

PhD Position – October 2018

Étude du comportement au fluage des gaines en alliage de zirconium pré-oxydées sous sollicitations thermomécaniques représentatives d'un accident de perte de réfrigérant primaire.

CONTEXTE :

Cette thèse s'intègre dans l'étude des Accidents de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) des réacteurs à eau pressurisée. Ces accidents résultent de l'apparition d'une brèche sur le circuit primaire.

Plus précisément, on étudiera le comportement thermomécanique des gaines dans lesquelles sont empilées les pastilles de combustible. Lors d'un APRP ces gaines peuvent être soumises à une élévation de température (>800°C) et des contraintes qui sont intensifiées à la fois par cet échauffement et par la dépressurisation du circuit primaire. Ce chargement entraîne un ballonnement par fluage des gaines et conditionne la refroidissabilité du cœur. Par ailleurs, lors du fonctionnement normal les gaines s'oxydent et s'hydrurent. Il est essentiel d'évaluer l'influence de cet état de référence du combustible sur son comportement en situation accidentelle.

Dans ce contexte, des essais de fluage simulant les conditions thermomécaniques d'un APRP (température 750-850°C, pression interne 20-100 bars) ont été réalisés dans le cadre du projet ANR PERFROI lors de la thèse de Damien Campello menée à l'INSA de Lyon et soutenue en 2016. Le banc expérimental ELLIE utilisé et amélioré durant cette thèse est fortement instrumenté offrant ainsi une grande richesse de résultats avec des mesures permettant la corrélation d'images numérique (CIN) et la thermographie. L'analyse et l'interprétation des essais sont assistées par la simulation du fluage en éléments finis.

Ces essais ont été utilisés pour identifier les paramètres d'une loi macroscopique équivalente de fluage secondaire du matériau vierge. Cette identification a été réalisée sur les éprouvettes vierges et faiblement hydrurées. Quelques essais exploratoires ont été menés sur gaine hydrurée et pré-oxydée.

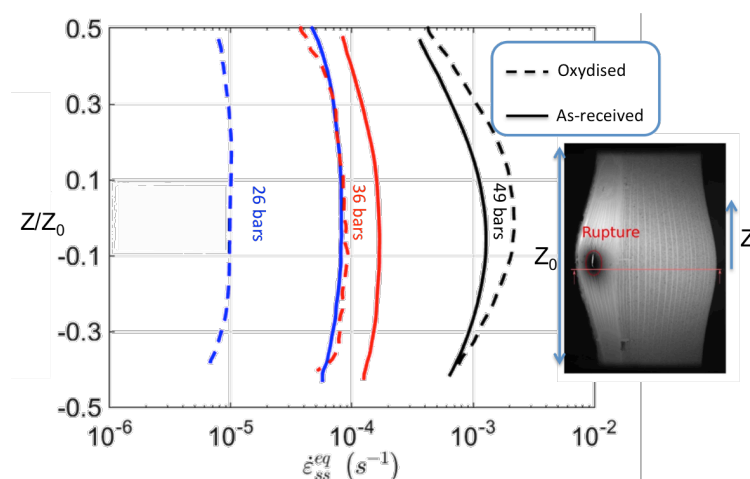


Fig. 1. Vitesses de fluage comparées du Zircaloy-4 dans son état de réception et pré-oxydé.

Ces essais exploratoires ont mis en évidence des différences notables de vitesses de fluage entre des gaines vierges d'une part et des gaines oxydées et hydrurées d'autre part

PhD Position – October 2018

(figure 1). Une conséquence directe de ces observations expérimentales est que les outils de modélisation développés jusqu'ici, utilisant des lois macroscopiques équivalentes de fluage secondaire en considérant le matériau comme homogène, ne sont pas adaptés au cas réel où le matériau est multicouche avec des gradients de propriétés suivant le niveau d'enrichissement local en oxygène et en hydrogène. La vitesse de fluage du matériau résulte en effet des effets conjoints de l'endommagement de la couche de zircone, de la diffusion d'oxygène et des effets de l'oxygène sur la vitesse de fluage.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES :

La thèse proposée possède deux composantes, une première orientée vers la modélisation et l'autre consacrée à l'expérimentation :

1. modélisation : l'analyse des résultats expérimentaux obtenus par Damien Campello ayant montré que les outils de modélisation existants ne permettent pas de calculer le comportement mécanique du matériau réel multicouche avec changement de phase au sein du métal, il est proposé de s'orienter vers une modélisation intégrant un couplage multiphysique, en particulier entre les phénomènes de diffusion d'espèces (oxygène et hydrogène) et les mécanismes de fluage. Deux pistes sont envisagées : soit une approche classique où les calculs sont réalisés indépendamment pour chaque phénomène physique puis chaînés (en utilisant CASTEM ; le savoir-faire existe déjà à l'IRSN), soit une approche en champs de phases qui permet justement de représenter le mouvement des phases de manière continue avec une approche thermodynamique (dans ce cas, il est proposé de s'appuyer sur les compétences de l'Ecole Centrale de Nantes par l'intermédiaire de Michel CORET qui collabore déjà sur plusieurs sujets avec l'INSA de Lyon et qui avait déjà co-encadré la thèse de Damien Campello).
2. expérimentation : il s'agit de réaliser d'autres essais sur du gainage oxydé (le plus représentatif possible du gainage irradié) en valorisant tous les développements en instrumentation réalisés au cours de la thèse précédente sur la plateforme ELLIE à l'INSA de Lyon (corrélation d'images numériques pour les mesures de déformation et thermographie pour les mesures de température), afin de valider les nouveaux modèles proposés.

Supervisors :

IRSN :	J. Desquines	T. Taurines
LaMCoS :	M-C. Baietto	N. Tardif
GeM :	M. Coret	J. Rethore