

# Offre de thèse de doctorat

## DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES NUMÉRIQUES POUR LA SIMULATION DU PROCÉDÉ D'USINAGE D'UNE PIÈCE PRODUITE PAR FABRICATION ADDITIVE

Le recours à la fabrication additive (AM) devient très populaire dans de nombreuses industries. Il existe aujourd'hui un grand nombre de technologies différentes qui entrent dans la catégorie de la AM et elles ont toutes une caractéristique commune : leur capacité à créer des pièces avec des géométries très complexes, ce qui n'est pas toujours possible avec les procédés conventionnels. Malgré cet avantage considérable, certaines applications présentent des exigences en matière de qualité de surface qui ne sont pas satisfaites par le processus de AM.

Un processus d'usinage est alors nécessaire pour obtenir la pièce finale. Dans ce contexte, Labomap/ENSAM, LEM3/Université de Lorraine et CEMEF/Mines Paris se sont associés pour étudier le processus d'usinage des pièces fabriquées par AM grâce au projet CENTURION financé par l'ANR. Le projet CENTURION est centré sur la AM par fusion laser de poudre (L-PBF) et l'usinage, sans traitement thermique, pour produire des pièces de haute qualité en Inconel 718 (IN718).

## SUJET DE THÈSE

L'objectif de la thèse est de développer une version du logiciel industriel Forge®, qui permette la modélisation du procédé d'usinage. Pour cela le doctorant devra **développer et implémenter** :

- Une formulation explicite des résolutions mécanique et thermiques du logiciel. Pour cela il faudra veiller à la compatibilité des approches avec l'utilisation d'éléments finis tétraédriques nécessaires à la gestion du remaillage automatique.
- Le couplage entre la nouvelle formulation avec l'utilisation de la méthode de champ et le remaillage intensif pour propager les fissures
- La loi de comportement anisotrope identifiée par les autres partenaires du projet
- Les conditions de frottement seront étudiées par les partenaires du projet et devront être correctement introduites dans la version explicite du logiciel.

## SIMULATION NUMÉRIQUE

Les processus d'usinage induisent une déformation plastique importante à un taux de déformation élevé. La simulation de ce processus est un défi car, en plus des non-linéarités liées à la déformation plastique à taux de déformation élevé, elle implique les complexités induites par le contact et le frottement à l'interface du matériau et de l'outil.

Toutes les simulations numériques seront réalisées à l'aide du logiciel Forge®, qui permet de traiter les problèmes de grandes déformations et de contacts complexes. **Forge® est un logiciel leader mondial** utilisé pour la simulation des procédés de mise en forme des matériaux. Le solveur actuellement disponible est implicite et n'est pas adapté à l'étude des processus d'usinage.

La première tâche de ce projet consiste à développer un solveur explicite pour simuler le processus d'usinage dans des temps de calcul plus raisonnables.

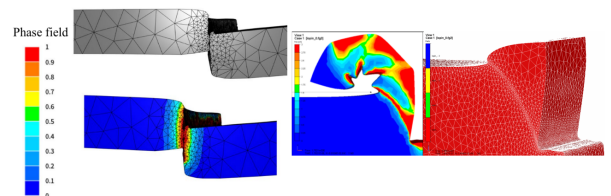
Mines Paris  
 CEMEF 1 rue Claude Daunesse CS 10207,  
 06904 Sophia Antipolis, France  
 Encadrement  
 katia.mocellin@minesparis.psl.eu  
 daniel.pino\_munoz@minesparis.psl.eu  
 yancheng.zhang@minesparis.psl.eu

La loi de comportement anisotrope identifiée par les autres partenaires du projet sera implémentée dans Forge® et couplée au cadre existant de modélisation de l'endommagement et de la fissuration.

Ce cadre de modélisation de l'endommagement est basé sur l'utilisation de la méthode de champ de phase ou Phase-Field et d'un remaillage intensif pour propager les fissures (voir la figure ci-dessous, à gauche) [Eldahshan *et al.*, 2022].

Les conditions de frottement seront étudiées par les partenaires du projet et devront être correctement introduites dans la version explicite du logiciel.

Le couplage entre la version explicite de Forge® et le cadre de simulation de l'endommagement et de la rupture par champ de phase permettra de simuler le processus d'usinage. Les résultats de la simulation seront validés par rapport aux tests expérimentaux effectués par d'autres partenaires du projet.



Approche proposée : À gauche : Utilisation de Phase field pour simulation la transition endommagement/fissure [Eldahshan *et al.*, 2022] ; à droite : modélisation 3D de l'usinage avec maillage adaptatif (Thèse de F. Delalondre, 2008)

## PROFIL DU CANDIDAT

Le candidat doit avoir un intérêt marqué pour la méthode numérique et la modélisation numérique de systèmes complexes. Une connaissance de la mécanique des solides, des compétences en programmation en Fortran et des essais de matériaux sont des atouts indéniables.

## PARTENAIRES DU PROJET

Le projet CENTURION est financé par l'ANR (ANR-22-CE08-0028) et une collaboration étroite est attendue entre les différents doctorants qui travailleront simultanément dans le projet.