

Un nouveau mécanisme de fluage d'irradiation induit par les cascades de déplacements générées par l'irradiation

Nargisse Khiara^{1*}, Fabien Onimus¹, Laurent Dupuy¹, Jean-Paul Crocombette¹, Thomas Pardoën², Jean-Pierre Raskin³, Yves Bréchet⁴

¹Département des matériaux pour le nucléaire (DMN), CEA Saclay, Gif-sur-Yvette, France

²Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (IMMC), Ecole Polytechnique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique

³Institute of Information and Communication Technologies, Electronics and Applied Mathematics (ICTM), Ecole Polytechnique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique

⁴Science et Ingénierie des Matériaux et Procédés (SIMAP), Université de Grenoble, Saint Martin d'Hères, France

*nargisse.khiara@cea.fr

Les métaux et alliages utilisés comme matériaux de structures dans les cœurs de réacteurs nucléaires, comme les aciers austénitiques et les alliages de zirconium, sont sujets au fluage d'irradiation. C'est une déformation viscoplastique ayant lieu pour des contraintes inférieures à la limite d'élasticité et à des températures intermédiaires pour lesquelles le fluage thermique est négligeable. Si aujourd'hui des lois de comportement empiriques décrivant ce phénomène ont été déterminées [1], les mécanismes physiques élémentaires qui en sont à l'origine restent méconnus. En effet, bien que de nombreux mécanismes théoriques aient été proposés dans la littérature [2], peu de résultats expérimentaux à l'échelle microscopique ont réellement été discriminants.

Récemment, Gaumé et al. [3] ont réalisé des expériences de traction sous irradiation aux ions krypton sur un alliage de zirconium (Zircaloy-4) qui ont permis de mettre en évidence que, pour des contraintes suffisamment élevées, des dislocations bloquées sur des défauts d'irradiation se mettent à glisser une fois sous irradiation.

Lors de notre étude, des résultats similaires ont été obtenus sur du cuivre pur, considéré comme un matériau modèle pour les aciers austénitiques et en métallurgie en général. Le mécanisme proposé pour expliquer ce phénomène de glissement assisté par l'irradiation, s'appuie sur l'hypothèse que lorsqu'une cascade de déplacement est générée suffisamment proche du point d'ancrage de la dislocation, l'ancrage est détruit et la dislocation est désépinglée.

Une étude en dynamique moléculaire a été réalisée sur le zirconium afin de vérifier cette hypothèse. Dans un premier temps, l'interaction d'une dislocation vis et d'une boucle prismatique a été générée afin de former un tour d'hélice, qui est l'ancrage le plus résistant décrit dans le zirconium [4]. Des calculs de cascades ont été menés près de l'ancrage et à différents niveaux de contrainte. Il a été observé qu'un désancrage des dislocations était possible et que la probabilité de désancrage augmentait avec le niveau de contrainte. Un modèle analytique a ensuite été proposé pour décrire ces observations « d'expériences numériques » et remonter ainsi à un temps de vie du point d'ancrage en fonction de la contrainte, qui a pu être comparé au temps de vie estimé par Gaumé et al. [3]. Une étude en dynamique moléculaire est à présent entamée sur le cuivre, et les premiers résultats semblent prometteurs.

[1] Onimus, F., and J. L. Béchade. "Radiation Effects in Zirconium Alloys from Comprehensive Nuclear Materials." (2012): 1-37.

[2] Matthews, J. R., and M. W. Finnis. "Irradiation creep models—An overview." *Journal of Nuclear Materials* 159 (1988): 257-285.

[3] Gaumé, M., et al. "In-situ observation of an irradiation creep deformation mechanism in zirconium alloys." *Scripta Materialia* 154 (2018): 87-91.

[4] Serra, A., and D. J. Bacon. "Atomic-level computer simulation of the interaction between dislocations and interstitial loops in α -zirconium." *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* 21.4 (2013): 045007.