitesse nominale. Il apparaît que la stabilité aéroélastique d'un fan est pilotée par un nombre restreint de mécanismes (variation d'incidence, variation de section de passage, variation de cambrure et onde régressive) dont le poids relatif varie en fonction du point de fonctionnement et du mode vibratoire.

# ECL5 UHBR fan design: analysis of multi-physical interaction mechanisms for flutter prediction

## Keywords

Aeroelasticity, Flutter, Fan, Design, Composite, LRANS

## Abstract

New fan architectures are more sensitive to aeroelastic instabilities. Flutter happens when the exchange of energy between the fluid and the structure is destabilizing. This exchange is caused by flow fluctuations generated by blades vibration and conversely. This work aims to improve the understanding of multi-physical mechanisms underlying flutter apparition in UHBR fans. The new transonic fan, ECL5, is studied. It is an open-test-case dedicated to the study of instabilities. Its design was achieved during this work and will be tested on ECL-B3 test rig.

Several numerical methods are used to simulate the different physics: stationary flow simulations (RANS), mechanical simulations (FEM) and time-linearized simulations (LRANS) applied to the isolated fan. Time-linearized simulations are validated through several sensitivity studies to numerical parameters, with special attention to mesh deformation effects.

The final ECL5 design is presented. It is characterized by a wide operating range with high efficiency for transonic flows. Composite fibre orientations are defined in order to ensure a high margin towards static and dynamic constraints. An aeroelastic study on several operating points at nominal speed and partial speed is conducted for the first three vibrational modes. It shows that the fan is stable over a wide operating range.

Moreover, an aeroelastic instability coupled with a resonance of the linear system is detected at partial speed near the aerodynamic stability limit. The analysis shows that the main flow fluctuations are convective phenomena: separated boundary layer variation at suction side and tip clearance flow variation. Resonance occurs when propagation time in the tip clearance flow and inter-blade phase angle coincide.

A methodology is proposed to identify the causal chain between sources and receptors. Sources produce flow fluctuations and receptors are zones where the main energy exchanges take place. This methodology is based on superposition principle, quasi-stationary principle applied at a local scale and inter-blade phase angle. It is applied to several aeroelastic configurations at nominal speed. It appears that the fan stability is controlled by a few mechanisms (incidence variation, flow section variation, camber variation and retrograde pressure wave) whose relative weights vary with the operating point and the mode.