Institut Pprime
Recherche en physique et ingénierie

Thèse 2025

Début : octobre 2025 (candidature jusqu'au 4 avril 2025)

Allocation doctorale de l'ISAE-ENSMA

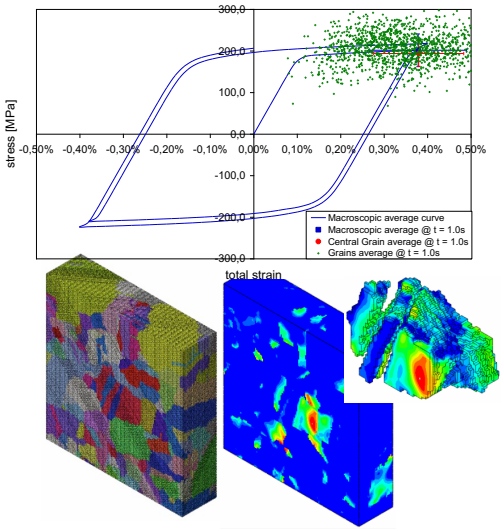
Encadrement : Céline Gérard, Loïc Signor, Mikaël Gueguen, Patrick Villechaise

Modélisation en plasticité cristalline du comportement sous sollicitation cyclique d'un acier inoxydable soumis au phénomène de rochet

Outils et connaissances à utiliser : Mécanique des matériaux, Calcul de structures, Méthode des éléments finis, Calcul Haute Performance, Programmation (C++)
Nature du travail : Modélisation et simulation numérique

Contexte

Près de 80% des ruptures de structures en service sont liées à des chargements cycliques. Ceux-ci peuvent être de différents types : fatigue-corrosion, fatigue gigacyclique, fatigue oligocyclique ou rochet. Le phénomène de fatigue peut engendrer l'amorçage de fissures, même lorsque le niveau de chargement est très faible, de l'ordre de la limite d'élasticité. Le phénomène du rochet se caractérise, lui, par l'apparition d'une déformation non compensée d'un cycle à l'autre, laquelle va conduire à une accumulation de déformation, et, pour finir, à la ruine de la structure par déformation excessive.



La compréhension et la prédiction par des modélisations et des simulations numériques de la réponse mécanique des métaux, et alliages métalliques polycristallins, sous sollicitation cyclique constituent de fait un enjeu important pour la maîtrise de la durabilité de ces matériaux.
Dans la grande majorité des cas, le phénomène observé relève de la fatigue à grand nombre de cycles. De nombreuses études expérimentales et théoriques y ont été consacrées dans les années 1990 et 2000 notamment. Les modèles actuellement disponibles permettent d'obtenir une prédiction du comportement plutôt satisfaisante.
La fatigue oligocyclique, et plus encore le phénomène de rochet, se produit de façon nettement moins fréquente, mais dans des situations et domaines d'applications où les enjeux sont particulièrement importants comme le nucléaire. Or le phénomène du rochet reste à ce jour grandement incompris et mal modélisé.

Sujet de la thèse

L'objectif de cette thèse porte sur la compréhension et la modélisation du phénomène de rochet par la mise en place d'une approche de simulations numériques en champs complets, par la méthode des éléments-finis, de la réponse mécanique d'agrégats polycristallins sous chargement cyclique. Dans ce cadre, la description du comportement local, à l'échelle du grain, sera basée sur des équations constitutives de type plasticité (ou visco-plasticité) cristalline, incluant des écrouissages non-linéaires isotrope et/ou cinématique

formulés en termes de densité de dislocations. Une attention particulière sera apportée à la description de l'écrouissage latent.
Ce travail impliquera, entre autres, l'implémentation du schéma d'intégration numérique de la loi de comportement locale au sein du solveur élément-fini utilisé (Abaqus, Zset ou Foxtrot – Code académique développé en interne) par le développement de subroutines utilisateur ou l'utilisation de bibliothèques libres adaptées (M-Front, https://tfel.sourceforge.net). La mise-en-œuvre des calculs en champ complet nécessitera le recours au calcul parallèle, réalisé sur cluster régional.
Le matériau modèle retenu pour cette étude est un acier inoxydable austénitique dont le comportement cyclique est très largement documenté. Pour définir les configurations simulées (chargement, paramètres matériaux) et en analyser les résultats, le doctorant pourra s'appuyer sur des données d'essais réalisés au laboratoire, notamment au travers de collaborations régulières avec les partenaires industriels du secteur de l'énergie nucléaire (EDF, Framatome). Au besoin, des essais mécaniques complémentaires ciblés pourront être réalisés pendant cette thèse afin de mieux comprendre l'amorçage du rochet et d'effectuer des confrontations simulations/expériences s'appuyant sur des champs complets expérimentaux. Ils pourront être accompagnés de caractérisation microstructurale à l'échelle des grains et systèmes de glissement (Microscopie Électronique à Balayage, EBSD, essais *in-situ*).

Contexte pratique : Cette thèse sera réalisée à l'Institut Pprime – Unité Propre du CNRS 3346, plus précisément au sein du Département Physique et Mécanique des Matériaux, et de l'équipe « Endommagement et Durabilité », hébergée par l'ISAE-ENSMA. Elle s'appuiera sur l'utilisation intensive des calculateurs du MésoCentre régional, et, au besoin, des moyens de calculs nationaux (GENCI).

Profil du ou de la doctorant.e recherché.e : Cette thèse s'adresse à des étudiant.e.s de Master Mécanique et/ou Matériaux et/ou Modélisation Numérique, motivés/ées, rigoureux/ses et méthodiques, avec des qualités et un goût certain pour la simulation numérique, les approches pluri-disciplinaires et le travail d'équipe. Des qualités rédactionnelles sont attendues en français et/ou anglais, de même qu'un bon niveau d'anglais oral.

Cadre du recrutement : Allocation doctorale de l'ISAE-ENSMA
Inscription à l'Ecole Doctorale MIMME (https://mimme.ed.univ-poitiers.fr/)
Possibilité de participer à des enseignements (à définir selon la formation initiale).
Début : Octobre 2025.
Lieu : ISAE-ENSMA – Site du Futuroscope – Poitiers.

Éléments de contexte : L'étudiant évoluera dans un contexte stimulant, l'équipe de recherche ayant un historique riche dans le domaine de l'étude de la fatigue des matériaux métalliques, en collaboration, notamment avec les partenaires industriels du secteur de l'énergie nucléaire, tant d'un point de vue expérimental que numérique.

Candidature : DATE LIMITE DE CANDIDATURE : 4 avril 2025
CV détaillé, lettre de motivation et relevés de notes de Master déjà disponibles sont à adresser par mail à l'adresse suivante : celine.gerard@ensma.fr
Les lettres de recommandation ne sont pas indispensables mais bienvenues si vous en disposez, de même que des contacts d'enseignants et/ou encadrants de stage s'ils vous y autorisent.

Pour tout renseignement complémentaire, ne pas hésiter à prendre contact avec Céline Gérard
Email : celine.gerard@ensma.fr ;Tel : 05 49 49 80 96