# Titre de la thèse :

Approche couplée pour l’étude du contact sous chargement dynamique vibratoire : Application à l’usure par fretting du contact aube-disque

# Résumé :

# Les enjeux actuels imposent des modifications conséquentes des turboréacteurs, notamment dans un but de réduction des émissions sonores et polluantes. Ces modifications impliquent une meilleure compréhension et une maitrise de l'ensemble des phénomènes physiques ayant lieu dans les moteurs afin d'en optimiser la conception. La maitrise des niveaux vibratoires des aubages est alors un point d'intérêt important, permettant d'optimiser la conception tout en s'assurant du maintien de la fiabilité et de la sureté du turboréacteur. Le contact frottant entre les aubes et le disque présente différents avantages, de la facilité d'assemblage à la réduction des niveaux vibratoires par dissipation d'énergie dans le contact. L'application d'un chargement dynamique répété sur les interfaces de contact peut cependant engendrer des phénomènes d'usure par fretting, qu'il est nécessaire d'anticiper lors des phases de conception afin de s'assurer de la tenue des aubages.

# Ces travaux de thèse se placent dans ce cadre et ont pour objectif d'être en mesure de déterminer le comportement vibratoire des roues aubagées avec non-linéarités de contact, tout en considérant l'usure par fretting des interfaces de contact due au chargement vibratoire. Dans ce but, une méthode de simulation numérique a été mise en place via un couplage entre le calcul de la réponse forcée non-linéaire et une méthode de résolution du problème de contact semi-analytique. La réponse forcée vibratoire non-linéaire est déterminée via une méthode fréquentielle, l'équilibrage harmonique, permettant de traiter le régime périodique stationnaire directement. Les non-linéarités de contact y sont considérées via une approche temporelle par l'intermédiaire de transformées de Fourier. Cette méthode ne permet cependant pas de traiter un problème fortement discrétisé de par les temps de calculs qu'elle engendre. Une méthode semi-analytique de résolution du problème de contact est alors utilisée à la résonance non-linéaire, afin d'avoir un calcul rapide malgré une discrétisation très fine des interfaces. Cette finesse de discrétisation permet alors de déterminer avec précision l'usure du contact sous chargement vibratoire ainsi que les efforts. Le couplage réalisé offre enfin la possibilité de mettre à jour les géométries, afin de déterminer l'impact de l'usure sur le comportement du contact et sur les niveaux vibratoires.

# Le couplage développé est dans un premier temps appliqué à un modèle simplifié de roue aubagée, ayant un comportement mécanique représentatif d'une roue aubagée réelle et permettant une exploitation simple des résultats dans un but de mise au point et de validation. L'application à un modèle de soufflante industriel montre dans un second temps l'applicabilité des méthodes sur un cas complexe, mettant en évidence l'intérêt de ces recherches dans un cadre industriel.

# Mots clefs :

Dynamique non-linéaire, frottement, équilibrage harmonique, fretting, usure, méthode semi-analytique, roue aubagée

# Thesis title :

Coupled approach for the contact study in dynamic vibration problems : Application to fretting-wear of blade-disk contact

# Abstract :

Aircraft engines have been largely improved recently due to current issues, mainly in order to reach noise and pollution reduction goals. Such modifications involve a better understanding and mastering of physical phenomena taking place in the engines to be able to optimise their design. Precise prediction of blades vibration levels is then a key objective in order to optimise the design while maintaining reliability and safety of the engines. Contact interfaces between the blades and the disk involve several benefits such as easing the manufacturing process and decreasing vibration levels by dissipating energy due to dry friction in the contact interfaces. However, repeated dynamic loading due to vibrations can cause fretting-wear, which needs to be anticipated during design phases to ensure blades fatigue resistance.

In this context, those doctoral works aim at predicting vibration behaviour of bladed-disks in presence of dry friction non-linearities and taking into account fretting-wear of the contact interfaces induced by the dynamic loading. This was achieved by implementing a simulation method by coupling a non-linear forced response computation and a semi-analytical method to solve the contact problem. Dynamic non-linear forced response is determined using harmonic balance method, which consists in researching the stationary periodic response directly using a frequential approach. The use of Fourier Transforms allows determining non-linear contact forces in time domain. However, this method can be computationally expensive, hence limiting the discretisation of the contact interfaces. In order to be able to use a very discretised mesh, a semi-analytical contact solving method is used at the non-linear vibration resonance, allowing to have fast computations with a very refined mesh. Then, the precision given by such fine discretisation allows to consider fretting-wear induced by the dynamic loading and estimate contact forces accurately. Finally, the model geometries can be updated using the proposed coupled approach, in order to determine the influence of wear on contact behaviour and dynamic levels.

The proposed coupled approach is firstly applied to a simplified bladed-disk model, representing the mechanical behaviour of a real bladed-disk, while allowing a simple analysis of the results and phenomena in order to develop and validate the method. An industrial fan model is considered in a second time to demonstrate the applicability of such methods on a complex case, highlighting the interest of this work for industrial purposes.

# Keywords :

Non-linear dynamic, friction, harmonic balance, fretting, wear, semi-analytical method, bladed-disk