

Title: Forced response and stability of mistuned structures subject to the Coriolis effect

Abstract:

Turbomachinery architectures are continually evolving in order to reduce the carbon footprint while increasing performance. In particular, blisks are lighter than conventional designs by using a single-piece structure. As the technology has developed these blisks have increasingly larger diameters and a resulting strong coupling between the blades and the disc, which leads to the appearance of rotational effects, in particular the Coriolis effect. This phenomenon, historically neglected because of its small influence on the dynamics of previous conventional designs, must now be considered.

Cyclic symmetric structures generally exhibit mistuning, which is defined as structural or geometric differences between sectors due to manufacturing tolerances or in-service wear. Moreover, mistuning leads to vibrational changes in the structure which can interact with those of the Coriolis effect, thereby making the analysis of the vibrational behaviour more complex. Flutter, which is an aerodynamic instability phenomenon that can occur on bladed discs, can be avoided by introducing intentional mistuning, also known as detuning. However, when the Coriolis effect is significant, it can reduce the stabilising action of the detuning.

The objectives of this PhD work were to improve the understanding of the interaction between the Coriolis and mistuning effects, to better simulate the vibrational behaviour of bladed discs and to avoid any instability issues due to flutter. To do this, the objective was to first incorporate the rotational and mistuning effects into dynamic simulations of a lumped parameter model representing a blisk. Next, aeroelastic couplings were introduced onto this lumped parameter model to study the system stability in the presence of detuning and the Coriolis effect. Then, reduction methods allowing to take into account the Coriolis effect and mistuning were developed and validated. And finally, these methods were applied to a representative finite element model of a single piece bladed drum to study the interactions between the mistuning and Coriolis effects.

These studies have shown the influence of both mistuning and Coriolis effects for different frequency regions. The effects of mistuning, i.e. localisation and an amplitude magnification of the forced responses, appear when there is a strong participation of the blades. On the other hand, when the participation of the disc is predominant, the responses tend towards a tuned behaviour with the appearance of travelling waves. The results of the aeroelastic model studies have also shown that it is more difficult to stabilise flutter-prone modes using a specific detuning pattern when the Coriolis effect on the structure is significant.

Keywords: bladed drum, mistuning, Coriolis effect, cyclic symmetry, reduced-order model, rotational speed, vibrations, flutter

Titre: Prévion de la réponse forcée et de la stabilité des structures désaccordées sujettes à l'effet Coriolis

Résumé :

Les architectures des turbomachines évoluent continuellement pour réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en améliorant les performances de fonctionnement. Parmi les composants, les disques aubagés monoblocs (DAM) sont plus légers que les modèles classiques grâce à la fabrication d'une pièce en un seul élément. Avec l'évolution des technologies, ces DAM ont des diamètres de plus en plus grands, ce qui crée un fort couplage entre les aubes et le disque et entraîne l'apparition d'effets liés à la rotation, en particulier l'effet Coriolis. Ce phénomène, historiquement négligé en raison de sa faible influence sur la dynamique des pièces traditionnelles précédentes, doit maintenant être pris en compte.

Les roues aubagées présentent toujours du désaccordage induit par des différences structurelles ou géométriques entre les secteurs dues aux tolérances de fabrication ou à l'usure en service. De plus, le désaccordage entraîne lui aussi des modifications vibratoires de la structure pouvant interagir avec celles de l'effet Coriolis ce qui rend l'analyse du comportement vibratoire plus complexe. Le flottement, qui est un phénomène d'instabilité aérodynamique pouvant apparaître sur les roues aubagées, peut être évité grâce à l'introduction d'un désaccordage intentionnel. Cependant, lorsque l'effet Coriolis est important, cela peut diminuer ce rôle stabilisateur.

Les enjeux de cette thèse sont d'améliorer la compréhension de l'interaction entre l'effet Coriolis et le désaccordage, afin de modéliser au mieux le comportement vibratoire des roues aubagées et éviter tout problème d'instabilité lié au flottement. Pour cela, l'objectif a tout d'abord été d'intégrer les effets liés à la rotation et au désaccordage dans les simulations dynamiques sur un modèle paramétrique représentatif d'une roue aubagée monobloc. Ensuite, les couplages aéroélastiques ont été introduits sur ce modèle paramétrique afin d'étudier la stabilité du système vis-à-vis du désaccordage intentionnel et de l'effet Coriolis. Puis, des méthodes de réduction permettant de prendre en compte le désaccordage et l'effet Coriolis ont été développées et validées. Pour finir, ces méthodes ont été appliquées sur un modèle éléments finis représentatif d'un tambour aubagé monobloc dans le but d'étudier les interactions entre le désaccordage et l'effet Coriolis.

Ces études ont permis de mettre en avant l'influence à la fois des effets du désaccordage et de l'effet Coriolis pour différentes plages fréquentielles. Les effets du désaccordage avec une localisation et une augmentation des amplitudes des réponses forcées apparaissent lorsqu'il y a une forte participation des aubes. En revanche, lorsque la participation du disque est considérable, les réponses tendent vers un comportement accordé avec l'apparition d'ondes tournantes. Les résultats des études sur le modèle aéroélastique ont aussi montré qu'il est plus difficile de stabiliser des modes sujets au flottement à l'aide d'un schéma de désaccordage intentionnel lorsque l'effet Coriolis est présent de façon non négligeable sur la structure.

Mots clés: tambour aubagé, désaccordage, effet Coriolis, symétrie cyclique, modèle réduit, vitesse de rotation, vibrations, flottement