

## Proposition de stage – Année 2021-2022

**Niveau du stage :** M2

**Durée du stage :** selon le master

**Ouverture éventuelle vers un sujet de thèse :** Oui, financement ANR

**Type de financement envisagé :** ANR

**Responsable du stage :** Clotilde GAILLARD

**Téléphone :** 04-72-43-18-23

**Email :** [gaillard@ipnl.in2p3.fr](mailto:gaillard@ipnl.in2p3.fr)

**Adresse :** IP2I Lyon – Bureau XXX

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

**Equipe d'encadrement :** C. Gaillard, Y. Pipon, N. Moncoffre

**Thématique :** Energie nucléaire

**Intitulé du stage :** Etude de l'effet du dopage au Cr du combustible nucléaire  $UO_2$  sur la migration de produits de fission

**Description du travail demandé :**

La problématique du réchauffement climatique nécessite la mise en place d'une production d'électricité basée sur des technologies peu émettrices en  $CO_2$ , comme l'énergie nucléaire. La sûreté est un des points-clé pour l'utilisation de cette technologie en raison des conséquences radiologiques potentielles d'un accident sur la population et l'environnement. Les événements de Fukushima en 2011 ont ravivé l'intérêt pour l'étude de nouveaux types de combustibles nucléaires (ATF : Accident Tolerant Fuel) dont l'objectif principal est d'accroître le délai de grâce avant l'entrée en accident grave et de minimiser l'impact environnemental pendant les premières phases de l'accident, notamment en augmentant la rétention des produits de fission (PF) gazeux. Pour le combustible, le principe est d'ajouter un dopant à  $UO_2$  afin, notamment, d'augmenter la taille de grain du matériau. Framatome a ainsi développé un ATF consistant à doper  $UO_2$  par l'oxyde de chrome. Le gain dû à ce dopage sur la rétention des gaz de fission par le combustible a été démontré pour des températures en deçà de  $1300^\circ C$ . Cependant, aucune donnée n'est disponible sur le relâchement des produits de fission dits chimiquement actifs, en particulier ceux susceptibles d'être rejetés dans l'environnement lors d'un accident pour des températures supérieures. Trois PF, le césium, l'iode et le molybdène, présentent un intérêt particulier. Cs et I, PF volatils, ont un impact radiologique majeur en cas de relâchement de leurs isotopes  $^{137}Cs$  et  $^{131}I$ . Le molybdène n'est pas un PF dosant en cas d'accident, mais son comportement en cas de relâchement impacte fortement la chimie du césium et par suite celle de l'iode. Il a également un fort impact sur la chimie du combustible en agissant comme un tampon d'oxydation. Le projet BENEFICIA propose d'étudier la mobilité et la chimie de ces trois PF clés dans le combustible  $UO_2$  dopé avec  $Cr_2O_3$ , en vue d'évaluer l'impact du Cr sur leur relâchement en cas d'accident. Ce projet regroupe cinq équipes (IP2I - coordinateur, IJCLab, IRSN, CEA, FRAMATOME) incluant les principaux acteurs en charge de la conception

et de l'évaluation de la sûreté des réacteurs nucléaires. Le sujet du stage concerne l'effet du dopage au Cr de  $UO_2$  sur les mécanismes de diffusion thermique des PF dans ce matériau. En particulier, nous étudierons l'influence de la pression partielle d'oxygène ( $pO_2$ ) sur les coefficients de diffusion. Dans ce but, nous couplerons différentes techniques expérimentales : implantation ionique simulant la production des PF dans le combustible, recuits à haute température sous atmosphère contrôlée, analyses des profils de concentration par Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS), spectroscopie Raman...

L'étudiant(e) devra avoir des bases solides en chimie ou physico-chimie. Un bon niveau en français (B2 minimum) et en anglais est indispensable.

Ce stage débouchera sur une thèse financée par l'ANR.

## Internship offer – Year 2021-2022

**Internship level:** M2

**Duration:** depending on the master

**Possible PhD follow up:** Yes

**Proposed PhD funding type:** ANR

**Supervisor:** Clotilde Gaillard

**Phone:** 04-72-43-18-23

**Email:** [gaillard@ipnl.in2p3.fr](mailto:gaillard@ipnl.in2p3.fr)

**Address:** IP2I Lyon – Bureau XXX

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

**Mentoring team:** C. GAILLARD, Y. PIPON, N. MONCOFFRE

**Research field:** Study of nuclear fuel  $\text{UO}_2$

**Internship title:** Effect of Cr doping in  $\text{UO}_2$  fuel on the thermal behaviour of fission products

### Work description:

Nuclear power energy is a low carbon system for the electricity production that can contribute to address climate global warming in addition of the use of renewable energy. However, safety is a key issue for nuclear power plant operation due to the potential radiological consequences of an accident with regard to the environment and population. The Fukushima event in 2011 revived the interest for exploring new fuels that could tolerate a severe accident in a reactor core for a longer time than the current  $\text{UO}_2/\text{Zr}$  alloy system while maintaining fuel performance during normal operation. Accident-tolerant fuels (ATFs) would enhance resistance to stress corrosion cracking due to pellet-clad interaction and increase the retention of gaseous fission products (FP), in order to avoid as much as possible radioactivity release and minimize the environmental impact of an accident. This double goal may be achieved by adding dopants like  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  to the  $\text{UO}_2$  fuel, whose main effect is to increase notably the fuel grain size. The gain of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -doped  $\text{UO}_2$  fuel on the fission gas retention was demonstrated during power ramp tests. However, no data are available on the release of chemically active FP, especially those susceptible to be released in the environment during an accident. Three fission products, caesium, iodine and molybdenum are of particular interest. Cs and I are volatile FP that have a major radiological impact in case of release of their isotopes  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{131}\text{I}$ . Molybdenum itself is not a dosing FP in case of accident, but its behaviour in the event of release strongly affects the chemistry of caesium and consequently that of iodine. In addition, it has a strong impact on the fuel chemistry by acting as an oxidation buffer.

In this context, the BENEFICIA project proposes to study the mobility and chemistry of these three key FP in  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -doped  $\text{UO}_2$  fuel, in view to evaluate the impact of the Cr dopant on the radioactivity release in case of accident. This project gathers five teams (IP2I – coordinator, IJCLab, IRSN, CEA, FRAMATOME) including the major actors in charge of the design and safety evaluation of nuclear reactors.

This internship deals with the effect of Cr doping on the mechanisms of FP thermal diffusion in  $\text{UO}_2$ . In particular, we will seek the influence of the oxygen partial pressure ( $p\text{O}_2$ ) on the diffusion coefficients. To do so, we will couple several experimental techniques: ion implantation -that mimic the FP production in the fuel- and SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) analysis), Raman spectroscopy...

We are looking for a student with good skills in physico-chemistry or chemistry, with a good level in French (C2 minimum) and English.