

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Analyse de l'émoussement de fissure : vers la corrélation d'images intégrée

Référence : MAS-DMAS-2026-09

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : octobre 2026

Date limite de candidature : 1^{er} juin 2026

Mots clés

Propagation de fissures ; émoussement plastique ; analyse d'images d'essais mécaniques ; fatigue

Profil et compétences recherchées

Ingénieur ou Equivalent Master 2 (recherche) avec une spécialisation en mécanique

- Goût pour la mesure expérimentale
- Connaissances en mécanique de la rupture
- Compétences en programmation numérique (Python)
- Maîtrise de l'anglais indispensable
- Curiosité et force de proposition

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Pour assurer la sécurité des vols, il est important de garantir que les composants aéronautiques critiques ne subiront pas de fissuration qui serait délétère vis-à-vis de leur fonctionnement. Pour se faire, il est nécessaire de pouvoir prévoir de manière suffisamment précise la rupture de pièces grâce à des modèles adaptés.

Les modèles de fissuration par fatigue les plus utilisés industriellement sont exprimés sous la forme d'une vitesse de fissuration par cycle (par exemple la loi de Paris). Ces modèles postulent une dépendance de l'état mécanique à la longueur de fissure et à l'état de chargement au loin. Ils peuvent être satisfaisants pour des chargements relativement simples, lorsque les phénomènes plastiques restent confinés près de la pointe de fissure. Cependant, ces modèles ne permettent pas de prendre en compte facilement l'effet de la plasticité sur la propagation de fissure lorsque des chargements à amplitude variable viennent influencer l'état de déformation plastique près de la pointe de la fissure. Cette plasticité va non seulement avoir un impact sur la vitesse de propagation de la fissure mais aussi sur l'ouverture de la fissure, et en particulier sur son émoussement (ou *Crack Tip Opening Displacement* - CTOD). Pour traiter ce type de problème d'analyse de plasticité en pointe de fissure, ces dernières années, un modèle de fissuration de type incrémental a été proposé [1]. Il propose, pour prendre en compte l'effet de la plasticité, que la fissure soit représentée non seulement par sa longueur mais également par l'émoussement plastique. L'établissement des modèles et leur validation passe ensuite par des essais de fissuration menés en laboratoire, avec des chargements représentatifs de ceux vus par la pièce en service, pour observer l'évolution de la longueur des fissures, détecter les deux lèvres de fissure et calculer l'émoussement associé.

Cependant, ce type de mesure présente jusqu'à ce jour des difficultés non seulement au niveau analytique mais également expérimental. Du point de vue analytique, il existe des méthodes permettant d'utiliser les champs de déplacement obtenus par corrélation d'images pour estimer une position de pointe de fissure. Ces méthodes utilisent des projections sur des champs analytiques qui supposent que la plasticité reste confinée. Elles ne fournissent pas la position réelle de la pointe de fissure si la plasticité n'est plus négligeable. Récemment, des méthodes automatiques pour déterminer la position réelle de la pointe de fissure en présence de plasticité ont été proposées [2,3]. Ce n'est qu'une fois que la position réelle de la pointe de fissure est connue qu'il est possible de mesurer un émoussement. Du point de vue expérimental, la principale difficulté est alors le niveau de précision en microscopie optique car il est souhaitable de pouvoir détecter (à froid ou à chaud) une variation de l'émoussement plastique de l'ordre du dixième de micron.

Cette thèse a pour objectif de proposer une méthodologie pour mesurer la longueur de fissure et son émoussement pour des chargements complexes, et ce de manière automatique au cours de la propagation. Pour ce faire, des essais seront réalisés sur des éprouvettes en superalliage base nickel (Inconel 718) afin d'observer et de mesurer l'évolution de l'émoussement plastique à haute température, notamment dans des conditions où le fluage s'active en pointe de fissure. Ils pourront être complétés par des essais micromécaniques interrompus, avec des observations au Microscope Electronique à Balayage, pour avoir une meilleure compréhension des phénomènes à impliqués à une échelle plus fine (celle des grains) et des champs locaux en pointe de fissure. Un effort significatif devra être mené sur la réalisation de mouchetis opérationnel aux deux échelles et en température (lithographie,...).

Une fois les données d'essais disponibles, leur analyse commencera par le calcul des champs de déplacement. Dans la mesure où il n'existe pas de consensus sur la manière optimale d'obtenir ces déplacements, un benchmark de plusieurs méthodes sera effectué. Les données obtenues permettront de proposer une nouvelle base de champs analytiques pour rechercher directement les champs de déplacements dans un espace utilisant les champs analytiques classiques (champs de Muskhelishvili [4]) ainsi que des solutions issues de la théorie élastique des dislocations [5]. Cette corrélation d'images intégrée devrait permettre de remonter plus directement à l'émoussement plastique.

Par ailleurs, au-delà des phénomènes plastiques, il pourra également être intéressant de prendre en compte l'influence de phénomènes visqueux, notamment à haute température. Plusieurs indices suggèrent qu'un comportement matériau élasto-viscoplastique au voisinage de la pointe de fissure pourrait être responsable de certains régimes de propagation tels que le temps de maintien et l'effet de rampe. Dans l'éventualité où cette hypothèse serait confirmée, l'extension du modèle incrémental afin de prendre en compte les effets du temps de maintien et de l'effet de rampe pourra être envisagée.

Dans tous les cas, les méthodes développées devront être applicables à Safran Aircraft Engines qui finance cette thèse (bourse CIFRE).

[1] S Pommier et R Hamam. "Incremental model for fatigue crack growth based on a displacement partitioning hypothesis of mode I elastic-plastic displacement fields". In : Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures 30.7 (2007), p. 582-598.

[2] Feld-Payet Sylvia et al. "Crack path tracking from full field measurements: A novel empirical methodology." Strain 56.2 (2020): e12333.

[3] Feld-Payet Sylvia et al. "Exploiting Global Digital Image Correlation for Crack Initiation". Procedia Structural Integrity 52 (2024).

[4] Nikola Ivanovich Muskhelishvili et al. Some basic problems of the mathematical theory of elasticity. T. 15. Noordhoff Groningen, 1953.

[5] De Moura Pinho, R. and Lopes Leal Junior, M. A new incremental fatigue crack propagation model accounting for history effects under complex thermomechanical loading.
<https://esmc2025.sciencesconf.org/593465/document>

Collaborations envisagées

Safran Aircraft Engines

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contact : Sylvia Feld-Payet

Tél. : 01 46 73 45 65 Email : sylvia.feld-payet@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Sylvia Feld-Payet

Laboratoire : Onera/DMAS

Tél. : 01 46 73 45 65

Email : sylvia.feld-payet@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>