

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Exploration des capacités des méthodes Hybrid High Order en raffinement adaptatif de maillage et transition endommagement/rupture pour la simulation de la fissuration

Référence : **MAS-DMAS-2024-06**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2024

Date limite de candidature : 01/07/2024

Mots clés

Simulation ; fissuration ; méthode Hybrid High Order

Profil et compétences recherchées

École d'ingénieur ou master de recherche. Le doctorant recherché devra posséder une solide culture numérique et mécanique et un goût prononcé pour la simulation numérique. Il devra faire preuve d'autonomie et être force de proposition.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Ce sujet de thèse s'effectue dans le cadre d'une collaboration entre deux acteurs majeurs de la recherche au service de l'État :

- L'ONERA, organisme de recherche aéronautique et spatiale placé sous la tutelle du ministère des Armées qui prépare la défense de demain, répond aux enjeux aéronautiques et spatiaux du futur, et contribue à la compétitivité de l'industrie aérospatiale.

- Le CEA, organisme de recherche dans les domaines de l'énergie, de la défense, des technologies de l'information et de la santé.

Les méthodologies proposées pourront être utilisées dans divers contextes applicatifs par chacun des partenaires. Cependant, elles seront développées, dans le cadre de cette thèse financée par le CEA, sur un cas particulier d'application de ce dernier en lien avec la fissuration des éléments combustibles.

Les éléments combustibles utilisés dans le parc électro-nucléaire français sont constitués :

- d'un matériau combustible, au sein duquel la production d'énergie, par des réactions de fission nucléaire, ont lieu ;
- d'une gaine métallique, dont le rôle est d'empêcher la dissémination des produits de fissions dans le réacteur.

La simulation de ces éléments combustibles est une des missions de la Direction des Énergies du Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives.

Cette simulation fait intervenir de nombreux phénomènes physiques fortement couplés : thermique et mécanique non linéaire, neutronique, thermo-hydraulique, évolutions physico-chimiques (densification et gonflement sous irradiation, relâchement de produits de fission gazeux...), changement de phases, etc.

Du seul point de vue de la mécanique, sur seulement quelques millimètres le long desquels se présente un gradient de température de plus de (150,K/mm) en fonctionnement normal, le combustible est le sein de phénomènes complexes parmi lesquels :

- la fissuration fragile du combustible lors de la première montée en puissance qui découpe celui-ci en fragments et, lors de situations dites incidentelles, d'une fissuration dite secondaire en périphérie de combustible ;
- un écoulement viscoplastique activé par l'irradiation et/ou par la thermique ;
- le contact/frottement entre le combustible et la gaine ;
- la fragmentation des joints de grains.

La simulation de ces phénomènes, réalisée à l'aide du code aux éléments finis Manta développé par le CEA, est donc un enjeu physique et numérique important qui demande de disposer de moyens de résolution robustes et efficaces.

Pour décrire l'amorçage et la propagation des fissures, des travaux récents ont mis en lumière l'intérêt d'utiliser une approche régularisée à gradient d'endommagement dans le cadre d'une discrétisation spatiale par la méthode Hybrid High Order (HHO), qui appartient à la famille des méthodes de Galerkin discontinues (Thèse de doctorat de D. Siedel, 2023).

Cependant, ces travaux se heurtent à deux limites pour leurs applications pratiques :

- Numériquement, les modèles à gradient d'endommagement introduisent une longueur caractéristique qui impose une contrainte sur la taille des cellules utilisée pour discrétiser le combustible. Un raffinement uniforme conduit à des temps de calculs excessifs. Un raffinement adaptatif du maillage est donc une piste naturelle, d'autant que la méthode HHO s'y prête particulièrement bien par son caractère non conforme et la possibilité d'utiliser des éléments polyédriques. Le raffinement au cours des propagations instables ou lors des brisures de symétrie (passage d'un état homogène à un endommagement localisé) est cependant un défi important qu'il s'agit de relever.
- Physiquement, les lèvres des fissures peuvent avoir des mouvements relatifs importants et peuvent rentrer en contact. Bien que le modèle d'endommagement puisse tenir compte d'une dissymétrie traction/compression, cette stratégie est limitée aux très faibles mouvements relatifs. Dans ce contexte, il est nécessaire d'envisager une transition endommagement/rupture visant à insérer des surfaces décrivant explicitement les fissures en suivant les trajets prédits par le modèle d'endommagement à gradient. En éléments finis standard, ceci suppose une opération de remaillage lourde et délicate pour éviter des éléments distordus. La méthode HHO ne semble pas souffrir des mêmes contraintes et le support d'éléments polyédriques permet d'envisager des stratégies de remaillage plus directes qu'il s'agit d'explorer.

L'objet du doctorat est de contribuer à résoudre les deux problématiques précédentes.

Le doctorant sera localisé au CEA Cadarache.

Collaborations envisagées

La thèse sera co-encadrée par différents co-auteurs des codes de calcul Manta (CEA) et A-Set (Mines de Paris, Onera) ainsi que par une experte de la transition endommagement-rupture.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contact : Sylvia Feld-Payet

Tél. : +33 1 46 73 45 65

payet@onera.fr

Email : sylvia.feld-

payet@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Jacques Besson

Laboratoire : Centre des Matériaux

Tél. : 01 60 76 31 74

Email :

paristech.fr

jacques.besson@mines-

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>