

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Développement de méthodes numériques pour la détection robuste et fiable de l'amorçage et de la propagation de fissures

Référence : **MAS-DMAS-2026-03**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : octobre 2026

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

Mots clés

Amorçage de fissures ; propagation de fissures ; méthodes numériques ; analyse d'images d'essais mécaniques

Profil et compétences recherchées

Ingénieur ou Equivalent Master 2 (recherche) avec une spécialisation en mécanique ou traitement d'images

- Compétences en programmation numérique (Python)
- Goût pour la mesure expérimentale
- Des connaissances en mécanique de l'endommagement et de la rupture seraient un plus
- 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 nuirait à leur fonctionnement. Pour se faire, il est nécessaire de pouvoir prévoir de manière suffisamment précise la rupture de pièces grâce à des modèles adaptés. Afin d'établir ces modèles, des essais de fissuration sont menés en laboratoire, avec des chargements représentatifs de ceux vus par la pièce en service, pour observer l'apparition et l'évolution des fissures. L'un des défis actuels est de pouvoir détecter automatiquement ces fissures, quel que soit le matériau ou le mode de chargement. En effet, la majorité des méthodes d'analyse proposées dans la littérature se restreignent au cas où le comportement du matériau est élastique et ne permettent pas une bonne estimation lorsque les déformations plastiques ne sont pas négligeables dans la zone d'élaboration. Quant aux méthodes expérimentales communément employées (telles que la mesure par différence de potentiel), elles ne permettent pas de détecter des fissures lorsque les lèvres sont fermées : ces méthodes donc ne conviennent pas à des chargements de type cisaillement ou lorsque les fissures sont trop petites pour que leur ouverture soit mesurable. Afin de proposer des solutions robustes pour ces cas problématiques, des stratégies empiriques ont été développées à l'Onera pour suivre tout type de fissure [1], mais également pour détecter au plus tôt la localisation des déformations qui précède leur amorçage [2], ce qui est un sujet particulièrement novateur. Ces stratégies s'appuient sur l'analyse de champs de déplacements obtenus par un algorithme de corrélation d'images avec régularisation de type variation totale [3] qui était habituellement plus utilisé en vision par ordinateur qu'en mécanique. Elles ont permis d'obtenir des résultats très encourageants pour les matériaux métalliques et composites [4] pour différents types de chargement.

Les méthodes qui ont été développées sont des méthodes empiriques, indépendantes des théories de la mécanique, afin de fournir des données qui permettront d'établir de nouveaux modèles décrivant mieux les phénomènes physiques. Il serait donc souhaitable de garantir une certaine confiance dans les données mesurées, ce qui bénéficiera à la confiance que l'on pourra accorder aux modèles associés. C'est l'objectif de cette thèse pour laquelle le travail pourra se décomposer en 3 axes :

- Diminuer au maximum les sources d'imprécision possibles. Ces imprécisions peuvent être dues aux conditions de prise d'image ou au choix des composants ou des paramètres par l'utilisateur. Il est donc prévu de fournir une liste de recommandations pour la prise d'images et de proposer un choix initial de paramètres et composants adapté automatiquement aux images traitées. Ceci devrait permettre d'augmenter encore la robustesse des méthodes développées et faciliter leur prise en main par un utilisateur non expert.

- Fournir des bornes d'incertitude avec chaque mesure, ce qui n'est pas automatiquement accessible avec d'autres moyens de mesure et pourtant très utile. En effet, cette incertitude pourra ensuite être propagée dans les modèles afin d'avoir une idée de son impact sur l'estimation de la quantité d'intérêt.
- Quand cela est possible, chercher expérimentalement à avoir une référence en estimant de manière plus précise la pointe de fissure par des méthodes habituellement peu utilisées car trop difficiles à mettre en place de manière systématique ou destructives. Dans le cas présent, une analyse d'images pendant l'essai permettrait de l'arrêter dès que nécessaire afin de vérifier les estimations par des mesures sous microscope.

La performance et la robustesse des stratégies étudiées seront évaluées sur plusieurs cas SAFRAN. Parmi les cas envisagés, l'on peut citer :

1. Etude de l'amorçage et la propagation de fissures courtes pour des essais biaxiaux avec différents rapports de biaxialité (Safran Aircraft Engines - SAE)
2. Etude de l'amorçage de fissures à partir de défauts (Safran Transmission Systems et SAE)
3. Etude de l'amorçage et la propagation de fissures dans les matériaux composites à faible déformation (CMC) (Safran Ceramics)
4. Etude de la propagation de fissure en présence de plasticité dans la zone d'élaboration (SAE)

A court terme, ce travail permettra de garantir que ces stratégies soient facilement utilisables pour une large gamme d'applications aéronautiques, sans intervention utilisateur critique et ce quel que soit le stade de fissuration étudié. Il permettra ainsi d'aborder la question de la transition endommagement-fissure d'un point de vue expérimental et de fournir des données inédites.

A plus long terme, ce travail contribuera donc à une meilleure compréhension des mécanismes d'endommagement et de fissuration. Il permettra le développement de nouveaux modèles plus complexes (par exemple prenant en compte l'amorçage d'une fissure avec plusieurs branches concurrentes ou avec multi-fissuration) ou l'établissement de critères pour savoir quand la modélisation d'un endommagement continu ou d'une fissure courte est plus adapté. Les données obtenues pourront servir à valider les simulations numériques associées. Enfin, grâce aux bornes d'incertitude, ce travail pourra contribuer au développement des approches stochastiques pour la modélisation du comportement.

D'un point de vue plus général, ce travail pourrait avoir un impact sur les procédures de dimensionnement des structures en Tolérance au Dommage en permettant d'avoir des informations en deçà de la taille initiale du défaut-fissure considérée actuellement pour l'amorçage.

[1] Feld-Payet Sylvia et al. "Crack path tracking from full field measurements: A novel empirical methodology." Strain 56.2 (2020): e12333.[2] Feld-Payet Sylvia et al. "Exploiting Global Digital Image Correlation for Crack Initiation". Procedia Structural Integrity 52 (2024)

[3] Weinzaepfel Philippe et al. "DeepFlow: Large displacement optical flow with deep matching." Proceedings of the IEEE international conference on computer vision (2013)

[4] Nicol Matthieu et al. "Automated crack detection in laminated composites by optical flow measurements." Composites Part B: Engineering 255 (2023): 110599

Collaborations envisagées

Safran Aircraft Engines, Safran Transmission Systems et Safran Ceramics

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contact : Sylvia Feld-Payet

Tél. : +33 1 46 73 45 65 Email : sylvia.feld-payet@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Feld-Payet Sylvia

Laboratoire : ONERA

Tél. : +33 1 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>