

Offre de thèse dans le cadre du projet ANR JCJC HYDROSWAN 2025-2028

Rôle de l'hydrogène sur le gonflement sous irradiation des aciers austénitiques inoxydables :
microstructure et micromécanique

Description :

Le gonflement sous irradiation se traduit par une augmentation macroscopique du volume attribuée à la formation et la croissance de cavités pouvant contenir de l'hélium et de l'hydrogène. Le gonflement affecte la limite d'élasticité des matériaux concernés, du fait des interactions entre dislocations et cavités. Des niveaux de gonflement supérieurs à 5 % peuvent conduire à une rupture quasi-fragile de matériaux tels que aciers inoxydables austénitiques [1]. Les structures internes des réacteurs à eau pressurisée (REP) étant constitués de tels aciers, le gonflement est un phénomène de dégradation potentiellement limitant pour la durée de vie du parc de français. Il est donc important de bien comprendre les mécanismes et cinétiques impliqués.

La communauté scientifique s'est surtout attachée à comprendre le rôle de l'He sur le gonflement, mais il semble que l'He et l'H aient un effet synergique [2], sans que les mécanismes sous-jacents ne soient bien identifiés, notamment en raison du manque de données disponibles dans la littérature. Par conséquent, le rôle de l'H sur le gonflement des internes de REP doit être isolé. C'est là le principal objectif de cette thèse. Pour ce faire, des irradiations aux ions double et triple faisceaux à différentes doses seront effectuées pour reproduire les microstructures obtenues en REP. La sonde atomique tomographique (SAT) et la microscopie électronique en transmission (MET) seront utilisées, en parallèle et de manière corrélative, pour caractériser quantitativement les cavités. Les forces d'obstacles des cavités seront mesurées au moyen d'essais de traction in situ (TIS) dans un MET et reliées au durcissement mesuré par compression de micro-piliers (CMP).

La thèse se déroulera au GPM ([Groupe de Physique des Matériaux](#), UMR CNRS 6634). Le GPM est un laboratoire de l'Université de Rouen Normandie. Il compte environ 150 personnes. Il est organisé en cinq départements et mène des recherches sur les matériaux à l'échelle atomique, en mettant l'accent sur les relations entre structures et propriétés. Le laboratoire est pionnier dans le développement de la sonde atomique tomographique et utilise des approches expérimentales et de modélisation. Les domaines de recherche incluent l'instrumentation scientifique, les alliages métalliques, les semi-conducteurs, les matériaux fonctionnels, les polymères, les matériaux composites et les nanomatériaux. La personne recrutée sera rattachée au département Métallurgie Microstructures Mécanique, au sein de l'équipe de recherche des Matériaux du Nucléaire. Les travaux expérimentaux seront menés principalement au sein de la plateforme expérimentale dédiée à l'étude des matériaux irradiés [GENESIS](#). Le ou la doctorant(e) recruté(e) collaborera avec des chercheurs de l'Institut Pprime (Poitiers) et le laboratoire Crismat (Caen).

Missions :

Le ou la doctorant(e) assistera aux irradiations, procèdera à la préparation des échantillons (polissage, faisceau d'ions focalisés FIB), des caractérisations structurales (MEB, SAT et MET) et des essais micromécaniques (CMP, TIS). Il/elle procèdera au traitement des données générées, à leur interprétation et leur confrontation à la littérature. Il/elle disséminera ses résultats en participant à des congrès nationaux/internationaux et en publiant des articles de revues scientifiques. Il/elle suivra également un programme de formations proposées par l'école doctorale [PSIME](#), le CNRS ou d'autres écoles thématiques. Il sera possible de réaliser jusqu'à 64h de mission enseignement par an en 2^{ème} et 3^{ème} année



de thèse et de participer à des événements de vulgarisation scientifique comme la Fête de la Science, Ma thèse en 180 secondes ...

Profil recherché :

Un bagage théorique est attendu en Physique du Solide, Mécanique et en Métallurgie. Des notions dans une ou plusieurs des techniques expérimentales utilisées pour la thèse seront appréciées. Il/elle devra avoir une bonne aptitude pour mener des travaux expérimentaux.

Mots Clés : gonflement, métallurgie, relations microstructure-plasticité, irradiation, sonde atomique tomographique, microscopie électronique en transmission, compression de micro-pilier, traction in-situ.

Références :

- [1] V.S. Neustroev, F.A. Garner, Severe embrittlement of neutron irradiated austenitic steels arising from high void swelling, *Journal of Nuclear Materials* 386–388 (2009) 157–160. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2008.12.077>.
- [2] H. Liu, J. Huang, L. Cao, Y. Su, Z. Gao, P. Ma, S. Xia, W. Ge, Q. Liu, S. Zhao, Y. Wang, J. Huang, Z. Zhou, P. Zheng, C. Wang, Helium-hydrogen synergistic effects on swelling in in-situ multiple-ion beams irradiated steels*, *Chinese Phys. B* 30 (2021) 086106. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/abfcca>.

Contacts : Solène Rouland (porteuse du projet et co-encadrante) solene.rouland@univ-rouen.fr ; Bertrand Radiguet (directeur de thèse) bertrand.radiguet@univ-rouen.fr

Candidature :

Les candidat(e)s intéressé(e)s devront envoyer les pièces suivantes :

- CV détaillé avec parcours académique.
- Lettre de motivation
- Relevés de notes et classement du Master 1 et Master 2.

Date limite de candidature : 27 juin 2025

Lieu : Laboratoire GPM (Rouen)

Début de la thèse : octobre 2025

HYDROSWAN-ANR-24-CE08-3827-01

PhD position within the framework of the ANR JCJC HYDROSWAN project 2025-2028

Role of hydrogen on irradiation swelling of austenitic stainless steels: microstructure and micromechanics

Context:

Swelling results in a macroscopic change in volume and the microscopic formation and growth of cavities filled with helium and hydrogen gas. It affects the yield strength of the materials concerned, due to interactions between dislocations and cavities. Swelling levels higher than 5% can lead to a quasi-brittle fracture of materials such as austenitic stainless steels [1]. The internal structures of pressurized water reactors (PWR) being made of such steels, swelling is potentially a limiting degradation phenomenon for the long term operation of the French nuclear fleet. It is therefore important to thoroughly understand the mechanisms and kinetics involved.

The research community mostly focused on understanding the role of He on swelling but it appears that He and H have a synergetic effect [2] and the underlying mechanisms are still not well identified, especially due to the lack of data in the literature. To clarify this point, the role of H on swelling of PWR internals made of austenitic stainless steels needs to be isolated. This is the main objective of the PhD project. To do so, double and triple beam ion irradiations at different doses will be performed under conditions mimicking PWR ones. Microscopy techniques such as Atom Probe Tomography (APT) and Scanning/Transmission Electron Microscopy (S/TEM) will be used both in parallel and in a correlative way to characterize quantitatively the cavities. The obstacle strengths will be experimentally measured to serve as input data in predictive models thanks to in situ nanotensile test in a TEM (NTT) and linked with the change in yield strength measured by micropillars compression tests (MPC).

The thesis will take place at GPM ([Groupe de Physique des Matériaux](#), UMR CNRS 6634). GPM is a laboratory of the University of Rouen Normandie. It has approximately 150 members and is organized into five departments, conducting research on materials at the atomic scale, with an emphasis on the relationships between structures and properties. The laboratory is a pioneer in the development of atom probe tomography and uses both experimental and modeling approaches. Research areas include scientific instrumentation, metallic alloys, semiconductors, functional materials, polymers, composite materials, and nanomaterials. The recruited person will be attached to the Department of Metallurgy, Microstructures, and Mechanics, within the Nuclear Materials research team. The experimental work will be mainly conducted within the [GENESIS](#) experimental platform dedicated to the study of irradiated materials. The recruited PhD student will collaborate with researchers from the Pprime Institute (Poitiers) and the Crismat laboratory (Caen).

Missions:

The PhD student will attend irradiations, prepare samples (polishing, focused ion beam FIB), conduct structural characterizations (SEM, APT, and TEM), and perform micromechanical tests (MPC, NTT). He/She will be in charge of data acquisition and processing, interpretation, and comparison with the literature. He/She will disseminate the results by participating in national/international conferences and publishing articles in scientific journals. He/She will also follow a training program offered by the [PSIME](#) doctoral school, CNRS, or other thematic schools. It will be possible to carry out up to 64 hours

of teaching per year in the 2nd and 3rd years of the thesis and to take part in science outreach events such as the Fête de la Science, Ma thèse en 180 secondes (My Thesis in 180 Seconds), etc.

Applicant profile:

A theoretical background is expected in Solid State Physics, Mechanics, and Metallurgy. Knowledge of one or more of the experimental techniques used for the thesis will be appreciated. He/She should have a good aptitude for conducting experimental work.

Keywords: swelling, metallurgy, microstructure-plasticity relationships, irradiation, atom probe tomography, transmission electron microscopy, micropillar compression, in-situ tensile test.

References:

- [1] V.S. Neustroev, F.A. Garner, Severe embrittlement of neutron irradiated austenitic steels arising from high void swelling, *Journal of Nuclear Materials* 386–388 (2009) 157–160. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2008.12.077>.
- [2] H. Liu, J. Huang, L. Cao, Y. Su, Z. Gao, P. Ma, S. Xia, W. Ge, Q. Liu, S. Zhao, Y. Wang, J. Huang, Z. Zhou, P. Zheng, C. Wang, Helium-hydrogen synergistic effects on swelling in in-situ multiple-ion beams irradiated steels*, *Chinese Phys. B* 30 (2021) 086106. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/abfcca>.

Contacts: Solène Rouland (project leader and supervisor) solene.rouland@univ-rouen.fr ; Bertrand Radiguet (PhD director) bertrand.radiguet@univ-rouen.fr

Application:

Interested candidates must send the following documents:

- Detailed CV with academic background.
- Cover letter.
- Marks and rankings of postgraduate studies.

Deadline: June 27, 2025

Location: GPM Laboratory (Rouen)

PhD start: october 2025

HYDROSWAN-ANR-24-CE08-3827-01