# Titre de la thèse

Modélisation thermomécanique transitoire d’un contact rotor-stator au niveau des joints labyrinthes

Thermomechanical transient dynamics of rotor-stator contact in labyrinth seals

# Résumé français

Les générateurs de gaz sont communément employés pour motoriser des avions ou des hélicoptères et réalisent toujours les étapes de compression-combustion-détente. En régime nominal, les gaz brulés font tourner la turbine qui entraîne le compresseur par le biais de l’arbre moteur. Il arrive que certaines des pièces de l’arbre subissent une défaillance qui ne garantit plus l’assemblage des étages turbine et compresseur. Par conséquence, la turbine entre en configuration libre et amorçe une accélération non-contrôlée qui peut mener à son éclatement. Il s’avère que dans les moteurs d’hélicoptère, la turbine subit un blocage sans effets dangereux. Une analyse de ces moteurs a révélé l’émergence de contacts rotor-stator intenses au niveau du joint labyrinthe de la turbine avec une forte élévation de température. Cette thèse est motivée par le besoin de prédire le transitoire de vitesse de rotation du rotor. Bien que la littérature soit fournie au sujet des la dynamique des rotors en présence de contact unilatéral frottant, la combinaison de la réponse dynamique avec une vitesse de rotation inconnue et le couplage thermomécanique restent un sujet à explorer. Les présents travaux proposent de résoudre le problème thermomécanique dans le domaine temporel en respectant strictement des contraintes de contact via les multiplicateurs de Lagrange. Les algorithmes de contact sont réécrits pour s’adapter au système fortement non-linéaire à cause des effets gyroscopiques. Cette thèse propose des modèles enrichis progressivement afin d’inclure les physiques principales et une discrétisation spatiale par éléments finis. Afin de réduire les temps de calculs, les modèles éléments finis thermomécaniques sont réduits avec les méthodes appropriées. Les méthodes de résolution ont été comparées et ont montré des résultats concordants avec la littérature. De plus, pour un jeu de paramètres judicieusement choisis, la survitesse peut être limitée. Il a même

été possible de prédire une réponse en précession inverse, qui est connue pour engendrer des efforts et vibrations très élevés. Des difficultés à identifier le moment de déclenchement cette instabilité ont été rencontrés mais corrigés en introduisant de la flexibilité au système. Enfin, la vitesse de rotation élevée conjointe aux efforts de contact importants provoque une forte génération de chaleur aux points de contact telle que la température de fusion est atteinte en cours de simulation.

**Mots clés** : turbine, survitesse, contact unilatéral, rotor-stator, frottement, thermomécanique, transitoire,

non-linéaire, réduction, domaine temporel

# Résumé anglais

Gas generators are commonly used to power airplanes and helicopters and always perform the compression-combustion-expansion stages. The burnt gases drive the turbine which, in turn, powers the compressor though the rotorshaft. Occasionally, some parts of the shaft may fail so that the turbine and compressor stages are no longer coupled. As a result, the turbine may enter a freewheeling configuration and initiate an uncontrolled acceleration leading to the disc burst. In helicopter engines, the turbine undergoes a seizure without hazardous effects. An analysis of these engines revealed the emergence of intense rotor-stator rub within the labyrinth seal and sharp rise in temperature. The present thesis is motivated by the need to predict the rotor speed transient accurately. Although the literature is extensive about rotordynamics accountig for unilateral contact occurences with friction, the combination of the dynamic response with unknown rotational speed and thermomechanical coupling remains a topic to be explored.

The present work proposes to solve the thermomechanical problem in the time domain by strictly respecting contact conditions through Lagrange multipliers. The solution algorithms are rewritten to fit the highly non-linear system due to gyroscopic effects. This doctoral research presents models progressively enriched with physics of interest. In order to reduce the computation time, reduction methods are applied to finite elements models accordingly. The resolution methods were compared and showed results in line with the literature. It turned out that overspeed could be limited for a carefully chosen set of parameters. It was even possible to predict a response in dry whip, which is known to generate very high stress and vibration levels. Difficulties in identifying the moment of triggering were encountered, but tackled by introducing flexibility into the system. Finally, the high rotation speed combined with the high contact forces resulted in high heat generation at the contact interface, to the point that melting temperature was reached during simulation.

**Keywords**: turbine, overspeed, unilateral contact, rotor-stator, friction, thermomechanics, transient, nonlinear, reduction, time domain

# Liste des publications :

* C. Jacobs, M. Legrand, F. Thouverez, P. Almeida, “Turbomachinery transient dynamics of radial rotor-stator contact occurrences with friction”, Proceedings of ASME Turbo Expo Turbomachinery Technical Conference and Exposition, DOI: 10.1115/GT2023-102198, June 2023.
* C. Jacobs, F. Thouverez, M. Legrand, P. Almeida, “ Thermomechanical transient dynamics of radial rotor-stator contact”, Preprint submitted to Journal of Sound and Vibration, April 2024, available on oai: <https://cnrs.hal.science/hal-04558059>