

# Interaction des dislocations avec les nano-précipités formés sous irradiation dans les alliages Zr-1%Nb

Fabien Onimus<sup>1\*</sup>, Pascal Noirot<sup>1</sup>, Amélie Souksavat<sup>1</sup>, Laurent Dupuy<sup>1</sup>, Sylvie Doriot<sup>1</sup>, Isabelle Mouton<sup>2</sup>, Frédéric Momprou<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Paris-Saclay, CEA, Service de Recherche en Matériaux et procédés Avancés, 91191, Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup>SIMAP, Grenoble INP, University of Grenoble-Alpes, 38402, Saint-Martin d'Hères, France

<sup>3</sup>Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales, CNRS UPR 8011, 29 rue J. Marvig, BP 94347, Toulouse cedex 4, 31055, France

\*fabien.onimus@cea.fr

## Résumé pour oral

Les alliages de zirconium contenant 1% de niobium, et notamment l'alliage M5<sub>Framatome</sub><sup>\*\*</sup>, sont utilisés comme tubes de gainage du combustible dans les réacteurs nucléaires à eau pressurisée. Ceux-ci sont soumis à un fort dommage d'irradiation qui génère une grande densité de boucles de dislocation. De plus, du fait de la diffusion accélérée par l'irradiation, de nombreux nano-précipités riches en niobium apparaissent. Ces différents objets sont responsables du durcissement constaté lors d'essais mécaniques réalisés après irradiation. Après utilisation, les assemblages combustibles peuvent être transportés vers un site de stockage ou de retraitement. Lors de cette phase, les crayons sont moins refroidis. Ces transitoires thermiques peuvent alors conduire à un recuit des défauts d'irradiation et une restauration partielle des propriétés mécaniques.

Afin de mieux comprendre et prédire, sur des bases physiques, le durcissement et sa restauration, une étude expérimentale approfondie a été réalisée. Celle-ci s'appuie sur des irradiations aux ions zirconium ainsi que sur des recuits. Les échantillons sont caractérisés par microscopie électronique en transmission (MET) et par sonde atomique tomographique (SAT). Finalement, des essais de traction in-situ sont réalisés dans un MET permettant ainsi de visualiser les mécanismes de déformation effectivement actifs et notamment les interactions entre les dislocations et les précipités riches en niobium. En parallèle de ces essais de traction in-situ, des simulations de dynamique des dislocations sont réalisées, permettant de reproduire les séquences observées. Ces simulations de dynamique des dislocations sont finalement extrapolées afin d'en déduire le durcissement induit par cette fine précipitation qui se forme sous irradiation.

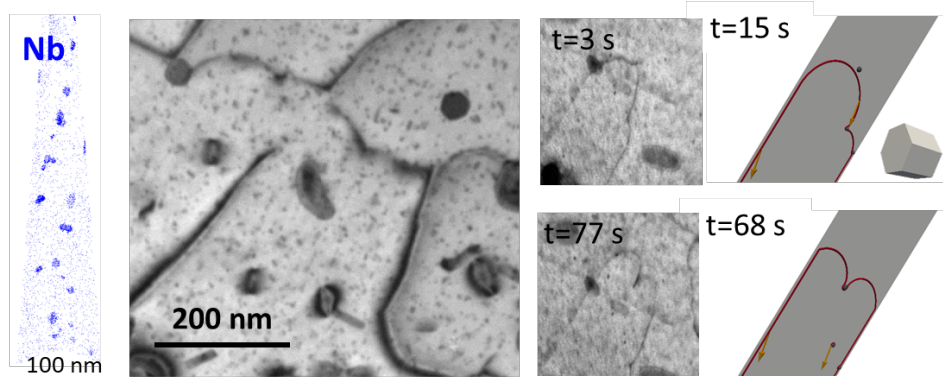


Figure : Alliage Zr-1%Nb irradié aux ions Zr<sup>+</sup> à 400°C puis recuit 96h à 500°C. Analyse SAT et image MET des nano-précipités riches en Nb. Interaction dislocation-précipité lors d'un essai de traction in situ en MET à température ambiante.

<sup>\*\*</sup> M5 and M5<sub>Framatome</sub> are trademarks or registered trademarks of Framatome or its affiliates, in the USA or other countries.