

Offre de Thèse 2024- CEMEF

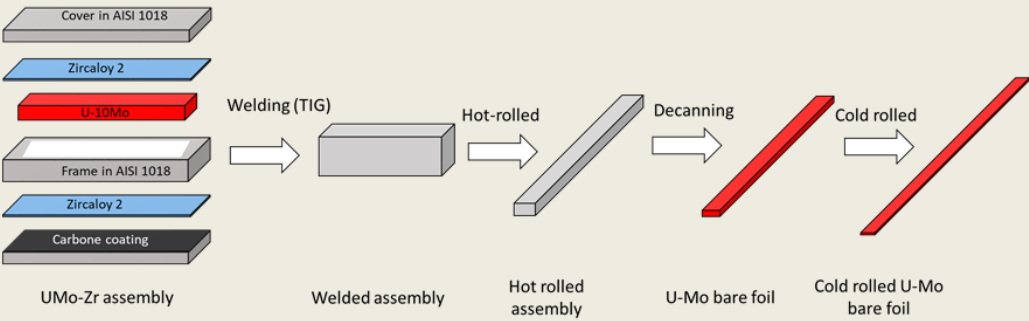
TITRE	Modélisation du colaminage de plaques uranifères destinées aux réacteurs de recherche en physique des matériaux et à la médecine nucléaire.
Acronyme du projet	MOLAU (MOdélisation du LAminage d'alliages Uranifères)
Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant	<p>Selon les règles de l'Ecole Doctorale SFA (Université Côte d'Azur) et de la Spécialité Doctorale « Mécanique Numérique et Matériaux » de l'Ecole des Mines de Paris :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en 1^{ère} année, rapport et soutenance bibliographique (Février) - en 1^{ère} année, rapport et soutenance d'avancement (Juin) ; - en 2^{ème} année, réunion du Comité de Suivi Individuel de Thèse (Juin-Juillet). <p>Les travaux feront l'objet d'échanges constants entre le doctorant, l'équipe encadrante et l'entreprise, et de réunions formelles trimestrielles avec fourniture préalable de documents et rédaction de comptes-rendus a posteriori.</p>
Objectif général	<p>L'objectif applicatif est de modéliser un procédé de mise en forme multi-passe d'un bi- ou tri-matériau pour étudier les risques de non-conformité géométrique, en dégager les facteurs influents et faire des simulations prédictives. Sur le plan scientifique, ce sera l'étude du lien entre hétérogénéité mécanique et instabilité d'écoulement de matière dans la genèse des défauts. Les paramètres qui interagiront pourront être liés à la géométrie (2D vs 3D, rapport d'épaisseurs, réductions...), aux propriétés mécaniques (rapport des duretés, capacités d'écroissage respectives des alliages) et au degré d'adhésion entre couches.</p>
Présentation détaillée	<p>Les plaques uranifères destinées aux réacteurs nucléaires de recherche en physique ou aux applications médicales sont constituées d'un coeur radio-actif à base de ²³⁵U enrichi à moins de 20%, sous forme d'un alliage U-10% Mo. Leur fabrication s'effectue en deux étapes [1] : (1) la fabrication d'une feuille U-10%Mo revêtue de Zr et (2) le scellement de l'ensemble dans un gainage aluminium pour former les plaques. Les plaques sont ensuite assemblées dans un ou plusieurs éléments qui composeront le cœur du réacteur nucléaire de recherche (figure 2).</p> <p>Le projet se concentre sur la modélisation de la première étape qui se fait par colaminage à chaud d'un assemblage Zr/U-Mo/Zr dans un boîtier acier (cf. figure 1).</p> 

Figure 1 : Schéma de fabrication de feuilles U-10%Mo revêtues Zr



Figure 2 : application à la fabrication du radio-traceur ^{99m}Tc. A gauche : Cœur du réacteur nucléaire FRMII dans lequel sont montées les plaques. A droite : un scanner de scintigraphie.

Sa modélisation est souhaitée pour fiabiliser le processus de conception des outillages [2,3]. Elle utilisera un logiciel éléments finis (FEM), Forge NXT, développé par le CEMEF et Transvalor. L'enjeu principal est de matérialiser de manière précise et efficace la co-déformation plastique des trois alliages en contact. Comme dans tout procédé de mise en forme de plusieurs alliages de propriétés mécaniques différentes, le produit peut présenter plusieurs types de défauts : formes d'extrémités, irrégularités d'épaisseur, striction ou rupture de cœur, planéité... De plus, pour éviter la formation de pièges à gaz de fission générateurs de gonflement anisotrope, une microstructure homogène à grains fins est nécessaire pour un bon fonctionnement en réacteur, ainsi qu'une bonne adhésion des interfaces Zr/U-10%Mo. Tout écart à ces spécifications est susceptible de conduire à des hétérogénéités d'échauffement préjudiciables au bon fonctionnement du réacteur.



Défaut d'ogive en extrémité irrégularité d'épaisseur du cœur / striction (<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103910>)

Figure 3 : Représentation schématique de défauts de forme des plaques.

L'objectif des travaux est donc de réaliser la simulation multi-passe et multi-matériau de la gamme de fabrication et de déterminer les facteurs les plus critiques vis-à-vis de la formation des défauts mentionnés ci-dessus, et par là de se doter des moyens de définir une gamme « defect-free ». Les points saillants des travaux seront donc :

- une bibliographie exhaustive, car elle est peu dense, sur la mise en forme de ces plaques, avec un élargissement nécessaire au colaminage d'autres bi-matériaux ;
- la recension bibliographique des propriétés mécaniques et thermiques nécessaires à

	<p>la simulation ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - des essais de laminage avec mesures de force de laminage et de température de surface, pour identification des coefficients de frottement et de transfert thermique ; - la mise au point d'une méthodologie de simulation accélérée de plaques longues ; - la mise au point d'une méthodologie de simulation d'un matériau hétérogène par variation des propriétés mécaniques locales [4] : lien avec la microstructure réelle et influence sur la stabilité des caractéristiques du laminage et du produit ; - et bien sûr, une campagne de validation expérimentale. <p>Les résultats ainsi obtenus devront ouvrir la voie à la modélisation des microstructures de l'U-10%Mo dans des travaux ultérieurs.</p>
Références	<p>[1] K. Buducan: Development of European manufacturing process for bare U-Mo monolithic foils. PhD thesis, TU München, 2023</p> <p>[2] G. Cheng, X. Hu, W.E. Frazier, C.A. Lavender, V.V. Joshi : Effect of second phase particles and stringers on microstructures after rolling and recrystallization, Mat. Sci. & Engg A736 (2018) 41-52</p> <p>[3] W.E. Frazier, K. Kalia, C. Wang, K.S. Choi, D.P. Field, S. Hu, A. Soulami, V.V. Joshi: An Integrated Simulation of Multiple-Pass U-10Mo Alloy Hot Rolling and Static Recrystallization, Met. Mat. Trans. 54A (2023) 3461-3475</p> <p>[4] L. Li, A. Fortier, D. Ramirez-Tamayo, V.V. Joshi, A. Soulami : Minimizing thickness variation in monolithic U-10Mo fuel foil and Zr interlayer during hot rolling: a microstructure-based FEM analysis, Mat. Today Comm. 32 (2022) 103910</p>
Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant	<p><i>Rédaction d'articles</i></p> <p><i>Présentation dans des conférences internationales</i></p> <p><i>Le cas échéant, protection au titre de la Propriété Industrielle</i></p>
Outils	<p><i>Programmation (Fortran).</i></p> <p><i>Participation aux essais sur laminoir de recherche.</i></p>
Mots-clé	Modélisation numérique, Co-laminage, Bi-matériau, Hétérogénéité
Type projet/ collaboration	<p>La thèse (CIFRE) est financée par FRAMATOME - CERCA.</p> <p>https://www.framatome.com/solutions-portfolio/fr/portefeuille/produit?ma=autres-secteurs-industriels&sol=secteur-de-la-sant&product=A1791</p>
Profil & compétences	<p>Mécanique, Modélisation numérique.</p> <p>Motivation tant pour le numérique que pour l'expérience.</p> <p>Rigueur et capacité à s'investir pleinement dans un sujet.</p> <p>Aptitude au travail en équipe.</p> <p>Maîtrise de la langue anglaise (niveau B2 minimum).</p>
Lieux	<ul style="list-style-type: none"> - MINES Paris, CEMEF, Sophia Antipolis (80%) - FRAMATOME, site de Romans (10%)

	- FRAMATOME, Centre de Recherches d'Ugine (10%)
Equipe(s) de recherche	CSM (Computational Solid Mechanics) S&P (Surfaces & Polymères)
Encadrant / Dir. de thèse	Katia Mocellin, Directrice de Recherches Mines Paris (HDR) katia.mocellin@minesparis.psl.eu , +33 (0)4 93 95 74 32 Pierre Montmitonnet, Directeur de Recherches CNRS (HDR) Pierre.montmitonnet@minesparis.psl.eu , +33 (0)4 93 95 74 14
Tuteur(s) entreprise	Bertrand Stepnik, Directeur de Recherche, FRAMATOME-CERCA Bertrand.stepnik@framatome.com

Pour postuler : vous pouvez remplir le formulaire en ligne :
<https://applyfor.cemef.mines-paristech.fr/phd/>