

BILAN ENERGETIQUE DE L'INTERACTION AUBE-ABRADABLE DANS LES TURBOREACTEURS

Q. Agrapart^{1,3}, J.F. Brunel¹, Y. Desplanques², P. Dufrénoy¹, R. Mandard², A. Millecamps³

1. Univ. Lille, FRE 3723 - LML - Laboratoire de Mécanique de Lille, F-59000 Lille, France

2. Centrale Lille, FRE 3723 - LML - Laboratoire de Mécanique de Lille, F-59000 Lille, France

3. Snecma (Safran), Villaroche, 77550 Moissy-Cramayel, France

MOTS CLES

Revêtement abrasable, interaction aube-carter, bilan énergétique, mécanismes d'usure, partage de flux

INTRODUCTION

La maîtrise des jeux entre les sommets d'aube en rotation et le carter fixe est un point essentiel dans le dimensionnement des turbomoteurs, tant pour assurer leur fiabilité que leurs performances en terme de consommation énergétique. La solution technologique la plus couramment utilisée pour réduire les jeux consiste à mettre en place un joint dit "abrasable" sur les parois internes du stator. En cas d'interaction aube-carter, ce joint joue le rôle de fusible et empêche l'usure ou l'endommagement des aubes. Cependant, même en présence de ces matériaux, certaines conditions défavorables peuvent conduire à des phénomènes d'interaction aboutissant à un endommagement voire une fissuration des aubes. Des précédentes études [1] ont montré, que l'aube peut entrer en résonance, différents phénomènes thermomécaniques au contact excitant l'aube sur l'un de ces modes propres. L'interaction aube-abrasable fait donc intervenir des mécanismes multiples et complexes : l'accommodation de l'incursion, des générations de chaleur, des dilatations thermiques conduisant à l'évolution des conditions de contact. Une étude énergétique de l'interaction est alors nécessaire car la détermination des dilatations thermiques découle directement des mécanismes de génération de chaleur et de la partition du flux de chaleur généré entre les solides. L'objectif principal est de quantifier les énergies associées à chaque mécanisme observé pendant l'interaction [2]. Un essai expérimental est réalisé en ce sens, via l'interaction simplifiée entre une lame en titane et un tambour rotatif recouvert d'abrasable, type AlSi-Po. Cette étude propose un bilan d'énergie de l'interaction aube-abrasable sur les bases d'une approche thermodynamique multi-physiques [3] incluant différents mécanismes. L'exploitation des grandeurs thermiques et dynamiques, directement mesurées sur le banc d'essai, serviront à estimer les quantités de chaleur générées, le partage de flux entre les différents corps, ainsi que les énergies mécaniques associées aux mécanismes réversibles et irréversibles.

BILAN ENERGETIQUE DE L'INTERACTION

Un bilan énergétique est proposé en formulation variationnelle afin de suivre les distributions des quantités d'énergies thermiques et mécaniques au cours des interactions. L'approche énergétique est construite autour du premier principe de la thermodynamique et fait appel à des bilans de masse appliqués à des systèmes ouverts. Il convient de considérer différents corps : le tambour d'abrasable et le moteur, l'aube montée sur son support de guidage, et éventuellement un 3eme corps à l'échelle de l'adaptation du contact. La formulation complète du problème thermodynamique prévoit d'identifier les travaux des efforts extérieurs exercés sur chaque système ainsi que les quantités de chaleur échangées avec les autres corps. L'interaction ne se limite pas aux efforts de frottement, car on propose d'écrire le travail sous forme d'une combinaison de plusieurs mécanismes d'usure et de déformation surfaciques et volumiques. Les conséquences des échanges énergétiques dus à l'interaction se traduisent en variations des énergies mécaniques et des énergies d'agitations thermiques dans les systèmes. Les débits de matière, sous forme d'échanges d'énergies spécifiques thermiques des masses usées ou transférées entre solides, sont également pris en compte.

RESULTATS SUR BANC D'ESSAI EXPERIMENTAL

Le banc d'essai est un dispositif développé à l'ONERA et son mode opératoire reprend les derniers travaux de [4,5]. Une lame en titane est montée sur une cellule d'incursion qui est déplacée radialement pour venir impacter un tambour d'abradable. Les efforts d'interaction sont estimés par méthode inverse (filtrage de Kalman) à partir des mesures de l'instrumentation dynamique. Le dispositif est adapté aux mesures thermiques avec l'ajout d'une caméra infrarouge sur la face latérale du tambour pour éviter les problèmes de variation d'émissivité. 6 capteurs de températures PT100 sont collés sur la lame pour mesurer les échauffements à différentes distances du contact. Les mesures de gradients de température de part et d'autre de l'interaction servent aux recalages directs de modèles en éléments finis de l'aube ou des modèles de source de flux mobile en calcul analytique [6] coté abradable. De ce fait, les quantités de flux de chaleur qui entrent respectivement dans l'aube et dans l'abradable sont estimées dans différentes configurations d'incursion.

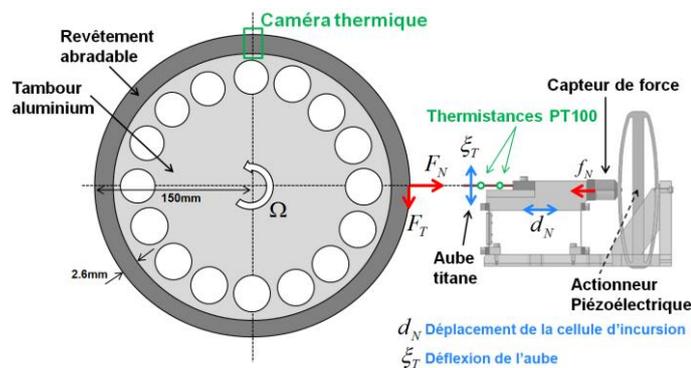


Figure 1: Représentation schématique, en vue axiale, du banc d'interaction aube-abradable.

Pour des incursions longues à faible pénétration, les bilans énergétiques montrent que la quasi-totalité du travail des forces d'interaction est convertie en chaleur. Le partage de flux est de l'ordre de 80% de chaleur dans l'abradable et 15% dans l'aube. Dans le cas d'incursions plus sévères, et surtout sur des matériaux vierges non densifiés, ce bilan est modifié de manière significative (25% de l'énergie totale n'est pas dissipée en chaleur). Il est montré qu'une partie non négligeable du travail des efforts d'interaction participe à la variation des énergies mécaniques et des dissipations à l'origine de l'activation des mécanismes surfaciques et volumiques irréversibles d'accommodation de l'incursion notamment.

Références

- [1] A. Millecamps et al. (2009) « *Influence of thermal effects during blade-casing contact experiments.* », In ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 855–862. American Society of Mechanical Engineers
- [2] W.F Laverty. (1982) « *Rub energetics of compressor blade tip seals.* », *Wear*, 75(1):1–20
- [3] M. Banjac, A. Vencl, S. Otović. (2014) « *Friction and Wear Processes – Thermodynamic Approach.* », *Tribology in Industry*, Vol. 36, No. 4 (2014) 341-347
- [4] R. Mandard and al. (2015) « *Interacting force estimation during blade/seal rubs.* », *Tribology International*, 82:504–513

[5] R. Mandard and al. (2015) « *Identification expérimentale des mécanismes d'accommodation de l'incursion aube-abradable* », JIFT 2015

[6] J. C. Jaeger. (1942) « *Moving sources of heat and the temperature of sliding contacts.* », In J. and Proc. Roy. Soc. New South Wales, 202