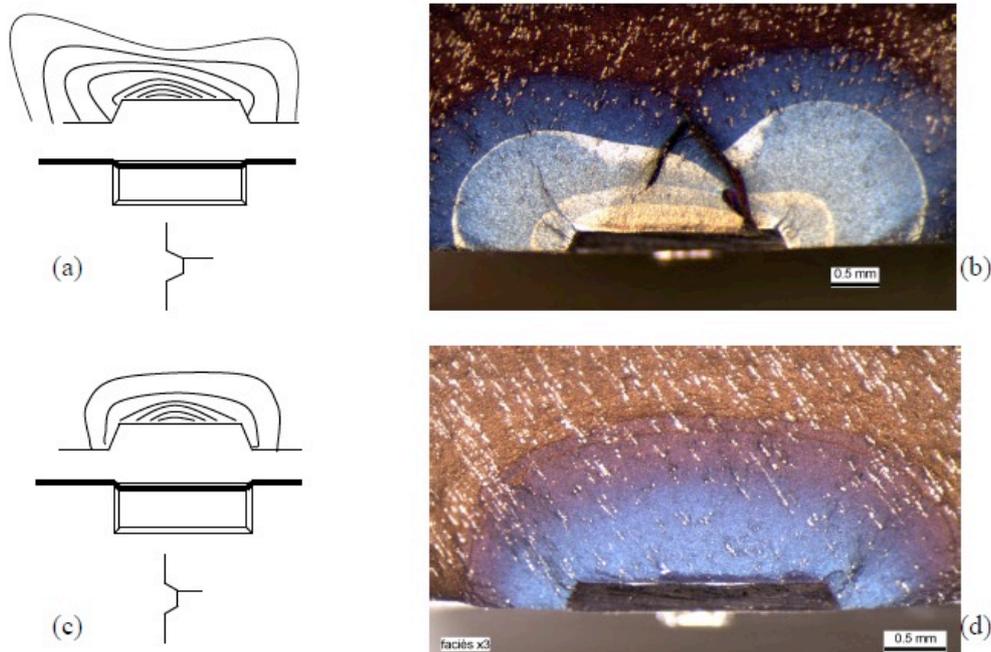


## Thèse de doctorat en convention CIFRE

### **Sujet : Vers une meilleure prédiction de l'évolution de la morphologie du front de fissure dans un champ de contraintes hétérogènes**

#### **Contexte et objectifs du travail de thèse**

Un projet de recherche concerté (PRC) financé en partie par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) a été initié en 2018 afin d'améliorer les méthodologies de calcul de durée de vie des pièces aéronautiques. Mieux appréhender le comportement de la fissure lorsqu'elle évolue dans un champ de contraintes hétérogènes fait partie des leviers majeurs identifiés. En effet, des constats expérimentaux mettent en exergue le gain potentiel de durée de vie en cas de gradient de contrainte, de plasticité locale ou de contraintes résiduelles de compression. Néanmoins, les morphologies de fronts de fissure associées peuvent être très complexes (figure 1). Leur digitalisation et la confrontation de résultats issus de calculs éléments finis réalistes de fissuration 3D met en évidence que les méthodologies semi-analytiques actuellement utilisées pour calculer le Facteur d'Intensité des Contraintes (FIC) en pointe de fissure ne sont pas réalistes. Or, ce facteur permet de rendre compte du chargement visible en pointe de fissure et sa détermination est essentielle pour décrire de façon juste le comportement matériau.



**Figure 1 : Scénarios de propagation de fissure de fatigue identifiés pour les chocs à 550°C et à  $R = 0,05$ . Schéma (a) et photo (b) d'un faciès de rupture dans le cas d'une sollicitation à 800 MPa. Schéma (c) et photo d'un faciès de rupture (d) dans le cas d'une sollicitation à 1050 MPa. [Doremus – 2014]**

L'objectif de ce travail de thèse est donc de proposer une modélisation semi-analytique de la propagation de fissure permettant de rendre compte des fronts expérimentaux observés tout en s'affranchissant des temps de calcul éléments finis de fissuration 3D, qui sont prohibitifs pour certaines applications. Les méthodes perturbatives développées à l'IMSIA (Institut des Sciences Mécaniques et Applications Industrielles), permettent de déterminer la variation du FIC résultant d'une perturbation de la forme du front sous la forme d'une intégrale de ligne (celle du front de fissure) [Lazarus, 2011]. Cette approche constitue donc une alternative séduisante aux calculs éléments finis qu'il convient d'évaluer.

Ce travail s'appuiera sur les constats expérimentaux observés sur l'Inco718 DA, alliage forgé utilisé notamment pour la fabrication des disques de turbine CFM56 et LEAP.

### **Description prévisionnelle du travail de thèse**

Dans un premier temps, le travail de thèse s'attachera à évaluer les performances de la méthode perturbative dans le cas d'un chargement de traction uniforme en milieu infini et en fatigue pure. D'une part, il s'agira de s'en servir pour calculer le facteur d'intensité des contraintes le long du front de fissure pour des géométries simples et complexes issus de la base de données expérimentale Safran Aircraft Engines. La validation de cette première brique s'appuiera sur la comparaison avec les calculs éléments finis 3D Zcracks ou XFEM 3D. D'autre part, le travail de thèse s'attachera à proposer une méthode pour prédire l'évolution géométrique de la fissure au cours de la propagation, toujours en cas de chargement en fatigue pure (sinus/triangle). Une étude d'influence de la forme du front sur la durée de vie en fatigue sera réalisée et permettra de mieux cibler les priorités de développement modèle.

Dans un second temps, sur la base de cette première analyse et de la bibliographie, le/la doctorant(e) proposera une méthodologie permettant de prendre en compte les chargements hétérogènes et les milieux semi-infinis.

Enfin, les méthodologies de calcul proposées seront validées en confrontant les résultats numériques aux résultats expérimentaux issus de la base de données Safran Aircraft Engines. Des essais complémentaires éventuellement plus discriminants pourront être spécifiés et réalisés chez Safran Aircraft Engines dans le cadre du travail de thèse. L'ensemble des développements réalisés devront par ailleurs s'intégrer aux outils de calcul de durée de vie utilisés par les bureaux d'études.

En perspective, si les premiers résultats sont satisfaisants, le/la doctorant(e) proposera une méthodologie permettant de rendre compte des couplages entre mécanique et environnement lors d'un chargement avec temps de maintien.

## Organisation de la thèse

La thèse se déroulera dans le cadre d'un contrat CIFRE avec Safran Aircraft Engines et en collaboration avec l'IMSIA (Institut des Sciences Mécaniques et Applications Industrielles), unité mixte de recherche ENSTA Paris Tech, CNRS, CEA et EDF (UMR 9219). Le/la doctorant(e) réalisera ses travaux de thèse dans la composante ENSTA de cet Institut (située sur le campus de l'école Polytechnique) et des périodes de travail à Safran Aircraft Engines (site de Villaroche). Ces périodes d'immersion en entreprise auront pour objectif d'assurer la cohérence entre les modèles développés et les outils de calcul de durée de vie utilisés par les bureaux d'études.

La thèse se déroulera sous la responsabilité de :

- Raül De Moura Pinho, +33 1 60 59 46 69, [raul.de-moura-pinho@safrangroup.com](mailto:raul.de-moura-pinho@safrangroup.com)  
YHMM, division méthodes mécaniques  
Safran Aircraft Engines, Rond-Point René-Ravaud, 77550 Moissy Cramayel
- Véronique Lazarus, +33 1 69 31 98 15, [veronique.lazarus@ensta.fr](mailto:veronique.lazarus@ensta.fr)  
Professeure de mécanique des solides  
IMSIA  
ENSTA PARISTECH – Unité de Mécanique  
828 Boulevard des maréchaux  
91762 PALAISEAU CEDEX  
<https://perso.ensta-paristech.fr/~lazarus/>

**Date objectif de début de thèse** : octobre 2019

## Compétences du candidat :

Connaissances spécifiques :

- Mécanique des matériaux et des structures ;
- Méthodes numériques (éléments finis, intégration numérique...)
- Comportement en fissuration.

Formation : diplôme d'ingénieur ou master mécanique, matériaux, mathématiques appliquées, analyse numérique

Aptitudes personnelles :

- Rigueur et curiosité scientifique ;
- Créativité, capacité d'innovation ;
- Capacité d'implication forte ;
- Bon niveau d'anglais technique ;
- Bon relationnel.

### Procédure pour candidater :

Envoyez votre candidature par voie électronique à [veronique.lazarus@ensta.fr](mailto:veronique.lazarus@ensta.fr)

- CV avec coordonnées de personnes référentes ;
- lettre de motivation ;
- relevés de notes des deux dernières années d'étude ;
- classement du Master ou du diplôme d'ingénieur ;
- éventuellement, lettres de recommandation.

### Quelques références bibliographiques :

[Doremus – 2014] – Doremus L., "Etude expérimentale et modélisation de la micropropagation à partir d'anomalies de surface dans l'Inconel 718 DA", Thèse de doctorat, Ensm Poitiers.

[Fessler – 2017] – Fessler E., "Etude des interactions fatigue-fluage-environnement lors de la propagation de fissure dans l'Inconel 718 DA", Thèse de doctorat, Université de Toulouse.

[Lazarus – 2011] - Perturbation approaches of a planar crack in Linear Elastic Fracture Mechanics: a review. Lazarus, V., Journal of the Mechanics and Physics of Solids 59, 121--144 (2011).