



## Étude, modélisation et simulation de la fissuration en mode I + II de pièces de boîte de vitesse d'hélicoptères à gradient de propriété, en fatigue de roulement

Soutenance de thèse – Maël ZAID

**mercredi 13 juillet - 13h30**

Salle Pierre Contensou - ONERA Châtillon

Suivi en distanciel • lien : <https://rdv.onera.fr/SoutenanceTheseMaelZaid>

### Devant le jury composé de :

Habibou MAITOURNAM, Professeur, ENSTA Paris,	rapporteur
Vincent MAUREL, Directeur de Recherche, HDR, Mines ParisTech,	rapporteur
Daniel NELIAS, Professeur, INSA Lyon,	examineur
Sylvie POMMIER, Professeure, ENS Paris-Saclay,	examinatrice
Pierre DEPOUHON, Ingénieur de Recherche, Airbus Helicopters,	examineur
Vincent CHIARUTTINI, Maître de Recherche, ONERA, MAS,	co-directeur de thèse
Vincent BONNAND, Ingénieur de Recherche, ONERA, MAS,	co-encadrant
Véronique DOQUET, Directrice de Recherche, CNRS, Ecole Polytechnique,	directrice de thèse

### Résumé

Les engrenages satellites de boîtes de transmission principale des hélicoptères, soumis à des cycles de fatigue de roulement à haute fréquence, sont constitués d'un acier dont la surface est durcie par cémentation, ce qui y induit en outre des contraintes résiduelles de compression, censées inhiber leur fissuration. Cependant, dans certaines conditions qui restent à éclaircir, un amorçage superficiel de fissures et une propagation, principalement en mode de cisaillement, peuvent survenir avec des conséquences catastrophiques. Pour améliorer la fiabilité de ces pièces, une bonne maîtrise de l'impact des paramètres du design sur la résistance à ce type de fissuration est indispensable. Dans un premier volet expérimental, une étude approfondie des matériaux constituant le satellite a été menée afin d'établir un lien entre l'évolution des propriétés mécaniques et le gradient de teneur en carbone issu de la cémentation. Un modèle de comportement élasto-plastique évolutif dépendant de la teneur en carbone a été identifié à partir d'essais de traction-compression et torsion alternée effectués sur deux aciers : 16NCD13 (non cémenté) et 58NCD13 (nuance cémentée). Des lois cinétiques de fissuration en mode I ont été obtenues. Des essais de fissuration ont ensuite été menés pour solliciter des fissures dans des conditions aussi représentatives que possible de celles qui règnent dans une boîte de vitesse d'hélicoptère (mode II alterné + compression biaxiale). La corrélation d'images numériques a été utilisée pour le suivi cinétique de la fissuration et pour déterminer, à partir des champs de déplacements mesurés en pointe de fissure, les facteurs d'intensité de contrainte effectifs, compte tenu du frottement des lèvres. Des lois cinétiques de fissuration en mode II corrigées des effets de friction ont été obtenues pour les deux nuances d'acier. L'influence des multiples branches orthogonales à la fissure principale (effet d'écran, compétition cinétique mode I/mode II) ainsi que celle de la compression biaxiale ont été analysées. Ces résultats ont permis d'alimenter un modèle éléments finis 3D d'un satellite, dans lequel les contraintes résiduelles de cémentation ont été prises en compte et où une fissure représentative de celle observée dans la pièce réelle a été insérée. Enfin, une tentative d'explication des trajets de fissure a été effectuée, notamment via le critère de vitesse maximale.

### Mots clés :

Fatigue de roulement ; fissuration ; chargement non-proportionnel ; simulation par éléments finis ; essais cycliques biaxiaux ; corrélation d'images numériques.