STAGE DE MASTER (SPECIALITE MATERIAUX)

"Caractérisation et simulation de l'évolution de la microstructure lors de recuits d'aciers austénitiques inoxydables irradiés aux ions

CEA Saclay – DEN/DANS/DMN/SRMA

Mots clés : Internes, acier austénitique inoxydable, gonflement, irradiation aux particules chargées, microscopie électronique en transmission, simulation numérique, dynamique d'amas.

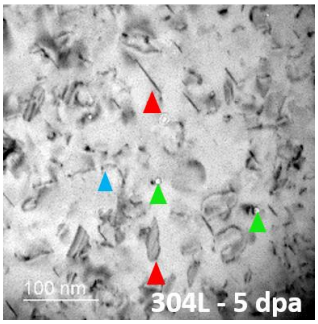
Contexte industriel et scientifique de l'étude

Les matériaux des internes de cuve des Réacteurs actuels à Eau Pressurisée (REP) jouent un rôle primordial. Ils assurent le maintien des assemblages combustibles et des grappes de commandes et constituent une barrière neutronique qui protège la cuve. Ils sont soumis à de fortes sollicitations mécaniques, thermiques et aussi neutroniques. Sous irradiation, la microstructure des aciers austénitiques inoxydables utilisés pour les structures internes va évoluer, modifiant les propriétés du matériau et il est donc indispensable d'appréhender cette évolution. Dans le cas d'irradiations dans des Réacteurs à Neutrons Rapides (RNR), il a notamment été montré que ces matériaux subissent une variation dimensionnelle appelée gonflement et associée à une évolution de la microstructure par la formation de cavités. Dans le cas d'irradiations en condition REP, qui diffèrent sur certains points des irradiations en RNR, la question du gonflement a été peu étudiée mais se pose actuellement, en particulier avec l'objectif de prolonger la durée de fonctionnement des REPs. Une des spécificités des irradiations de ces réacteurs est la forte teneur en hélium générée par les transmutations. L'hélium, qui est un gaz insoluble dans la matrice, interagit fortement avec les cavités et modifie leur stabilité.

Afin d'obtenir des éléments de réponse, des irradiations visant à représenter les effets des irradiations aux neutrons ont été lancées ces dernières années au CEA, sur des dispositifs d'irradiation aux particules chargées (électrons et ions). Ces dispositifs offrent la possibilité de réaliser de manière plus souple (comparativement aux neutrons) les études cinétiques des effets de l'irradiation dans les matériaux grâce à leur flexibilité expérimentale (permettant notamment de réduire de plus de 3 ordres de grandeur les temps d'irradiation).

Déroulement du stage

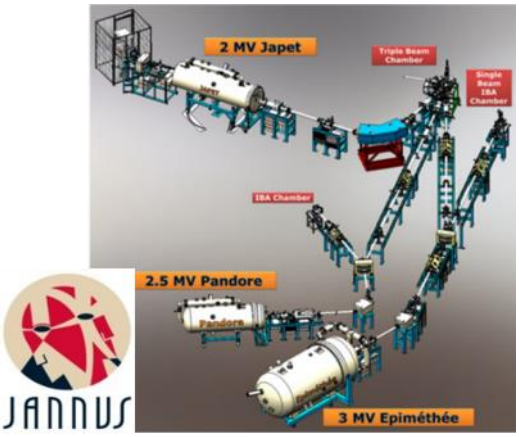
Lors de ce stage, qui servirait de préambule à une thèse en collaboration avec EDF, il est prévu de regarder **l'effet des recuits** sur la microstructure d'échantillons irradiés aux ions (ions fer, qui créent du dommage et donc des cavités, avec et sans hélium). En particulier, on s'attachera à caractériser **l'évolution des amas de défauts d'irradiation** (cavités, boucles de dislocations) et éventuellement la dureté du matériau. Le but est **d'évaluer la stabilité des amas et de consolider un modèle théorique** de dynamique d'amas permettant ensuite de simuler la microstructure sous irradiation.



Microstructure d'un acier 304L irradié aux ions Fe (observation par microscopie électronique à transmission). Les cavités sont indiquées par les flèches vertes.

Le travail à réaliser est scindé en trois volets permettant d'aborder les aspects caractérisation (microstructurale et mécanique) et simulation des matériaux :

- Des **recuits** de lames implantées en ions Fe à 450°C, déjà disponibles, seront réalisés. Des irradiations aux ions en bi-faisceau Fe + He seront réalisées sur la plateforme JANNuS du CEA-Saclay pour déterminer les effets de l'hélium sur les évolutions lors des recuits.
- L'évolution de la microstructure « quantitative » des échantillons après recuits sera caractérisée en **microscopie électronique en transmission (MET).** Des essais de **nano-indentation** pourraient être envisagés pour évaluer l'évolution du durcissement lors des recuits et le corréler à l'évolution de la microstructure.
- Des **simulations en dynamique d'amas** en utilisant le code CRESCENDO, co-développé par le CEA et EDF R&D, de l'évolution de la microstructure par recuit seront menées. Elles permettront d'améliorer le modèle actuel.



Plateforme JANNuS au CEA Saclay, permettant notamment d'irradier simultanément aux ions Fe et He.

Perspectives et travail de thèse

De nouvelles irradiations seront à mener dans d'autres conditions (teneur en hélium différentes, doses différentes, températures différentes). Les caractérisations microstructurales (principalement par MET) et modélisations en dynamique d'amas seront poursuivies et permettront de mieux appréhender l'effet de l'hélium sur l'évolution de la microstructure et du gonflement. Le travail de thèse permettra d'acquérir des compétences solides dans le domaine des matériaux en caractérisations et simulation, mais aussi sur les effets d'irradiation dans les matériaux.

Formation souhaitée

Master M2 ou Ecole d'Ingénieur spécialité Science des Matériaux, Physique de la matière condensée.

Informations pratiques :

Rémunération : OUI
Durée du stage : 5 à 6 mois
Début du stage souhaité : février – mars 2018
Délais enquête : 3 mois
Poursuite en thèse : OUI

Personne à contacter :

J. Malaplate
CEA Saclay, DEN/DANS/DMN/SRMA/LA2M
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : 01 69 08 93 12, joel.malaplate@cea.fr