

Avis de Soutenance

Monsieur Mehdi NASSELAHSEN

Physique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Caractérisation expérimentale des mécanismes d'oxydation sous vapeur d'eau et à haute température d'alliages métalliques de réacteurs nucléaires

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : CEMHTI - Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation

Soutenance prévue le **mardi 05 mai 2026** à 9h00

Lieu : Route de Vinon sur Verdon, Château de Cadarache, 13115 Saint-Paul-lez-Durance, France

Salle : de conférence du château de Cadarache

Composition du jury proposé

M. Emmanuel DE BILBAO	Professeur des universités	Université d'Orléans	Directeur de thèse
M. Yves PONTILLON	Directeur de recherche	Aix Marseille Université	Rapporteur
M. Henri BUSCAIL	Professeur des universités	Université Clermont Auvergne	Rapporteur
M. Jean-Christophe BRACHET	Ingénieur de recherche	CEA Saclay	Examineur
M. René GUINEBRETIERE	Professeur des universités	Université de Limoges	Examineur
M. Pascal PILUSO	Directeur de recherche	CEA Cadarache	Directeur de thèse
M. Jules DELACROIX	Ingénieur de recherche	CEA Cadarache	Co-encadrant de thèse
Mme Sawsen YOUSSEF	Maître de conférences	Université d'Orléans	Co-encadrante de thèse

Mots-clés : accident grave, oxydation, vapeur d'eau, 304L, zircaloy-4, E-ATF

Résumé :

Ce travail de thèse porte sur l'étude des mécanismes d'oxydation à haute température sous vapeur d'eau des alliages 304L, zircaloy-4 et E-ATF. Le dispositif expérimental VITOX permet de mesurer la prise de masse et d'établir les cinétiques d'oxydation à partir de la quantification in-situ de dihydrogène. Cette approche est appliquée aux deux régimes d'oxydation : isotherme et transitoire thermique. Des analyses MEB/EDS complètent l'étude phénoménologique de l'oxydation. La cinétique d'oxydation de l'alliage 304L, à l'état solide et liquide, suit une loi linéaire dès les premiers instants, marquée par l'absence de chromine à l'interface externe, puis tend vers un régime parabolique jusqu'à l'oxydation complète. La non-régénération de la chromine est attribuée aux effets de volatilisation de chrome et de son apport limité à l'interface externe. La présence de chrome dans l'alliage 304L liquide induit un ralentissement de l'oxydation par rapport au fer liquide. L'oxydation de l'alliage de zircaloy-4 suit une cinétique parabolique après une phase d'incubation, aussi bien à l'état solide qu'à l'état liquide. L'oxydation complète est pilotée par la diffusion d'oxygène depuis l'interface externe et la formation de zircone stœchiométrique. L'effet des éléments d'alliage par rapport au zirconium liquide est négligeable au regard de la cinétique d'oxydation. Pour les alliages E-ATF, le chrome de la couche de dépôt est entièrement consommé pour la formation d'un liquide eutectique avant injection de vapeur d'eau à 1600 °C. Les lois paraboliques pour l'alliage E-ATF sont en bon accord avec celle du zircaloy-4 à l'état solide. En transitoire thermique, l'écart de prise de masse entre les deux alliages s'annule complètement à partir de 1500 °C. La prise de masse de l'alliage E-ATF est davantage accélérée à partir de 1650 °C suite à la formation d'un second liquide eutectique. Ce travail de thèse permet de proposer pour la première fois des lois cinétiques pour la production H₂ à des niveaux inédits de température, donnée critique pour le déroulé d'un accident grave.

Summary:

High temperature oxidation of 304L, zircaloy-4 and E-ATF alloys under steam is investigated in this work. VITOX experimental apparatus enables mass gain measurement for oxidation kinetics through in-situ dihydrogen-evolution analysis, applied to both isothermal and transient oxidation regimes. SEM/EDS characterizations support the assessment of oxidation mechanisms. 304L oxidation at both solid and liquid states follow a first linear regime, associated with the absence of chromia at the external interface, then follow a parabolic trend before complete oxidation. The absence of chromia is associated with limited supply of chromium as well as its volatilization at the external interface. Oxidation kinetics for 304L in liquid state are relatively slower than those of liquid iron. Zircaloy-4 oxidation follows a parabolic regime after an initial incubation time, both in the solid and liquid states. Complete oxidation is governed by oxygen diffusion leading to the formation of stoichiometric zirconia. Alloying elements in zircaloy-4 have no effect regarding oxidation kinetics compared to liquid zirconium. In E-ATF alloys, coating-layer chromium is fully consumed via eutectic-liquid formation before steam injection at 1600 °C. The parabolic rate constants of solid-state E-ATF are comparable to those of zircaloy-4. Transient oxidation of both alloys depicts comparable mass gains as of 1500 °C. Oxide mass gain of E-ATF alloy is further accelerated as of 1650 °C, regarding the formation of a second eutectic liquid. This work proposes oxidation kinetic laws enabling prediction of dihydrogen production at previously inaccessible temperatures, crucial for severe nuclear accident scenarios.