

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Monsieur Thibault VIDAL est autorisé(e) à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE MARSEILLE

Le 30 septembre 2020, à 14H00

à : Salle Pierre Cotton à l'Institut Fresnel - Campus Universitaire de St Jérôme
52 Avenue Escadrille Normandie Niemen 13013 Marseille

Titre: Interaction Laser-UO2: vers une simulation du chargement thermique d'un accident de réactivité (RIA) à l'échelle du laboratoire

Ecole doctorale : ED 352 Physique et Sciences de la Matière

Spécialité : Matière condensée et Nanosciences

Rapporteurs :

Monsieur Rudy KONINGS, Directeur de Recherche, JRC ITU, Allemagne.
Monsieur Patrick SIMON, Directeur de Recherche, CEMTHI, France.

Membres du Jury :

Madame Suzanne GIORGIO, Professeur, CINAM, France.
Monsieur Philippe DELAPORTE, Directeur de Recherche, CNRS LP3, France.
Monsieur Laurent GALLAIS, Professeur, Centrale Marseille, France.
Monsieur Rudy KONINGS, Directeur de Recherche, JRC ITU, Allemagne
Monsieur Patrick SIMON, Directeur de Recherche, CEMTHI, France.
Monsieur Laurent BERTHE, Directeur de Recherche, PIMM, France.

Résumé :

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre général des études sur les combustibles nucléaires actuels et futurs, notamment leur comportement sous des charges thermiques représentatives des conditions de type RIA (Reactivity Initiated Accident) dans les réacteurs nucléaires. Jusqu'à présent, ces études sont réalisées grâce à des expériences intégrales dédiées menées en réacteurs avec le coût et les contraintes correspondantes. Au cours de nos travaux, nous avons étudié la possibilité de développer une plateforme expérimentale à l'échelle du laboratoire, capable de soumettre des combustibles nucléaires irradiés et des assemblages de gaines de combustible à des tests thermiques à très hautes températures (au-dessus de 2000°C) avec un contrôle précis des gradients thermiques et des dynamiques temporelles, et couplé à terme à une analyse des rejets de gaz et de produits de fission, et à la cinétique d'évolution de la microstructures et de la fragmentation du combustible.

Pour atteindre cet objectif, des travaux prospectifs ont été menés au cours de cette thèse dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Fresnel, qui a apporté son expertise dans le domaine des interactions laser / matériau à haute puissance et de l'instrumentation optique, et du CEA/IRENE, avec une expertise dans les traitements thermiques des combustibles irradiés, qui a permis de définir les expériences pertinentes et compatibles avec une possibilité d'intégration dans un laboratoire de haute activité.

Suite à des investigations numériques préliminaires, un concept basé sur l'utilisation d'un laser de puissance a été proposé et mis en œuvre, tout d'abord sur un matériau postiche (du graphite de type EDM3) puis sur de l'UO₂. Nous montrons dans ce mémoire que l'approche proposée permet de reproduire précisément les gradients thermiques caractéristiques d'un RIA, sous réserve que l'échantillon étudié soit suffisamment fin (sub-millimétrique), et que le modèle numérique développé permet de reproduire très fidèlement les observations expérimentales et s'avère être un outil extrêmement utile pour préparer et interpréter les essais. Nous avons ainsi pu démontrer la pertinence et la faisabilité de l'approche proposée qui permettra peut-être à l'avenir de ramener certaines études de sûreté nucléaire du niveau du réacteur à l'échelle du laboratoire pour fournir des données expérimentales cruciales pour la validation des modèles physiques mis en œuvre dans les codes de performance du combustible nucléaire.

----- In english -----

This project falls within the general context of investigations on current and future nuclear fuels, particularly their behaviour under thermal loads representative of RIA (Reactivity Initiated Accident) type conditions in nuclear reactors. Up to now, these studies are performed thanks to dedicated integral experiments conducted in-pile (i.e. in Materials Test Reactor) with the corresponding cost and constraints. The present work aims to develop an experimental platform, at a laboratory scale, that can submit irradiated nuclear fuels and fuel cladding assemblies to annealing tests involving very high temperatures (> 2000°C) with control of thermal gradients and temporal dynamics, coupled with analysis of gas and fission product releases, micro structure evolution kinetics and fuel fragmentation.

To reach such objectives, a prospective work was carried out during this thesis within the framework of a collaboration between the Fresnel Institute, which brought its expertise in the field of high power laser/material interactions and optical instrumentation, and CEA/IRENE with expertise in thermal treatments of irradiated fuels, which has allowed to define relevant and compatible experiments with the possibility of integration into a high activity laboratory.

Following preliminary numerical investigations, a concept based on the use of a high power laser was proposed and implemented, first on a mock-up material (EDM3 graphite) then on UO₂. We show in this thesis that the proposed approach allows to precisely reproduce the thermal gradients characteristic of an RIA, provided that the sample studied is sufficiently fine (sub-millimeter), and that the numerical model developed allows to reproduce accurately the experimental observations and is proving to be an extremely useful tool for preparing and interpreting tests.

This work should contribute in future to bring nuclear safety studies from the reactor level down to a laboratory scale and should permit, with some further developments, a full real time analysis of the irradiated nuclear fuel behaviour in case of a major mishap, including the release of radioactive gases and particles at high temperature. This will provide crucial experimental data for physical model validation implemented in nuclear fuel performance codes.