

Type de contrat :	Stage de 6 mois
Niveau de formation :	BAC +5 / BAC +6
Spécialité(s) :	Mécanique des matériaux, physique ou mathématiques appliquées
Pays / Région :	France / île de France
Unité d'accueil :	EDF R&D, Lab Les Renardières, Département Matériaux et Mécanique des Composants, Groupe Génie Civil et Combustible
Département :	Seine et Marne (77)
Ville :	Ecuelles - Moret-Loing-et-Orvanne (77250)

Sujet du stage :

Modélisation et simulation par éléments finis du comportement couplé mécanique/diffusion de l'hydrogène - application au comportement de l'hydrogène dans les gaines de combustible usé

Contexte et Description de l'offre :

Le stage proposé s'effectuera au sein d'EDF R&D sur le site d'EDF Lab Les Renardières, dans le département Matériaux et Mécanique des Composants (MMC), dont la mission est de conduire les investigations nécessaires pour répondre aux exigences de sûreté, de fiabilité et de productivité des installations industrielles, dans les domaines de la thermomécanique et des matériaux. Précisément, le stage s'effectuera au sein de l'équipe « combustible nucléaire » du département MMC, qui mène des travaux autour du combustible, notamment sur la gaine, en alliage de zirconium, qui représente la première barrière de sûreté.

Le stage s'inscrit dans les travaux menés par l'équipe combustible, sur la modélisation et la simulation du comportement thermomécanique de la gaine en aval du cycle (i.e. après irradiation). D'une part, cette gaine subit des sollicitations thermomécaniques (température élevée et pression interne) durant quelques étapes en aval du cycle. D'autre part, les propriétés mécaniques de cette gaine sont impactées par la présence de l'hydrogène et sa diffusion qui dépend, elle-même, des champs de température et de contrainte. La compréhension et la **modélisation couplée mécanique – diffusion de l'hydrogène** permettra donc de mieux prédire le comportement thermomécanique de la gaine dans son ensemble.

La bibliothèque open-source de calcul par éléments finis **FEniCSx** offre un cadre moderne et flexible pour développer ce type de simulation multiphysique.

Objectifs du stage :

Le stage a pour objectifs de :

- 1 – Simuler en 2D, via FEniCSx (python), le comportement mécanique de la gaine (élasticité linéaire, viscoplasticité) et la diffusion de l'hydrogène.
- 2 – Comprendre, puis implémenter via Python, des modèles issus de la littérature décrivant les changements de l'état de l'hydrogène (en solution solide et sous forme d'hydrures) et la réorientation des hydrures.
- 3 – Coupler l'ensemble des modélisations : mécanique, diffusion et état de l'hydrogène.
- 4 – Simuler des cas tests représentatifs.
- 5 – Proposer des perspectives d'essais à réaliser pour identifier les paramètres des modèles.

A noter que le stage sera suivi d'une thèse de doctorat CIFRE qui portera sur la même thématique mais de manière plus approfondie.

Profil souhaité :

Etudiant(e) de Master 2 ou dernière année d'école d'ingénieur avec spécialisation en :

- Mécanique des matériaux, physique ou mathématiques appliquées.
- Intérêt pour la modélisation numérique et le calcul scientifique.

Compétences souhaitées :

- Bonnes bases en équations aux dérivées partielles (EDP) et méthodes numériques.
- Connaissances en méthode des **éléments finis**.
- Connaissances de bon niveau en mécanique des matériaux.
- Programmation scientifique en **Python**.
- Une expérience préalable en FEniCS/FEniCSx sera appréciée.

La curiosité, l'envie d'apprendre et l'autonomie seront également des critères très appréciés.

Contacts :

Akram EL ABDI, Jérôme JONNET

EDF - R&D

EDF Lab Les Renardières

Département Matériaux et Mécanique des Composants – Groupe Génie Civil et Combustible

Avenue des Renardières

77250 Ecuelles - Moret-Loing-et-Orvanne

@mails : akram.el-abdi@edf.fr, jerome.jonnet@edf.fr