

# Résumé

Dans les turbomoteurs, le déclenchement de la protection mécanique contre les sur-vitesses d'un rotor par "Blade Shedding" conduit à des chargements mécaniques intenses sur la structure. En effet, cette protection est basée sur le départ de l'ensemble des pales de ce rotor. Grâce à l'amélioration des moyens de simulation, la prédiction du comportement de la structure devient accessible autant dans ses déformations irréversibles que dans sa réponse vibratoire. Néanmoins, les méthodes de modélisation doivent évoluer pour atteindre ce but. Dans ce contexte, à la frontière des cadres universitaires et industriels, l'objectif de ce travail de recherche est de proposer une méthodologie et des outils capables de simuler le départ généralisé de pales au sein du moteur. Au cours de cette thèse, des essais de cette protection sont tout d'abord analysés et fournissent des données quantitatives et qualitatives aussi bien sur le scénario que sur la sollicitation exercée sur le moteur. Ces informations permettent ainsi d'orienter la modélisation des rotors soit vers des approches de dynamique rotor de ligne d'arbre en transitoire, soit vers des approches volumiques pour simuler le départ des pales. De façon complémentaire, on utilise la réduction par synthèse modale pour représenter les carters, et on propose une approche originale de réduction dans le domaine des moyennes fréquences. Par ailleurs, le caractère extrêmement bref et non linéaire ainsi que la nécessité de prendre en compte de nombreux contacts orientent les travaux vers la méthode des éléments finis résolue par un schéma d'intégration explicite. Dans un premier temps, les résultats obtenus permettent d'appréhender la séquence de départ des pales qui n'a, à ce jour, pas pu être observé expérimentalement. Dans un second temps, les modèles fournissent des estimations du chargement au niveau de la liaison moteur-hélicoptère. Enfin, on ébauche les axes de développements pour une modélisation satisfaisante du "Blade Shedding".

**MOTS CLÉS:** Overspeed protection, Blade Out, Rotordynamics, System impedance, Model reduction, Component mode synthesis, Newmark algorithm, Central difference scheme, Johnson-Cook elasto-visco-plastic law, Plastic strain criteria, Triaxiality, Perforation

# Abstract

On Turbomeca's free turbine helicopter engines, the "Blade Shedding" mechanical overspeed protection leads to intense mechanical loads on the structure. Indeed, this protection is based on the rupture of the free turbine rotor blades. With the improvement of simulation capabilities, predicting the behaviour of the whole structure of the engine becomes accessible both in its irreversible deformation and in the vibratory response. Nevertheless, the modeling methods must evolve to meet this goal. In this context, at the border of industrial and academic areas, the objective of this research is to propose a methodology and the tools able to simulate the start of the released blades within the engine. During this thesis, this protection tests are first analyzed and provide quantitative and qualitative data on both the scenario and the transient loads on the engine. This information can thus guide the modeling of the mechanical system to light models or heavier 3D models. Additionally, the reduction by modal synthesis is proposed to represent the elastic parts of the system and a novel approach is defined to reduce the system in a defined frequency range. Moreover, the extremely brief and non linear character of the phenomenon and the need to take into account many contacts guide the work towards the finite element method resolved by the central difference scheme. Initially, the results allow understanding the sequence of released of the blades which has so far not been observed experimentally on an engine. In a second step, the models provide estimates of the load at the engine-helicopter airframe interface. Finally, we outline the main developments that would be required for a satisfactory modeling of the "Blade Shedding" protection.

**KEYWORDS:** Overspeed protection, Blade Out, Rotordynamics, System impedance, Model reduction, Component mode synthesis, Newmark algorithm, Central difference scheme, Johnson-Cook elasto-visco-plastic law, Plastic strain criteria, Triaxiality, Perforation