

Proposition de projet

Année 2020-2021

Mastère Spécialisé DMS

Encadrement

Clément Remacha et Romain Cariou (SAFRAN), David Ryckelynck, Axel Aublet et Pierre Kerfriden(CDM)

Titre

Suivi expérimental et numérique d'essais de fluage sur éprouvettes en superalliage monocristallin

Contexte

Le projet , en partenariat avec SAFRAN s'inscrit dans le cadre de travaux de thèse ayant pour objectif le développement d'une méthodologie automatique d'aide à la sanction de dérogation de pièces en superalliage monocristallin. La méthodologie permettra de donner un indicateur de durée de vie près d'une zone de concentration de contrainte sous une sollicitation mécanique à Haute Température avec gradient thermique. Ce calcul utilisera des techniques de maillage automatique appliquées aux images issues de la numérisation d'une pièce par tomographie. Cette chaîne automatique prendra ainsi en compte les variations géométriques locales de la pièce ainsi que la désorientation cristalline du matériau. Le temps d'exécution de la chaîne de traitement sera de l'ordre de l'heure et utilisera les techniques d'hyper réduction de modèle afin de diminuer drastiquement les temps de calcul. Ces techniques aborderont une approche par apprentissage automatique (Machine Learning) via une base de données. Cette dernière sera construite va le jumelage numérique d'une série d'éprouvettes à géométrie variable. Ces éprouvettes subiront des essais de fatigue/fluage avec un refroidissement interne afin de reconstituer le comportement de zones d'une aube de turbine de turboréacteur en fonctionnement. Ces essais jumelés à des simulations numériques fidèles, permettront de mieux comprendre les mécanismes de déformations et d'amorçage de fissures près de zones à concentration de contraintes.

Objectif et travail proposé

Le stage se concentrera sur le développement d'un maillon de la chaîne traitant d'une méthode de morphing de géométrie CAO par approche probabiliste. L'opération de morphing permettra de déformer un maillage CAO sur le maillage d'une éprouvette tomographiée afin de déterminer les zones de variations géométriques liées au processus de fonderie. Le développement sera fait en Python et permettra d'obtenir un ensemble de modes réduits en déplacement sources de fluctuations géométriques. Ces informations permettront, in fine, de mieux appréhender l'impact morphologique de la pièce sur le calcul de la durée de vie. En parallèle, une campagne d'essais de fatigue fluage sous gradient de température sera menée dans le cadre de la thèse et le stagiaire participera à ces expériences en collaboration avec le doctorant. Cette campagne est menée dans le cadre de travaux de jumelage numérique, le stagiaire aura à lancer les calculs numériques correspondant aux éprouvettes passées au banc d'essais. Afin de mieux appréhender la chaîne dans sa globalité, le stagiaire pourra participer à l'acquisition par tomographie au sein de la fonderie expérimentale de Safran PFX de Gennevilliers ainsi qu'aux essais menés au Centre des Matériaux lors du stage.

Programme du stage

Pour pouvoir simplifier le calcul en une somme de contributions élémentaires (modes), l'une des étapes clef est de pouvoir décrire la géométrie de la pièce réelle comme une géométrie de référence déformée par une somme de modes de déplacement. Ce stage se concentrera sur le développement de ce maillon de la chaîne, c'est à dire : *le développement d'une méthode de morphing de géométrie CAO par approche probabiliste*. L'opération de morphing permettra de mesurer la déformation d'un maillage CAO sur le maillage d'une éprouvette tomographiée afin de déterminer les zones de variations géométriques liées au processus de fonderie seront, en ayant filtré les plus petites échelles de variation géométrique. Les opérations de morphing restreintes à une zone dite de morphing, noté ZM.

Pour cela quatre étapes seront à étudier et à mettre en place pour notre cas d'étude :

- **Partie 1 : Elaboration de l'outil de Morphing**

- **Outil calcul matrice de déplacement** : construction d'une matrice de déplacement de la CAO vers la géométrie tomo en zone ZM. Le maillage de la CAO sans défauts sera fourni. Sa topologie sera indépendante du diamètre du perçage longitudinal de l'éprouvette. Le maillage de la CAO sera lui-même le résultat d'une opération de morphing simple pour tenir compte du diamètre de la cavité longitudinale.

Travail : codage du bloc calcul de déplacement

Inputs : CAO (diamètre donnée et déformation par morphing), Maillage Tomo

Output : Champ de déplacement du maillage CAO vers maillage Tomo

Problème : résolution du maillage (fusion de nœuds) : technique de calcul du champ U : appel à des fonctions intermédiaires : discrétisation pour filtrer les petites échelles de variation géométriques. Introduction de modes Gaussien sur la surface : gamma-exponentielles (Python, base existante) ou de modes issus de la méthode Laplacian Eigenmap.

- **Construction matrice snapshots** : application de l'outil sur les N tomographies fournies (rangées par diamètres noyaux) : appliquer la bonne CAO pour calcul du champ de déplacement. ISO – CAO => même nombre de DDL ie tous les champs auront la même taille.

Travail : constituer la matrice selon standards ROM établis au Centre.

- **Réduction de modèle et calcul des modes de déplacement géométriques** : décomposition en valeurs singulières de la matrice Q.

Travail : estimation du nombre de modes nécessaires (nombre min et max de valeurs propres à conserver). Trop de modes augmente la difficulté de reconstruction du modèle mécanique (phase hyper réduite). Pas assez de modes induit un écart important entre les contraintes mécaniques calculées sur le maillage issu de la tomographie et les contraintes calculées sur la géométrie obtenue par morphing.

- **Partie 2 : Validation de l'outil par étude de propagation d'incertitudes**

- **Validation de la chaîne** : application sur des éprouvettes test (méthode ML). Comment les modes réduits générés par morphing permettent de reproduire les éprouvettes à partir de la CAO, tant d'un point de vue géométrique que d'un point de vue mécanique (prévision des contraintes) ?
- **Etude de propagation d'incertitudes** : impact de variations aléatoires des combinaisons des modes géométriques réduits.

Travail : faire varier les combinaisons des modes de déplacement et mener un calcul complet sur la géométrie générée. Estimer l'abatement sur la durée de vie avec des variations données des modes selon l'essai mené.

Le développement sera fait en Python et permettra d'obtenir un ensemble de modes réduits en déplacement sources de fluctuations géométriques. Ces informations permettront, in fine, de **mieux appréhender l'impact morphologique de la pièce sur le calcul de la durée de vie**. En parallèle, une campagne d'essais de fatigue fluage sous gradient de température sera menée dans le cadre de la thèse et le stagiaire participera à ces expériences en collaboration avec le doctorant. Cette campagne est menée dans le cadre de travaux de jumelage numérique, le stagiaire mènera les calculs numériques correspondant aux éprouvettes passées au banc d'essais. Afin de mieux appréhender la chaîne dans sa globalité, le stagiaire pourra participer à l'acquisition par tomographie au sein de la fonderie expérimentale de Safran PFX de Gennevilliers ainsi qu'aux essais menés au Centre des Matériaux lors du stage.

profil demandé

Le sujet convient à un candidat ayant un profil mécanique des matériaux et des structures ou mathématiques appliquées. Une première expérience en machine learning et en programmation avec Python serait un plus.