



**HAL**  
open science

# Modélisation numérique d'essais en fatigue pour l'étude de la propagation de fissures courtes à partir d'un défaut surfacique

Marie Bouyx, Vincent Chiaruttini, Aurélien Vattré, Vincent Bonnard,  
Antoine Blanche

## ► To cite this version:

Marie Bouyx, Vincent Chiaruttini, Aurélien Vattré, Vincent Bonnard, Antoine Blanche. Modélisation numérique d'essais en fatigue pour l'étude de la propagation de fissures courtes à partir d'un défaut surfacique. SF2M 2023, May 2023, Paris, France. hal-04131530

**HAL Id: hal-04131530**

**<https://hal.science/hal-04131530v1>**

Submitted on 16 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Modélisation numérique d'essais en fatigue pour l'étude de la propagation de fissures courtes à partir d'un défaut surfacique

Marie Bouyx<sup>1,2,a</sup>, Vincent Chiaruttini<sup>1</sup>, Aurélien Vattré<sup>1</sup>, Vincent Bonnard<sup>1</sup> et Antoine Blanche<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ONERA, DMAS/M3S, Université Paris-Saclay, Châtillon

<sup>2</sup> Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, GeM, UMR 6183, F-44321 Nantes, France

<sup>3</sup> Safran SAE, Centre de Villaroche, Moissy-Cramayel, France.

**Points d'intérêt :** Numérique, Fissure courte, Fatigue, Microstructure, Polycristal, Neper, Z-cracks, Z-set

### 1 Introduction

Ce travail porte sur l'étude de fissures courtes de pièces aéronautiques. Il vise à mieux comprendre les effets de l'environnement microstructural sur la propagation en fatigue de micro-fissures initiées sur un défaut surfacique artificiellement généré. On s'intéresse dans ce travail à réaliser une simulation numérique représentative d'une expérience qui sera menée par ailleurs.

Le matériau de l'étude est l'Inconel 718 DA, qui présente une microstructure dite à grains fins. Pour mieux comprendre les trajets et les vitesses de propagation de fissures submillimétriques dans leur environnement, plusieurs tailles de grains seront considérées, la plus petite étant de l'ordre de grandeur de celle du matériau conventionnel ( $6\mu\text{m}$  [1]) et la plus grande de l'ordre du millimètre. Les grandes tailles seront obtenues par des traitements thermiques adéquats.

On cherche donc à modéliser par éléments finis une éprouvette de fatigue avec une description du polycristal et du défaut de surface artificiel. Il conviendra de considérer les propriétés plastiques anisotropes au sein de l'agrégat polycristallin dans lequel la fissure se propagera. La faisabilité de la chaîne complète de simulation sera évaluée dans un premier temps sur une reproduction simplifiée du matériau en appliquant un comportement élastique anisotrope et en utilisant l'approche de la mécanique élastique linéaire de la rupture.

### 2 Modélisation

Un des principaux aspects de la chaîne numérique consiste à pouvoir traiter des microstructures différentes dans les simulations. Pour les différentes tailles de grains considérées, il n'est actuellement pas envisageable de réaliser une simulation représentant la microstructure de la matière sur son ensemble, ni à l'échelle de la pièce, ni à celle de l'éprouvette, c'est pourquoi nous utilisons une approche par patch récemment développée à l'Onera [2]. Cette méthode permet d'obtenir sur un premier exemple un agrégat décrit par un patch cubique de  $100\mu\text{m}$  de côté au sein d'un milieu continu homogène équivalent.

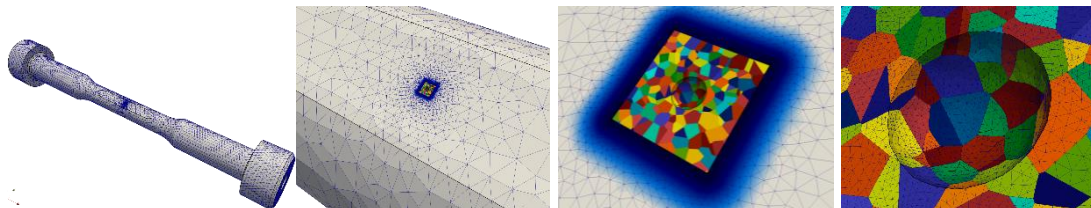
Ensuite, des opérations de maillage sont menées pour introduire une représentation du micro-défaut de l'ordre de quelques dizaines de microns. A ce stade, on considérera un défaut idéalisé en positionnant une demi-sphère à la surface de l'agrégat ( $\varnothing=50\mu\text{m}$ ). Ce défaut peut également être maillé à partir d'un scan 3D obtenu par microscopie numérique pour une meilleure description et prise en compte de la variabilité de défaut obtenu par électroérosion (dimensions (largeur et profondeur) et aspect étant

---

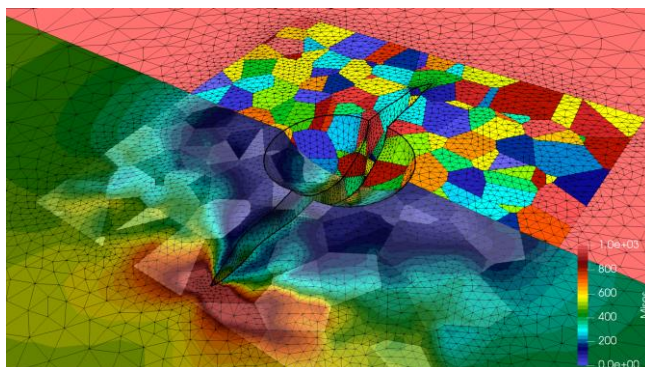
<sup>a</sup> Auteur assurant la présentation : marie.bouyx@onera.fr

fluctuants). L'essai de fatigue est alors modélisé en introduisant les conditions aux limites du chargement imposé sur l'éprouvette.

En pratique, la chaîne numérique mise en œuvre associe un logiciel de CAO (FreeCAD), un mailleur généraliste (GMSH), un outil de génération de maillages de microstructure (NePer), et les modules des maillages et de calcul de la suite Z-set (Figure 1). Cette approche flexible permet d'étudier différents types de microstructures et/ou de géométries d'éprouvette, correspondants au matériau à taille de grain variable, avec des lois de comportement anisotropes en plasticité cristalline (Figure 2).



**Figure 1** : Illustrations de la chaîne numérique mise en œuvre (couleurs des grains aléatoires).



**Figure 2** : Simulation représentative avec un critère de bifurcation en taux de restitution d'énergie maximal et une microstructure représentative par patch contenant 1600 grains de diamètre moyen 6µm.

### 3 Théorie

En parallèle, des travaux théoriques sont menés pour comprendre les interactions entre une microfissure et un joint de grain avec une représentation ad-hoc de la plasticité discrète en pointe de fissure. Basée sur la théorie élastique des dislocations couplée à la mécanique linéaire de la rupture, cette nouvelle approche a pour objectif de comprendre les effets des orientations cristallographiques sur les champs élastiques et les facteurs d'intensité des contraintes, au voisinage de la pointe de fissure [3]. La compréhension du rôle des barrières microstructurales accompagnées de descripteurs plastiques semble prometteur pour permettre une description macroscopique du régime de fissures courtes.

### Références

1. Fessler, E. (2017). *Etude des interactions fatigue-fluage-environnement lors de la propagation de fissure dans l'Inconel 718 DA* [These de doctorat, Toulouse, INPT].
2. Chiaruttini, V., & Vattré, A. (2022). *Approche monolithique globale/locale à interface diffuse par intersection de maillage*.
3. Vattré, A., & Chiaruttini, V. (2022). *Singularity-free theory and adaptive finite element computations of arbitrarily-shaped dislocation loop dynamics in 3D heterogeneous material structures*. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 167, 104954.