

Développement méthodologique pour la caractérisation nanoscopique des matériaux du nucléaire: apport de la microscopie corrélative MET-SAT

Laboratoire : Groupe de Physique des Matériaux (GPM) – UMR 6634 CNRS
Avenue de l'université – 76 800 Saint Etienne du Rouvray

Encadrement : Pr. Cristelle Pareige (Directrice de thèse), Dr. Solène Rouland (Encadrante)

Début de la thèse : 3 octobre 2022 (36 mois)

Contact : solene.rouland@univ-rouen.fr

L'évolution des propriétés mécaniques des aciers des structures des réacteurs nucléaires est liée à l'évolution de leur microstructure à l'échelle nanométrique (ségrégation, précipitation, agglomération de défauts ponctuels dans le cas de l'irradiation). Il est donc essentiel de comprendre les mécanismes de formation des hétérogénéités chimiques lors du vieillissement de ces aciers et leur impact sur les propriétés. Ceci nécessite en premier lieu de déterminer leur nature le plus précisément possible (composition chimique, distribution de taille, morphologie 3D, structure cristalline...). De plus, si ces hétérogénéités chimiques se forment de façon hétérogène, il faut pouvoir corréler chimie et défauts cristallins.

Parmi les techniques phares pour réaliser ces études, la sonde atomique tomographique (SAT) apporte des informations sur la chimie, la morphologie 3D et les distributions de tailles notamment pour les plus petits objets. La microscopie électronique en transmission (MET) donne des informations sur les structures cristallines, la chimie (le signal étant alors convolué avec celui de la matrice environnante), la morphologie (en projection 2D uniquement) et les distributions de taille (généralement tronquées lorsque les objets sont sous la résolution de l'instrument).

Afin de s'affranchir des limites de ces instruments et d'obtenir une description la plus précise possible des microstructures formées sous vieillissement thermique ou sous irradiation, il est nécessaire de coupler ces 2 techniques sur un même échantillon. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des matériaux irradiés, dans lesquels interviennent les amas de défauts ponctuels.

Objectifs

Les objectifs de cette thèse sont de :

- Développer une méthodologie expérimentale qui permette de corréler SAT et MET sur un même échantillon sans dégrader les informations apportées par chaque technique (notamment MET sur pointe, peut s'avérer très limitant pour l'interprétation des contrastes).
- Optimiser les traitements de données, notamment MET, afin d'exploiter au maximum les données acquises.
- Adapter les méthodes proposées au cas des matériaux du nucléaire, donc potentiellement radioactifs.

Approche

L'approche corrélative, pour laquelle il ne s'agit pas simplement d'utiliser deux techniques, SAT et MET, mais de les appliquer sur un même échantillon afin de corréler chimie et structure cristalline d'objets nanométriques sera utilisée. Il s'agira également de mettre en place des méthodes de traitement de données pour incluant des méthodes statistiques, type MultiVariate Statistical Analysis (MVSA), permettant de réduire considérablement le bruit des données et d'isoler des signaux faibles noyés dans ceux de la matrice.

Cette méthodologie expérimentale sera développée dans un premier temps sur des aciers vieillis thermiquement (duplex et bainitique) afin d'identifier la nature chimique et cristallographique des phases secondaires (précipités nanométriques) puis sera adaptée dans un second temps à un acier irradié aux neutrons (faiblement actif).

En plus de la corrélation chimie-structure cristallographique des défauts induits par l'irradiation, l'étude de leur corrélation spatiale apporterait des éléments de compréhension sur leur interaction et leur mécanisme de formation.

Les expériences seront réalisées grâce aux instruments (FIB, MET et SAT) de la plateforme GENESIS.

Profil du candidat : titulaire d'un Master 2 / ingénieur, spécialité matériaux / métallurgie

Compétences et connaissances requises : Le candidat devra justifier de connaissances solides en métallurgie physique (thermodynamique des solutions solides, transformations de phases, diffusion atomique, structure cristallographique) ainsi que des compétences en programmation (Python ou Matlab). L'autonomie, la rigueur, la prise d'initiative et l'aptitude au travail en groupe sont des qualités recherchées. La maîtrise de l'anglais et du Pack Office sont attendues.

Pour postuler : envoi d'une lettre de motivation, relevés de notes et d'un CV détaillé par mail.

Date limite de candidature : 31/05/22

Montant du financement : 1587 € Net / mois