



IRESNE SUJETS DE THÈSES

IRESNE THESIS TOPICS

2026



Sommaire

Summary

Présentation de l'IRESNE

About IRESNE

IRESNE : Un institut du CEA situé à Cadarache

IRESNE : a CEA Institute at Cadarache

Les thèses à l'IRESNE en pratique

Thesis at IRESNE in practice

Sujets de thèse par Département de recherche au sein de l'IRESNE :

Thesis topics by research department :

Département d'études des combustibles

Fuel Studies Departement

Département d'études des réacteurs

Reactor Studies Departement

Département de technologie nucléaire

Nuclear Technology Departement

Présentation de l'IRESNE

Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone

L'IRESNE est l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone. Crée le 1er février 2020 par le CEA, l'IRESNE rassemble une équipe de 900 collaborateurs qui conçoivent, simulent, testent et qualifient les réacteurs nucléaires actuels et de demain.

L'IRESNE ouvre également son champ de recherches à l'intégration des systèmes nucléaires dans le mix énergétique bas carbone.

Le nucléaire, au-delà de la production d'électricité, est une source de production de chaleur.

Ce sont les innovations technologiques en soutien à ces deux composantes, électricité et chaleur, que l'institut approfondit dans ses recherches.

L'objectif de cette optimisation est d'offrir à la société un mix énergétique puissant dans toutes les ressources bas carbone.

La création de l'institut s'inscrit dans la mise en place, au sein du CEA, d'une organisation dédiée aux études sur les énergies décarbonées. Cette organisation répond à la volonté du gouvernement français de créer un mix énergétique décarboné qui s'appuie sur l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables. Les objectifs sont fixés par l'Etat dans le cadre de la loi de transition énergétique pour une croissance verte et les lois de Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE). Ces lois assurent la déclinaison de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), feuille de route de la France pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre. La SNBC concerne tous les secteurs d'activités et doit être portée par tous : citoyens, collectivités, entreprises.

Ainsi, le CEA a créé une Direction des énergies (DES) dans laquelle s'intègre l'institut IRESNE. La Direction des énergies regroupe également un Institut des sciences appliquées et de la simulation pour les énergies bas carbone (ISAS) et un Institut des sciences et technologies pour une économie circulaire des énergies bas carbone (ISEC).



About IRESNE

*Research
institute on
nuclear systems
for low-carbon
energy
production*

IRESNE is the Institute for Research on nuclear systems for low-carbon energy production. Created on 1 February 2020 by the CEA, IRESNE brings together a team of 900 employees who design, simulate, test and qualify current and future nuclear reactors.

IRESNE is also opening up its field of research to the integration of nuclear systems into the low-carbon energy mix.

In addition to producing electricity, nuclear power is also a source of heat.

It is the technological innovations that support these two components – electricity and heat – that the institute focuses on in its research.

The aim of this optimization is to provide society with an energy mix that draws on all low-carbon resources.

The creation of the institute is part of the establishment, within CEA, of an organization dedicated to studies on decarbonized energies. This organization responds to the French government's desire to create a decarbonized energy mix based on nuclear power and renewable energies. The objectives are set by the French government within the framework of the Energy Transition Law for Green Growth and the Pluriannual Energy Programming (PPE) laws. These laws ensure the implementation of the National Low-Carbon Strategy (NLCS), France's roadmap for reducing greenhouse gas emissions. The NLCS concerns all sectors of activity and must be supported by everyone: citizens, local authorities and businesses.

To this end, the CEA has created an Energy Division (DES), which includes the IRESNE institute. The Department of Energies also includes an Institute of Applied Sciences and Simulation for Low-Carbon Energies (ISAS) and an Institute of Sciences and Technologies for a Circular Economy of Low-Carbon Energies (ISEC).



Labo UO2 : fabrication additive imprimante 3D. Pièce en alumine réalisée par fabrication additive. La pièce imprimée comporte une croix centrale en creux. Après impression, séchage et déliançage, la pièce a été frittée pour rendre la céramique pratiquement totalement dense.

©A.Aubert /CEA

Labo UO2: additive manufacturing 3D printer. Alumina part produced by additive manufacturing. The printed part features a recessed central cross. After printing, drying and debinding, the part was sintered to make the ceramic almost completely dense.

©A.Aubert /CEA



IRESNE : Un institut du CEA à Cadarache

Installé en région Provence Alpes Côte d'Azur, sur la commune de Saint-Paul lez Durance, le centre CEA-Cadarache est au cœur de la transition énergétique avec ses instituts de recherche et plateformes expérimentales dans le domaine des énergies bas-carbone : énergie nucléaire (fission, fusion), bioénergies et énergies solaires.

A ces recherches s'ajoutent les activités relatives à la propulsion nucléaire pour la Marine nationale, la recherche fondamentale en biosciences et biotechnologies, les études sur le démantèlement et l'assainissement des installations nucléaires et sur la sûreté nucléaire. Trois instituts contribuent activement aux recherches menées à Cadarache.

L'Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone (CEA-Iresne) de la direction des énergies du CEA a pour missions la recherche et le développement d'innovations dans le domaine de l'énergie nucléaire de fission (réacteurs et combustibles nucléaires notamment) intégrée à un mix énergétique bas carbone.

L'Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique (CEA-Irfm), travaille sur la fusion, source d'énergie potentielle pour le futur. L'institut exploite, avec ses partenaires internationaux, le tokamak WEST pour préparer les expérimentations à venir sur le réacteur thermonucléaire expérimental international ITER.

L'Institut de biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille (BIAM) explore deux thèmes : les mécanismes de réponses du vivant (plantes, algues, bactéries) face aux contraintes environnementales et ceux de la bioconversion de l'énergie produisant des molécules à forte teneur énergétique. Le CEA-Cadarache rassemble 2 400 collaborateurs et accueille des installations de recherche de renommée internationale : le Réacteur Jules Horowitz (RJH) en construction, le tokamak WEST/Tore-Supra, banc de test pour Iter, ou encore la Cité des Energies.

Les sujets de thèses présentés dans ce livret sont proposés par l'IRESNE, tous en liens avec des défis scientifiques et technologiques à relever par l'Institut.

La notoriété internationale de ses chercheurs, la qualité scientifique des études menées, associées au caractère unique des plateformes numériques et expérimentales des laboratoires du Centre de recherche de Cadarache, offrent au futur doctorant un environnement de travail de premier plan pour la réussite de sa thèse. Il pourra ainsi développer des compétences de haut niveau valorisables pour son évolution professionnelle.

Retrouvez toutes les offres de thèses du CEA sur le site de l'INSTN :

<https://instn.cea.fr/theses-et-post-doctorats/>



IRESNE: A CEA institute at Cadarache

Located in the Provence Alpes Côte d'Azur region, in the commune of Saint-Paul lez Durance, the CEA-Cadarache center is at the heart of the energy transition with its research institutes and experimental platforms in the field of low-carbon energies: nuclear energy (fission, fusion), bioenergies and solar energies.

In addition to this research, CEA-Cadarache is also involved in nuclear propulsion for the French Navy, fundamental research in biosciences and biotechnologies, and studies on the decommissioning and dismantling of nuclear facilities and nuclear safety. Three institutes are actively involved in Cadarache research.

The mission of the CEA-IRESNE is to research and develop innovations in the field of nuclear fission energy (in particular reactors and nuclear fuels) as part of a low-carbon energy mix.

The institut for magnetic fusion research is working on fusion as a potential energy source for the future. Together with its international partners, the institute operates the WEST tokamak to prepare for future experiments on the international thermonuclear experimental reactor ITER.

The Aix-Marseille Institute of Biosciences and Biotechnologies (BIAM) explores two themes: the response mechanisms of living organisms (plants, algae, bacteria) to environmental constraints, and the bioconversion of energy to produce high-energy molecules.

CEA-Cadarache employs 2,400 people and is home to world-renowned research facilities, including the Jules Horowitz Reactor (RJH) currently under construction, the WEST/Tore-Supra tokamak, test bench for Iter, and the Cité des Energies.

The thesis topics presented in this booklet are offered by IRESNE, all of which address scientific and technological challenges to be tackled by the Institute.

The international reputation of its researchers, the scientific quality of the studies conducted, combined with the unique digital and experimental platforms of the Cadarache Research Center laboratories, provide future PhD students with a first-class working environment for the successful completion of their thesis.

This will enable them to develop high-level skills that will be valuable for their professional advancement.

Find all CEA thesis opportunities on the INSTN website:
<https://instn.cea.fr/theses-et-post-doctorats/>



Plateforme POSEIDON : Vue de la section d'essai (contenant la maquette de l'assemblage combustible) de la boucle HERMES P.

©A.Aubert /CEA

POSEIDON platform: View of the test section (containing the fuel assembly mock-up) of the HERMES P loop.

©A.Aubert /CEA



Les thèses à l'IRESNE en pratique

Choisir de faire sa thèse à l'IRESNE, sur le centre CEA de Cadarache, c'est aussi faire le choix d'une qualité de vie de haut niveau.

Les 150 doctorants de Cadarache ont un contrat de travail CEA de 3 ans avec un salaire brut mensuel de 2 406 € qui peut varier en fonction du type de contrat et des cofinancements.

Ils peuvent bénéficier de la formation professionnelle qui permet de compléter leur formation initiale par des formations scientifiques en lien avec leurs travaux de thèse, des formations spécifiques pour mener à bien leur thèse (conduite de projet scientifique) ou encore gérer leur insertion professionnelle (réussir son projet professionnel, réussir ses entretiens de recrutement, ...).

Les travaux réalisés par le doctorant sont valorisés par des publications dans des journaux scientifiques internationaux et par des présentations lors de conférences nationales ou internationales permettant au doctorant de recueillir l'avis de ses pairs et de prendre sa place dans les communautés scientifiques. Les doctorants peuvent également se construire un réseau relationnel professionnel à travers les collaborations mises en place dans le cadre des thèses : collaborations en interne CEA, collaborations avec des universités ou d'autres organismes de recherche français ou étrangers ou avec des partenaires industriels.

Sur le plan associatif, les doctorants du CEA de Cadarache ont accès à l'Association des Thésards de Cadarache (ASTHEC), une association loi 1901 gérée pour et par ses membres. Elle est ouverte à tous les doctorants, stagiaires et alternants, post-doctorants et intérimaires accueillis dans les laboratoires du Centre CEA de Cadarache.

Le but premier de l'Association est d'accueillir les nouveaux arrivants sur le Centre et de les faire se rencontrer via des activités diverses, à vocation scientifique ou non, se déroulant toujours dans une chaleureuse ambiance (soirées, sorties, visites scientifiques, transmission d'offres d'emplois). Pour plus d'informations : <https://www.facebook.com/groups/asthec/>.

Le centre de Cadarache est également doté de nombreuses associations sportives et culturelles ouvertes aux doctorants.

Implanté sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance, il est idéalement situé à 30 min d'Aix-En-Provence, à 1 heure de la mer ou des stations de ski. Il s'étend sur un grand parc arboré de 2050 hectares, dont 900 hectares clôturés où de nombreuses espèces animales vivent en liberté.

Un large choix de logements dans les 4 départements environnents s'offre aux doctorants : pour les plus citadins, les villes d'Aix en Provence (30 minutes par l'autoroute), Pertuis (20 minutes par la route), Manosque (10 minutes par l'autoroute) ; pour les amateurs de campagne, les villages du Luberon, du Var, des Alpes de Haute Provence, ...

Le Centre de Cadarache est desservi matin et soir par des cars spécifiques, au départ de plusieurs villes et villages des départements 04, 13, 83 et 84. Ces cars sont gratuits pour les personnes venant travailler sur le Centre.

Deux restaurants d'entreprise sont à disposition avec un tarif préférentiel pour les doctorants.



Theses at IRESNE in practice

Choosing to do your PhD at IRESNE, located at the CEA center in Cadarache, also means choosing a high quality of life.

The 150 PhD students at Cadarache have a 3-year CEA employment contract with a gross monthly salary of €2,406 which may vary depending on the type of contract and co-funding.

They can benefit from professional training to complement their initial education, including scientific courses related to their thesis work, specific training to successfully complete their PhD (such as scientific project management), or training to help them transition into professional life (building a professional project, mastering job interviews, etc.).

The work conducted by PhD students is highlighted through publications in international scientific journals and presentations at national or international conferences, which allow students to receive feedback from their peers and establish their position within scientific communities. Additionally, students can build a professional network through collaborations established during their thesis: internally at CEA, with universities, other French or international research organizations, or with industrial partners.

On an associative level, PhD students at CEA Cadarache have access to the Cadarache Thesis Association (ASTHEC), a nonprofit organization managed by and for its members. It is open to all PhD students, interns, apprentices, post-doctoral researchers, and temporary staff hosted in the CEA Cadarache laboratories. The primary purpose of the association is to welcome new arrivals to the center and encourage them to meet through a variety of activities, whether scientific or not, always held in a friendly atmosphere (evenings, outings, scientific visits, job opportunity sharing).

For more information: <https://www.facebook.com/groups/asthec/>.

The Cadarache center also has numerous sports and cultural associations open to PhD students.

Located in the commune of Saint-Paul-Lez-Durance, it is ideally situated 30 minutes from Aix-en-Provence, 1 hour from the sea or ski resorts, and spans a large wooded park of 2,050 hectares, including 900 enclosed hectares where many animal species live freely.

PhD students have a wide range of housing options in the surrounding four departments: for those preferring urban life, Aix-en-Provence (30 minutes by highway), Pertuis (20 minutes by road), and Manosque (10 minutes by highway) are ideal. For those who enjoy the countryside, the villages of Luberon, Var, and Alpes-de-Haute-Provence offer excellent choices.

The Cadarache center is served by specific shuttle buses running morning and evening from several towns and villages in the 04, 13, 83, and 84 departments. These buses are free for individuals working at the center.

Two company restaurants are available, offering preferential rates for PhD students.





Plateforme POSEIDON : Boucle COLENTEC. Intervention sur la tuyauterie du circuit primaire

©A.Aubert /CEA

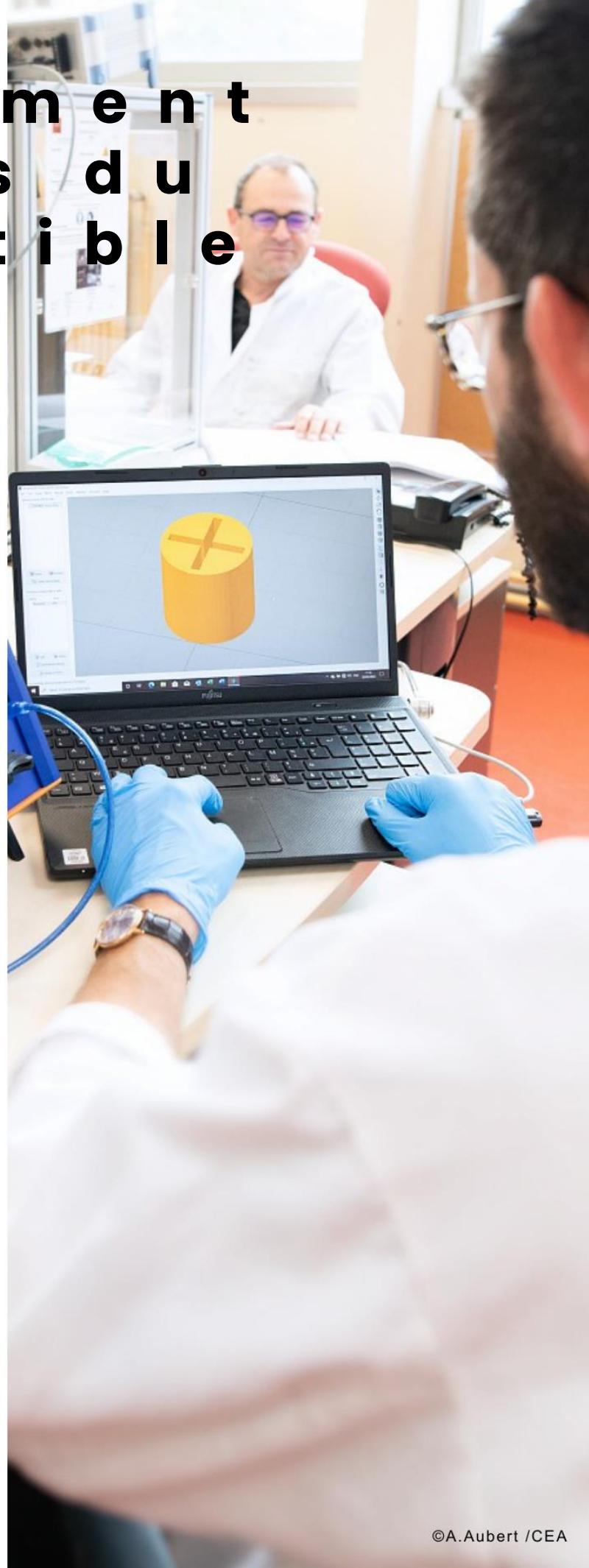
Département d'Etudes des du Combustible

Le Département d'Etudes des Combustibles (DEC) mène une activité centrée autour du combustible nucléaire dans l'objectif d'accroître les performances et la sûreté des réacteurs actuels (générations 2&3) et de développer les combustibles nucléaires des réacteurs du futur (4ème génération).

Il a pour mission d'acquérir, d'intégrer et capitaliser les connaissances relatives à la conception, à la fabrication, à la caractérisation et à l'étude du comportement des éléments combustibles nucléaires en réacteur. Les activités du DEC associent simulation numérique/modélisation et expérimentation.

Le DEC est structuré en trois services :

- le Service d'Analyses, d'Élaboration, d'Expérimentations et d'Examens des combustibles (SA3E),
- le Service d'Etudes et de Simulation du comportement des Combustibles (SESC),
- le Service d'Exploitation et de Traitements des Combustibles (SETC).



F u e l S t u d i e s

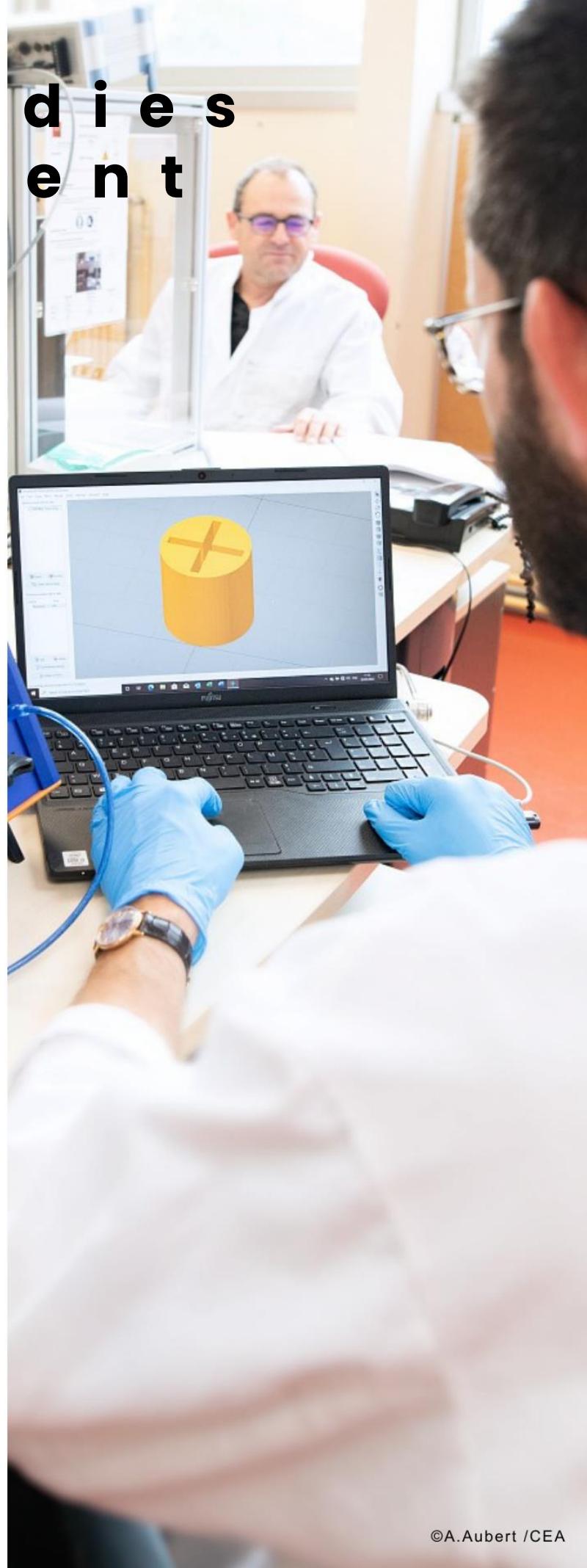
D e p a r t m e n t

The Fuel Studies Department (DEC in french) focuses on nuclear fuel, with the aim of improving the performance and safety of current reactors (generations 2&3) and developing nuclear fuels for the reactors of the future (4th generation).

Its mission is to acquire, integrate and capitalize on knowledge relating to the design, manufacture, characterization and study of the behavior of nuclear fuel elements in reactors. The DEC's activities combine numerical simulation/modeling and experimentation.

DEC is organized into three units:

- Analysis, Elaboration, Experimentation and Examination of Fuels Unit (SA3E).
- Studies and Simulation of Fuel Behavior Unit (SESC),
- Operating and Fuel Treatment Unit (SETC).





Sujets de thèse Thesis topics

Département d'études des combustibles / Fuel Studies Department

SA3E - Service d'analyses, d'élaboration, d'expérimentations et d'examens des combustibles

SA3E - Analysis, Elaboration, Experimentation and Examination of Fuels Unit

Quel couplage mécanique-thermique pour les transitoires rapides ? Evaluation des apports de la Thermodynamique des Processus Irréversibles

What mechano-thermal coupling is necessary for fast transients? Evaluation of the contributions of thermodynamics to irreversible processes.

Etude de l'endommagement du combustible en conditions accidentelles par chauffage laser: relation avec le relâchement des gaz de fission

Study of Fuel Damage Under Accidental Conditions by Laser Heating: Relationship with Fission Gas Release"

Marqueurs radiologiques en Antarctique : développement et validation des méthodologies d'analyse associées

Radiological signatures in Antarctica: development and validation of analytical methodologies

Concevoir des outils d'intelligence artificielle pour traquer le relâchement des produits de fission hors du combustible nucléaire.

Design artificial intelligence tools for tracking Fission Product release out of nuclear fuel

Les Gaz de Fission à l'Epreuve de la Basse Puissance : Enquête au Sein des Combustibles RNR

Inside SFR fuel : the Secret Life of Fission Gases

Etude expérimentale et simulation DEM du démélange de poudres d'actinides lors des opérations de transfert

Experimental study and DEM simulation of actinide powder demixing during transfer operations

Elaboration d'un combustible d'oxyde d'uranium dopé au manganèse : mécanismes de frittage et évolutions microstructurales

Development of Manganese-Doped Uranium Oxide Fuel: Sintering Mechanisms and Microstructural changes





Sujets de thèse Thesis topics

Département d'études des combustibles / Fuel Studies Department

SESC – Service d'études et de simulation du comportement des combustibles.

SESC – Studies and Simulation of Fuel Behaviour Unit.

Vers une nouvelle approche itérative pour la modélisation efficace des contacts mécaniques

Towards a new iterative approach for the efficient modeling of mechanical contact

Modélisation multiphysique du frittage du combustible nucléaire : effet de l'atmosphère sur la cinétique du retrait

Multiphysics modeling of nuclear fuel sintering: effect of the atmosphere on the shrinkage kinetics

Poudres d'UO₂: Caractérisation morphologique des agrégats par une approche combinée expérimentale / numérique discrète

UO₂ Powders: Morphological Characterization of Aggregates Using a Combined Experimental / Discrete Numerical Approach

Etude du comportement en début de vie du combustible MOX à isotopie dégradée.

Study of the behavior of mixed oxide fuels with degrade isotopy at the beginning of life.

Compréhension et modélisation du transport des gaz dans un combustible UO₂ présentant plusieurs familles de porosités

Effet de la porosité sur la conductivité thermique du matériau combustible MOX (U,Pu)O₂

Impact of the porosity on the MOX (U,Pu)O₂ fuel

De l'Angström au micron : construire un modèle d'évolution en pile du combustible à partir de données calculées à l'échelle atomique

From Angstrom to micron: building a model for the fuel in-pile evolution based on data calculated at the atom level

Simulations atomistiques des propriétés thermophysiques du combustible nucléaire métallique UMo

Atomistic investigation of the thermophysical properties of metallic nuclear fuel UMo





Sujets de thèse Thesis topics

Département d'études des combustibles / Fuel Studies Department

SESC – Service d'études et de simulation du comportement des combustibles.

SESC – Studies and Simulation of Fuel Behaviour Unit.

Optimisation de forme au service de l'innovation pour le combustible nucléaire

Shape optimization for nuclear fuel innovation

Comportement mécanique de cellules Li-Ion de quatrième génération, étude à l'échelle de la microstructure

Mechanical behavior of fourth-generation Li-Ion cells, study at the microstructure scale

Génération assistée de noyaux de calculs complexes en mécanique du solide

Assisted generation of complex computational kernels in solid mechanics

Simulation parallèle et raffinement adaptatif de maillage pour des problèmes de mécanique 3D

Parallel simulation and adaptive mesh refinement for 3D solids mechanics problems

Simulation de l'amorçage et de la propagation de la fissuration dans des matériaux hétérogènes aléatoires

Simulation of crack initiation and propagation in random heterogeneous materials

Modélisation micromécanique du comportement de polycristaux aux interfaces imparfaites : application au combustible UO₂ irradié

Micromechanical modeling of the behavior of polycrystals with imperfect interfaces: application to irradiated UO₂ fuel

SETC – Service d'exploitation et de traitements des combustibles.

SETC – Operating and Fuel Treatment Unit.

Imagerie acoustique des interfaces métal/céramique sur éléments combustibles irradiés : de la mise en œuvre à l'interprétation

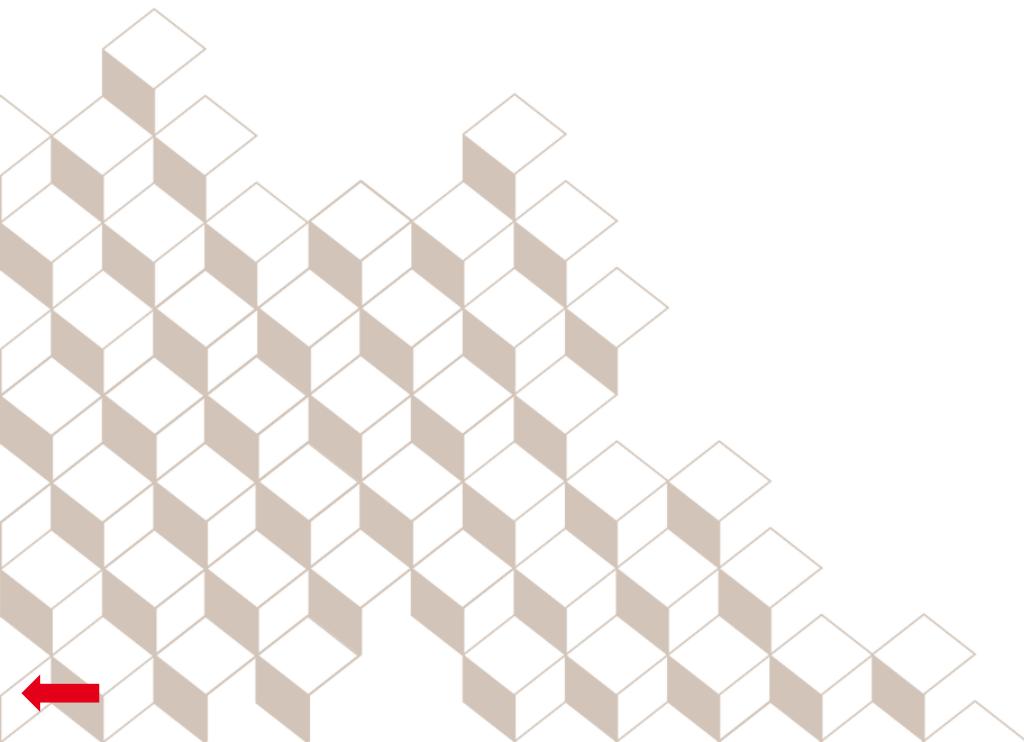
Acoustic imaging of metal/ceramic interfaces in irradiated fuel rods: from implementation to interpretation



S A 3 E

Service d'analyses,
d'élaboration,
d'expérimentations
et d'examens des
combustibles

*Analysis, Elaboration, Experimentation
and Examination of Fuels Unit*



Quantité de chaleur produite

$$\nabla \cdot \mathbf{J}_q = \nabla \cdot [-\kappa_e \cdot \nabla T]$$

Diffusion

$$- T \cdot (\mathbf{C} : \alpha_{th}) : (\nabla \cdot \mathbf{J}_e) \quad \text{Couplage fort}$$

$$- \nabla T \cdot (\mathbf{C} : \alpha_{th}) : \mathbf{J}_e \quad \text{Flux de déformation} \rightarrow$$

Quel couplage mécanique-thermique pour les transitoires rapides ? Evaluation des apports de la Thermodynamique des Processus Irréversibles

DEC/SA3E/LAMIR

Pour simuler des transitoires rapides induits par chauffage laser, on doit prendre en compte un couplage thermique-mécanique avec des termes liés au flux de déformation. Il s'agira d'évaluer ces termes pour modéliser des cas prototypiques.

Le Laboratoire d'Analyse de la Migration des Radioéléments (LAMIR) au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires (IRESNE) du CEA Cadarache a développé un ensemble de méthodes de mesure pour caractériser le relâchement des produits de fission hors du combustible nucléaire lors d'un transitoire thermique. Pour ces transitoires, il est important de simuler les sollicitations mécaniques associées aux variations de température qui peuvent générer la fracturation des échantillons de combustible testés. Dans cette thèse on s'intéresse à la modélisation de transitoires de puissance accidentels hypothétiques très rapides. L'objectif de la thèse sera de mettre en œuvre une nouvelle modélisation basée sur la thermodynamique des processus irréversibles (TPI).

La première partie de la thèse consistera à conforter l'écriture du couplage thermomécanique en TPI, qui a été proposée dans notre laboratoire (<https://www.mdpi.com/2813-4648/3/4/33>). Il s'agira là d'une approche essentiellement analytique pour mettre en place les ordres de grandeurs des différents mécanismes mis en jeu. La seconde partie consistera à appliquer ce formalisme à des résultats expérimentaux obtenus lors d'expériences de chauffage rapide avec des faisceaux laser. Une des difficultés de la simulation numérique avec la TPI consiste à calculer

simultanément les champs de température et de contrainte, et non plus successivement comme c'est le cas dans les modélisations actuelles. On commencera par une programmation 1D (sous python ou autre) que l'on améliorera au fur et à mesure. La comparaison des résultats obtenus par TPI et par la modélisation actuelle permettra d'identifier les situations où il est nécessaire de prendre en compte les couplages spécifiques à la TPI pour avoir une prédiction de bonne qualité.

Le thésard bénéficiera du soutien d'experts en thermodynamique, en mécanique et en programmation. Ses travaux donneront lieu à des publications scientifiques présentées à des conférences. De part la diversité des domaines concernés, ce sujet de thèse est une bonne ouverture pour un futur professionnel tant dans l'industrie que dans la recherche académique.

■ Formation recommandée :
Master 2 ou école d'ingénieur
Curiosité en physique et thermodynamique

■ Ecole doctorale :
ED 564 Physique

■ Date souhaitée de début de thèse :
Entre oct et nov 2026

■ Lieu :
CEA-Cadarache

■ Directeur(s) de thèse :
Christophe Goupl
LIED Paris-cité

■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
DESGRANGES Lionel
Lionel.desgranges@cea.fr

04 42 2 531 59



Quantity of heat

$$\nabla \cdot \mathbf{J}_q = \nabla \cdot [-\kappa_e \cdot \nabla T] \quad \text{Diffusion}$$

$$- T \cdot (\mathbf{C} : \alpha_{th}) : (\nabla \cdot \mathbf{J}_e) \quad \text{Strong coupling}$$

$$- \nabla T \cdot (\mathbf{C} : \alpha_{th}) : \mathbf{J}_e \quad \text{Strain Flux}$$

What mechano-thermal coupling is necessary for fast transients?
Evaluation of the contributions of thermodynamics to irreversible processes.

DEC/SA3E/LAMIR

To simulate fast transients induced by laser heating, a thermal-mechanical coupling with terms related to the strain flux must be taken into account. The student will assess this effect in order to model prototypical cases.

The Laboratory for the Analysis of Radioelement Migration (LAMIR) at the Institute for Research on Nuclear Systems (IRESNE) of the CEA Cadarache has developed a set of measurement methods to characterize the release of fission products from nuclear fuel during transient thermal transients. For these transients, it is important to simulate the mechanical stresses associated with temperature changes that could lead to fracturing of the tested fuel samples. This thesis focuses on modeling hypothetical and very rapid accidental power transients. Its objective is to implement a new model based on the thermodynamics of irreversible processes (TIP).

The first part of this thesis will aim to validate the thermomechanical coupling model in TIP, which was proposed in our laboratory (<https://www.mdpi.com/2813-4648/3/4/33>). This will be an essentially analytical approach to establish the orders of magnitude of the various mechanisms involved. The second part will apply this formalism to experimental results obtained during rapid heating experiments using laser beams.

One of the main challenges of numerical simulation with TIP is calculating the temperature and stress fields simultaneously, rather than sequentially as in current models. We will start with a 1D program (in Python or another language) that will be progressively refined. Comparing the results obtained with TIP and with current models will help us identify situations in which TIP-specific couplings must be taken into account to achieve accurate predictions.

The PhD candidate will benefit from the support of experts in thermodynamics, mechanics, and programming. The research will lead to scientific publications and conference presentations. Owing to the diversity of the fields involved, this thesis topic offers excellent career prospects in both industry and academic research.

- Formation recommandée :
Master 2 with skills in Physics and Thermodynamics

- Ecole doctorale :
ED 564 Physique

- Date souhaitée de début de thèse :
Between Oct and Nov 2026

- Lieu :
CEA-Cadarache

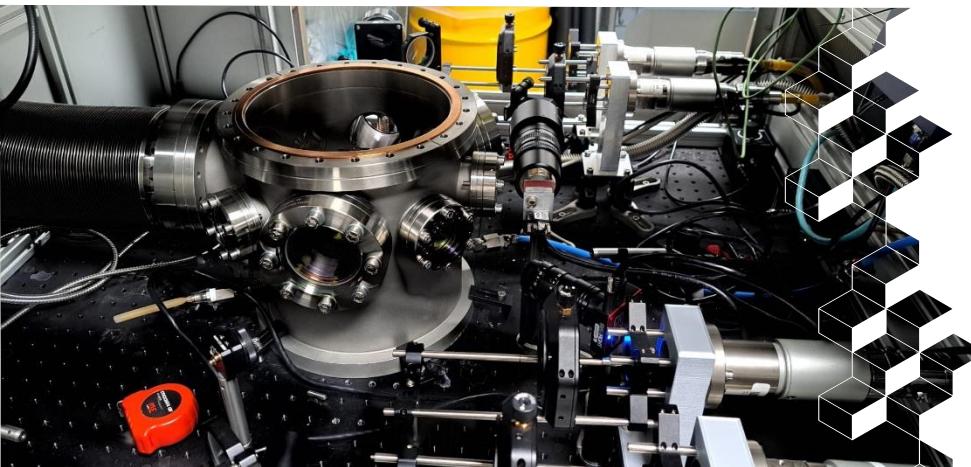
- Directeur(s) de thèse :
Christophe Goupl
LIED Paris-cité

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
DESGRANGES Lionel

Lionel.desgranges@cea.fr

04 42 2 531 59





Etude de l'endommagement du combustible en conditions accidentelle par chauffage laser: relation avec le relâchement des gaz de fission

DEC/SA3E/LAMIR

Le chauffage par laser haute-puissance est une technique expérimentale qui permet de reproduire à l'échelle du laboratoire les conditions thermomécaniques de séquences incidentelles ou accidentelles hypothétiques considérées dans les analyse de sûreté des réacteurs de puissance du parc EdF.

Ce sujet de thèse s'inscrit dans une démarche visant à améliorer la compréhension du comportement sous irradiation des combustibles nucléaires, notamment lors de scénarios incidentels ou accidentels. Pour ce faire, le Laboratoire d'Analyse des Radioéléments (LAMIR) au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) du CEA Cadarache développe des techniques innovantes de chauffage laser haute puissance pour reproduire les conditions thermomécaniques d'un hypothétique accident sur un échantillon combustible. Le chauffage laser permet en effet de solliciter des échantillons sous des gradients thermiques spatiaux et temporels contrôlés afin d'étudier les mécanismes de base affectés. Pour ce faire le laboratoire utilise deux plateformes expérimentales : la plateforme CHARTREUSE au CEA Cadarache ainsi que la plateforme pilote CHAUCOLASE à l'Institut Fresnel de Marseille.

La situation accidentelle d'intérêt dans le cadre de ce sujet de thèse est l'accident de réactivité. Ce transitoire hypothétique est caractérisé par une élévation brutale de la température du combustible et par une perte d'intégrité plus ou moins localisée de celui-ci. La fragmentation ou sur-fragmentation du combustible pendant le transitoire entraîne un relâchement des gaz de fission présents aux joints de grains et engendre une sur-pressurisation du volume libre de la gaine métallique pouvant mener à sa rupture.

Ce sujet de thèse vise à proposer une approche inédite pour l'étude de la fragmentation du combustible en sollicitant un échantillon de combustible par chauffage laser afin de reproduire les conditions thermomécaniques rencontrées en réacteur et menant à sa fragmentation.

L'objectif global de ces travaux de recherche est la réalisation d'expériences analytiques permettant une vérification et une validation des modèles de fragmentation utilisés dans les Outils de Calculs Scientifiques (OCS) du CEA. Pour ce faire, l'étudiant devra réaliser une étude de la fragmentation en fonction des paramètres expérimentaux et matériaux (taille de grains, densité). Une approche couplée simulation/expérience permettra à la fois de prédimensionner les campagnes expérimentales et d'interpréter au mieux les résultats. Ce travail de simulation et de modélisation sera effectué en partenariat avec le Service d'Etude et de Simulation du Combustible.

Le doctorant sera intégré dans une équipe dynamique et dans un cadre collaboratif entre le LAMIR et l'équipe ILM (Interaction Laser Matière) de l'Institut Fresnel de Marseille, qui apportera son expertise dans le domaine des interactions laser de forte puissance matériaux. L'étudiant aura à sa disposition l'ensemble des moyens expérimentaux nécessaires et pourra s'appuyer sur les compétences expérimentales et en simulations présentes au sein du laboratoire. Ce cadre permettra au doctorant d'évoluer dans un environnement scientifique stimulant et lui permettra de valoriser ses travaux de recherche, en France comme à l'étranger lors de conférences et de publications dans des revues à comités de lecture.

Références :

M. Reymond et al., (2022). «Thermo-mechanical simulations of laser heating experiments on UO₂», *Journal of Nuclear Materials* 557

I. Guénot-Delahaie et al., (2018). *Simulation of reactivity-initiated accident transients on UO₂ -M5® fuel rods with ALCYONE V1.4 fuel performance code. Nuclear Engineering and Technology*. 50.

- Formation recommandée :

Formation d'ingénieur ou master (opticien, physique de l'état condensé)

- Ecole doctorale :

AMU – ED 352 Physique et sciences de la matière

- Date souhaitée de début de thèse :

01/11/2026

- Lieu :

Centre CEA de Cadarache
Institut Fresnel (Marseille)

- Directeur(s) de thèse :

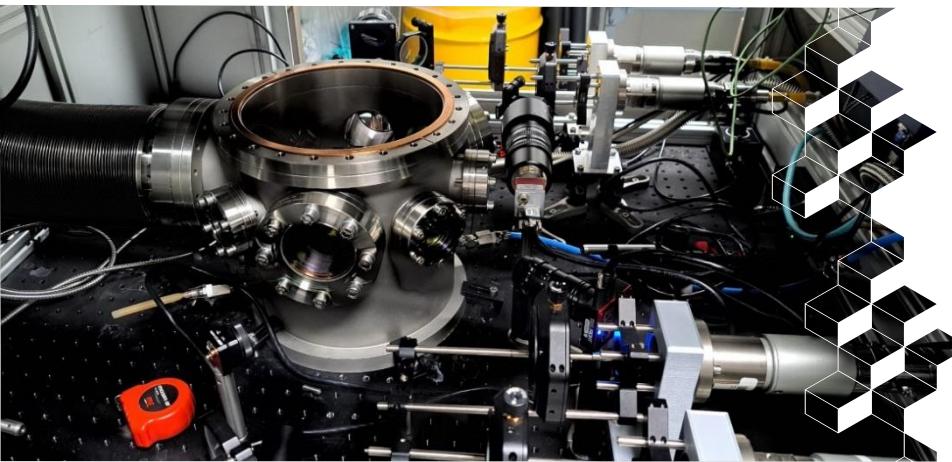
GALLAIS Laurent

PONTILLON Yves

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

DOUALLE Thomas

thomas.doualle@cea.fr



Study of Fuel Damage Under Accidental Conditions by Laser Heating: Relationship with Fission Gas Release"

DEC/SA3E/LAMIR

High-power laser heating is an experimental technique that makes it possible to reproduce, at laboratory scale, the thermomechanical conditions of hypothetical incidental or accidental scenarios considered in the safety analyses of EDF's fleet of power reactors.

This PhD project aims to improve the understanding of nuclear fuel behavior under irradiation, particularly in incidental or accidental scenarios. Within this context, the Laboratory for the Analysis of Radioelements (LAMIR), part of the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE) at CEA Cadarache, is developing innovative high-power laser heating techniques to reproduce the thermomechanical conditions of hypothetical accident scenarios on nuclear fuel samples. Laser heating enables samples to be subjected to well-controlled spatial and temporal thermal gradients, making it possible to investigate the fundamental mechanisms involved. To this end, two experimental facilities are used: the CHARTREUSE platform at CEA Cadarache and the pilot CHAUCOLASE platform at the Institut Fresnel in Marseille.

The accidental scenario of interest for this PhD project is the reactivity-initiated accident. This hypothetical transient is characterized by a rapid increase in fuel temperature and a more or less localized loss of fuel integrity. During the transient, fuel fragmentation or over-fragmentation leads to the release of fission gases trapped at grain boundaries, resulting in over-pressurization of the free volume within the metallic cladding, which may ultimately cause cladding failure.

This PhD project proposes an original approach to studying fuel fragmentation by using laser heating to reproduce the thermomechanical conditions encountered in a reactor and leading to fuel breakup.

The overall objective of this research is to conduct analytical experiments that will enable the verification and

validation of fragmentation models implemented in the CEA's Scientific Computing Tools (OCS). To achieve this, the PhD candidate will investigate fuel fragmentation as a function of experimental and material parameters, such as grain size and density. A coupled simulation–experiment approach will be used both to define the experimental campaigns and to provide robust interpretation of the results. The simulation and modeling work will be carried out in collaboration with the Fuel Study and Simulation Department.

The PhD candidate will join a dynamic research team within a collaborative framework involving LAMIR and the ILM (Laser–Matter Interaction) group at the Institut Fresnel in Marseille, which will contribute its expertise in high-power laser–matter interactions. The candidate will have access to all necessary experimental facilities and will benefit from the strong experimental and numerical simulation expertise available within the teams. This environment will provide a stimulating scientific setting and will offer opportunities to disseminate the research outcomes in France and internationally through conference presentations and publications in peer-reviewed journals.

References

- M. Reymond et al. (2022). *Thermo-mechanical simulations of laser heating experiments on UO₂*. Journal of Nuclear Materials, 557.
- I. Guénot-Delahaie et al. (2018). *Simulation of reactivity-initiated accident transients on UO₂–M5® fuel rods with the ALCYONE V1.4 fuel performance code*. Nuclear Engineering and Technology, 50.

▪ Formation recommandée :
Formation d'ingénieur ou master (opticien, physique de l'état condensé)

▪ Ecole doctorale :
AMU – ED 352 Physique et sciences de la matière

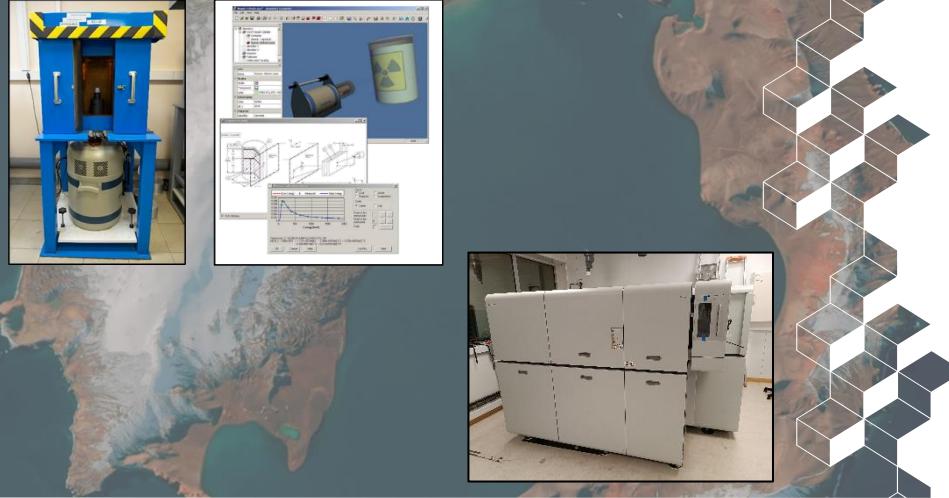
▪ Date souhaitée de début de thèse :
01/11/2026

▪ Lieu :
Centre CEA de Cadarache
Institut Fresnel (Marseille)

▪ Directeur(s) de thèse :
GALLAIS Laurent
PONTILLON Yves

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
DOUALLE Thomas
thomas.doualle@cea.fr





Marqueurs radiologiques en Antarctique : développement et validation des méthodologies d'analyse associées

DEC/SA3E/LARC

L'objectif de cette thèse est le développement et l'optimisation de méthodes analytiques pour la détection de marqueurs radiologiques dans des échantillons prélevés en Antarctique, afin d'étudier la distribution spatiale et l'origine de ces marqueurs.

Au sein de l'institut IRESNE (Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone), situé sur le centre CEA-Cadarache, le doctorant participera au développement du Laboratoire d'Analyses Radiochimiques et Chimiques (LARC). Ce laboratoire apporte depuis plus de 60 ans son expertise et un soutien analytique dans les domaines des réacteurs, du combustible, des déchets, ainsi que de l'assainissement et du démantèlement.

L'objectif principal de la thèse est le développement et l'optimisation de méthodes analytiques pour la détection de marqueurs radiologiques, en s'appuyant sur des collaborations internes (CEA-Paris-Saclay, CEA-DAM Ile-de-France) et externes (CSIC, CIEMAT). Les analyses porteront notamment sur le ^{137}Cs et le ^{210}Pb par spectrométrie gamma, sur l'isotopie de l'uranium et du plutonium par MC-ICPMS, ainsi que sur l'indice alpha/bêta global par scintillation liquide. Au sein du LARC, l'étudiant(e) disposera des équipements de dernière génération tels qu'un détecteur caractérisé HPGe coaxial modèle G10020, un MC-ICPMS Neoma, et un compteur à scintillation liquide ULLA.

Dans un second temps, l'application de ces méthodes à des échantillons variés, notamment ceux prélevés dans le cadre du projet GEOCHEM [1] en Antarctique permettra d'étudier la distribution spatiale et l'origine de ces marqueurs radiologiques [2]. Les environnements polaires constituent en effet des systèmes isolés, sensibles aux apports exogènes, et représentent d'excellents traceurs des évolutions atmosphériques globales. Les données radiologiques disponibles pour ces milieux restent rares et concernent principalement les dépôts atmosphériques et les carottes glaciaires. La distribution des radionucléides au sein d'écosystèmes lacustres complets demeure également inexplorée. Par ailleurs, seules

quelques infrastructures dans le monde disposent des capacités analytiques permettant la détection de radionucléides à très bas niveaux d'activité.

A l'issue de cette thèse pluridisciplinaire, le doctorant aura acquis une solide expérience dans la mesure des rayonnements gamma, alpha et bêta. L'interprétation des données obtenues en lien avec les paramètres environnementaux contribuera au développement de son esprit critique et de sa curiosité scientifique. La valorisation des travaux pourra s'effectuer au travers de publications et de participations à des congrès nationaux et internationaux.

Enfin, le cadre particulier et original de cette thèse, incluant notamment un séjour d'environ quatre mois au CEA-DAM Ile-de-France (formation sur l'analyse des isotopes du plutonium) ainsi qu'une forte interaction avec le projet GEOCHEM en lien avec les campagnes d'échantillonnage prévues en Antarctique, permettra au doctorant d'intégrer une communauté d'experts dans l'analyse environnementale d'éléments au niveau ultra-trace.

- Formation recommandée :
Master 2, Ecole d'ingénieurs
Parcours en chimie analytique

- Ecole doctorale :
ED 388 – Chimie physique et Chimie analytique Sorbonne Université

- Date souhaitée de début de thèse :
Octobre 2026

- Lieu :
Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Hélène ISNARD
(DES/ISAS/DRMP/SPC/LANIE)
Juan Pablo CORELLA
(CSIC)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

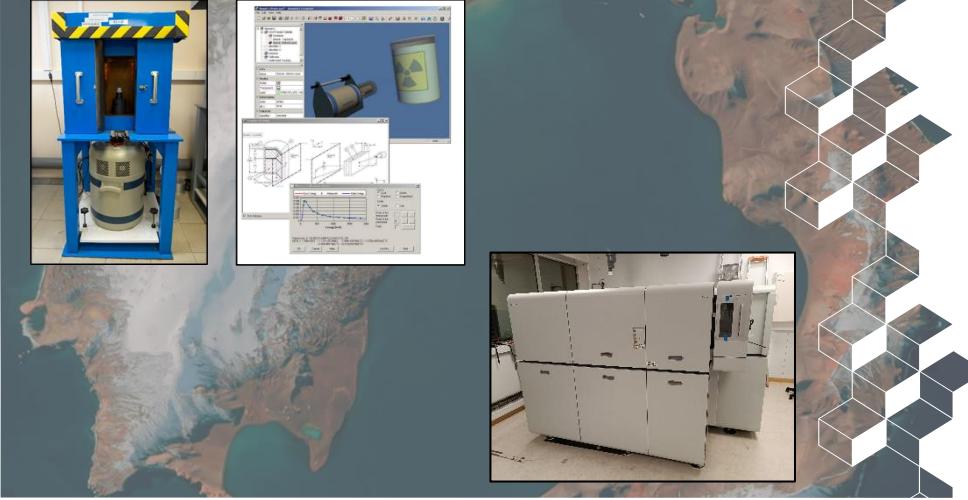
DUVAL Bastien

Bastien.DUVAL@cea.fr

04 42 25 40 96

[1] Maestro, A. et al. Fracture pattern and morphostructure of the Deception Island volcano, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarct. Sci.* 37, 176–200 (2025).

[2] Xu-Yang, Y. et al. Radioactive contamination transported to Western Europe with Saharan dust. *Sci. Adv.* 11, eabf9192 (2025).



Radiological signatures in Antarctica: development and validation of analytical methodologies

DEC/SA3E/LARC

The objective of this PhD thesis is the development and optimization of analytical methods for the detection of radiological markers in samples collected in Antarctica, in order to study the spatial distribution and origin of these markers.

Hosted by the IRESNE Institute (Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone), located at the CEA-Cadarache center, the PhD student will participate in the development of the Laboratoire d'Analyses Radiochimiques et Chimiques (LARC). This laboratory has provided its expertise and analytical support for over 60 years in the fields of nuclear reactors, fuel cycle, waste management, and decommissioning.

The main objective of the thesis is the development and optimization of analytical methods for the detection of radiological markers, through collaborations with internal (CEA-Paris-Saclay, CEA-DAM Île-de-France) and external (CSIC, CIEMAT) partners. The analyses will focus on ^{137}Cs and ^{210}Pb using gamma spectrometry, uranium and plutonium isotopes using MC-ICPMS, and overall alpha/beta activity using liquid scintillation. Within the LARC, the student will have access to state-of-the-art equipment such as a coaxial HPGe detector model G10020, a Neoma MC-ICPMS, and a liquid scintillation counter ULLA.

In a second phase, the application of these methods to various environmental samples, particularly those collected as part of the GEOCHEM project [1] in Antarctica, will allow the study of the spatial distribution and origin of these radiological markers [2]. Polar environments are indeed isolated systems, sensitive to exogenous inputs, and represent excellent tracers of global atmospheric changes. Radiological data available for these environments remain scarce and mainly concern atmospheric deposits and ice cores. The distribution of radionuclides within complete lacustrine ecosystems

also remains largely unexplored. Moreover, only a few infrastructures worldwide have the analytical capabilities to detect radionuclides at very low activity levels.

By the end of this multidisciplinary thesis, the PhD student will have gained solid experience in measuring gamma, alpha and beta radiation. The interpretation of the data obtained in relation to environmental parameters will contribute to the development of their critical thinking and scientific curiosity. The dissemination of the work can be achieved through publications and participation in national and international conferences.

Finally, the specific and original framework of this PhD project, notably including a stay of approximately four months at CEA-DAM Île-de-France (training in the analysis of plutonium isotopes), as well as strong interaction with the GEOCHEM project in connection with the sampling campaigns planned in Antarctica, will enable the PhD candidate to join a community of experts in environmental analysis of elements at the ultra-trace level.

[1] Maestro, A. et al. Fracturation pattern and morphostructure of the Deception Island volcano, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarct. Sci.* 37, 176–200 (2025).

[2] Xu-Yang, Y. et al. Radioactive contamination transported to Western Europe with Saharan dust. *Sci. Adv.* 11, eadr9192 (2025).

- Formation recommandée :
Master's degree or Engineering school (final year) with a focus on analytical chemistry

- Ecole doctorale :
ED 388 Physical chemistry and Analytical chemistry – Sorbonne Université

- Date souhaitée de début de thèse :
October 2026

- Lieu :
Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Hélène ISNARD
(DES/ISAS/DRMP/SPC/LANIE)

- Juan Pablo CORELLA
(CSIC)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
DUVAL Bastien
Bastien.DUVAL@cea.fr
04 42 25 40 96



Concevoir des outils d'intelligence artificielle pour traquer le relâchement des produits de fission hors du combustible nucléaire.

DEC/SA3E/LCPC

Pour mieux définir l'inventaire des produits de fission relâchés lors d'un hypothétique accident, le LAMIR a développé un ensemble de caractérisations expérimentales. Il s'agit de les exploiter au mieux avec des méthodes d'intelligence artificielle.

Le Laboratoire d'Analyse de la Migration des Radioéléments (LAMIR) au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires (IRESNE) du CEA Cadarache a développé un ensemble de méthodes de mesure pour caractériser le relâchement des produits de fission hors du combustible nucléaire lors d'un transitoire thermique, dont en particulier un dispositif d'imagerie in situ operando. L'ensemble des données obtenues nécessite l'utilisation d'outils numériques de traitement prenant en compte les spécificités de l'instrumentation en milieu nucléaire et les informations recherchées sur les mécanismes physiques.

L'objectif de la thèse sera de développer une approche optimisée du traitement de ces données en s'appuyant sur l'état de l'art des méthodes d'Intelligence Artificielle (IA). Cette approche se fera en deux temps, dans une première étape axée plus spécifiquement sur le traitement des images et vidéos, puis dans une seconde étape sur le traitement conjoint de toutes les données expérimentales acquises lors d'une expérience de traitement thermique.

Pour la première étape, il s'agira dans un premier temps de se familiariser avec les images obtenues pendant les traitements thermiques en leur appliquant des méthodes d'analyse d'image non IA. Puis dans un second temps, on analysera comment les méthodes d'IA permettront d'interpréter les images, notamment pour suivre le mouvement des fragments de combustible en fonction du temps. Plusieurs manières d'enchaîner des modèles IA et non IA pour aboutir au meilleur résultat seront comparées et

on trouvera un dispositif de traitement optimal au sens d'un critère numérique choisi rigoureusement.

Dans la seconde étape, l'ensemble des données expérimentales traitées sera prise en compte. L'objectif final serait de disposer d'un outil d'aide à la conduite des expériences à même de détecter en temps réel les événements significatifs. Pour cela il faudra développer une méthode d'apprentissage et constituer les bases de données d'événements significatifs. Le rôle du doctorant sera primordial pour assurer le lien entre la connaissance approfondie des méthodes IA et la vision d'expert portée par le personnel réalisant les mesures et leur interprétation.

L'ensemble des résultats acquis au cours de ce travail devra amener à une réflexion en profondeur sur l'interprétation des expériences de traitement thermique et les grandeurs pertinentes qu'on peut en extraire.

La thèse sera menée dans un cadre collaboratif entre le LAMIR qui possède une expérience reconnue pour ce qui est de l'analyse du comportement du combustible nucléaire et l'imagerie des phénomènes liés à ces analyses et l'Institut Fresnel de Marseille qui a développé une solide expérience en matière d'analyses d'images et d'IA. Ce cadre multidisciplinaire permettra au doctorant d'évoluer dans un environnement scientifique stimulant et lui permettra de valoriser ses travaux de recherche, en France comme à l'étranger lors de conférences et de publications dans des revues à comités de lecture.

▪ Formation recommandée :
Master 2 ou école d'ingénieur

Avec de solides connaissances en IA

▪ Ecole doctorale :
ED 352

▪ Date souhaitée de début de thèse :
Entre oct et nov 2026

▪ Lieu :
CEA-Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :
Julien Marrot

Institut Fresnel AMU

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
DESGRANGES Lionel

Lionel.desgranges@cea.fr

04 42 2 531 59



Design artificial intelligence tools for tracking Fission Product release out of nuclear fuel

DEC/SA3E/LCPC

To better define the inventory of fission products released during a hypothetical accident, LAMIR has developed a set of experimental characterizations. The aim is to make the best use of these with artificial intelligence methods.

The Laboratory for the Analysis of Radionuclide Migration (LAMIR), part of the Institute for Research on Nuclear Systems (IRESNE) at CEA Cadarache, has developed a set of advanced measurement methods to characterize the release of fission products from nuclear fuel during thermal transients. Among these innovative tools is an operando *in situ* imaging system that enables real-time observation of these phenomena. The large amount of data generated by these experiments requires dedicated digital processing techniques that account for both the specificities of nuclear instrumentation and the underlying physical mechanisms.

The goal of this PhD project is to develop an optimized data processing approach based on state-of-the-art Artificial Intelligence (AI) methods. This approach will be done in two stages, in a first stage focused more specifically on the processing of images and videos, then in a second stage on the joint processing of all experimental data acquired during a thermal processing experiment.

The first step will involve familiarizing with the images obtained during thermal treatments by applying non-AI image analysis methods. The second step will analyze how AI methods can interpret the images, particularly for tracking the movement of fuel fragments over time. Several approaches to combining AI and non-AI models to achieve the best result will be compared, and an optimal treatment setup will be identified based on a rigorously chosen numerical criterion.

In the second stage, all the processed experimental data will be taken into account. The ultimate goal is to have a tool to assist in conducting experiments, capable of detecting significant events in real time. This will require developing a machine learning method and building databases of significant events. The student's role will be crucial in bridging the gap between in-depth knowledge of AI methods and the expert perspective of the persons performing and interpreting the measurements.

All the results obtained during this work should lead to a thorough thinking on the interpretation of heat treatment experiments and the relevant quantities that can be extracted from them.

This PhD will be carried out within a collaborative framework between LAMIR, which has recognized expertise in nuclear fuel behavior analysis and imaging, and the Institut Fresnel in Marseille, known for its strong background in image analysis and artificial intelligence.

The candidate will benefit from a multidisciplinary and stimulating research environment, with opportunities to present and publish their work at national and international conferences and in peer-reviewed journals.

- Formation recommandée :
Master 2 with skills in Artificial Intelligence

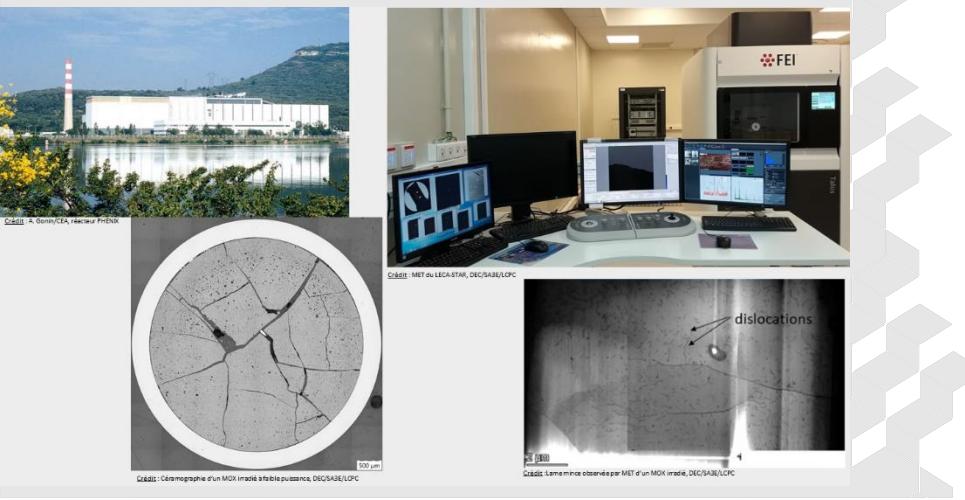
- Ecole doctorale :
ED 352

- Date souhaitée de début de thèse :
Between Oct and Nov 2026

- Lieu :
CEA-Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Julien Marrot
Institut Fresnel AMU

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
DESGRANGES Lionel
Lionel.desgranges@cea.fr
04 42 2 531 59



Les Gaz de Fission à l'Epreuve de la Basse Puissance : Enquête au Sein des Combustibles RNR

DEC/SA3E/LCPC

Ce sujet de thèse s'inscrit dans le cadre d'études expérimentales menées sur des combustibles d'oxydes d'uranium et de plutonium, irradiés à faible puissance au sein de réacteurs de 4^{ème} génération, en vue de fournir des données de référence pour la validation des outils de modélisation dans ce régime de fonctionnement.

Avec l'émergence des nouvelles start-ups dans le domaine du nucléaire et le souhait que les prochains réacteurs de 4^{ème} génération fassent du suivi de réseau, il est primordial d'étendre la base de validation des codes de performances du combustible des Réacteurs à Neutrons Rapides (RNR) à des régimes de fonctionnement à plus faible puissance linéique, un domaine encore peu exploré à ce jour.

Compte tenu des températures plus faibles atteintes dans le combustible, la microstructure induite par l'irradiation est complètement différente de ce qui est classiquement observée à plus forte puissance linéique (formation d'un trou central, grains colonnaires...). Ces plus faibles températures de fonctionnement entraînent aussi une diminution du relâchement des gaz de fission (RGF) pouvant induire un gonflement gazeux significatif du combustible. De manière concomitante, les faibles températures de fonctionnement peuvent aussi entraîner une augmentation de la densité des défauts générés (dislocations) lors de l'irradiation (efficacité de recuit des défauts plus faible) impliquant une augmentation indirecte du gonflement du combustible. Il s'agira dans cette thèse de mettre en œuvre principalement la technique de Microscopie Electronique en Transmission (MET) pour étudier les caractéristiques des populations de bulles/cavités. La mise en œuvre de la spectrométrie des pertes d'énergie des électrons (EELS) couplée à la spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie (EDS) seront aussi utilisées dans le cadre de cette thèse, afin d'acquérir des données sur les mesures de la quantité de Xe occlus dans ces bulles. En parallèle, l'évolution de la

densité de dislocations sera étudiée en fonction de la position radiale dans le combustible par MET et pourra aussi être comparée à la densité des dislocations pour une côte axiale différente. Des études aux échelles plus grandes comme la DRX permettront d'accéder au paramètre de maille moyen sur la section de combustible étudiée permettant d'accéder au gonflement solide. Des mesures de profils radiaux des éléments comme l'U, Pu, Nd, Xe, Cs permettront de quantifier la quantité de Xe retenu dans le combustible. Cette technique pourra aussi être couplée au SIMS qui permet de s'affranchir des artefacts liés au polissage et à la microstructure du combustible.

Le laboratoire de caractérisation et d'études des propriétés des combustibles (LCPC) au sein de Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) auquel sera rattaché le doctorant est doté d'équipements de pointe dédiés aux matériaux irradiés (MET, MEB-FIB, SIMS, EPMA, DRX) lui permettant d'acquérir des compétences expérimentales pointues. Ce travail sera réalisé en étroite collaboration avec les équipes en charge du développement des outils de calcul scientifique multiphysique de la plateforme logicielle PLEIADES. Les compétences acquises pendant toute la durée de la thèse pourront être valorisées dans un futur parcours professionnel aussi bien académique qu'industriel. Le doctorant pourra également valoriser son travail auprès de la communauté académique internationale et du monde industriel via des présentations orales et des articles à comité de lecture.

- Formation recommandée :
Ecole d'ingénieur, Master 2, physique, sciences physiques, sciences des matériaux

- Ecole doctorale :
Université Aix-Marseille
Physique et Sciences de la
Matière (ED352)

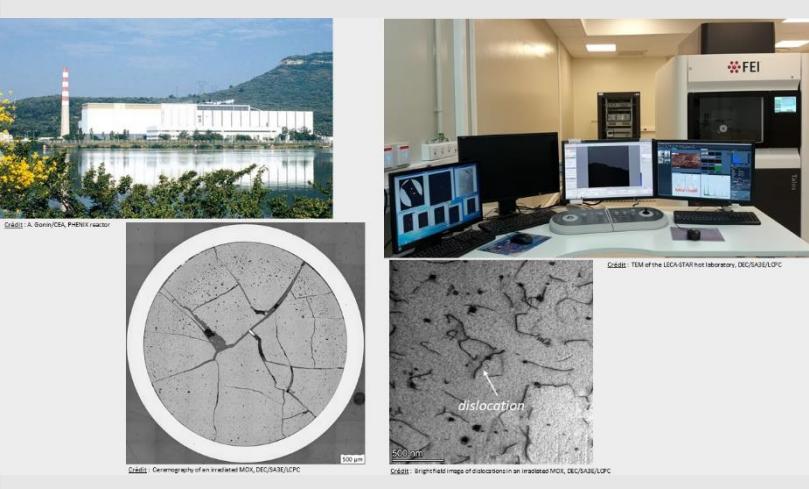
- Date souhaitée de début de thèse :
1^{er} octobre 2026

- Lieu :
CEA Cadarache, INB LECA-STAR

- Directeur(s) de thèse :
BOUCHET Johann
DES/IRESNE/DEC/SESC

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
SABATHIER Cathy
catherine.sabathier@cea.fr

04 42 25 45 74



« Inside SFR fuel : the Secret Life of Fission Gases »

DEC/SA3E/LCPC

This PhD project is part of a series of experimental studies conducted on uranium-plutonium oxide fuels irradiated at low power in fourth-generation reactors, with the aim of providing reference data for the validation of modelling tools operating in this regime.

With the emergence of new start-ups in the nuclear sector and the desire for the next fourth-generation reactors to perform grid monitoring, it is crucial to extend the validation base of the performance codes for the fuel of Fast Neutron Reactors (FNRs) to lower linear power regimes, a domain that remains largely unexplored. Given the lower temperatures reached in the fuel, the irradiation-induced microstructure is completely different from what is classically observed at higher linear power (formation of a central hole, columnar grains, etc.). These lower operating temperatures also lead to a reduction in fission gas release (FGR), which can induce significant fuel swelling. Concurrently, the low operating temperatures can also result in an increase in the density of defects (dislocations) generated during irradiation (lower defect annealing efficiency), indirectly increasing fuel swelling. This thesis will primarily employ Transmission Electron Microscopy (TEM) to study the characteristics of bubble/cavity populations. Electron Energy Loss Spectrometry (EELS) coupled with Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS) will also be used to acquire data on the measurement of the amount of Xe trapped in these bubbles. In parallel, the evolution of dislocation density will be studied as a function of radial position in the fuel by TEM and can also be compared to dislocation density for a different axial position. Larger-scale studies, such as X-ray diffraction (XRD), will allow access to the average lattice parameter over the fuel section studied, providing information on solid swelling. Measurements of radial

profiles of elements such as U, Pu, Nd, Xe, and Cs will enable quantification of the amount of Xe retained in the fuel. This technique can also be coupled with Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS), which avoids artifacts related to polishing and fuel microstructure.

The Laboratory for Fuel Characterization and Property Studies (LCPC) within the Research Institute for Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE), to which the PhD student will be affiliated, is equipped with state-of-the-art instruments recently acquired (TEM, SEM-FIB, SIMS, EPMA, XRD) for the study of irradiated materials allowing him to develop advanced experimental skills within the specific context of a Basic Nuclear Installation. This work will be carried out in close collaboration with the teams responsible for developing the multiphysics scientific computing tools of the PLEIADES software platform. It is clear that the skills acquired during the thesis will be valuable in a future career in both academia and industry. The doctoral student will also be able to promote their work to the international academic community and the industrial world through oral presentations and peer-reviewed articles.

- Formation recommandée : Engineering degree, Master's degree (M2) in Physics, physical sciences or material physics

- Ecole doctorale : University of Aix Marseille Physics and Material Science

- Date souhaitée de début de thèse : 1st October 2026

- Lieu : CEA Cadarache in the LECA-STAR hot laboratory

- Directeur(s) de thèse : BOUCHET Johann DES/IRESNE/DEC/SESC

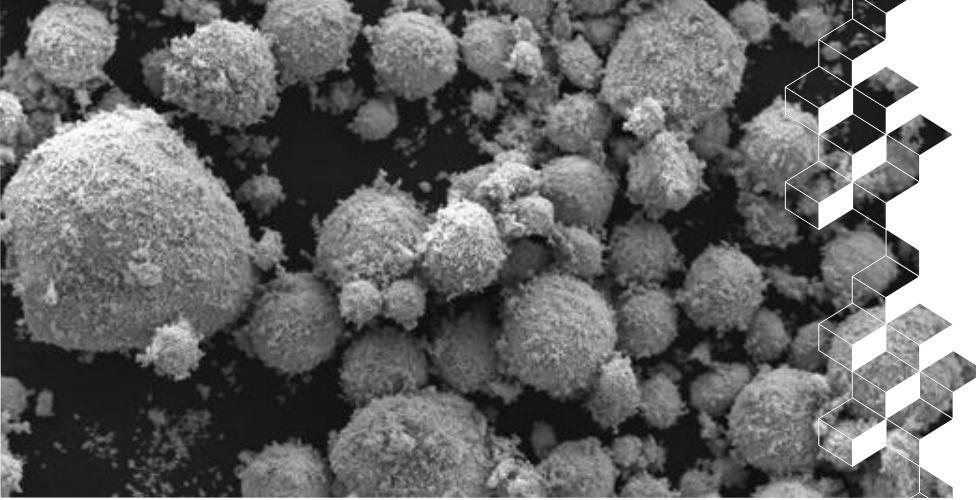
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

SABATHIER Cathy

catherine.sabathier@cea.fr

04 42 25 45 74





Etude expérimentale et simulation DEM du démélange de poudres d'actinides lors des opérations de transfert

DEC/SA3E/LCU

En ayant une approche à la fois expérimentale et numérique, le candidat cherchera à comprendre les mécanismes de ségrégation et à prédire son apparition dans des mélanges de poudres d'actinides lors des phases de transport.

La fabrication des combustibles nucléaires à base d'oxydes d'actinides (UO_2 , PuO_2) implique de nombreuses opérations de manutention de poudres, au cours desquelles peuvent survenir des phénomènes de ségrégation. Ces phénomènes, liés notamment aux différences de taille, de forme, de densité ou encore d'état de surface, influencent directement l'homogénéité des mélanges, et donc la qualité et la régularité des pastilles de combustible obtenues. Leur maîtrise constitue ainsi un enjeu industriel majeur pour garantir la robustesse des procédés et la conformité du produit final.

Cette thèse vise à approfondir la compréhension des mécanismes de démélange des poudres d' UO_2 au cours des étapes de transfert, en particulier lors du transport par convoyeur vibrant et de la chute gravitaire. L'objectif scientifique principal est d'établir le lien entre les propriétés physiques et rhéologiques des poudres, les conditions opératoires du procédé, et l'intensité des phénomènes de ségrégation observés. Le travail combinera expérimentation et simulation numérique DEM afin d'identifier les paramètres matériaux et procédés influençant la ségrégation. Des dispositifs expérimentaux seront développés pour caractériser les poudres et évaluer l'intensité du démélange, tandis que les simulations permettront de valider et d'extrapoler les observations.

Réalisée au CEA Cadarache (IRESNE/LCU) en collaboration avec le laboratoire TIMR de l'UTC, ce projet permettra de proposer des recommandations pour limiter la ségrégation lors des opérations industrielles, et d'améliorer la prédiction de la propension à la ségrégation de mélanges de poudres, en particulier de poudres cohésives d'actinides.

Le doctorant valorisera ses résultats au travers de publications et participations à des congrès. Il aura l'occasion d'apprendre ou de se perfectionner dans plusieurs techniques réutilisables dans d'autres contextes, applicables à de nombreux domaines de la science des matériaux et de l'ingénieur. En particulier, les problématiques liées à la physique des milieux granulaires, qui constituent le cœur de cette thèse, présentent un intérêt industriel marqué et sont communes à de nombreux autres secteurs manipulant des poudres, tels que la pharmacie, l'agroalimentaire ou la métallurgie des poudres.

[1] A. Hadi, R. Roepal, Y. Pang, D.L. Schott, DEM Modelling of Segregation in Granular Materials: A Review, *KONA Powder and Particle Journal*, 41 (2024) 78–107.

[2] M. Asachi, A. Hassanpour, M. Ghadiri, A. Bayly, Experimental evaluation of the effect of particle properties on the segregation of ternary powder mixtures, *Powder Technology*, 336 (2018) 240–254.

- Formation recommandée :
Bac +5 en Génie des procédés, Génie mécanique ou Science des matériaux

- Ecole doctorale :
ED n°71 – Sciences pour l'ingénieur, Université de Technologie de Compiègne

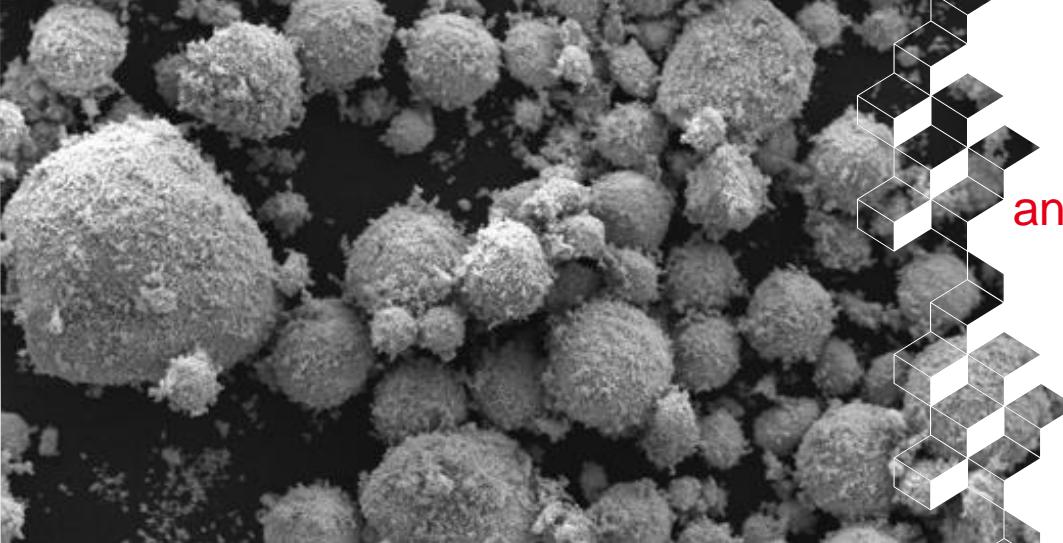
- Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

- Lieu :
Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
LETURIA Mikel
Laboratoire TIMR
Centre de Recherche Royallieu
60200 Compiègne

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
BLANC Nicolas
nicolas.blanc@cea.fr
04 42 25 62 13





Experimental study and DEM simulation of actinide powder demixing during transfer operations.

DEC / SA3E / LCU

By combining experimental and numerical approaches, the candidate will aim to understand the mechanisms of segregation and to predict its occurrence in actinide powder mixtures during transport phases.

The fabrication of nuclear fuels based on actinide oxides (UO_2 , PuO_2) involves numerous powder-handling operations during which segregation phenomena may occur. These phenomena (driven in particular by differences in particle size, shape, density, or surface state) directly affect the homogeneity of the blends and, consequently, the quality and consistency of the resulting fuel pellets. Controlling segregation therefore represents a major industrial challenge to ensure process robustness and the conformity of the final product.

This PhD project aims to deepen the understanding of the demixing mechanisms of UO_2 powders during transfer steps, particularly during transport on a vibrating conveyor and during gravitational discharge. The main scientific objective is to establish the relationship between the physical and rheological properties of the powders, the operating conditions of the process, and the intensity of the observed segregation phenomena. The work will combine experimentation and DEM numerical simulations to identify the material and process parameters governing segregation. Experimental setups will be developed to characterize the powders and quantify the extent of demixing, while simulations will serve to validate and extrapolate the experimental findings.

Conducted at CEA Cadarache (IRESNE/LCU) in collaboration with the TIMR laboratory of UTC, this project will provide recommendations to mitigate segregation during industrial operations and improve the prediction of segregation propensity in powder mixtures, particularly cohesive actinide powders.

The PhD candidate will disseminate their findings through publications and conference presentations. They will also have the opportunity to learn and refine several transferable techniques applicable to a wide range of materials science and engineering contexts. In particular, the issues related to the physics of granular materials, which form the core of this thesis, are of significant industrial relevance and are shared by many other sectors handling powders, such as the pharmaceutical, food processing, and powder metallurgy industries.

[1] A. Hadi, R. Roeplal, Y. Pang, D.L. Schott, DEM Modelling of Segregation in Granular Materials: A Review, *KONA Powder and Particle Journal*, 41 (2024) 78–107.

[2] M. Asachi, A. Hassanpour, M. Ghadiri, A. Bayly, Experimental evaluation of the effect of particle properties on the segregation of ternary powder mixtures, *Powder Technology*, 336 (2018) 240–254.

- Formation recommandée :
Master's degree (five-year higher education) in Process Engineering, Mechanical Engineering, or Materials Science.

- Ecole doctorale :
ED n°71 – Sciences pour l'ingénieur, Université de Technologie de Compiègne

- Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

- Lieu :
Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

LETURIA Mikel

Laboratoire TIMR

Centre de Recherche Royallieu

60200 Compiègne

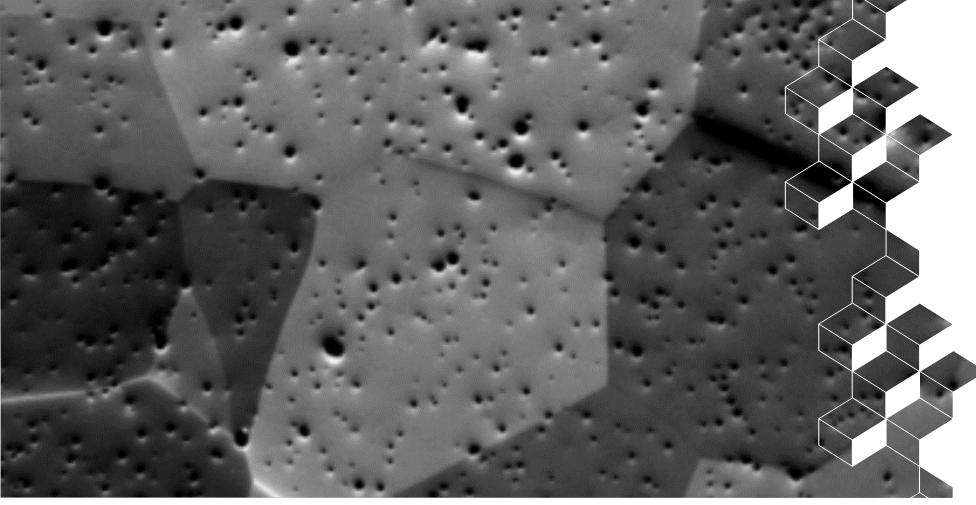
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BLANC Nicolas

nicolas.blanc@cea.fr

04 42 25 62 13





Elaboration d'un combustible d'oxyde d'uranium dopé au manganèse : mécanismes de frittage et évolutions microstructurales

DEC/SA3E/LCU

Ces travaux de thèse s'intègrent dans le cadre du développement de combustibles nucléaires aux propriétés améliorées par l'ajout d'un dopant, pour les réacteurs des centrales nucléaires à eau pressurisée.

Dans les réacteurs nucléaires, le combustible est constitué de pastilles de dioxyde d'uranium (UO_2) empilées dans des gaines en alliage de zirconium. Ces pastilles, en contact avec la gaine, doivent résister à des conditions extrêmes de température et de pression. L'une des problématiques est de limiter les interactions chimiques pouvant avoir lieu lors de migration de produits de fission du centre vers la périphérie de la pastille avec la gaine. Un exemple représentatif de ce type de phénomène est la corrosion sous contrainte assistée par l'iode, qui peut apparaître lors de transitoires accidentels.

Une stratégie consiste à doper la céramique UO_2 par un oxyde métallique afin de piloter la microstructure du matériau mais aussi de modifier son comportement thermochimique afin de limiter aussi bien la mobilité que le caractère corrosif des gaz de fission. Parmi les différents dopants possibles, l'oxyde de manganèse (MnO) constitue une option prometteuse et une alternative potentielle à l'oxyde de chrome (Cr_2O_3) qui est à ce jour la solution mature industriellement.

Cette thèse s'intéressera à la compréhension du rôle du manganèse sur le frittage de l' UO_2 , et plus particulièrement la microstructure ainsi que les propriétés finales du combustible. Elle se déroulera au centre CEA de Cadarache, au sein de l'Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone (IRESNE).

Au cours de ces trois années, vous serez accueilli(e) au sein du Laboratoire dédié à l'étude des Combustibles à base d'Uranium (LCU) du Département d'étude des combustibles (DEC), en

étroit lien avec le Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles (LM2C).

Ces travaux de recherche alliant expérimentation et modélisation pourront ainsi se structurer autour de trois grandes problématiques :

- l'étude de l'influence des conditions de fabrication sur la microstructure de l' UO_2 dopé Mn,
- l'étude de l'impact du dopage sur la création de défauts dans l' UO_2 et les propriétés associées,
- La contribution à la modélisation thermodynamique du système U-Mn-O sur la base d'essais expérimentaux.

Vous acquerrez durant cette thèse une expérience solide dans la fabrication et la caractérisation avancée de matériaux innovants, en particulier dans le domaine des céramiques pour l'industrie nucléaire. La valorisation de vos travaux pourra s'effectuer au travers de publications, de brevets, de participations à des congrès nationaux et internationaux.

Vous développerez de nombreuses compétences techniques directement valorisables dans des domaines variés de l'industrie ou de la recherche (énergie, micro-électronique, industries chimique et pharmaceutique).

▪ Formation recommandée :
École d'ingénieurs, Master 2 en physico-chimie ou étude des matériaux

▪ Ecole doctorale :
Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie (SI) - n°653

▪ Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

▪ Lieu :
Centre CEA de Cadarache

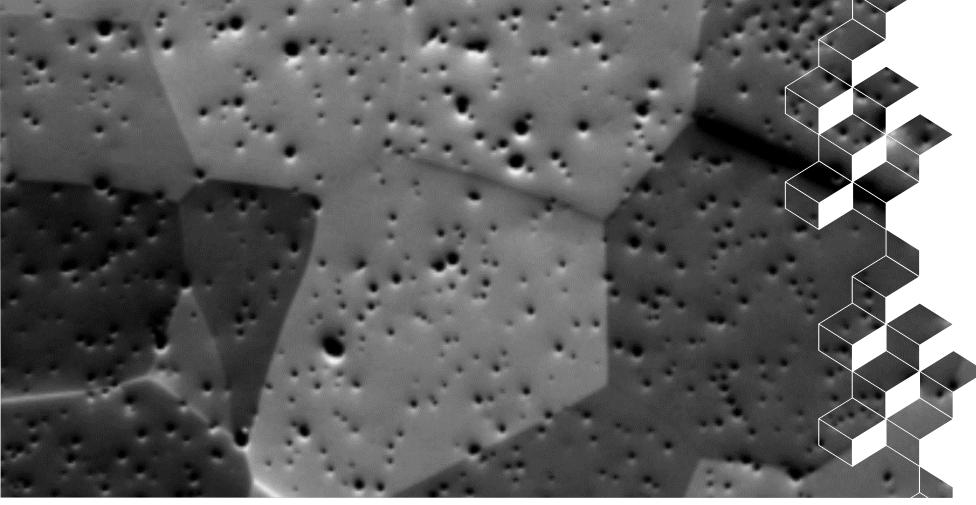
▪ Directeur(s) de thèse :

AUDUBERT Fabienne
CEA/DES/IRESNE/DEC/SA3E

RAPAUD Olivier
UMR CNRS 7315

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MOULIN Julien
julien.moulin@cea.fr
04 42 25 40 99



Development of Manganese-Doped Uranium Oxide Fuel: Sintering Mechanisms and Microstructural changes

DEC/SA3E/LCU

This PhD project focuses on developing nuclear fuels with improved properties through the addition of a dopant, for use in pressurized water reactors.

In nuclear reactors, the fuel consists of uranium dioxide (UO_2) pellets stacked inside zirconium alloy cladding. These pellets, in contact with the cladding, must withstand extreme conditions of temperature and pressure. One of the challenges is to limit chemical interactions that may occur during the migration of fission products from the center to the periphery of the pellet and with the cladding. A notable example of such a phenomenon is the stress corrosion assisted by iodine, which can occur during accidental transients.

One strategy is to dope the UO_2 ceramic with a metal oxide in order to control the material's microstructure and also to modify its thermochemical behavior, thereby limiting both the mobility and corrosive nature of fission gases. Among the possible dopants, manganese oxide (MnO) represents a promising option and a potential alternative to chromium oxide (Cr_2O_3), which is currently a mature solution for the industry.

This PhD will explore the role of manganese in the sintering of UO_2 , particularly the microstructure and final properties of the fuel. The work will take place at the CEA Cadarache center, within the Institute for research on nuclear systems for low-carbon energy production (IRESNE).

During these three years, you will be hosted in the Laboratory for the study of uranium-based fuels (LCU) within the fuel study department (DEC), in close connection with the Laboratory for fuel behavior modeling (LM2C).

This research, combining experimentation and modeling, will be structured around three main topics:

- Study of the influence of manufacturing conditions on the microstructure of Mn-doped UO_2 ,
- Investigation of the impact of doping on defect formation in UO_2 and the associated properties,
- the contribution to the thermodynamic modelling of the system, based on experimental tests.

During this PhD, you will gain solid experience in the fabrication and advanced characterization of innovative materials, particularly in the field of ceramics for the nuclear industry. Your work could lead to publications, patents, and participation in national and international conferences.

You will also acquire numerous technical skills applicable across various research and industrial fields, including energy, microelectronics, chemical and pharmaceutical industries.

▪ Formation recommandée :
Engineering school, Master's degree (M2) in physical chemistry or materials science

▪ Ecole doctorale :
Doctoral School of Science and Engineering - n°653

▪ Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

▪ Lieu :
CEA research centre of Cadarache

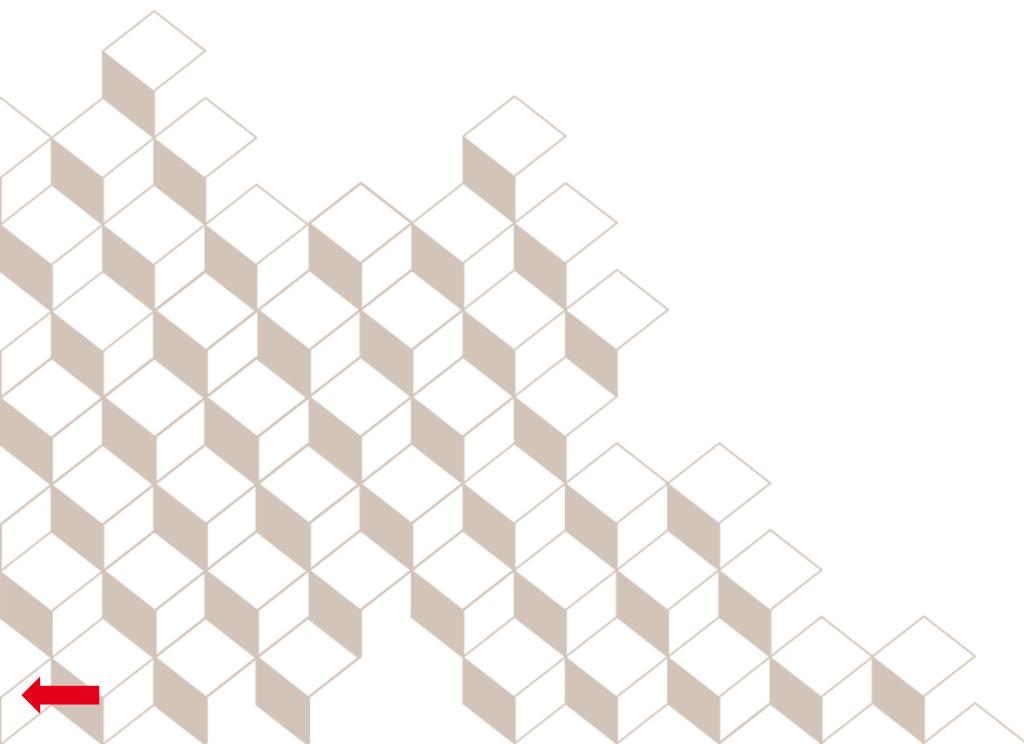
▪ Directeur(s) de thèse :
AUDUBERT Fabienne
CEA/DES/IRESNE/DEC/SA3E
RAPAUD Olivier
UMR CNRS 7315

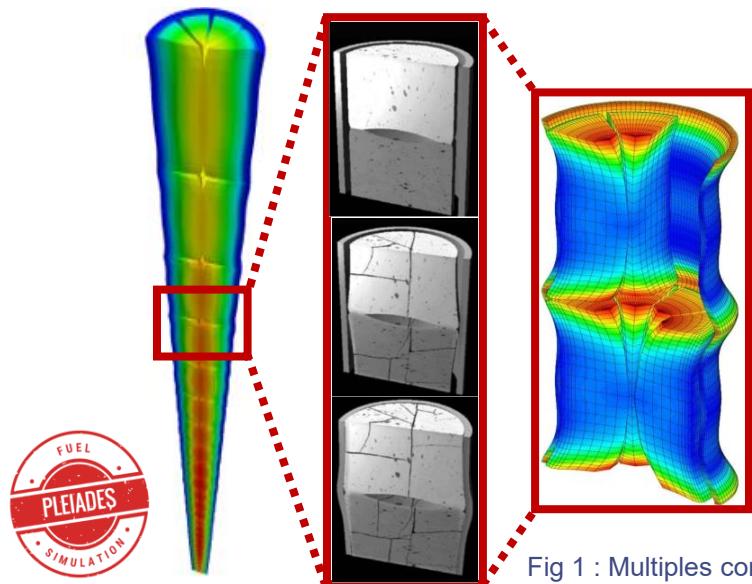
▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
MOULIN Julien
julien.moulin@cea.fr
04 42 25 40 99

SESC

Service d'études et
de simulation du
comportement des
combustibles

*Studies and Simulation of Fuel
Behavior Unit*





Vers une nouvelle approche itérative pour la modélisation efficace des contacts mécaniques

DEC/SESC/LDOP

Fig 1 : Multiples contacts entre les fragments de pastille et avec la gaine

L'objectif de la thèse est de se doter de méthodes numériques permettant de gérer efficacement le contact mécanique entre la gaine et les fragments de combustible dans des scénarios complexes (non-linéarités, frottement, zones de contact évolutives, interactions multiphysiques, etc.), compatibles avec le calcul haute performance pour des simulations à grande échelle.

Dans le cadre de la modélisation et de la simulation du comportement des combustibles nucléaires des différentes filières de réacteurs, l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) du CEA Cadarache, en partenariat avec différents acteurs industriels et académiques, développe la plateforme logicielle de simulation du comportement des combustibles PLEIADES.

Pour comprendre et prédire le comportement des éléments combustibles, il est indispensable de disposer d'une simulation précise et performante du contact mécanique entre les différentes composantes d'un crayon combustible (gaine et fragments de combustible), illustrée sur la Fig. 1. La modélisation et la simulation numérique du contact [1, 2] représentent un enjeu scientifique et technologique majeur, en particulier dans un contexte de calcul haute performance (HPC), en raison du caractère fortement non linéaire et non régulier du problème.

Pour pallier les limites des approches classiques, telles que la pénalisation ou les multiplicateurs de Lagrange, de nouvelles stratégies de résolution du contact, reposant sur des schémas itératifs de type point fixe, sont actuellement à l'étude au CEA. Ces approches présentent plusieurs atouts : elles évitent la résolution directe de systèmes complexes et mal conditionnés, améliorent significativement l'efficacité numérique, et offrent une très faible sensibilité aux paramètres algorithmiques, notamment grâce à la stratégie d'accélération « Crossed

Secant » [3].

Cette thèse vise à étendre ces développements à des scénarios plus complexes en mécanique du contact, en se concentrant sur deux axes complémentaires. Le premier consiste à étendre les méthodes à des problèmes non linéaires (incluant le comportement non linéaire des matériaux) et à intégrer le frottement, dans le but de traiter des cas de plus en plus réalistes et pertinents pour l'industrie. Le second axe concerne l'intégration de ces développements dans un solveur HPC, permettant la simulation efficace de problèmes impliquant un grand nombre de degrés de liberté, ainsi qu'un nombre croissant de domaines en contact.

Le projet bénéficiera d'une expertise reconnue à l'international en mécanique, en mathématiques appliquées, et en simulation des combustibles nucléaires, avec des encadrants au sein du CEA mais également des collaborations académiques externes (Aix-Marseille Université).

Mathématiques appliquées,
Mécanique numérique ou
Calcul Haute Performance

École Doctorale 353
«Sciences pour l'Ingénieur»
Aix-Marseille Université

10/2026

CEA Cadarache

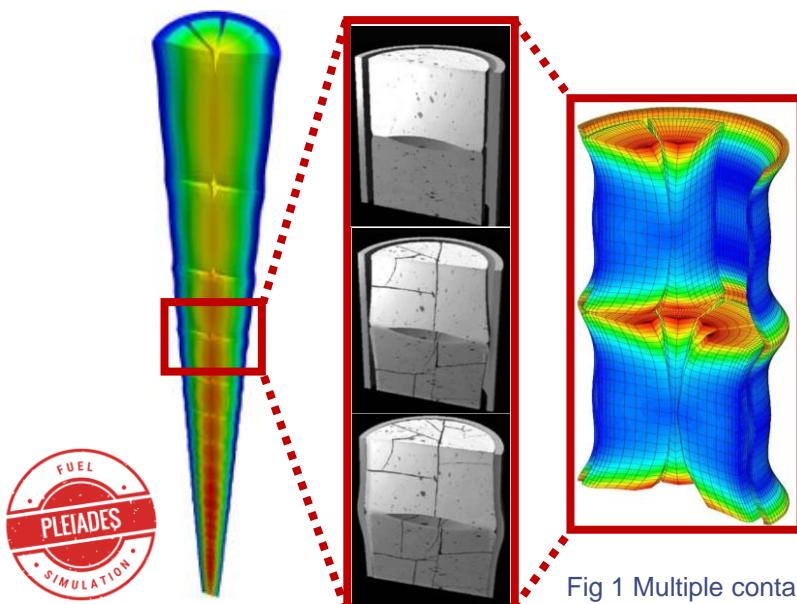
RAMIÈRE Isabelle
(CEA/IRESNE/DEC/SESC/LMCP)

LEBON Frédéric (Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, LMA)

KOLIESNIKOVA Daria
daria.koliesnikova@cea.fr

CUTERI Francesca
francesca.cuteri@cea.fr

RAMIÈRE Isabelle
isabelle.ramiere@cea.fr



Towards a new iterative approach for the efficient modeling of mechanical contact

DEC/SESC/LDOP

Fig 1 Multiple contacts between pellet fragments and the cladding

The objective of the PhD thesis is to develop numerical methods capable to efficiently handle contact between cladding and fuel fragments in complex scenarios (nonlinearities, friction, evolving contact zones, multiphysics interactions, etc.), compatible with high-performance computing environments for large-scale simulations.

As part of modelling and simulation of the behavior of nuclear fuels for various reactor types, the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE) at CEA Cadarache, in partnership with industrial and academic institutions, is developing the fuel behavior simulation platform PLEIADES.

To understand and predict the behavior of fuel elements, it is essential to have an accurate and efficient simulation of the mechanical contact between different components of a fuel rod (cladding and fuel fragments), as illustrated in Fig. 1. Numerical modelling and simulation of contact [1, 2] represent a major challenge, particularly in a high-performance computing (HPC) context, due to the highly nonlinear and non-smooth nature of the problem.

To overcome the limitations of classical approaches, such as penalty or Lagrange multipliers methods, new contact resolution strategies based on fixed-point iterative schemes are currently being investigated at the CEA. These approaches offer several advantages: they avoid the direct solution of complex and ill-conditioned systems, improve numerical efficiency, and exhibit very low sensitivity to algorithmic parameters, notably thanks to the “Crossed Secant” acceleration strategy [3].

This PhD project aims to extend these developments to more complex

scenarios in contact mechanics, focusing on two complementary directions. The first involves extending the methods to nonlinear problems (including nonlinear material behavior) and incorporating friction, with the goal of addressing progressively more realistic and industrially relevant cases. The second focuses on integrating these developments into a chosen HPC solver, enabling efficient simulations involving a large number of degrees of freedom, as well as an increasing number of interacting domains.

The project will benefit from internationally recognized expertise in mechanics, applied mathematics, and nuclear fuel behavior simulation, through supervision at the CEA as well as external academic collaborations (Aix-Marseille University).

Applied Mathematics,
Computational Mechanics, or
High-Performance Computing

École Doctorale 353
«Sciences pour l'Ingénieur»
Aix – Marseille Université

10/2026

CEA Cadarache

References

- [1] P. Wriggers, Computational Contact Mechanics, Springer, 2006.
- [2] V. Yastrebov, Numerical Methods in Contact Mechanics, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, 2013.
- [3] I. Ramière and T. Helfer. Iterative residual-based vector methods to accelerate fixed point iterations. *Computers & Mathematics with Applications*, 70(9):2210–2226, 2015.

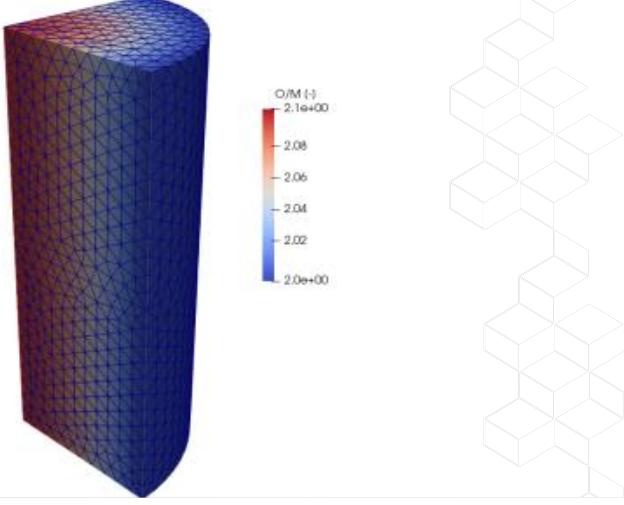
RAMIÈRE Isabelle
(CEA/IRESNE/DEC/SESC/LMCP)

LEBON Frédéric (Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, LMA)

KOLIESNIKOVA Daria daria.koliesnikova@cea.fr

CUTERI Francesca francesca.cuteri@cea.fr

RAMIÈRE Isabelle isabelle.ramiere@cea.fr



Vue en coupe d'une céramique de combustible nucléaire

Modélisation multiphysique du frittage du combustible nucléaire : effet de l'atmosphère sur la cinétique de densification

DEC/SESC/LDOP

Cette thèse se consacre à la mise en place d'un modèle multiphysique du frittage pour simuler l'impact de la composition et des propriétés physiques de l'atmosphère sur la cinétique de densification du combustible à l'échelle de la pastille.

Le frittage des matériaux céramiques est une étape clé dans de nombreux processus industriels. C'est également le cas pour les combustibles utilisés dans les centrales nucléaires électrogènes. Les caractéristiques microstructurales du combustible et son comportement en réacteur dépendent de cette étape.

L'étape de frittage des combustibles consiste en un traitement thermique en phase solide sous pression partielle d'oxygène contrôlée permettant de consolider et densifier le matériau, et de faire croître les grains de la céramique. La taille de grain et la densification évoluent suivant les caractéristiques thermochimiques imposées par le four de frittage. Si le compact (poudre comprimée par pressage avant le frittage) admet de fortes hétérogénéités de densité, une différence de densification dans la pastille peut avoir lieu entraînant un retrait différentiel et potentiellement l'apparition de défauts (fissures et écarts).

Cette thèse se consacre à la mise en place d'une modélisation macroscopique (échelle de la pastille) du frittage couplant la thermique, la chimie et la mécanique, afin de simuler l'impact de la composition et des propriétés physiques de l'atmosphère sur la densification du combustible. Cette échelle permet en premier lieu de considérer les gradients de densité issus du pressage, mais également de prendre en compte la cinétique de diffusion d'oxygène impactant localement la vitesse de densification.

La densification modifiant la porosité, le transport d'oxygène est donc impacté. Un couplage multiphysique est donc nécessaire afin de prendre en compte les phénomènes d'interaction entre la diffusion, la thermique et la réponse mécanique de la pastille. Le modèle de densification repose sur une modélisation thermomécanique en grandes transformations du frittage dont la loi de comportement est une loi viscoplastique poreuse dont les paramètres évoluent avec l'évolution de la microstructure [2]. Cette thèse sera donc à l'interface entre plusieurs spécialités et échelles.

Ce travail de thèse s'appuiera donc sur de la modélisation multiphysique (thermique, diffusion, chimie et mécanique), le développement de méthodes numériques ainsi que le développement de code. Il sera notamment utilisé le code thermomécanique MFEM-MGIS [3] couplé avec le solveur multi-espèces réactif SLOTH-PLEIADES [4].

Ce travail de thèse sera mené au sein du Laboratoire commun MISTRAL (Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Méditerranée et l'institut IRESNE du CEA Cadarache). Au sein du CEA, la thèse s'effectuera au Service d'Etudes et de Simulation du Comportement des combustibles (SESC) et sera à l'interface entre Le Laboratoire de Développement des OCS combustibles PLEIADES (LDOP) et le Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles (LM2C). Cette collaboration permet de bénéficier des ressources numériques et de modélisation multiéchelle essentielles dans la mise en place des simulations.

Le doctorant valorisera ses résultats au travers de publications et participations à des congrès et aura acquis de solides compétences qui sont recherchées et valorisables dans un grand nombre de domaines académiques et industriels.

Références

- [1] K. Torrente, C. Duguay, F. Doreau, F. Lebreton et G. Bernard-Granger, « Revisiting the sintering of uranium dioxide ». *Journal of the European Ceramic Society*, 45(3), (2025)
- [2] C. Manière, T. Grippi, and S. Marinel, « Estimate microstructure development from sintering shrinkage : A kinetic field approach ». *Materials Today Communications*, 31 :103269. (2022).
- [3] T. Helffer, G. Latu, R. Prat, M. Wangernez et F. Cuterie, « MFEM/MGIS, a HPC mini-application targeting nonlinear thermo-mechanical simulations of nuclear fuels at mesoscale », *Journal of Open Source Software*, 10(108), 7719. (2025)
- [4] C. Introini, R. Prat, R. Le Tellier, C. Plumeccq, L. Messina, T. Barani, I. Ramière, J. Sercombe, E. Delobre, « SLOTH : the multiphase-field multicomponent framework of the PLEIADES platform», *NUMAT 2024*, (2024).

- Formation recommandée :
Ecole d'ingénieur ou Master 2 en mécanique non linéaire du solide et des matériaux ou physique des matériaux.

- Ecole doctorale :
ED 353 Aix-Marseille Université Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique (SIMPIN)

- Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

- Lieu :
Centre CEA de Cadarache et Laboratoire Mécanique et Acoustique (LMA) Marseille

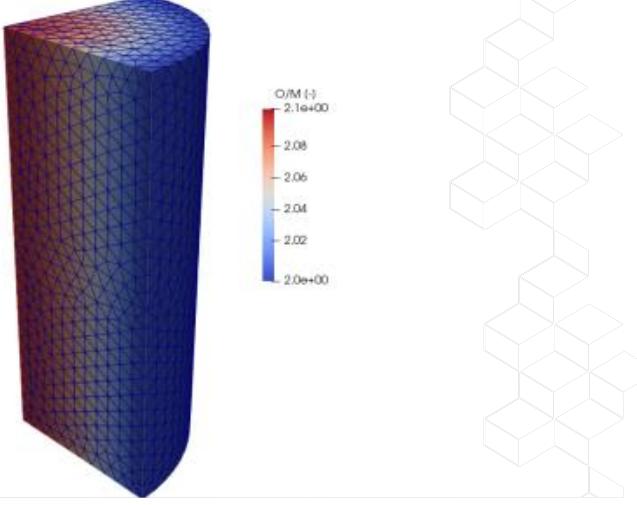
- Directeur(s) de thèse :
LEJEUNES Stéphane
CNRS - LMA

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

Socié Adrien
adrien.socie@cea.fr

04 42 25 27 22





A cross-sectional view of a nuclear fuel ceramic

Multiphysics modeling of nuclear fuel sintering: effect of the atmosphere on the shrinkage kinetics

DEC/SESC/LDOP

This work focuses on developing a multiphysics model of sintering in order to simulate how the composition and physical properties of the atmosphere impact the densification kinetics of fuel at the pellet scale.

Sintering of ceramic materials is a crucial step in many industrial processes as for the fuels used in nuclear power plants. The microstructure of the fuel and its behavior under irradiation depend on this step. Fuel sintering is a solid-state thermal treatment process carried out under controlled oxygen partial pressure. This process is used to consolidate, and densify the material while controlling the grain growth within the ceramics. The grain size and degree of densification vary according to the thermochemical conditions prescribed by the sintering furnace. When the compacted powder (before sintering) exhibits high density variations, densification differences may occur within the fuel pellet, resulting in differential shrinkage. Furthermore, defects may appear in the form of cracking or spalling.

The PhD thesis focuses on developing a macroscopic model of nuclear fuel sintering at the pellet scale. The model is of a thermal-chemical-mechanical nature in order to simulate accurately the impact of the fuel composition and the physical properties of the atmosphere on the densification of the fuel. Working at the pellet scale enables density gradients resulting from powder pressing to be accounted for, as well as oxygen diffusion kinetics that alters the densification rate locally. As the manufacturing porosity depends on the densification, oxygen transport is modified accordingly. Multiphysics modeling is required to account for the strong coupling between mass diffusion, thermal diffusion and the mechanical behavior of the fuel pellet. The densification model relies on the mechanical modelling (large strain formulation) of sintering with a porous viscoplastic behaviour law, the parameters of which depend on the microstructure [2].

This work will therefore lie at the intersection of multiple disciplines and spatial scales of description. It will therefore focus on multiphysics modelling (thermal diffusion, mass diffusion, chemical and mechanical processes), numerical methods and code development. Specifically, the MFEM-MGIS thermomechanical code [3] will be employed coupling with the PLEIADES-SLOTH multiphase-field multicomponent solver [4].

The work will be conducted within the MISTRAL laboratory, a collaboration between Aix-Marseille University, CNRS, Centrale Méditerranée, and the French Institute IRESNE from the Atomic Energy Commission (Cadarache). At CEA, the student will be integrated into the SESC (French acronym for Service d'Etudes et de Simulation du Comportement des combustibles) and will serve as the interface between the LDOP (French acronym for Laboratoire de Développement des OCS combustibles PLEIADES) and the LM2C (French acronym for Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles). This collaboration allows access to essential digital resources and multi-scale modeling capabilities, which are crucial for setting up the simulations.

The PhD student will valorize their results through publications and participation in conferences, and will have acquired strong skills that are in demand and valuable in a wide range of academic and industrial fields.

References

- [1] K. Torrente, C. Duguay, F. Doreau, F. Lebreton et G. Bernard-Granger, « Revisiting the sintering of uranium dioxide », *Journal of the European Ceramic Society*, 45(3), (2025)
- [2] C. Manière, T. Grippi, and S. Marinel, « Estimate microstructure development from sintering shrinkage : A kinetic field approach ». *Materials Today Communications*, 31 :103269. (2022).
- [3] T. Helfer, G. Latu, R. Prat, M. Wangermez et F. Cuterie, « MFEM/MGIS, a HPC mini-application targeting nonlinear thermo-mechanical simulations of nuclear fuels at mesoscale», *Journal of Open Source Software*, 10(108), 7719. (2025)
- [4] C. Introïni, R. Prat, R. Le Tellier, C. Plumecocq, L. Messina, T. Barani, I. Ramière, J. Sercombe, E. Delobre, « SLOTH : the multiphase-field multicomponent framework of the PLEIADES platform», *NUMAT 2024*, (2024).

- Formation recommandée :
Ecole d'ingénieur ou Master 2 en mécanique non linéaire du solide et des matériaux ou physique des matériaux.

- Ecole doctorale :
ED 353 Aix-Marseille Université Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique (SIMPIN)

- Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

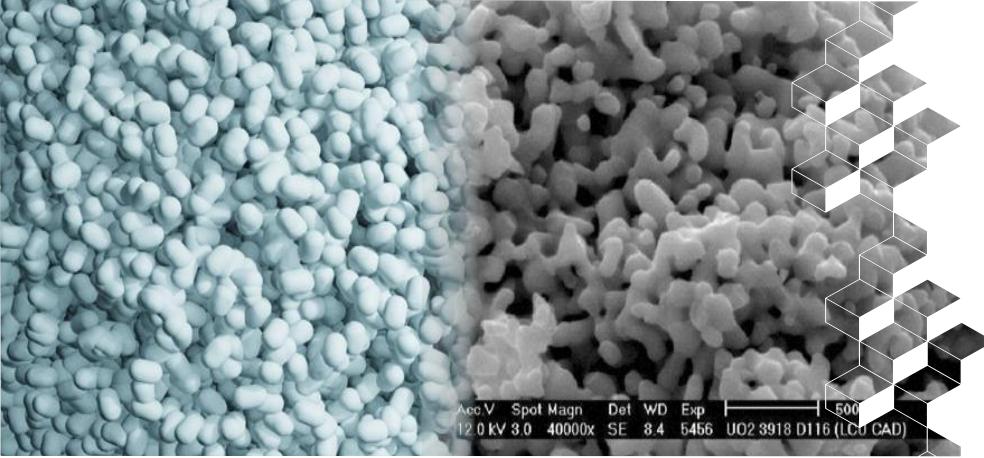
- Lieu :
Centre CEA de Cadarache et Laboratoire Mécanique et Acoustique (LMA) Marseille

- Directeur(s) de thèse :
LEJEUNES Stéphane
CNRS - LMA

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

Socié Adrien
adrien.socie@cea.fr
04 42 25 27 22





Poudres d'UO₂: Caractérisation morphologique des agrégats par une approche combinée expérimentale / numérique discrète

DEC/SESC/LDOP

Cette thèse vise à optimiser la fabrication des combustibles nucléaires en comprenant mieux la microstructure des poudres d'UO₂ et PuO₂. Elle étudie le rôle des agrégats sur les propriétés macroscopiques des poudres. Le projet combine des caractérisations expérimentales et simulations DEM pour créer un jumeau granulaire réaliste. Ce jumeau permettra d'explorer la structure interne des agrégats et leurs mécanismes d'agglomération et de densification. La thèse, menée au CEA en collaboration avec le CNRS, permettra d'acquérir une forte expertise en simulation numérique et en physique des milieux granulaires.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de l'optimisation des procédés de fabrication des combustibles nucléaires, qui reposent sur la métallurgie des poudres d'oxyde d'uranium (UO₂) et de plutonium (PuO₂). Ces poudres présentent une microstructure hiérarchisée, composée de cristallites formant des agrégats rigides, eux-mêmes agglomérés en structures de plus grande taille [Yanai1995]. La morphologie et les interactions entre agrégats jouent un rôle déterminant dans le comportement macroscopique des poudres et conditionnent la qualité des pastilles obtenues après pressage et frittage. Cependant, la caractérisation expérimentale de ces agrégats reste complexe et ne permet pas encore d'établir un lien prédictif entre les procédés de synthèse et les propriétés morphologiques [Hebrard2004].

L'objectif de cette thèse est de combiner des approches expérimentales et numériques pour caractériser finement les agrégats d'une poudre de référence. D'un point de vue expérimental, des techniques telles que la microscopie électronique à balayage (MEB), la mesure de surface spécifique (BET) et la granulométrie laser seront utilisées pour déterminer la taille, la rugosité et la distribution en taille des particules. En parallèle, des simulations numériques de type Discrete Element Method (DEM) seront utilisées afin de construire un jumeau granulaire fidèle aux propriétés mesurées, dans la continuité des approches proposées par [Meier2019]. Ce jumeau permettra de remonter à la structure interne des agrégats, d'évaluer les forces d'adhésion interparticulaires et d'analyser les phénomènes d'agglomération et de densification en conditions contrôlées.

La thèse se déroulera au CEA Cadarache au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE). L'étudiant sera affecté au Laboratoire de Développement des OCS combustibles PLEIADES (LDOP) qui est spécialiste de la simulation du comportement du combustible (de la fabrication à son comportement sous irradiation) et des méthodes numériques multi-échelles. Elle sera réalisée en collaboration avec le CNRS/LMGC de Montpellier, reconnu internationalement pour ses travaux sur les milieux granulaires, et le Laboratoire des Combustibles Uranium (LCU- CEA Cadarache), qui a une forte expérience sur la caractérisation expérimentale des poudres d'Uranium.

Le doctorant devra montrer principalement des compétences en simulation numérique et dans l'analyse physique des résultats. Il valorisera ses résultats au travers des publications et participations à des congrès et aura l'occasion d'apprendre ou de se perfectionner dans plusieurs techniques réutilisables dans d'autres contextes. En particulier, les problématiques liées à la physique des milieux granulaires sont communes à de nombreux autres secteurs industriels manipulant des poudres, tels que la pharmacie, l'agroalimentaire ou la métallurgie des poudres.

[Yanai1995] K. Yanai, & al *Characterization of ceramic powder compacts*, *Journal of Nuclear Materials*, 1995.

[Hebrard2004] S. Hebrard, *Etude des mécanismes d'évolution morphologique de la structure des poudres d'UO₂ en voie sèche*, thèse de doctorat, CEA-LSG2M-COGEMA, 2004.

[Meier2019] C. Meier, & al, *Modeling and Characterization of Cohesion in Fine Metal Powders with a Focus on Additive Manufacturing Process Simulations*, *Powder Technology*, 2019.

▪ Formation recommandée :
Master 2 en
mécanique/matériaux ou
école d'ingénieur avec
option mécanique numérique
ou simulation avancée

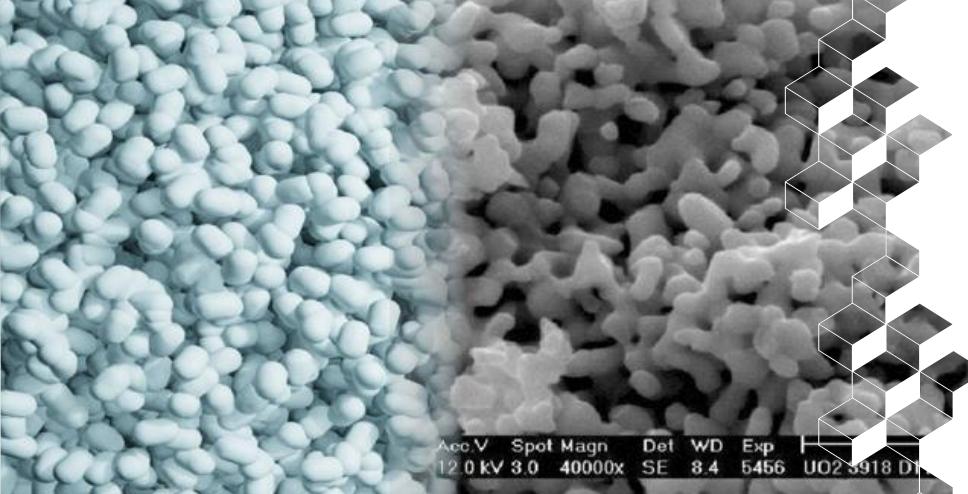
▪ Ecole doctorale :
Université Montpellier – I2S

▪ Date souhaitée de début de thèse :
À partir de septembre 2026

▪ Lieu :
Centre de Cadarache 13115
Saint-Paul-Lez-Durance

▪ Directeur(s) de thèse :
Farhang Radjaï (CNRS-LMGC)

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
TOPIN Vincent
vincent.topin@cea.fr
+33 4 42 25 27 22



UO₂ Powders: Morphological Characterization of Aggregates Using a Combined Experimental / Discrete Numerical Approach

DEC/SESC/LDOP

This thesis aims to optimize the manufacturing of nuclear fuels by gaining a better understanding of the microstructure of UO₂ and PuO₂ powders. It investigates the role of aggregates on the macroscopic properties of the powders. The project combines experimental characterizations with DEM simulations to create a realistic granular digital twin. This digital twin will allow the exploration of the internal structure of aggregates and their aggregation and densification mechanisms. Conducted at CEA in collaboration with CNRS, the thesis will provide strong expertise in numerical simulation and granular media physics.

This thesis is part of efforts to optimize the manufacturing processes of nuclear fuels, which rely on the powder metallurgy of uranium dioxide (UO₂) and plutonium dioxide (PuO₂). These powders exhibit a hierarchical microstructure, composed of crystallites forming rigid aggregates, which themselves are agglomerated into larger structures [Yanai1995]. The morphology of the aggregates and their interactions play a crucial role in the macroscopic behavior of the powders and determine the quality of the pellets obtained after pressing and sintering. However, experimental characterization of these aggregates remains challenging and does not yet allow for a predictive link between synthesis processes and morphological properties [Hebrard2004].

The aim of this thesis is to combine experimental and numerical approaches to finely characterize the aggregates of a reference powder. Experimentally, techniques such as scanning electron microscopy (SEM), specific surface area measurement (BET), and laser granulometry will be used to determine particle size, roughness, and size distribution. In parallel, numerical simulations based on the Discrete Element Method (DEM) will be employed to construct a granular digital twin consistent with the measured properties, following approaches proposed by [Meier2019]. This digital twin will allow investigation of the internal structure of the aggregates, evaluation of inter-particle adhesion forces, and analysis of agglomeration and densification phenomena under controlled conditions.

The thesis will be carried out at CEA Cadarache within the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE). The student will be assigned to the PLEIADES Fuel Development Laboratory (LDOP), which specializes in simulating fuel behavior (from fabrication to in-reactor performance) and multi-scale numerical methods. The work will be conducted in collaboration with CNRS/LMGC in Montpellier, internationally recognized for its research on granular media, and the Uranium Fuel Laboratory (LCU-CEA Cadarache), which has extensive experience in the experimental characterization of uranium powders.

The PhD candidate will primarily need skills in numerical simulation and physical analysis of results. The outcomes will be disseminated through publications and conference presentations, while providing the opportunity to learn or further develop techniques transferable to other contexts. In particular, issues related to granular media physics are common to many other industrial sectors handling powders, such as pharmaceuticals, food processing, or powder metallurgy.

[Yanai1995] K. Yanai, & al *Characterization of ceramic powder compacts*, *Journal of Nuclear Materials*, 1995.

[Hebrard2004] S. Hebrard, *Etude des mécanismes d'évolution morphologique de la structure des poudres d'UO₂ en voie sèche*, thèse de doctorat, CEA-LSG2M-COGEMA, 2004.

[Meier2019] C. Meier, & al, *Modeling and Characterization of Cohesion in Fine Metal Powders with a Focus on Additive Manufacturing Process Simulations*, *Powder Technology*, 2019.

- Formation recommandée :
Master's degree (M2) in Mechanics/Materials or an Engineering School degree with a specialization in Numerical Mechanics or Advanced Simulation

- Ecole doctorale :
Université Montpellier – I2S

- Date souhaitée de début de thèse :
From september 2026

- Lieu :
Centre de Cadarache 13115
Saint-Paul-Lez-Durance

- Directeur(s) de thèse :
Farhang Radjaï (CNRS-LMGC)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

TOPIN Vincent

vincent.topin@cea.fr

+33 4 42 25 27 22



Etude du comportement en début de vie du combustible MOX à isotopie dégradée.

DEC/SESC/LECM

Bulles d'He

T. Wiss et al., 30 (2015) 1544-1554

Face aux perspectives du multi-recyclage du plutonium et au développement des réacteurs de Génération IV, l'étude des défauts induits par l'auto-irradiation α dans les combustibles MOX apparaît comme une étape indispensable.

La France a fait le choix d'un cycle du combustible nucléaire dit « fermé ». Il consiste à traiter le combustible usé pour récupérer ses matières valorisables (uranium et plutonium), tandis que ses autres composés (produits de fission et actinides mineurs) constituent les déchets ultimes. Le combustible UO_2 irradié en Réacteurs à Eau Pressurisée (REP) est ainsi aujourd'hui retraité pour produire du plutonium (PuO_2), réutilisé ensuite sous forme de combustible MOX (Mixed Oxide) lui-même irradié en REP : on parle de monorecyclage du plutonium. La solution de multi-recyclage des matières via l'utilisation de combustibles contenant du Pu issu du traitement d'assemblages MOX usés, est une perspective actuellement étudiée au CEA. Ce plutonium multi-recyclé contient une plus forte proportion d'isotopes à forte activité alpha ($Pu238, Pu240, Pu241/Am241$), entraînant une auto-irradiation alpha plus sévère que dans les MOX actuels. Ceci exacerbe certains phénomènes physiques (gonflement du combustible lié à la précipitation de l'hélium et à la création de défauts cristallins, baisse de la conductivité thermique), pouvant altérer son comportement en réacteur.

La thèse proposée vise à étudier l'impact de ces phénomènes sur le comportement en début d'irradiation de combustibles MOX, via une approche expérimentale couplée à la modélisation. Des traitements thermiques seront utilisés pour analyser les mécanismes de guérison des défauts cristallins et le comportement de l'hélium. Diverses techniques expérimentales permettant de caractériser la structure et microstructure (diffraction X, MEB, spectroscopie Raman, microsonde), la densité de défauts (MET), le

relâchement d'hélium (KEMS), la reproduction du gradient thermique (laser CLASH) et la mesure de conductivité thermique (laser LAF) seront utilisées. Les résultats alimenteront des simulations pour modéliser la microstructure et les propriétés thermiques.

Cette étude transverse et pluridisciplinaire permettra de mieux appréhender les phénomènes mis en jeu lors de la première montée en puissance pour des combustibles endommagés par l'auto-irradiation alpha, avec un accent tout particulier sur l'impact de l'He produit par décroissance.

Vous serez basé au Laboratoire d'Etude de Conception et d'Irradiation Multi filière au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) du CEA à Cadarache dont vous dépendrez. Vous collaborerez également avec le Laboratoire d'analyses chimiques et caractérisation des MATériaux (LMAT) du CEA/Marcoule ainsi que le centre de recherche européen (JRC) de Karlsruhe pour la partie expérimentale. Vous pourrez valoriser vos résultats au travers de publications scientifiques et participations à des congrès. Vous aurez l'occasion d'apprendre ou de vous perfectionner dans plusieurs techniques réutilisables dans d'autres contextes, applicables à de nombreux domaines de la science des matériaux et de l'ingénieur.

- Formation recommandée :

Ingénieur, master M2 Science des Matériaux - Le sujet s'adresse à des étudiants en sciences des matériaux avec un attrait particulier pour la simulation

- Ecole doctorale :

Sciences Chimiques Balard
ED 459

- Date souhaitée de début de thèse :

1^{er} Octobre 2026

- Lieu :

Centre CEA de Cadarache et Marcoule

- Directeur(s) de thèse :

Philippe MARTIN

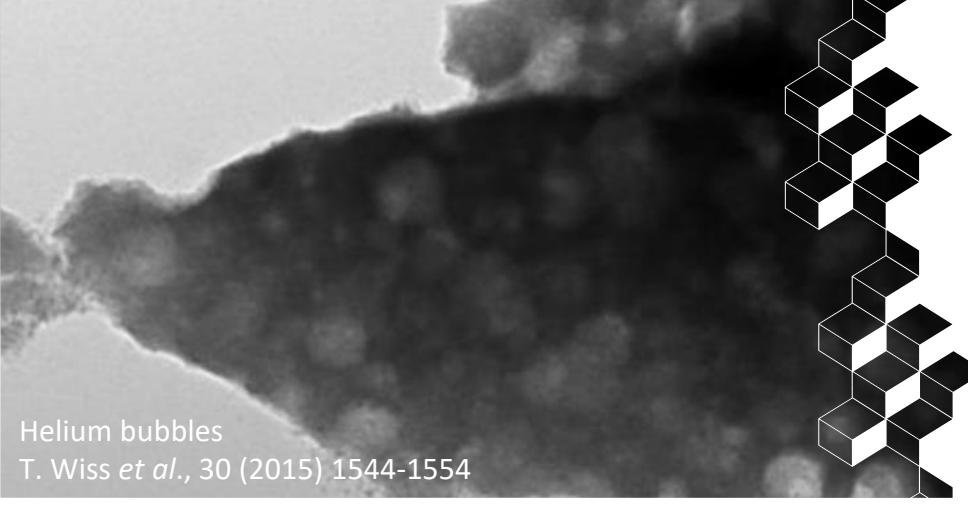
CEA - Marcoule

Thierry WISS

JRC – Karlsruhe

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

DESAGULIER Marie-Margaux
marie-margaux.desagulier@cea.fr



Study of the behavior of mixed oxide fuels with degrade isotopy at the beginning of life.

DEC/SESC/LECIM

Helium bubbles

T. Wiss *et al.*, 30 (2015) 1544-1554

In light of the potential for multiple plutonium recycling and the development of Generation IV reactors, it seems essential to study defects induced by a self-irradiation in MOX fuels.

France has decided to adopt a 'closed' nuclear fuel cycle. This involves processing spent fuel to recover valuable materials such as uranium and plutonium, while other compounds such as fission products and minor actinides constitute final waste. UO_2 fuel irradiated in pressurized water reactors (PWRs) is currently reprocessed to produce plutonium (PuO_2), which is then reused in the form of mixed oxide (MOX) fuel. This fuel is then irradiated in PWRs, a process known as plutonium monorecycling. The CEA is currently studying the multi-recycling of materials using fuels containing Pu from the processing of spent MOX assemblies. However, this multi-recycled plutonium contains a higher proportion of highly alpha-active isotopes (Pu^{238} , Pu^{240} and $\text{Pu}^{241}/\text{Am}^{241}$), resulting in more severe alpha self-irradiation than current MOX fuels experience. This exacerbates certain physical phenomena, such as fuel swelling due to helium precipitation and the creation of crystal defects and decreased thermal conductivity, which can alter its behavior in the reactor.

The proposed thesis will study the impact of these phenomena on the behavior of MOX fuels at the beginning of the irradiation, using a combination of experimentation and modelling. Heat treatments will be employed to analyze the mechanisms of crystal defect healing and helium behavior. Various experimental techniques will be employed to characterize the structure and microstructure (X-ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM),

Raman spectroscopy and microprobe analysis), defect densities (transmission electron microscopy (TEM), helium release (KEMS), thermal gradient reproduction (CLASH laser) and thermal conductivity (LAF laser)).

The results will be used in simulations to model the microstructure and thermal properties.

This cross-disciplinary study will improve our understanding of the phenomena involved in the initial power-up of fuels damaged by alpha self-irradiation, particularly the impact of helium produced by decay.

You will be based at the Multi-Fuel Design and Irradiation Laboratory (LECIM) within the Research Institute for Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE) at CEA/Cadarache. For the experimental part of the project, you will collaborate with the Chemical Analysis and Materials Characterisation Laboratory (LMAT) at CEA/Marcoule and the European Research Centre (JRC) in Karlsruhe. You will have the opportunity to publish your results through scientific publications and conference presentations. This role offers the chance to develop your expertise in a variety of techniques that can be applied across multiple fields of materials science and engineering.

- Formation recommandée :
Engineer, Master's degree in Materials Science - The subject is aimed at materials science students with a particular interest in simulation.

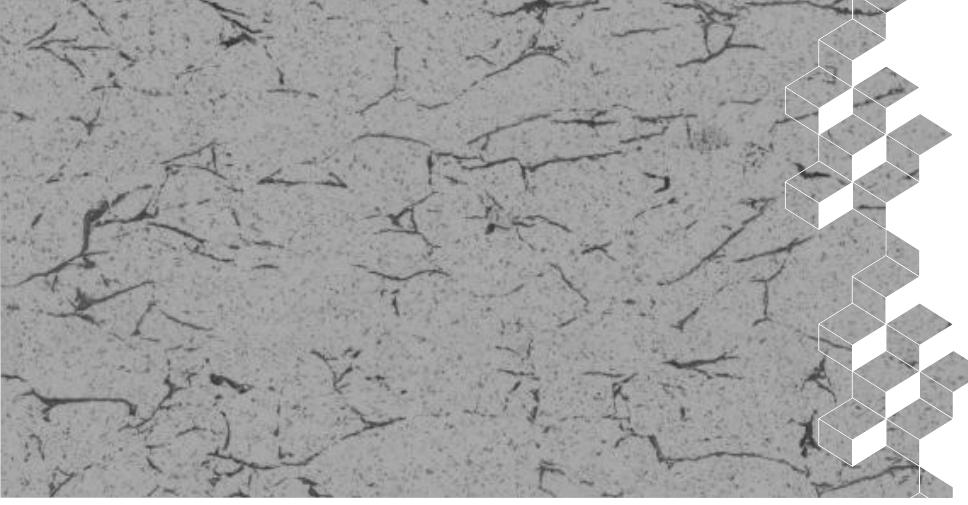
- Ecole doctorale :
Sciences Chimiques Balard
ED 459

- Date souhaitée de début de thèse :
October 1, 2026

- Lieu :
CEA Center in Cadarache and Marcoule

- Directeur(s) de thèse :
Philippe MARTIN
CEA - Marcoule
Thierry WISS
JRC – Karlsruhe

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
DESAGULIER Marie-Margaux
marie-margaux.desagulier@cea.fr



Compréhension et modélisation du transport des gaz dans un combustible UO_2 présentant plusieurs familles de porosités

DEC/SESC/LEVA

L'objectif de cette thèse est de développer un modèle d'écoulement (et donc de relâchement) d'une population gazeuse au travers d'un milieu poreux à deux échelles et plus spécifiquement de déterminer la perméabilité apparente de ce réseau poreux.

Les combustibles nucléaires, à base de céramique d' UO_2 , sont étudiés par le CEA via des simulations pour prédire leur comportement. Leur microstructure poreuse, influencée par la fabrication, comprend deux types de porosité : sphérique (fermée) et filamentaire (ouverte et connectée). Sous irradiation des gaz de fission sont créés (principalement du Xénon/krypton et de l'hélium) et vont s'écouler à travers ces porosités qui évoluent (ce qui affecte la perméabilité du matériau). Afin de mener des études et expertises, le CEA développe des schémas numériques avancés pour la simulation prédictive du comportement de ces combustibles, s'appuyant sur une démarche d'amélioration continue des modèles et des lois de propriétés physiques des matériaux. Le LEVA (Laboratoire d'Expertises et de Validation des Applications combustibles multi-filières) du CEA porte parmi ses missions, l'étude du comportement des combustibles nucléaires pour divers réacteurs et la validation des outils de calcul scientifique utilisés pour sa simulation..

Cette thèse propose de développer un modèle innovant d'écoulement de gaz dans les céramiques que sont les combustibles nucléaires, prenant en compte deux populations de gaz (xénon/krypton et hélium) et deux types de porosités évolutives. La nouveauté de ce modèle réside dans l'étude conjointe de ces écoulements dont les propriétés changent sous irradiation : le réseau filamentaire, initialement percolant, voit sa perméabilité diminuer par dilatation, tandis que la production de gaz de fission augmente la porosité fermée au sein du matériau. Cette complexité multi-échelle rend nécessaire une approche numérique.

Le plan de travail de cette thèse pourra s'articuler en trois étapes principales. La première phase consistera en une étude bibliographique approfondie sur le comportement des gaz de fission dans les céramiques nucléaires et les méthodes d'homogénéisation en mécanique des fluides, en s'appuyant sur des données expérimentales existantes. Cette étape aboutira à la proposition d'un modèle d'écoulement pour deux gaz dans un milieu à perméabilité évolutive, avec une attention particulière portée sur le comportement spécifique de l'hélium.

La seconde étape se concentrera sur la détermination numérique de la perméabilité apparente du milieu, utilisant des outils de simulation pour générer des microstructures 2D/3D représentatives et évaluer l'écoulement des fluides. Différents scénarios seront testés pour simuler l'évolution microstructurale sous irradiation.

Enfin, la troisième étape sera dédiée à la validation du modèle développé par comparaison entre résultats expérimentaux et simulations numériques.

La thèse sera menée au CEA Cadarache et au LMGC de Montpellier. Les résultats seront valorisés par des publications et la participation à des conférences. Le travail permettra d'améliorer la compréhension des mécanismes de transport gazeux dans les combustibles nucléaires, avec des applications potentielles pour l'optimisation des réacteurs.

- Formation recommandée :
Master II ou école d'ingénieur avec spécialité en mécanique

- Ecole doctorale :
Montpellier – ED 166 –
Information, Structure et
Systèmes (I2S)

- Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

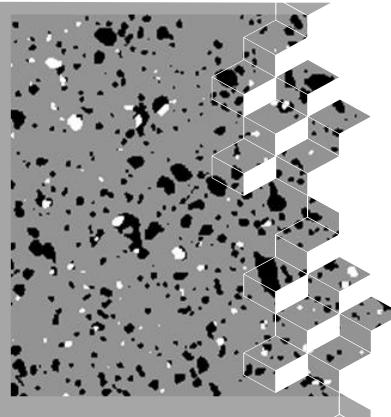
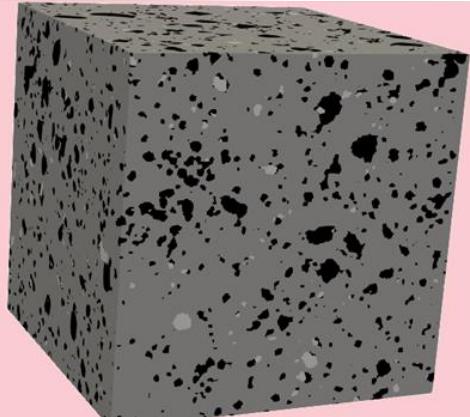
- Lieu :
Centre CEA de Cadarache et
LMGC - UMR 5508 - Montpellier

- Directeur(s) de thèse :
Yann MONERIE

Laboratoire de Mécanique et
Génie Civil - UMR 5508 -
Montpellier

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
MULLER Emmanuelle
HABERT Benoît

emmanuelle.muller@cea.fr
04 42 25 71 23
benoit.habert@cea.fr
04 42 25 78 98



Effet de la porosité sur la conductivité thermique du matériau combustible MOX (U,Pu)O₂

DEC/SES/LEVA

Le but de cette thèse est d'évaluer l'effet de la quantité et de la forme des pores sur la conductivité thermique de matériaux fissiles et de proposer une loi de conductivité thermique pour les MOX prenant en compte la quantité, la taille, la forme et l'interconnectivité de leur porosité.

La performance des combustibles nucléaires dépend fortement de leur comportement thermomécanique, et donc de leur conductivité thermique. Cette propriété est très affectée par la composition mais aussi par la microstructure du matériau qui peut présenter des hauts niveaux de porosité, notamment dans le cas des oxydes mixtes d'uranium et de plutonium (MOX) utilisés dans les réacteurs à neutrons rapides. En effet si la porosité du combustible à la fabrication est inférieure à 5%, l'irradiation en réacteur va modifier la taille des pores et conduire localement à des taux de porosité de près de 30%.

Un premier modèle de conductivité (Maxwell-Eucken) a été établi pour prendre en compte la présence de porosité, mais il n'a pas été validé pour des porosités supérieures à 15%. D'autres modèles ont été comparés à ce modèle de référence et aux très rares mesures de conductivité thermique sur des MOX poreux [1,2]. La thèse proposée fait suite à deux thèses précédentes dont la première était dédiée à l'effet de la composition en Plutonium sur la conductivité thermique et la deuxième sur l'évolution de cette conductivité thermique sous irradiation avec l'évolution de la composition en éléments et de la structure (phases cristallographiques) du matériau.

Une première étape de la thèse sera d'interpréter des mesures récentes de propriétés thermiques obtenues par des techniques performantes de chauffage laser (essais LAF 500-1500 K et CLASH 1500-2800 K) permettant d'appréhender le comportement du combustible dans des domaines de température peu explorés à ce jour dans le centre de recherche européen (JRC) à Karlsruhe. Ces mesures sont réalisées sur des matériaux présentant des microstructures différentes et seront comparés à des résultats obtenus par simulation à cette échelle (analyse d'image, passage 2D/3D, TM-FFT).

Une étude de sensibilité à la forme et à la quantité des pores sera réalisée afin de comprendre l'impact de ces paramètres, en utilisant des maillages modèles réalisés avec l'outil de calcul scientifique MEROPE développé au CEA (C++, interface PYTHON). Cette modélisation sera ensuite utilisée pour calculer la conductivité thermique équivalente de ces combustibles à l'aide du solveur TM-FFT (C++, interface PYTHON). Les conductivités ainsi calculées seront comparées aux mesures réalisées dans le cadre du projet européen ESFR-SIMPLE. Une analyse des écarts sera proposée en s'appuyant sur des analogies avec d'autres matériaux céramiques dans des domaines hors nucléaire. Une des finalités de cette thèse sera de proposer une loi de conductivité thermique pour les MOX ayant une porosité allant de 0 à 30% avec une prise en compte de leur taille, forme et interconnectivité. Ce travail sera mis en valeur dans le cadre du projet européen ESFR-simple, il sera présenté en conférences internationales et sera valorisé dans des revues scientifiques. L'approche ainsi développée pourra être appliquée à d'autres matériaux combustibles mais également dans des domaines hors nucléaire.

La thèse se déroulera sur le centre du CEA Cadarache au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) dans le Laboratoire d'Expertise et de Validation des Applications multi-filières (LEVA). La collaboration avec JRC Karlsruhe dans le cadre de ce travail sera l'opportunité de travailler dans un cadre international.

[1] Thermal conductivity of mixed oxide fuel (MOX) : effect of temperature, elementary chemical composition, microstructure and burn-up in reactor - TEL - Thèses en ligne

[2] oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-07/nea_nsc_r_2024_1.pdf

▪ Formation recommandée :
Master ou diplôme
d'ingénieur en matériaux

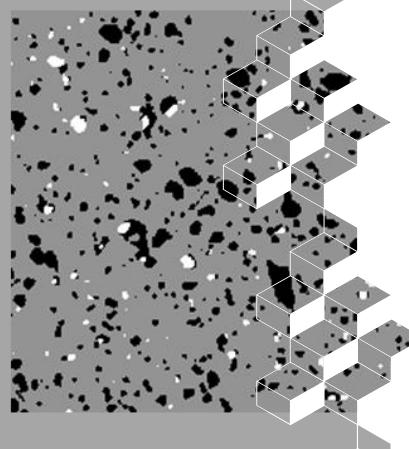
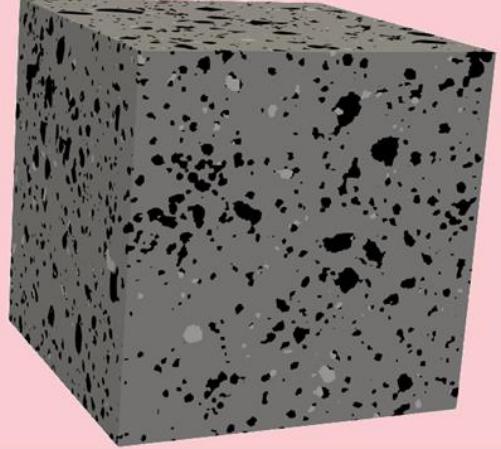
▪ Ecole doctorale :
ED353 – Science pour
l'ingénieur : Mécanique,
Physique, Micro et
Nanoélectronique (SIMPMN)

▪ Date souhaitée de début de thèse :
Octobre 2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache, Saint-Paul-lès-Durance (France)

▪ Directeur(s) de thèse :
GASPAR Jonathan
CNRS (IUSTI)
jonathan.gaspar@univ-amu.fr
04.91.10.68.68

▪ Chercheur de l' IRESNE
à contacter :
GERMAIN Allan
Allan.germain@cea.fr
04.42.25.65.45



Impact of the porosity on the MOX (U,Pu)O₂ fuel

DEC/SES/LEVA

The aim of this thesis is to assess the impact of the pore qualities and shapes on the thermal conductivity on fissile materials and to propose a thermal conductivity law depending of the quantity, the length, the shape and the interconnectivity of its porosity.

The performance of nuclear fuels heavily depends on their thermomechanical behavior, and thus on their thermal conductivity. This property is strongly influenced by both the composition and the microstructure of the material, which can exhibit high levels of porosity, particularly in the case of mixed uranium-plutonium oxides (MOX) used in fast neutron reactors. Indeed, if the porosity of the fuel at the time of manufacture is below 5%, reactor irradiation will modify the pore size and lead, in certain areas, to porosity levels of nearly 30%.

A first thermal conductivity model (Maxwell-Eucken) was developed to account for the presence of porosity, but it has not been validated for porosities above 15%. Other models have been compared to this reference model and to the very few thermal conductivity measurements on porous MOX.

An initial conductivity model (Maxwell-Eucken) was developed to account for porosity, but it has not been validated for porosity levels above 15%. Other models have been compared with this reference model as well as with the very limited thermal conductivity measurements available on porous MOX fuels [1,2]. The proposed PhD builds on two earlier theses: the first focused on how plutonium content affects thermal conductivity, and the second on how irradiation-driven changes in composition and crystallographic phases influence this property.

The first stage of the thesis will involve interpreting new thermal property measurements obtained using advanced laser-heating techniques (LAF tests from 500 to 1500 K and CLASH tests from 1500 to 2800 K). These experiments explore temperature ranges that have rarely been investigated until now at the European research center (JRC) in Karlsruhe. They are performed on materials with different microstructures and will be compared with results from simulations at the same scale (image analysis, 2D/3D reconstruction, TM-FFT).

A sensitivity study will then be carried out on pore shape and volume fraction to better understand their impact, using model meshes generated with MEROPE, a scientific computing tool developed at CEA (C++ with a Python interface). This modeling approach will subsequently be used to compute the effective thermal conductivity of these fuels with the TM-FFT solver (also C++ with Python interface). The calculated conductivities will be compared with measurements from the European ESFR-SIMPLE project. Any discrepancies will be analyzed by drawing parallels with other ceramic materials outside the nuclear field.

A key outcome of this thesis will be the development of a thermal conductivity law for MOX fuels with porosity levels ranging from 0 to 30%, explicitly accounting for pore size, shape, and interconnectivity. The results will be highlighted within the ESFR-SIMPLE project, presented at international conferences, and published in scientific journals. The methodology developed here may also be applied to other fuel materials and even to non-nuclear applications.

The thesis will take place at the CEA Cadarache site within the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE), in the Laboratory for Expertise and Validation of multi-fuel Applications (LEVA). Collaboration with JRC Karlsruhe will also offer an opportunity to work in an international environment.

[1] Thermal conductivity of mixed oxide fuel (MOX): effect of temperature, elemental chemical composition, microstructure and burn-up in reactor – TEL – Thèses en ligne
[2] oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-07/nea_nsc_r_2024_1.pdf.

▪ Formation recommandée :
Master 2 in material science

▪ Ecole doctorale :
ED353 – Science pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique (SIMPMN)

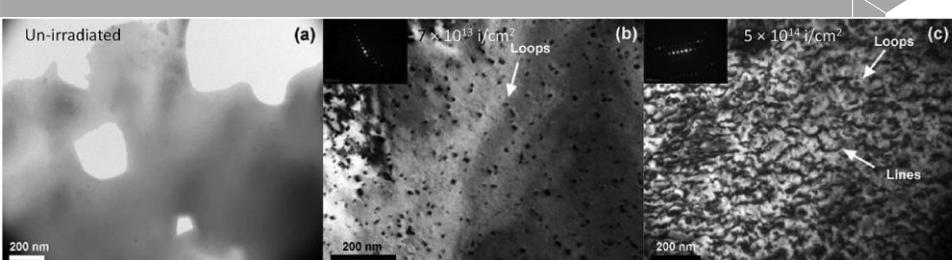
▪ Date souhaitée de début de thèse :
October 2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache, Saint-Paul-lès-Durance (France)

▪ Directeur(s) de thèse :
GASPAR Jonathan
CNRS (IUSTI)
jonathan.gaspar@univ-amu.fr
04.91.10.68.68

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
GERMAIN Allan
Allan.germain@cea.fr
04.42.25.65.45





De l'Angström au micron : construire un modèle d'évolution en pile du combustible à partir de données calculées à l'échelle atomique

DEC/SESC/LM2C

Réseau de boucles et lignes de dislocation apparaissant en cours d'irradiation dans l'UO₂. L'objectif est de prédire la concentration de ces défauts de microstructure (Onofri et al 2016)

La fission modifie la microstructure du combustible et produit des gaz impactant ses propriétés et ses performances. L'objectif est de construire et de valider sur des expériences et observations microscopiques un modèle décrivant cette évolution sous irradiation.

La maîtrise du comportement des gaz de fission dans le combustible nucléaire (oxyde d'uranium) est un enjeu industriel important puisque leur relâchement ou leur précipitation limite l'utilisation du combustible à forts taux de combustion. Or ces phénomènes sont fortement influencés par l'évolution microstructurale du matériau due aux défauts générés par l'irradiation (création de défauts ponctuels, agrégations de ceux-ci en cavités et bulles de gaz ou en boucles ou lignes de dislocation...). La dynamique d'amas (DA) est un modèle cinétique permettant de décrire la nucléation/croissance des amas de défauts, leur contenu en gaz et le relâchement de celui-ci. Le modèle utilisé est paramétré à partir de données de base calculées à diverses échelles (ab initio, potentiels empiriques, Monte Carlo). Ce modèle rend déjà compte d'expériences de recuit d'UO₂ implanté en atomes de gaz de fission et a mis en évidence le fort impact des défauts d'irradiation sur le relâchement gazeux. L'objectif de la thèse est d'une part d'améliorer le modèle et ses paramètres d'entrée, notamment le taux de création de défauts d'irradiation, et d'autre part d'étendre son domaine de validation en le confrontant à de nombreuses expériences issues de thèses récemment soutenues au département (mesure de relâchement gazeux par recuit d'échantillons implantés via un accélérateur d'ions, observation au microscope électronique des bulles de gaz et boucles de dislocation). Le candidat sera donc amené à faire évoluer certains des sous-modèles constitutifs de la DA, interpréter et simuler l'ensemble des expériences disponibles. Ce faisant il affinera la paramétrisation du modèle.

Ce sujet de modélisation présente l'opportunité d'articuler théorie, numérique (amélioration du modèle et simulation) à une approche "expérimentale" (interprétation d'expériences déjà réalisées). Ainsi, l'approche d'un

ensemble varié de techniques d'observation et de mesure vous ouvrira également le monde de la physique expérimentale et complètera votre profil. Vous serez accueilli au sein du Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles (Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone IRESNE, CEA Cadarache) où vous pourrez bénéficier d'un environnement ouvert et riche en collaborations académiques.

Ce travail offre une position centrale et un point de vue synthétique sur la physique du combustible en irradiation. Il vous permettra de contribuer au développement de la physique numérique appliquée à une démarche multiéchelle de modélisation. Vous découvrirez ainsi en quoi des outils de simulation basés sur les données microscopiques les plus fondamentales obtenues par le calcul atomistique permettent de traiter et expliquer des situations pratiques complexes.

Pour aller plus loin:

Skorek (2013). *Étude par Dynamique d'Amas de l'influence des défauts d'irradiation sur la migration des gaz de fission dans le dioxyde d'uranium*. Univ. Aix-Marseille. <http://www.theses.fr/2013AIXM4376>

Bertolus et al. (2015). *Linking atomic and mesoscopic scales for the modelling of the transport properties of uranium dioxide under irradiation*. *Journal of Nuclear Materials*, 462, 475–495.

Onofri et al. (2016). *Evolution of extended defects in polycrystalline Au-irradiated UO₂ using in situ TEM: Temperature and fluence effects*. *Journal of Nuclear Materials* 482, 105-13

■ Formation recommandée :
M2 / ingénieur : physique du solide, physique des matériaux

■ Ecole doctorale :
Université Lille I (SMRE)
Sciences de la Matière,
Rayonnement, Environnement

■ Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

■ Lieu :
Centre CEA de Cadarache

■ Directeur(s) de thèse :
BECQUART Charlotte

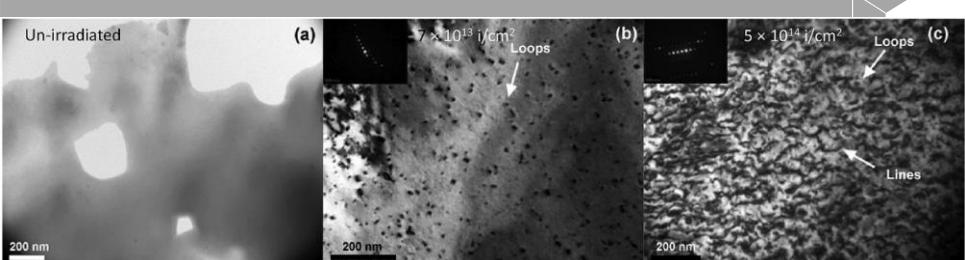
■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MAILLARD Serge

serge.maillard@cea.fr

04 42 25 20 36





Entangled dislocation loops and lines produced in irradiated UO_2 .
The thesis aims to predict the evolution of these microstructural defect concentrations (Onofri et al 2016)



From Angstrom to micron: building a model for the fuel in-pile evolution based on data calculated at the atom level

DEC/SESC/LM2C

Fission alters the fuel microstructure and generates gases that affect its properties and performance. The goal is to develop and validate a model for this evolution under irradiation, based on experimental data and microscopic observations.

Understanding the behavior of fission gases in nuclear fuel (uranium oxide) is a significant industrial challenge, as their release or precipitation limits the use of fuel at high burnup rates. These phenomena are strongly influenced by the microstructural evolution of the material due to defects generated by irradiation (creation of point defects, their aggregation into cavities and gas bubbles, or into dislocation loops or lines). Cluster Dynamics (CD) is a kinetic model used to describe the nucleation/growth of defect clusters, their gas content, and the release of the gas. The model used is parameterized from basic data calculated at various scales (ab initio, empirical potentials, Monte Carlo). This model already accounts for experiments on the annealing of UO_2 implanted with fission gas atoms and has highlighted the strong impact of irradiation defects on gas release. The objective of the thesis is, on the one hand, to improve the model and its input parameters, particularly the rate of creation of irradiation defects, and, on the other hand, to extend its validation domain by confronting it with numerous experiments from theses recently defended in the department (measurement of gas release by annealing of samples implanted via an ion accelerator, observation by electron microscopy of gas bubbles and dislocation loops). The candidate will therefore be led to evolve some of the sub-models constituting the CD, interpret and simulate all available experiments. In doing so, he will refine the parameterization of the model.

This modeling subject offers the opportunity to articulate theory, numerical methods (model improvement and simulation) with an experimental approach (interpretation of already conducted experiments). Thus, the approach of a variety of observation and measurement techniques will also

open up the world of experimental physics to you and complement your profile. You will be welcomed at the Fuel Behavior Modeling Laboratory (part of the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production, IRESNE, CEA Cadarache), where you will benefit from an open environment rich in academic collaborations.

This work offers a central position and a synthetic view of the physics of fuel under irradiation. It will allow you to contribute to the development of numerical physics applied to a multi-scale modeling approach. You will thus discover how simulation tools based on the most fundamental microscopic data obtained by atomistic calculation allow to treat and explain complex practical situations.

For further reading:

Skorek (2013). *Étude par Dynamique d'Amas de l'influence des défauts d'irradiation sur la migration des gaz de fission dans le dioxyde d'uranium*. Univ. Aix-Marseille.
<http://www.theses.fr/2013AIXM4376>

Bertolus et al. (2015). *Linking atomic and mesoscopic scales for the modelling of the transport properties of uranium dioxide under irradiation*. *Journal of Nuclear Materials*, 462, 475–495.

Onofri et al. (2016). *Evolution of extended defects in polycrystalline Au-irradiated UO_2 using in situ TEM: Temperature and fluence effects*. *Journal of Nuclear Materials* 482, 105–13.

- Formation recommandée :
Master 2 : solid state physics, materials physics

- Ecole doctorale :
Université Lille I (SMRE)
Sc. Matière, Rayonnement, Environnement

- Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

- Lieu :
Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
BECQUART Charlotte

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
MAILLARD Serge

serge.maillard@cea.fr

04 42 25 20 36





Simulations atomistiques des propriétés thermophysiques du combustible nucléaire métallique UMo

DEC/SESC/LM2C

L'UMo présente d'excellentes propriétés thermiques et une densité en uranium élevée permettant d'envisager son utilisation pour les cœurs des réacteurs de recherche. L'établissement de nouveaux modèles de calcul permettant d'analyser l'évolution des propriétés physico-chimiques de l'UMo en conditions d'irradiation sont nécessaires.

Au cours de cette thèse, vous appliquerez des méthodes de calcul à l'échelle des atomes afin d'étudier les propriétés thermophysiques et thermomécaniques, ainsi que la stabilité d'amas de Xe, au sein de monocristaux d'UMo.

Dans une première étape vous finaliserez le développement de modèles de calcul à l'échelle atomique pour l'UMo. Ces modèles font appel à des méthodes de « machine-learning » pour le développement de potentiels interatomiques, et devront être validés par comparaison aux données expérimentales existantes pour ce matériau. Ils seront ensuite utilisés pour évaluer l'évolution en température et en fonction de l'accumulation de défauts (ponctuels et étendus) de plusieurs propriétés thermophysiques (propriétés élastiques, la densité et l'expansion thermique) et thermiques (chaleur spécifique et conductivité thermique) cruciales pour la simulation du comportement du combustible sous irradiation. En collaboration avec d'autres chercheurs du département, vous mettrez en forme ces résultats afin de les intégrer dans les Outils de Calcul Scientifique utilisés pour simuler le comportement des combustibles nucléaires.

Dans un second temps, vous serez en charge d'étendre la validité de vos modèles à la prise en compte de la formation de gaz de fission de type xénon pour d'évaluer la stabilité d'amas de xénon au sein de cristaux d'UMo. Ces calculs, effectués à l'aide de méthodes de dynamique moléculaire classique, seront systématiquement comparés à des observations expérimentales obtenues par microscopie électronique à transmission.

Les résultats obtenus lors des différentes étapes de ce projet seront particulièrement innovants, et feront l'objet de publications, ainsi que de présentations dans des conférences scientifiques internationales.

L'ensemble de ces travaux vous permettront de compléter votre formation en acquérant des compétences applicables à de nombreux domaines de la science des matériaux: calculs ab initio, ajustement de potentiels interatomiques par techniques de « machine learning », dynamique moléculaire classique, utilisation des super-calculateurs du CEA, ainsi que de nombreux éléments de physique statistique et de physique de la matière condensée, méthodes dont les membres de l'équipe encadrante sont des spécialistes.

Vous serez intégré au Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles (LM2C) au sein de l'Institut de Recherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) du CEA Cadarache, dans une équipe de recherche dynamique. Cet environnement offre de nombreuses opportunités de collaborations nationales et internationales, notamment avec : au sein du département d'Etudes de Combustibles les développeurs et utilisateurs du code de performance combustible MAIA (dédié à l'étude des combustibles pour réacteurs de recherche) et les chercheurs en charge d'acquérir les données expérimentales, les équipes d'autres centres du CEA (Saclay, CEA/DAM) ainsi que des partenaires internationaux (chercheurs du DOE/USA).

Ce contexte riche et pluridisciplinaire vous permettra de vous intégrer pleinement à la communauté scientifique dédiée aux matériaux pour les sciences du nucléaire.

[1] Dubois, E. T., Tranchida, J., Bouchet, J., & Maillet, J. B. (2024). Atomistic simulations of nuclear fuel UO₂ with machine learning interatomic potentials. *Physical Review Materials*, 8(2), 025402.

[2] Chaney, D., Castellano, A., Bosak, A., Bouchet, J., Bottin, F., Dorado, B., ... & Lander, G. H. (2021). Tuneable correlated disorder in alloys. *Physical Review Materials*, 5(3), 035004.

▪ Formation recommandée :
Ecole d'ingénieur ou M2 en physique et science des matériaux

▪ Ecole doctorale :
ED 352 Physique et sciences de la matière- Aix-Marseille Université

▪ Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :
Johann BOUCHET
CEA Cadarache
DES/IRESNE/DEC/ESC/LM2C

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
TRANCHIDA Julien
Julien.tranchida@cea.fr



Atomistic investigation of the thermophysical properties of metallic nuclear fuel UMo

DEC/SESC/LM2C

UMo exhibits excellent thermal properties and a high uranium density, which make it suitable for potential application as fuel in research reactor cores. The development of new computational models capable of analyzing the evolution of UMo physicochemical properties under irradiation conditions is required.

During this PhD, you will apply atomistic-scale computational methods to investigate the thermophysical and thermomechanical properties of UMo single crystals, as well as the stability of xenon clusters under irradiation.

In the first phase, you will finalize atomistic computational models for UMo, based on machine-learning interatomic potentials, and validate them against existing experimental data. These models will be used to study the evolution of key thermophysical (elastic properties, density, thermal expansion) and thermal (specific heat, thermal conductivity) properties as a function of temperature and defect accumulation. In collaboration with departmental researchers, you will integrate these results into scientific computing tools for nuclear fuel behavior simulations.

In the second phase, you will extend your models to include the formation of fission gases, focusing on the stability of xenon clusters in UMo crystals. Classical molecular dynamics simulations will be systematically compared with experimental observations from transmission electron microscopy.

The project is expected to produce highly innovative results, leading to publications and presentations at international scientific conferences.

This project will complete your training by providing skills applicable across materials science, including ab initio calculations, fitting of interatomic potentials using machine-learning techniques, classical molecular dynamics, use of CEA supercomputers, as well as numerous aspects of statistical physics and condensed

matter physics, areas in which the supervising team members are specialists.

You will join the Fuel Behavior Modeling Laboratory (LM2C) within the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE) at CEA Cadarache, as part of a dynamic research team. This environment offers numerous opportunities for national and international collaborations, notably with: developers and users of the MAIA fuel performance code within the Fuel Studies Department (dedicated to research reactor fuel studies) and researchers responsible for generating experimental data; teams from other CEA centers (Saclay, CEA/DAM); and international partners, including researchers from the DOE (USA).

This rich, multidisciplinary context will enable you to integrate fully into the scientific community dedicated to nuclear materials research.

[1] Dubois, E. T., Tranchida, J., Bouchet, J., & Maillet, J. B. (2024). Atomistic simulations of nuclear fuel UO₂ with machine learning interatomic potentials. *Physical Review Materials*, 8(2), 025402.

[2] Chaney, D., Castellano, A., Bosak, A., Bouchet, J., Bottin, F., Dorado, B., ... & Lander, G. H. (2021). Tuneable correlated disorder in alloys. *Physical Review Materials*, 5(3), 035004.

- Formation recommandée :
Engineering degree or
Master's (M2) in Physics and
Materials Science

- Ecole doctorale :
ED 352 Physics and Matter
Sciences – Aix-Marseille
University

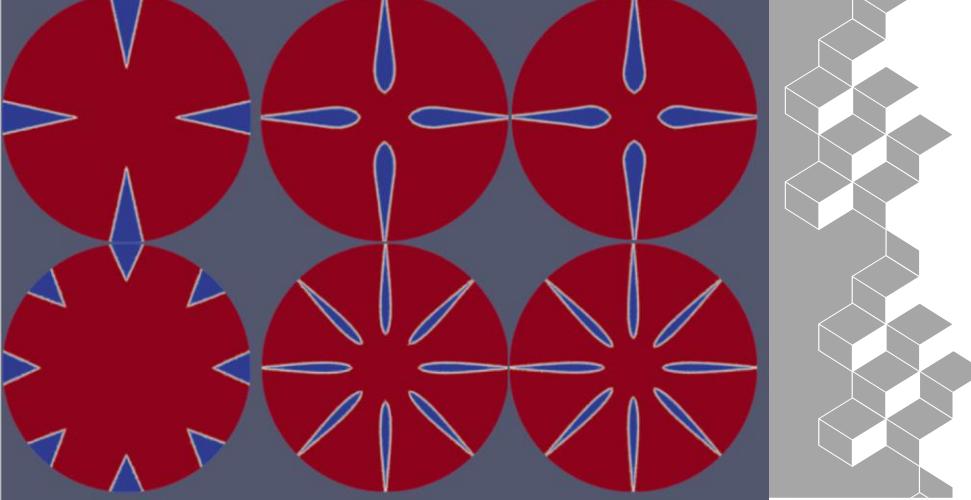
- Date souhaitée de début de
thèse :
10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Johann BOUCHET
CEA Cadarache
DES/IRESNE/DEC/ESC/LM2C

- Chercheur de l' IRESNE
à contacter :
TRANCHIDA Julien
Julien.tranchida@cea.fr





Optimisation de forme au service de l'innovation pour le combustible nucléaire

DEC/SESC/LMCP

L'objectif de la thèse est de mettre en œuvre des stratégies numériques, afin de pouvoir proposer des combustibles innovants. Pour ce faire, on utilisera des techniques mathématiques et numériques récentes liées à l'optimisation de forme.

L'industrie nucléaire vise à développer des combustibles nucléaires toujours plus sûrs avec des combustibles appelés « Accident-Tolerant Fuel » [1]. Cela passe notamment par la conception de combustibles fonctionnant à relativement basse température (dits « froids ») en fonctionnement nominal, ce qui peut s'obtenir par l'ajout d'additifs très conducteurs (métal).

L'objectif de la thèse est de développer des méthodes numériques (capitalisées dans un code semi-industriel), afin de pouvoir proposer de nouvelles « formes » de combustibles (le mot « forme » étant pris au sens de la structure interne ou de la microstructure), optimisées pour les phénomènes considérés. Pour ce faire, on utilisera des techniques mathématiques et numériques récentes liées à l'optimisation de forme [2].

L'étude commencera par une modélisation simple des phénomènes thermo-mécaniques [3]. Puis, un aller-retour entre l'implémentation de méthodes, les résultats obtenus et la modélisation physique sera nécessaire, afin de reformuler des problèmes physiques plus complexes sous une forme numériquement accessible. Un des enjeux est la mise au point d'un code numérique 3D, impliquant des stratégies de parallélisation massive.

Cette thèse se déroulera au CEA de Cadarache au sein du Département d'Etude des Combustibles, plus précisément du Laboratoire des Méthodes Numériques et Composants Physiques pour la plate-forme

PLEIADES (LMCP). Ce département est rattaché à l'Institut IRESNE, l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone. La thèse sera réalisée en collaboration avec une équipe de l'Université de Nice offrant ainsi un encadrement à la fois académique et en lien avec les problématiques industrielles. Elle s'inscrit plus largement dans le projet Fast-in-Fuels, au sein du Programme Prioritaire de Recherche PEPR DIADEM.

Le candidat sélectionné possèdera un solide bagage en calcul scientifique, en analyse et analyse numérique d'équations aux dérivées partielles, ainsi que des notions d'optimisation. Idéalement, il aura également des connaissances de base en thermique et mécanique des milieux continus. Le sujet proposé a un objectif appliqué ciblé, mais il possède une véritable composante exploratoire. Par ailleurs, il se trouve au carrefour de champs scientifiques variés. C'est pourquoi il sera attendu de l'étudiant en thèse de faire preuve de curiosité et créativité.

[1] Review of accident tolerant fuel concepts with implications to severe accident progression and radiological releases, 2020.

[2] G. Allaire. Shape optimization by the homogenization method, volume 146 of Applied Mathematical Sciences. Springer-Verlag, New York, 2002.

[3] T. Devictor. Manuscrit de thèse, 2025 (à paraître)

▪ Formation recommandée :
M2 de mathématiques appliquées ou calcul scientifique

▪ Ecole doctorale :
ED 084 (Nice Sophia-Antipolis)

▪ Date souhaitée de début de thèse :
01/09/2026

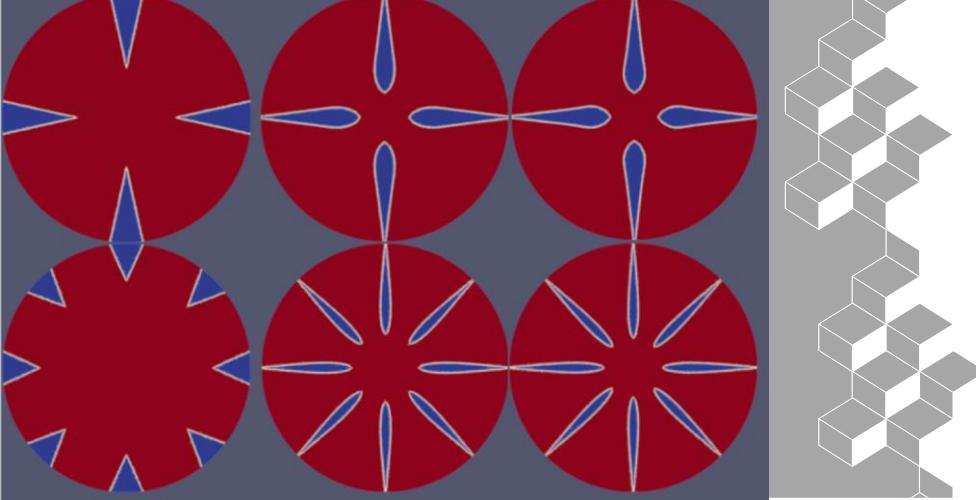
▪ Lieu :
CEA de Cadarache, Saint-Paul-lès-Durance (France)

▪ Directeur(s) de thèse :
PANTZ Olivier

<https://math.univ-cotedazur.fr/~pantz/>

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

JOSIEN Marc
marc.josien@cea.fr



Shape optimization for nuclear fuel innovation

DEC/SESC/LMCP

This thesis aims at developing numerical strategies in order to contribute to innovation in for nuclear fuels. It will take advantage of recent numerical and mathematical techniques related to the so-called "shape optimization".

Nuclear industry is currently developing enhanced Accident Tolerant Fuels" (ATF) [1]. These fuels feature enhanced physical properties; in particular, thanks to the addition of thermal conductors inside the fuel, they tend to be colder in standard as well as in accident conditions.

This thesis aims at developing numerical strategies (that will be programmed into a semi-industrial code) in order to propose new "shapes" of fuels (by "shape", we mean internal structures or microstructures), and to optimize them. It will take advantage of recent numerical and mathematical techniques related to the so-called "shape optimization" [2].

Based on the previous work [3], more and more complex physical phenomena will be taken into account : first, thermal conductivity and mechanical behavior in standard conditions, then gas diffusion... Discussion with experts and modelling will be necessary in order to reformulate these physical behaviors into forms amenable to numerical simulation. One main objective is to build a code for shape optimization in 3D, which requires implementing HPC strategies (High-Performance Computing), involving massive parallelism.

This thesis will take place at the CEA center of Cadarache in the fuel research department, in a laboratory devoted to modelling and numerical methods. The latter is affiliated to the Institute IRESNE for the research low-

carbon energy production.

This project will be in collaboration with Nice University offering so an environment both academic and connected to application.

It also takes part in the PEPR DIADEM called Fast-in-Fuel, a national research project.

We search for excellent candidates with a solid background in scientific computing, analysis and numerical analysis of partial differential equations, as well as in optimization. Skills in physics (mechanics and thermics) will also be considered. The proposed subject aims at a concrete application at the intersection of various scientific fields, and it is largely exploratory. Hence, curiosity and creativity will also be highly appreciated.

[1] Review of accident tolerant fuel concepts with implications to severe accident progression and radiological releases, 2020.

[2] G. Allaire. Shape optimization by the homogenization method, volume 146 of Applied Mathematical Sciences. Springer-Verlag, New York, 2002.

[3] T. Devictor. PhD Manuscript, 2025 (in preparation)

▪ Formation recommandée :
M2 in Applied Mathematics (PDEs) or Scientific Computing

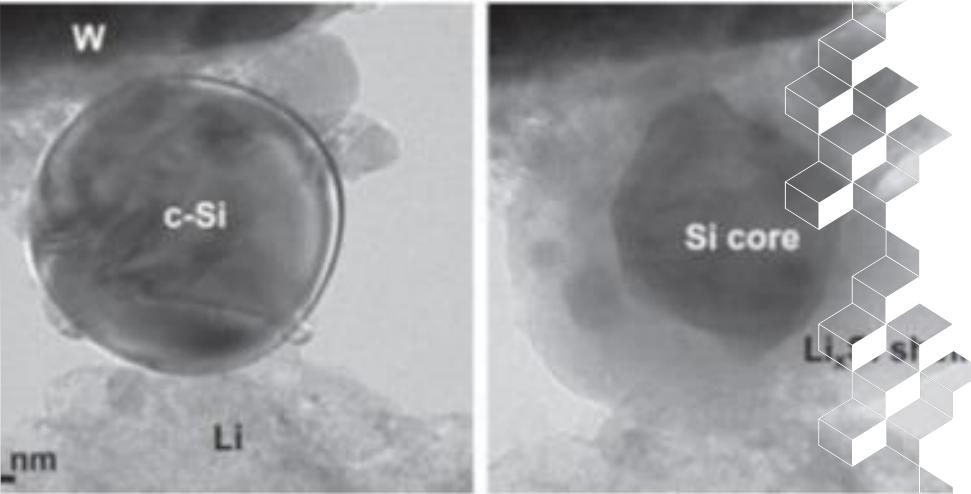
▪ Ecole doctorale :
ED 084 (Nice Sophia-Antipolis)

▪ Date souhaitée de début de thèse :
01/09/2026

▪ Lieu :
CEA de Cadarache, Saint-Paul-lès-Durance (France)

▪ Directeur(s) de thèse :
PANTZ Olivier
<https://math.univ-cotedazur.fr/~pantz/>

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
JOSIEN Marc
marc.josien@cea.fr



Comportement mécanique de cellules Lithium de quatrième génération, étude à l'échelle de la microstructure

DEC/SESC/LMCP

Modéliser les effets de microstructure sur la réponse mécanique des électrodes « tout solide » lors des cycles charge - décharge

La course à l'augmentation de la densité d'énergie des batteries Lithium conduit à envisager des batteries à électrolyte non plus liquide mais solide. A cet égard, les électrolytes à base de soufre comme les argyrodites sont d'un grand intérêt du fait de leur conductivité ionique élevée et de leurs propriétés mécaniques permettant une mise en forme par simple pressage. Sous l'effet des cycles de lithiation /délithiation, les particules actives de silicium mélangées à cet électrolyte solide sont à l'origine de variations de volumes susceptibles d'endommager l'électrode et réduire la durée de vie. C'est pourquoi les batteries à électrolyte solide sulfure ne cyclent correctement que maintenues sous pression.

L'objectif de ce travail de thèse est donc de modéliser ces phases de charge – décharge de la batterie à l'échelle de microstructures représentatives de ces nouvelles électrodes à électrolyte solide.

A l'échelle des particules de silicium, le travail consistera à formuler un modèle de lithiation-délithiation en s'appuyant sur des travaux théoriques antérieurs et par comparaison aux données expérimentales disponibles.

Puis des modèles 3D de microstructures d'électrodes constituées d'un électrolyte solide de type argyrodite et de particules de silicium seront établis en s'appuyant sur les caractérisations existantes (images MEB).

Enfin sera mis en œuvre le modèle mécanique microscopique de lithiation - délithiation sur ces modèles de microstructures en étudiant en particulier les effets du chargement mécanique externe sur l'intensité des interactions mécaniques à l'échelle de la microstructure et les zones de localisation potentielles de l'endommagement.

Ces résultats de simulation seront comparés aux mesures disponibles (mesures de déformations macroscopiques et locales).

Ces travaux seront réalisés au CEA Cadarache au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) en étroite collaboration avec les équipes du Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Energies nouvelles et les Nanomatériaux (LITEN) du CEA Grenoble.

Ce cadre permettra au doctorant d'évoluer dans un environnement scientifique stimulant et lui permettra de valoriser ses travaux de recherche, en France comme à l'étranger lors de conférences et de publications dans des revues à comité de lecture.

Illustration : image MET de la lithiation d'une particule de silicium, Huang et al., Acta Mater, 2013

- Formation recommandée :
Master 2 ou école d'ingénieur
Mechanics of solids, Materials science

- Ecole doctorale :
ED Sciences pour l'Ingénieur,
Aix-Marseille-Université

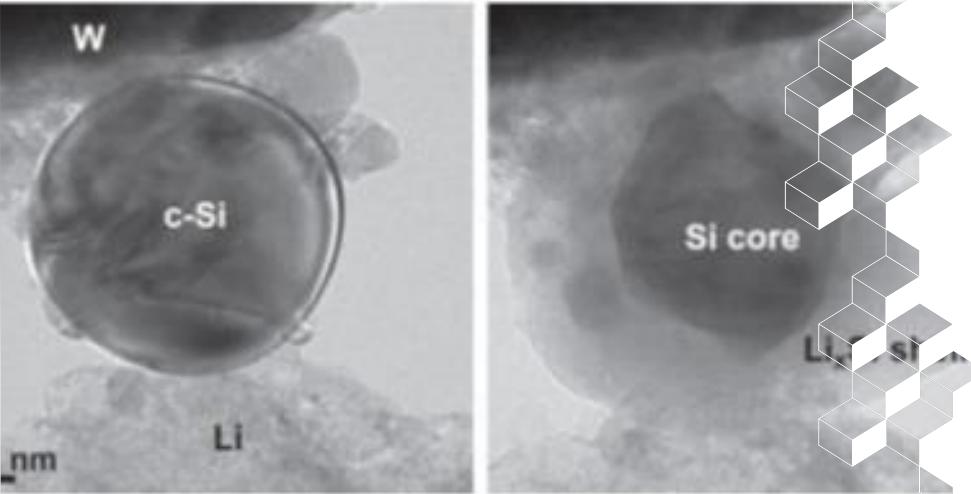
- Date souhaitée de début de thèse :
01/11/2026

- Lieu :
Centre du CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Renaud MASSON

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
MASSON Renaud
renaud.masson@cea.fr





Mechanical behavior of fourth-generation Li-Ion cells, study at the microstructure scale

DEC/SESC/LMCP

Modeling the effects of microstructure on the mechanical response of all-solid-state electrodes during charge-discharge cycles

Competition to increase the energy density of Li-Ion batteries is leading to the consideration of batteries with solid rather than liquid electrolytes. In this regard, sulfur-based electrolytes such as argyrodites are of great interest due to their high ionic conductivity and mechanical properties allowing a simpler manufacturing. Under the effect of lithiation/delithiation cycles, the silicium active particles embedded within this solid electrolyte cause volume variations that can damage the electrode and reduced its lifetime. This is why batteries with solid sulfide electrolytes only cycle properly when kept under pressure.

The objective of this thesis is therefore to model these charge-discharge phases of the battery at the microstructure scale representative of these new solid electrolyte electrodes.

At the silicon particle scale, the work will consist of formulating a lithiation-delithiation model based on previous theoretical work and by comparison with available experimental data.

Then, 3D models of electrode microstructures consisting of an argyrodite-type solid electrolyte and silicon particles will be established based on existing characterizations (SEM images).

Finally, the microscopic mechanical model of lithiation-delithiation will be integrated on these microstructure models, studying in particular the effects of external mechanical loading on the intensity of mechanical interactions at the microstructure scale and the potential locations of damage.

These simulation results will be compared with available measurements (macroscopic and local deformation measurements).

These studies will be carried out at CEA Cadarache within the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE), in close collaboration with the teams of the Laboratory for Innovation in New Energy Technologies and Nanomaterials (LITEN) at CEA Grenoble.

This framework will allow the PhD student to evolve in a stimulating scientific environment and to promote their research work both in France and abroad through conferences and publications in peer-reviewed journals.

- Formation recommandée : Engineering school, Master's degree (M2) in solid mechanics or material science

- Ecole doctorale : Engineering sciences doctoral school Aix-Marseille University

- Date souhaitée de début de thèse : 01/11/2026

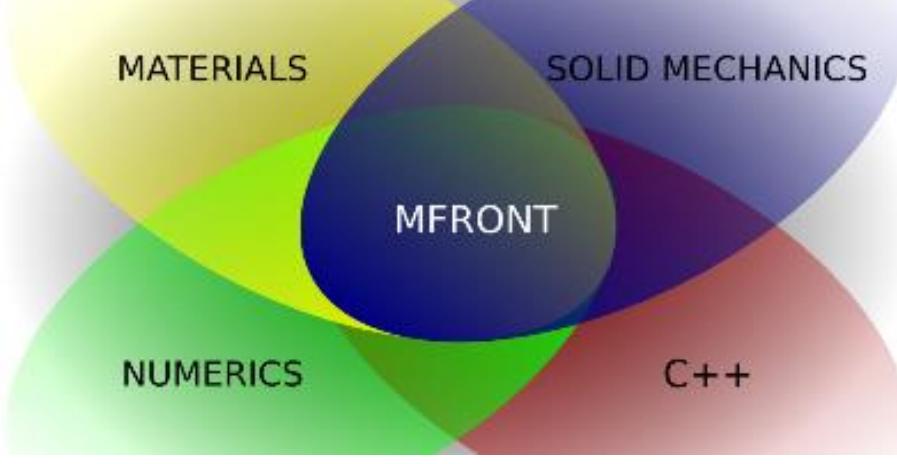
- Lieu : CEA Cadarache Center

- Directeur(s) de thèse : Renaud MASSON

- Chercheur de l' IRESNE à contacter : MASSON Renaud renaud.masson@cea.fr

Illustration: MET image of the lithiation of a silicon particle, Huang et al., *Acta Mater.*, 2013





Génération assistée de noyaux de calculs complexes en mécanique du solide

DEC/SESC/LMPC

Les lois de comportement utilisées dans les simulations numériques décrivent les caractéristiques physiques des matériaux simulés. À mesure que notre compréhension de ces matériaux évolue, la complexité de ces lois augmente. L'intégration de ces lois constitue une étape critique pour la performance et la robustesse des calculs scientifiques. De ce fait, cette étape peut conduire à des développements intrusifs et complexes dans le code.

De nombreuses plateformes numériques telles que FEniCS, Firedrake, FreeFEM, Comsol, proposent des techniques de génération de code à la volée (JIT, pour Just In Time) pour gérer différentes physiques. Cette approche JIT réduit considérablement les temps de mise en œuvre de nouvelles simulations, offrant ainsi une grande versatilité à l'utilisateur. De plus, elle permet une optimisation spécifique aux cas traités et facilite le portage sur diverses architectures (CPU ou GPU). Enfin, cette approche permet de masquer les détails d'implémentation: une évolution de ces derniers est invisible pour l'utilisateur et est absorbée par la couche de génération de code.

Cependant, ces techniques sont généralement limitées aux étapes d'assemblage des systèmes linéaires à résoudre et n'incluent pas l'étape cruciale d'intégration des lois de comportement.

S'inspirant de l'expérience réussie du projet open-source mgis.fenics [1], cette thèse vise à développer une solution de génération de code à la volée dédiée au code de mécanique des structures de nouvelle génération Manta [2] développé par le CEA. L'objectif est de permettre un couplage fort avec les lois de comportement générées par MFront [3], améliorant ainsi la flexibilité, les performances et la robustesse des simulations numériques.

Le doctorant recherché devra posséder une solide culture numérique et un goût prononcé pour la simulation numérique et la programmation en C++. Il devra faire preuve d'autonomie et être force de proposition. Le doctorant bénéficiera d'un encadrement de la part des développeurs des codes MFront et Manta (CEA), ainsi que des développeurs du code A-Set (collaboration entre Mines-Paris Tech,

Onera, et Safran). Cette collaboration au sein d'une équipe multidisciplinaire offrira un environnement stimulant et enrichissant pour le candidat.

De plus, le travail de thèse sera valorisé par la possibilité de participer à des conférences et de publier des articles dans des revues scientifiques à comité de lecture, offrant une visibilité nationale et internationale aux résultats de la thèse.

Le doctorat se déroulera au CEA Cadarache, dans le sud est de la France, au sein du Département d'Etudes des Combustibles nucléaires (DEC) de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) [4]. Le laboratoire d'accueil est le LMPC dont le rôle est de contribuer au développement des composants physiques de la plateforme numérique PLEIADES [5], co-développée par le CEA, EDF et FRAMATOME.

Références

[1] https://thelfer.github.io/mgis/web/mgis_fenics.html

[2] MANTA : un code HPC généraliste pour la simulation de problèmes complexes en mécanique. <https://hal.science/hal-03688160>

[3] <https://thelfer.github.io/tfel/web/index.html>

[4] <https://www.cea.fr/energies/iresne/Pages/Accueil.aspx>

[5] PLEIADES: A numerical framework dedicated to the multiphysics and multiscale nuclear fuel behavior simulation <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454924002408>

- Formation recommandée :

Ingénieur, master M2 en mécanique non-linéaire des matériaux

- Ecole doctorale : Université Paris Sciences et Lettres

ED 621 : ISMME (Ingénierie des Systèmes, Matériaux, Mécanique, Energétique)

- Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2026

- Lieu :

Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

Pierre Kerfriden

Mines Paris - PSL

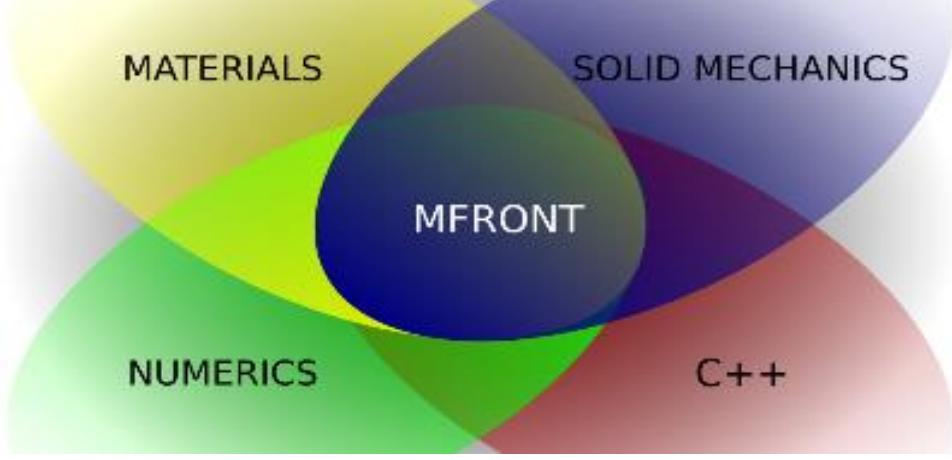
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

Helpfer Thomas

thomas.helpfer@cea.fr

04 42 25 22 67





Assisted generation of complex computational kernels in solid mechanics

DEC/SESC/LMPC

The behavior laws used in numerical simulations describe the physical characteristics of simulated materials. As our understanding of these materials evolves, the complexity of these laws increases. Integrating these laws is a critical step for the performance and robustness of scientific computations. Therefore, this step can lead to intrusive and complex developments in the code.

Many digital platforms, such as FEniCS, FireDrake, FreeFEM, and Comsol, offer Just-In-Time (JIT) code generation techniques to handle various physics. This JIT approach significantly reduces the time required to implement new simulations, providing great versatility to the user. Additionally, it allows for optimization specific to the cases being treated and facilitates porting to various architectures (CPU or GPU). Finally, this approach hides implementation details; any changes in these details are invisible to the user and absorbed by the code generation layer.

However, these techniques are generally limited to the assembly steps of the linear systems to be solved and do not include the crucial step of integrating behavior laws.

Inspired by the successful experience of the open-source project mgis.fenics [1], this thesis aims to develop a Just-In-Time code generation solution dedicated to the next-generation structural mechanics code Manta [2], developed by CEA. The objective is to enable strong coupling with behavior laws generated by MFront [3], thereby improving the flexibility, performance, and robustness of numerical simulations.

The selected PhD candidate should have a solid background in computational science and a strong interest in numerical simulation and C++ programming. They should be capable of working independently and demonstrate initiative. The doctoral student will benefit from guidance from the developers of MFront and Manta (CEA), as well as the developers of the A-Set code (a collaboration between Mines-Paris Tech, Onera, and Safran).

This collaboration within a multidisciplinary team will provide a stimulating and enriching environment for the candidate.

Furthermore, the thesis work will be enhanced by the opportunity to participate in conferences and publish articles in peer-reviewed scientific journals, offering national and international visibility to the thesis results.

The PhD will take place at CEA Cadarache, in south-eastern France, in the Nuclear Fuel Studies Department of the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE)[4]. The host laboratory is the LMPC, whose role is to contribute to the development of the physical components of the PLEIADES digital platform [5], co-developed by CEA and EDF.

[1] https://thelfer.github.io/mgis/web/mgis_fenics.html

[2] MANTA : un code HPC généraliste pour la simulation de problèmes complexes en mécanique. <https://hal.science/hal-03688160>

[3] <https://thelfer.github.io/tfel/web/index.html>

[4] <https://www.cea.fr/energies/iresne/Pages/Accueil.aspx>

[5] PLEIADES: A numerical framework dedicated to the multiphysics and multiscale nuclear fuel behavior simulation <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454924002408>

- Formation recommandée :
Engineering School
Master 2 in computational mechanics

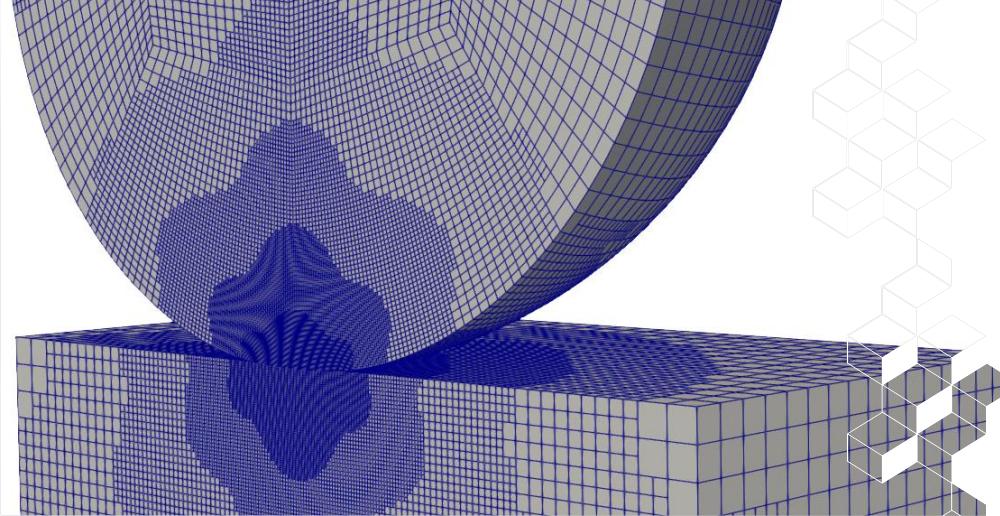
- Ecole doctorale :
Université Paris Sciences et Lettres
ED 621 : ISMME (Ingénierie des Systèmes, Matériaux, Mécanique, Energétique)
- Date souhaitée de début de thèse :
01/10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Pierre Kerfriden
Mines Paris - PSL

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
Helfer Thomas
thomas.helfer@cea.fr
04 42 25 22 67





Simulation parallèle et raffinement adaptatif de maillage pour des problèmes de mécanique 3D

DEC/SESC/LMCP

Le challenge de cette thèse est de mettre en place des méthodes numériques de raffinement adaptatif de maillage pour la mécanique 3D non linéaire adaptées aux calculateurs parallèles.

Ce sujet est proposé dans le cadre du programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) NumPEX (Numérique Pour l'Exascale). Il est intégré dans le Projet Ciblé Exa-MA (Méthodes et Algorithmes pour l'Exascale). La thèse se déroulera au CEA Cadarache au sein de l'Institut de REcherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE), dans l'équipe de développement de la plateforme logicielle PLEIADES, spécialiste de la simulation du comportement du combustible, des méthodes numériques avancées et du HPC.

Lors d'une simulation par éléments finis, l'adaptation automatique de maillage (ou AMR en anglais, pour *Adaptive Mesh Refinement*) est devenue un outil incontournable pour réaliser des calculs précis avec un nombre d'inconnues contrôlé [1]. Les phénomènes à prendre en compte, en particulier en mécanique des solides, sont souvent complexes et non-linéaires : contact entre solides déformables, comportement viscoplastique, fissuration... Par ailleurs, ces phénomènes requièrent des modélisations intrinsèquement 3D. Ainsi le nombre d'inconnues à prendre en compte nécessite l'utilisation de solveurs parallèles. Un des défis actuels est donc de combiner méthodes de raffinement adaptatif de maillage et mécanique non linéaire des solides pour une utilisation sur calculateurs parallèles [2].

Dans le cadre de cette thèse, l'adaptation automatique de maillage de type structuré par blocs (ou *block-structured* en anglais) sera envisagée pour ses bonnes propriétés numériques et informatiques.

Le premier axe de recherche de cette thèse concerne la mise au point d'une méthode de raffinement de maillage pour la mécanique non-linéaire, avec adaptation dynamique de maillage. On s'intéressera ainsi aux opérateurs de projections pour obtenir une solution AMR dynamique précise lors de l'évolution des zones raffinées.

L'autre axe sera dédié au traitement efficace du contact entre solides déformables dans un environnement parallèle. Il s'agira d'étendre des travaux précédents limités à des maillages de contact concordants au cas de géométries de contact quelconques (algorithme de type noeud-à-surface) [2].

L'environnement de développement privilégié sera l'outil MFEM [3]. La gestion des éléments finis et la réévaluation dynamique du maillage adaptatif nécessite d'évaluer (et probablement améliorer) l'efficacité des structures de données impliquées. De grands calculs 3D seront réalisés sur des supercalculateurs nationaux en utilisant des milliers de coeurs de calcul. Cela permettra de s'assurer du passage à l'échelle des solutions mises en place.

Références

- [1] D. Koliesnikova, I. Ramière and F. Lebon. Journal of Computational Physics, 110310, 2021.
- [2] A. Epalle, I. Ramière, G. Latu, F. Lebon. Advances in Applied Mechanics, Vol. 61, Chapter 7, pp. 287-345, 2025.
- [3] R. Anderson et al., Computers & Mathematics with Applications, vol. 81, pp. 42–74, 2021.

- Formation recommandée :
Ecole d'ingénieur ou master II en mathématiques appliquées, calcul haute performance ou mécanique numérique

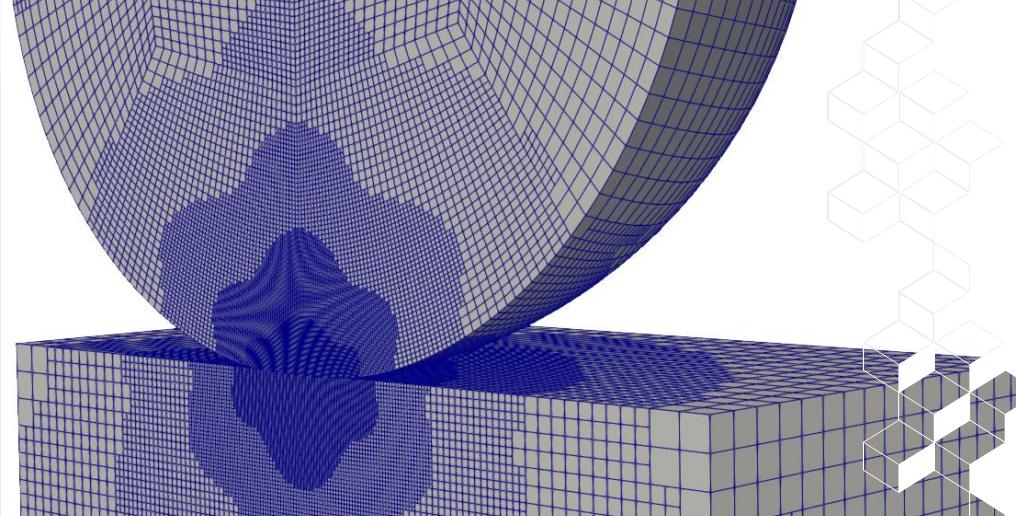
- Ecole doctorale :
ED 353 – Sciences pour l'ingénieur Aix-Marseille Université

- Date souhaitée de début de thèse :
01/11/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
LEBON Frédéric (AMU)
RAMIERE Isabelle (CEA)
LATU Guillaume (CEA)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
RAMIERE Isabelle
Isabelle.ramiere@cea.fr



Parallel simulation and adaptive mesh refinement for 3D solids mechanics problems

DEC/SESC/LMCP

The challenge of this PhD thesis is to implement adaptive mesh refinement methods for non-linear 3D solids mechanics adapted to parallel computers.

This research topic is proposed as part of the NumPEX (Digital for Exascale) Priority Research Programs and Equipment (PEPR). It is part of the Exa-MA (Methods and Algorithms for Exascale) Targeted Project.

The PhD will take place at CEA Cadarache, within the Institute for Research on Nuclear Energy Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE), as part of the PLEIADES software platform development team, which specializes in fuel behavior simulation and multi-scale numerical methods.

In finite element simulation, adaptive mesh refinement (AMR) has become an essential tool for performing accurate calculations with a controlled number of unknowns[1]. The phenomena to be taken into account, particularly in solids mechanics, are often complex and non-linear: contact between deformable solids, viscoplastic behaviour, cracking, etc. Furthermore, these phenomena require intrinsically 3D modelling. Thus, the number of unknowns to be taken into account requires the use of parallel solvers. One of the current computational challenges is therefore to combine adaptive mesh refinement methods and nonlinear solid mechanics for deployment on parallel computers[2].

The first research topic of this PhD thesis concerns the development of a local mesh refinement method (of block-structured type) for non-linear mechanics, with dynamic mesh adaptation. We will therefore focus on projection operators to obtain an accurate dynamic AMR solution during the evolution of refined areas.

The other area of research will focus on the effective treatment of contact between deformable solids in a parallel environment. This will involve extending previous work, which was limited to matching contact meshes, to the case of arbitrary contact geometries (node-to-surface algorithm) [2]

The preferred development environment will be the MFEM tool. Finite element management and dynamic re-evaluation of adaptive meshes require assessing (and probably improving) the efficiency of the data structures involved. Large 3D calculations will be performed on national supercomputers using thousands of computing cores. This will ensure that the solutions implemented can be scaled up to tens of thousands of cores.

References

- [1] D. Koliesnikova, I. Ramière and F. Lebon. Journal of Computational Physics, 110310, 2021.
- [2] A. Epalle, I. Ramière, G. Latu, F. Lebon. Advances in Applied Mechanics, Vol. 61, Chapter 7, pp. 287-345, 2025.
- [3] R. Anderson et al., Computers & Mathematics with Applications, vol. 81, pp. 42–74, 2021.

- Formation recommandée :
Engineering school or Master in applied mathematics, high performance computing or numerical mechanics

- Ecole doctorale :
ED 353 – Engineering science Aix-Marseille University (AMU)

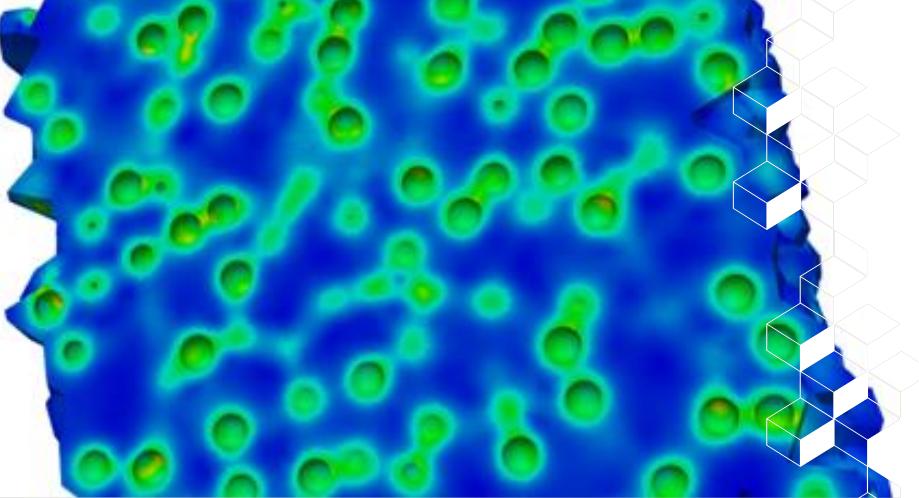
- Date souhaitée de début de thèse :
November 2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
LEBON Frédéric (AMU)
RAMIERE Isabelle (CEA)
LATU Guillaume (CEA)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
RAMIERE Isabelle
Isabelle.ramiere@cea.fr





Simulation de l'amorçage et de la propagation de la fissuration dans des matériaux hétérogènes aléatoires

DEC/SESC/LMCP

Ce sujet de thèse s'intéresse à la fissuration des combustibles nucléaires à l'échelle de la microstructure, phénomène essentiel à comprendre pour modéliser le comportement des matériaux sous irradiation.

L'amorçage et la propagation de fissures peuvent entraîner le relâchement de gaz de fission et la formation de fragments susceptibles de déplacer la matière fissile. Les modèles actuels reposent sur des représentations simplifiées de la microstructure poreuse, et des critères de rupture empiriques, ce qui limite leur précision physique et leur validation par effets séparés.

Pour dépasser ces limites, le travail de thèse proposé consiste à s'appuyer sur des approches multi-échelles et des simulations par éléments finis en calcul parallèle haute performance (HPC). Les objectifs principaux sont d'arriver à définir un Volume Élémentaire Représentatif (VER) pour l'amorçage de la fissuration dans des matériaux à porosité aléatoire, améliorer les critères de rupture utilisables dans les codes de calculs et définir leurs incertitudes, et enfin établir le domaine de validité pour l'analyse de la propagation dans le VER.

Le premier axe de recherche consiste à définir rigoureusement la taille du VER à partir de grandeurs locales comme la contrainte principale maximale. Des méthodes de réduction de variance seront utilisées pour optimiser le nombre de calculs nécessaires et estimer les erreurs associées.

Dans un second temps, les simulations réalisées pour déterminer le VER serviront à améliorer les modèles opérationnels. L'approche cherchera à séparer l'effet mécanique d'une bulle isolée de celui des interactions entre bulles voisines. Des techniques de Machine Learning pourront être utilisées pour développer ce nouveau modèle. La validation s'appuiera sur

des mesures indirectes de la fissuration, comme le relâchement gazeux observé lors de recuits thermiques, notamment pour des combustibles à haut taux de combustion (HBS), où les modèles classiques échouent à prédire la cinétique de fissuration.

Enfin, la propagation des fissures à l'intérieur du VER sera étudiée par des simulations 3D de type champ de phase, permettant de représenter finement les différentes étapes de propagation post-amorçage. L'influence des conditions aux limites du VER sera examinée par comparaison à des simulations sur des domaines plus larges.

La thèse se déroulera dans l'équipe de développement de la plateforme numérique PLEIADES, spécialiste de la simulation du comportement du combustible et des méthodes numériques multi-échelles. Elle sera réalisée en collaboration avec le CNRS/LMA dans le cadre du laboratoire commun MISTRAL, notamment sur les aspects analyse de la représentativité du milieu aléatoire et simulation micromécanique de la propagation des fissures.

Références

- [1] L. Belgrand, I. Ramière, R. Largenton, F. Lebon, Mathematics 10 (23), 4437 (2022).
- [2] S. Brisard, M. Bertin, F. Legoll, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 417 (2023) 116389.
- [3] C. Esnoul, Thèse de doctorat, Aix Marseille Université, 2018. <http://www.theses.fr/s111452>.

▪ Formation recommandée :
Master II ou école d'ingénieur en mécanique numérique

▪ Ecole doctorale :
ED 353- Sciences de l'ingénieur

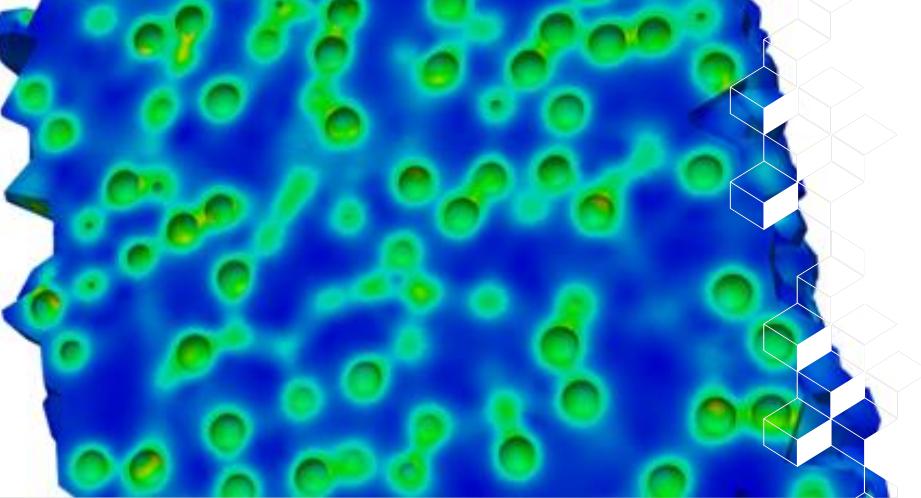
▪ Date souhaitée de début de thèse :
Novembre 2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :
BRISARD Sébastien (LMA)
RAMIERE Isabelle (CEA)
MICHEL Bruno (CEA)

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
RAMIERE Isabelle
isabelle.ramiere@cea.fr





Simulation of crack initiation and propagation in random heterogeneous materials

DEC/SESC/LMCP

This PhD thesis is concerned with cracking in nuclear fuels at the microstructure level, a phenomenon that is essential to understand in order to model the behavior of materials under irradiation.

Crack initiation and propagation can lead to the release of fission gases and the formation of fragments inducing fissile matter displacement. Current models are based on simplified representations of the porous microstructure and empirical fracture criteria, which limits their physical accuracy and validation by separate effects.

To overcome these limitations, the proposed thesis work consists of using multi-scale approaches and high-performance computing (HPC) finite element simulations. The main objectives are to define a Representative Volume Element (RVE) for crack initiation in materials with random porosity, improve the failure criteria used in legacy codes and define their uncertainties, and finally establish the domain of validity for analyzing crack propagation in the RVE.

The first line of research consists of rigorously defining the size of the RVE based on local physical variables such as the maximum principal stress. Variance reduction methods will be used to optimize the number of calculations required and estimate the associated errors.

In a second step, simulations performed to determine the RVE size will be used to improve industrial models. The approach will seek to separate the mechanical effects of an isolated bubble from those resulting from interactions between neighboring bubbles. Machine learning techniques may be used to develop this new model. Validation will be based on indirect measurements of cracking, such as gas release observed during thermal annealing, particularly for high burn-up structure (HBS) fuels,

where legacy models fail to predict the kinetics of cracking.

Finally, crack propagation within the RVE will be studied using 3D phase field simulations, which allow for detailed representation of the various stages after the crack initiation. The influence of boundary conditions on the RVE will be examined by comparison with simulations on larger domains.

The thesis will be carried out at the Institute for Research on Nuclear Systems for Low-Carbon Energy Production (IRESNE) of the CEA Cadarache, within the PLEIADES platform development team, which is specialized in fuel behavior simulation and multiscale numerical methods. It will be conducted in collaboration with the CNRS/LMA as part of the MISTRAL joint laboratory, notably on aspects relating to the analysis of random medium representativeness and micromechanical simulation of crack propagation.

References

- [1] L. Belgrand, I. Ramière, R. Largentot, F. Lebon, *Mathematics* 10 (23), 4437 (2022).
- [2] S. Brisard, M. Bertin, F. Legoll, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 417 (2023) 116389.
- [3] C. Esnoul, *Thèse de doctorat*, Aix Marseille Université, 2018. <http://www.theses.fr/s111452>.

- Formation recommandée :

Master II ou engineering school in computational mechanics

- Ecole doctorale :

ED 353 – Engineering science

- Date souhaitée de début de thèse :

November 2026

- Lieu :

CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

BRISARD Sébastien (LMA)

RAMIERE Isabelle (CEA)

MICHEL Bruno (CEA)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

RAMIERE Isabelle

isabelle.ramiere@cea.fr



Modélisation micromécanique du comportement de polycristaux aux interfaces imparfaites : application au combustible UO_2 irradié

DEC/SESC/LMCP

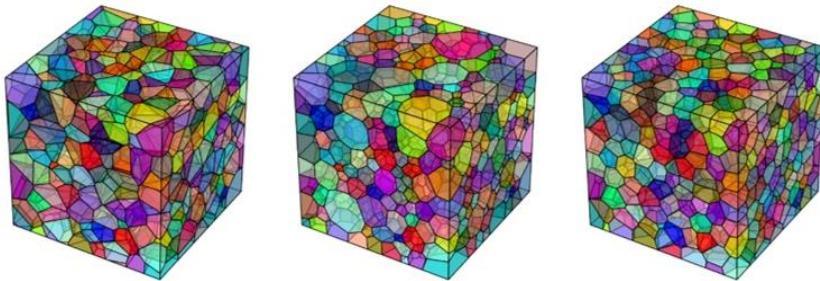


Fig. Exemples de microstructures polycristallines générées numériquement [1]

Cette thèse a pour objectif d'analyser les propriétés thermomécaniques du combustible UO_2 , utilisé dans les réacteurs à eau pressurisée, en présence de défauts microscopiques. Celle-ci s'intéresse aux phénomènes de décohésion intergranulaire, observés à différents stades d'évolution du combustible – notamment en amont de l'initiation et de la propagation de fissures – et vise à clarifier l'impact de la décohésion sur les propriétés locales et macroscopiques de l' UO_2 au cours de son irradiation. La décohésion sera modélisée localement à l'aide de modèles d'interfaces imparfaites, assurant la continuité de la traction, mais autorisant un saut de déplacement à l'interface. Ce choix permettra le développement de modèles, analytiques et numériques, en mesure de décrire le comportement du combustible à haute température, en situations incidentielles et accidentielles.

Lors d'un accident de perte de réfrigérant primaire, que ce soit en zone saine ou en zone restructurée, la surpression de bulles de gaz, situées aux joints de grains, constitue un des mécanismes principaux à l'origine de la décohésion intergranulaire à l'échelle de la microstructure. Sous l'effet de l'irradiation neutronique, les produits de fission migrent préférentiellement vers les joints de grains, entraînés par des mécanismes de diffusion et de transport. L'accumulation de produits de fission conduit à une augmentation locale de la pression, susceptible de provoquer une décohésion progressive aux joints de grains, endommageant ainsi le combustible. L'influence des effets de décohésion sur les propriétés de l' UO_2 demeure une question encore ouverte. En effet, la considération de décohésion partielle ou totale ne s'inscrit pas dans le cadre classique de la théorie de l'homogénéisation.

Une stratégie couramment utilisée en élasticité linéaire consiste à recourir à l'approximation de Ponte Castañeda et Willis [2], ainsi qu'au concept d'inclusion équivalente développé par Hashin [3], pour estimer les propriétés effectives de matériaux composites à renforts aux interfaces imparfaites. Cette approche repose sur l'idée de remplacer les propriétés élastiques de la phase renforçante par des propriétés équivalentes modifiées, incorporant les propriétés élastiques moyennées de l'interface.

Un des objectifs de la thèse sera donc d'étendre cette approche aux matériaux polycristallins, et plus spécifiquement à l' UO_2 . Les estimations obtenues seront confrontées à plusieurs résultats de la littérature, ainsi qu'à des simulations en champ complet, basées sur l'utilisation de transformées de Fourier rapides (FFT) sur des grilles irrégulières [4].

Ces travaux seront réalisés au CEA Cadarache au sein de l'Institut de Recherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Energie bas carbone (IRESNE) en étroite collaboration avec des équipes de recherche nationales et internationales (États-Unis). Les outils développés contribueront à améliorer la compréhension des propriétés du combustible et à renforcer la précision et la fiabilité des modèles existants, notamment ceux intégrés dans la plateforme de simulation PLEIADES du CEA, développée en collaboration avec les industriels français du nucléaire.

Références :

- [1] Quay & Kasemer : IOP Conference Series Material Science and Engineering 1249, 012021 (2022).
- [2] Ponte Castañeda & Willis : J. Mech. Phys. Solids 43, 1919–1951 (1996).
- [3] Hashin : Mech. Mater. 8, 333–348 (1990).
- [4] Zecevic, Lebensohn & Capolungo : Mech. Mater. 166, 104208 (2022).

- Formation recommandée :

Master 2 ou 3^{ème} année d'école d'ingénieur avec une spécialisation en mécanique numérique ou mécanique des matériaux

- Ecole doctorale :

ED 353 - Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique - Aix-Marseille Université

- Date souhaitée de début de thèse :

01/11/2026

- Lieu :

CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

MASSON Renaud
(DEC/SESC/LMCP)

IDIART Martin
(Université Nationale de La Plata, Argentine)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

GALLICAN Valentin

valentin.gallican@cea.fr



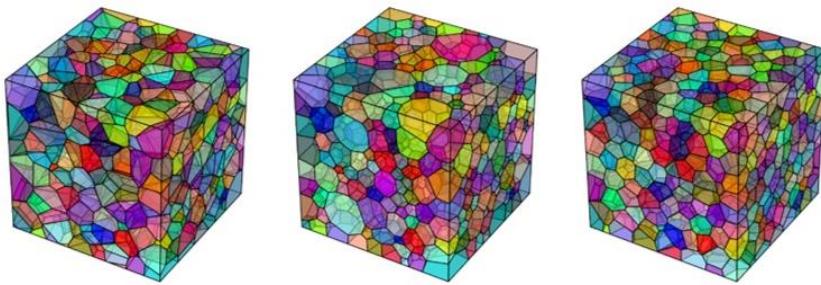


Fig. Examples of numerically generated polycrystalline microstructures [1]

Micromechanical modeling of the behavior of polycrystals with imperfect interfaces: application to irradiated UO_2 fuel

DEC/SESC/LMCP

The objective of this work is to analyze the thermomechanical properties of UO_2 fuel used in pressurized-water reactors in the presence of microscopic defects. It focuses on intergranular decohesion phenomena observed at various stages of fuel evolution—particularly prior to crack initiation and propagation—and aims to clarify the influence of debonding on the local and macroscopic properties of UO_2 during irradiation. Debonding will be modeled locally using imperfect interface models, which enforce traction continuity while allowing displacement jumps across the interface. This approach will enable the development of analytical and numerical models suitable of describing the high-temperature behavior of the fuel under incidental and accidental conditions.

During a loss-of-coolant accident, whether in the unstructured or restructured region, the overpressure of gas bubbles located at grain boundaries is one of the main mechanisms responsible for intergranular decohesion at the microscale. Under neutron irradiation, fission products migrate preferentially toward grain boundaries, driven by diffusion and transport processes. The accumulation of fission products leads to a local increase in pressure that can progressively induce decohesion at grain boundaries, thereby damaging the fuel. The influence of decohesion effects on the properties of UO_2 remains an open question. Indeed, the presence of partial or complete decohesion does not fit within the classical framework of homogenization theory.

A commonly used strategy in linear elasticity is to rely on the Ponte Castañeda–Willis approximation [2], combined with the equivalent inclusion concept introduced by Hashin [3], to estimate the effective properties of particle-reinforced materials with imperfect interfaces. This approach is based on the idea of replacing the elastic properties of the reinforcing phase with modified equivalent properties that incorporate the averaged elastic response of the interface.

One of the objectives of this thesis will therefore be to extend this approach to polycrystalline materials, and more specifically to UO_2 . The resulting estimates will be compared with several findings from the literature, as well as with full-field simulations based on fast Fourier transforms (FFT) on irregular grids [4].

This work will be carried out at CEA Cadarache within the Institute for REsearch on Nuclear Systems for low-Carbon Energy production (IRESNE), in close collaboration with national and international research teams (United States). The tools developed will help improve the understanding of fuel properties and enhance the accuracy and reliability of existing models, particularly those implemented in the CEA's PLEIADES simulation platform, developed in collaboration with French nuclear industry stakeholders.

References:

- [1] Quey & Kasemer : IOP Conference Series Material Science and Engineering 1249, 012021 (2022).
- [2] Ponte Castañeda & Willis : J. Mech. Phys. Solids 43, 1919–1951 (1996).
- [3] Hashin : Mech. Mater. 8, 333–348 (1990).
- [4] Zecevic, Lebensohn & Capolungo : Mech. Mater. 166, 104208 (2022).

- Formation recommandée :

Master's degree (M2) or third year of engineering school with a specialization in computational mechanics or materials mechanics

- Ecole doctorale :

ED 353 - Mechanics, Physics, Micro et Nanoelectronics - Aix-Marseille University

- Date souhaitée de début de thèse :

01/11/2026

- Lieu :

CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

MASSON Renaud
(DEC/SESC/LMCP)

IDIART Martin
(UNLP, Argentina)

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

GALLICAN Valentin

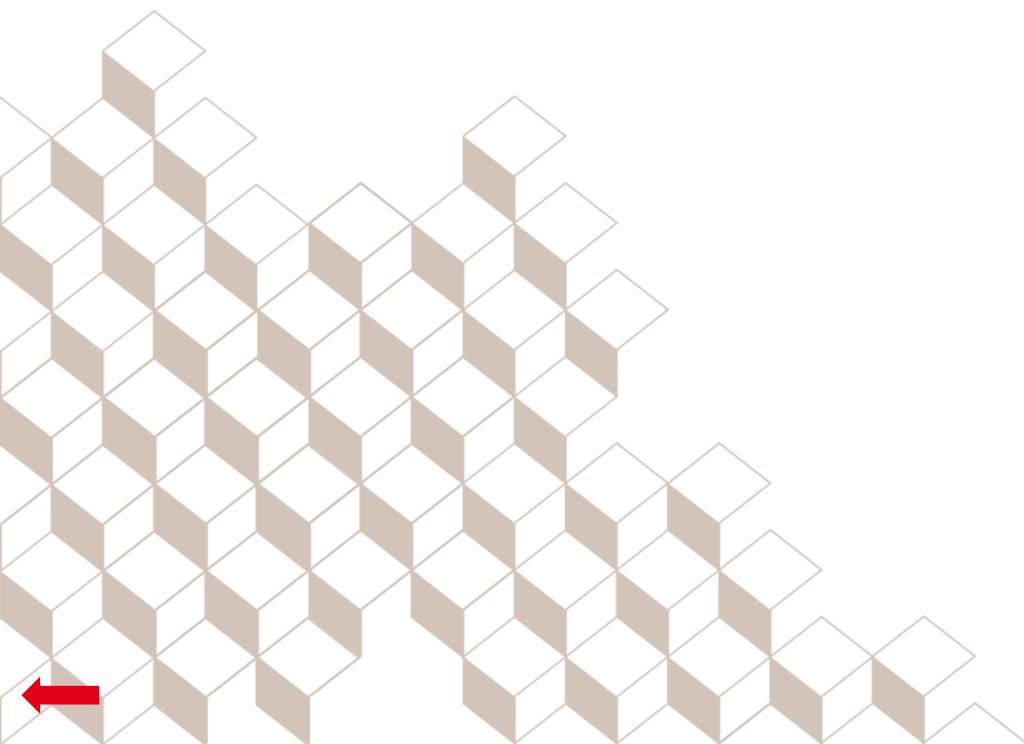
valentin.gallican@cea.fr

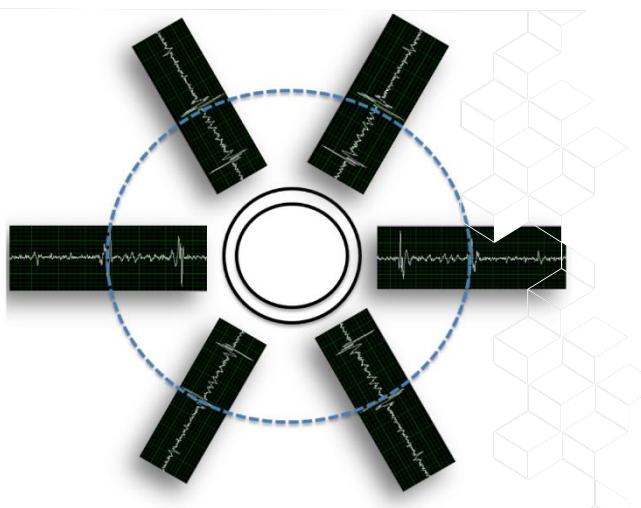
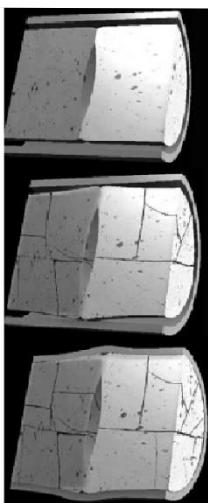


SETC

Service
d'exploitation et de
traitements des
combustibles

Operating and Fuel Treatment Unit





Imagerie acoustique des interfaces métal/céramique sur éléments combustibles irradiés : de la mise en œuvre à l'interprétation

DEC/SETC/LEPC

Cette thèse s'inscrit dans les programmes de R&D du CEA sur le comportement des crayons combustibles de réacteurs à eau pressurisée, en appui aux industriels EDF et Framatome. Elle vise à développer et qualifier une méthode d'imagerie acoustique non destructive pour caractériser l'interface pastille/gaine sur des éléments irradiés, afin de fournir de nouvelles données pour la simulation du comportement du combustible.

Les crayons combustibles des REP sont constitués d'une gaine en alliage de zirconium renfermant des pastilles céramiques d'oxyde d'uranium ou d'oxydes mixtes. Sous irradiation, les conditions de température, de pression interne et de chimie du milieu modifient progressivement le jeu pastille-gaine et l'adhérence à l'interface métal/céramique, en lien avec la formation d'oxyde interne (zircone), de dépôts de combustible et de zones de contact ou de décollement. Ces évolutions locales ont un impact direct sur le comportement thermomécanique du crayon, alors qu'elles ne sont aujourd'hui documentées de manière fine que par des analyses destructives très localisées (coupes métallographiques, microscopie) sur un nombre limité de sections.

Une première thèse CEA-Université de Montpellier a démontré, en laboratoire froid sur échantillons modèles, la faisabilité d'une imagerie acoustique haute résolution de la face interne de la gaine, capable de distinguer différentes configurations de contact et de zircone à l'interface. La transposition à des crayons irradiés reste toutefois un verrou : la présence de zircone externe, la complexité du trajet des ondes à travers plusieurs couches et l'absence de calibration sur interfaces réelles rendent l'interprétation des signaux délicate.

L'objectif de la thèse est de doter le banc MEGAFOX de l'Installation Nucléaire LECA-STAR, banc d'examens non destructifs (END) de référence pour les crayons irradiés (mesures dimensionnelles, examens de santé du crayon, épaisseur de zircone, examen visuel, etc.), d'une cassette de mesures d'imagerie acoustique dédiée développée en collaboration avec l'IES (Institut d'Electronique et des Systèmes de l'Université de Montpellier). Le·la doctorant(e) établira un protocole complet de qualification de la chaîne de mesure, d'abord hors INB (Installation

Nucléaire de Base) sur maquettes et échantillons de référence, puis en cellule de haute activité sur crayons irradiés : optimisation des conditions de couplage, étude expérimentale et numérique de l'impact de la zircone externe, développement d'algorithmes de traitement permettant de corriger les effets de surface et d'extraire des indicateurs robustes de l'état de contact pastille-gaine (jeu ouvert, oxyde intermédiaire, zones adhérentes), avec une résolution axiale et azimutale de l'ordre de la dizaine de micromètres.

Les travaux seront conduits au sein de l'Institut IRESNE (CEA Cadarache), au laboratoire LEPC, en forte interaction avec l'équipe d'acoustique de l'IES et les spécialistes du comportement du combustible, offrant au·à la doctorant(e) un environnement de recherche à l'interface entre expérimentation, instrumentation avancée et modélisation. À l'issue de la thèse, la méthode devra être suffisamment mature pour être intégrée dans la chaîne d'examens non destructifs en cellule de haute activité, avec un protocole de mesure et d'interprétation formalisé, des jeux de données de référence corrélés aux examens destructifs et des recommandations directement exploitable par les modélisateurs et les partenaires industriels.

Cette thèse offre un cadre expérimental unique : essais en INB et en cellule de haute activité sur des crayons irradiés, mise en œuvre d'une instrumentation acoustique de pointe développée avec l'IES et utilisation de bancs d'examens de référence. Elle s'adresse à un(e) candidat(e) attiré(e) par le travail pratique et le traitement du signal, qui souhaite acquérir des compétences rares en imagerie acoustique et en examen non destructif de composants nucléaires, à l'interface entre recherche académique et enjeux industriels de sûreté et de performance du combustible.

▪ Formation recommandée :
Master 2 ou diplôme d'ingénieur en physique, acoustique, instrumentation, traitement du signal ou domaine proche (sciences pour l'ingénieur)

▪ Ecole doctorale :
Université de Montpellier – École doctorale n°166 I2S (Information, Structures, Systèmes)

▪ Date souhaitée de début de thèse :
01 Octobre 2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache (Saint-Paul-lez-Durance) – Université de Montpellier.(IES)

▪ Directeur(s) de thèse :

Gilles Despaux (IES, Université de Montpellier) – directeur de thèse

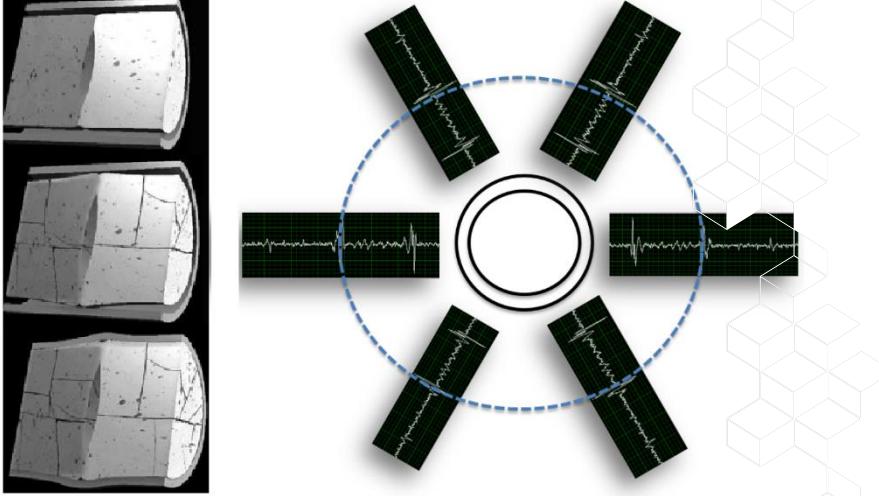
Emmanuel Le Clézio (IES, Université de Montpellier) – co-directeur de thèse

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

Amine Callejon

Mail : amine.callejon@cea.fr

Tél. : 04 42 25 63 43



Acoustic imaging of metal/ceramic interfaces in irradiated fuel rods: from implementation to interpretation

DEC/SETC/LEPC

This PhD is part of CEA's R&D programs on the behavior of pressurized-water reactor (PWR) fuel rods, in support of industrial partners EDF and Framatome. It aims to develop and qualify a non-destructive acoustic imaging method to characterize the pellet-clad interface in irradiated fuel rods, in order to provide new data for the simulation of fuel behavior.

Fuel rods in pressurized-water reactors (PWRs) consist of a zirconium-alloy cladding enclosing ceramic pellets of uranium oxide or mixed oxides. Under irradiation, temperature, internal pressure, and coolant chemistry progressively modify the pellet-clad gap and the adhesion at the metal/ceramic interface, in connection with the formation of an internal zirconia layer, fuel deposits, and bonded or debonded regions. These local evolutions have a direct impact on the thermo-mechanical behavior of the fuel rod, yet they are currently documented in detail only through highly localized destructive analyses (metallographic sections, microscopy) on a limited number of cross-sections.

A first CEA–University of Montpellier PhD has demonstrated, in a cold laboratory on model samples, the feasibility of high-resolution acoustic imaging of the inner surface of the cladding, capable of distinguishing different contact configurations and zirconia at the interface. However, transferring this approach to irradiated fuel rods remains a key challenge: the presence of external zirconia, the complexity of the wave path through several layers, and the absence of calibration on real interfaces make signal interpretation difficult.

The objective of this PhD is to equip the MEGAFOX bench of the LECA-STAR basic nuclear installation (INB), the reference non-destructive examination (NDE) bench for irradiated fuel rods (dimensional measurements, rod health examinations, zirconia thickness, visual inspection, etc.), with a dedicated acoustic imaging cassette developed in collaboration with IES (University of Montpellier). The PhD student will establish a complete qualification protocol for the measurement chain, first outside the INB on mock-ups and reference samples, then in high-activity hot cells on irradiated rods: optimization of coupling conditions, experimental

and numerical study of the impact of external zirconia, development of processing algorithms to correct surface effects and to extract robust indicators of the pellet-clad contact state (open gap, intermediate oxide, bonded areas), with axial and azimuthal resolutions on the order of ten micrometers.

The work will be carried out within the IRESNE Institute (CEA Cadarache), in the LEPC laboratory, in close interaction with the acoustics team at IES and with fuel behavior specialists. This will offer the PhD student a research environment at the interface between experimentation, advanced instrumentation and modeling. At the end of the PhD, the method must be sufficiently mature to be integrated into the non-destructive examination chain in high-activity hot cells, with a formalized measurement and interpretation protocol, reference datasets correlated with destructive examinations, and recommendations directly usable by modelers and industrial partners.

This PhD offers a unique experimental framework: tests in a basic nuclear installation and in high-activity hot cells on irradiated fuel rods, implementation of state-of-the-art acoustic instrumentation developed with IES, and the use of reference examination benches. It is aimed at a candidate who is attracted by hands-on experimental work and signal processing, and who wishes to acquire rare skills in acoustic imaging and non-destructive examination of nuclear components, at the interface between academic research and industrial issues relating to fuel safety and performance.

- Formation recommandée :
MSc (Master's degree) or engineering diploma in physics, acoustics, instrumentation, signal processing or a related field (engineering sciences)

- Ecole doctorale :
University of Montpellier – Doctoral School No. 166 I2S (Information, Structures, Systems)
- Date souhaitée de début de thèse :
1 October 2026

- Lieu :
CEA Cadarache (Saint-Paul-lez-Durance, France) – University of Montpellier (IES)
- Directeur(s) de thèse :
Gilles Despaux (IES, University of Montpellier) – PhD supervisor
Emmanuel Le Clézio (IES, University of Montpellier) – co-supervisor

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
Amine Callejon
Email: amine.callejon@cea.fr
Phone: +33 4 42 25 63 43



Département d'Etudes des réacteurs

Le Département d'Etudes des Réacteurs (DER) est une unité de recherche appliquée d'environ 230 salariés (dont 80% sont des chercheurs et ingénieurs, et 20% sont des techniciens). Le département accueille annuellement environ 50 doctorants, post-doctorants et apprentis.

Les principales activités du DER concernent :

- la préconception d'ensemble de réacteurs nucléaires et systèmes énergétiques innovants, et le soutien au nucléaire industriel actuel (FRAMATOME, EDF, ORANO,...),
- la simulation numérique,
- l'exploitation du réacteur expérimental CABRI et la préparation de l'exploitation du futur réacteur de recherche Jules Horowitz (RJH),
- l'expérimentation en réacteurs de recherche,
- l'instrumentation nucléaire innovante.

Le DER comprend quatre services :

- le Service d'Etudes des Systèmes Innovants (SESI),
- le Service de Physique Expérimentale, d'essais en Sûreté et d'Instrumentation (SPESI),
- le Service de Physique des Réacteurs et du Cycle (SPRC),
- le Service d'Exploitation du Réacteur Jules Horowitz (SERJH).



Reactor Studies Department

The Department of Reactor Studies (DER) is an applied research unit with approximately 230 employees (80% of whom are researchers and engineers, and 20% are technicians). The department hosts around 50 PhD students, post-doctoral researchers, and apprentices annually.

The main activities of the DER include:

- Preliminary design of nuclear reactors and innovative energy systems, as well as support for the current industrial nuclear sector (FRAMATOME, EDF, ORANO,...),
- Numerical simulation,
- Operation of the experimental CABRI reactor and preparation for the operation of the future Jules Horowitz research reactor (RJH),
- Experimentation in research reactors
- Innovative nuclear instrumentation,

The DER is divided into four services:

- The Innovative Systems Study Service (SESI),
- The Experimental Physics, Safety Testing, and Instrumentation Service (SPESI),
- The Reactor and Fuel Cycle Physics Service (SPRC),
- The Jules Horowitz Reactor Operations Service (SERJH).





Sujets de thèse Thesis topics

Département d'études des réacteurs / Reactor Studies Department

SERJH – Service exploitation réacteur Jules Horowitz SERJH – Jules Horowitz Reactor Operations Unit

Modélisation du flux critique à l'aide des méthodes de Boltzmann sur réseau : application aux dispositifs expérimentaux du RJH

Modeling of Critical Heat Flux Using Lattice Boltzmann Methods: Application to the Experimental Devices of the RJH

SESI – Service d'étude des systèmes innovants SESI – Innovative Systems Research Unit

Modélisation et études dynamiques d'un système électronucléaire spatial pour la propulsion

Modeling and dynamic studies of a space Nuclear Electric Propulsion system

Optimisation géométrique sous contrainte de frontières immergées pour la simulation thermo-hydraulique d'écoulements turbulents en volumes finis

Constrained geometric optimization of immersed boundaries for thermal-hydraulic simulations of turbulent flow in a finite-volume approach

SPESI – Service de physique expérimentale d'essais en sûreté et d'instrumentation SPESI – Experimental Physics, Safety Testing and Instrumentation Unit

Développement d'un dosimètre basé sur la capture de xénon dans une zéolithe

Development of a dosimeter based on the adsorption of xenon in a zeolite

SPRC – Service de physique des réacteurs et du cycle SPRC – Reactor and Cycle Physics Unit

Modélisation multiphysique d'un réacteur nucléaire à eau légère fonctionnant en convection naturelle : étude de solutions innovantes pour le démarrage et le contrôle en puissance

Multi-physics modelling of a light water nuclear reactor operating under natural convection: study of innovative solutions for startup and power control

Développement d'un estimateur hybride CPU-GPU pour le transport neutronique : vers une simulation Monte Carlo plus efficace

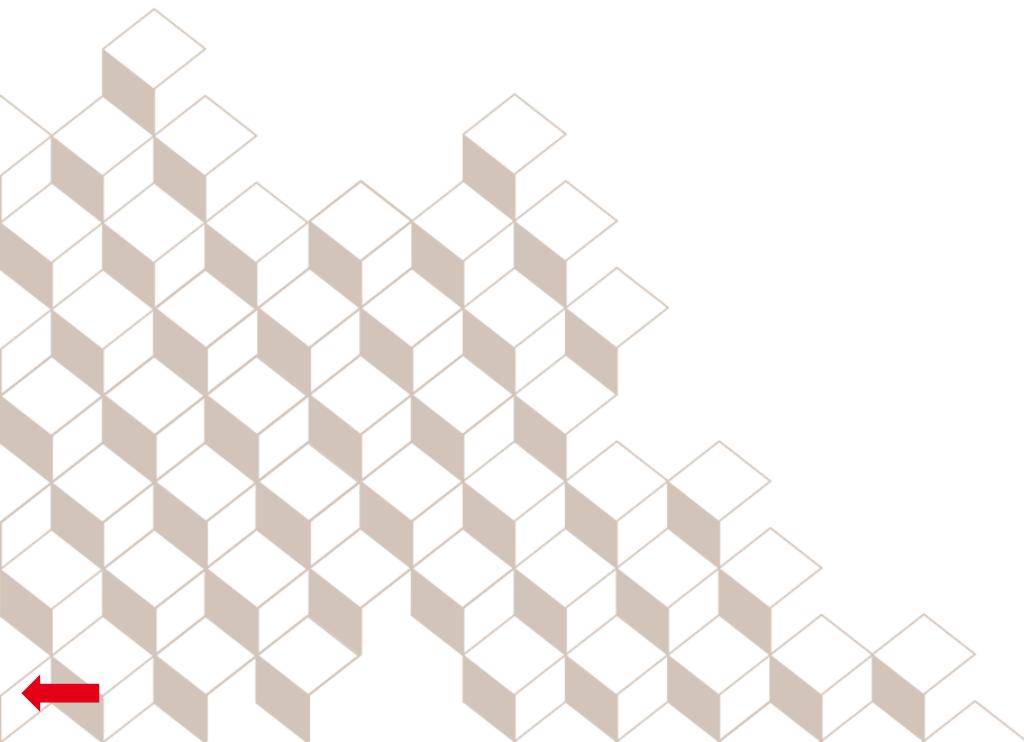
Designing a hybrid CPU-GPU estimator for neutron transport. Advancing eco-efficient Monte Carlo simulations

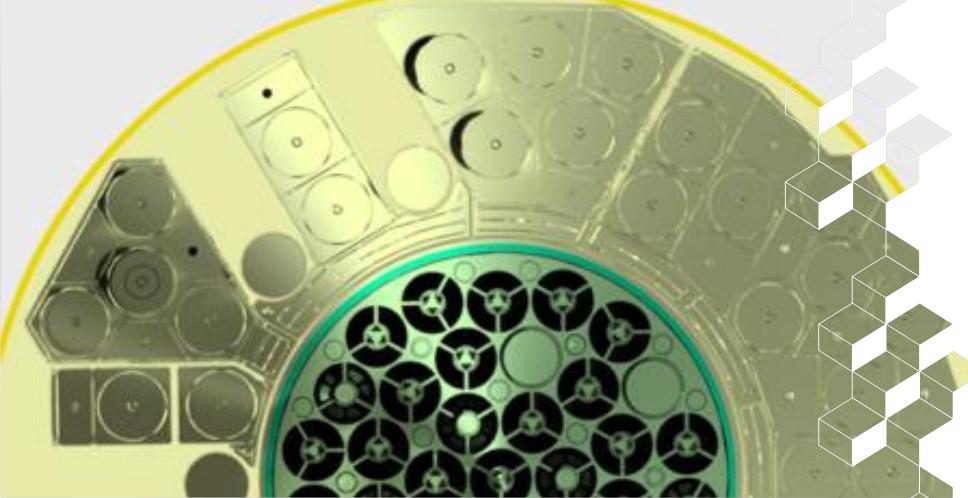


S E R J H

Service exploitation
réacteur Jules
Horowitz

Jules Horowitz Reactor Operations Unit





Modélisation du flux critique à l'aide des méthodes de Boltzmann sur réseau : application aux dispositifs expérimentaux du RJH

DER/SERJH

Les méthodes LBM (Lattice Boltzmann Methods) sont des techniques numériques utilisées pour simuler des phénomènes de transport dans des systèmes complexes.

Elles permettent de modéliser le comportement des fluides en termes de particules qui se déplacent sur une grille discrète (un "réseau" ou lattice). Contrairement aux méthodes classiques, qui résolvent directement les équations différentielles des fluides, les méthodes LBM simulent l'évolution des fonctions de distribution des particules de fluide dans un espace discret, en utilisant des règles de propagation et de collision.

Le choix du réseau dans les méthodes LBM est une étape cruciale, car il affecte directement la précision, l'efficacité et la stabilité des simulations. Le réseau détermine la manière dont les particules de fluide interagiront et se déplaceront dans l'espace, ainsi que la façon dont la discrétisation de l'espace et du temps est effectuée.

Les méthodes LBM présentent un parallélisme naturel, car les calculs à chaque point de la grille sont relativement indépendants. Les méthodes LBM par rapport aux méthodes CFD classiques permettent de mieux capturer certains phénomènes complexes (comme les écoulements multiphasiques, turbulents ou en milieux poreux) car elles reposent sur une modélisation mésoscopique du fluide, directement dérivée de la cinétique des particules, plutôt que sur une résolution macroscopique des équations de Navier-Stokes. Cette approche permet une représentation plus fine des interfaces, des effets non linéaires et des interactions locales, souvent difficiles à modéliser correctement avec les méthodes CFD classiques. Les méthodes LBM permettent donc, à moindre coût, de capturer des phénomènes complexes. Des travaux récents ont notamment montré qu'il était possible, avec les

LBM, de retrouver la courbe de refroidissement de Nukiyama (ébullition en vase) et, ainsi, de calculer avec précision le flux critique. Ce flux correspond à une ébullition en masse, appelée crise d'ébullition, qui se traduit par une dégradation soudaine du transfert thermique.

Le flux critique représente un enjeu crucial pour les dispositifs expérimentaux (DEX) du Réacteur Jules Horowitz, car ils sont refroidis par de l'eau en convection naturelle (dispositifs de type fuel capsule) ou forcée (dispositifs de type boucle). Ainsi, afin de garantir le bon refroidissement des DEX et la sûreté du réacteur, il convient de s'assurer que, sur la gamme de paramètres étudiés, le flux critique ne soit pas atteint. Il doit donc être déterminé avec précision. Les études précédentes menées sur un DEX de type fuel-capsule à l'aide du code NEPTUNE-CFD (méthodes CFD classique) ont montré que la modélisation est limitée à une région située loin du flux critique. De façon générale, les écoulements à fort taux de vide (supérieurs à 10%) ne peuvent être résolus aisément par les approches classiques de la CFD.

L'étudiant sera amené, dans un premier temps, à définir un réseau pour appliquer les méthodes LBM sur un dispositif du RJH en convection naturelle. Il consolidera les résultats sur le flux critique obtenus sur cette configuration en les comparant aux données disponibles. Enfin, des calculs exploratoires en convection forcée (régime laminaire à turbulent) seront menés.

L'étudiant sera accueilli au sein de l'institut IRESNE ou dans l'industrie.

- Formation recommandée :

Mathématiques - Analyse numérique - Simulation

- Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université
Sciences pour l'Ingénieur

- Date souhaitée de début de thèse :

Entre le 01/10 et le 01/12/2026

- Lieu :

Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

BOIVIN Pierre

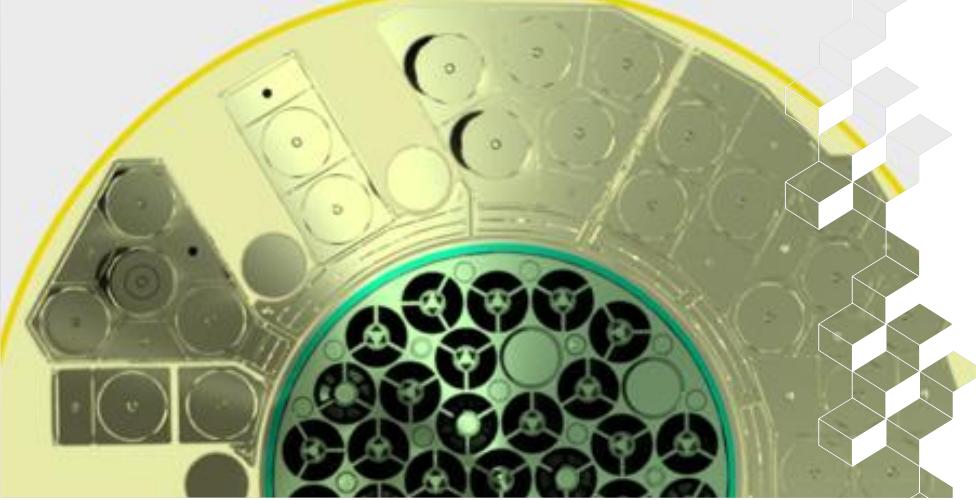
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BOULIN Anne

Anne.BOULIN@cea.fr

0442257823





Modeling of Critical Heat Flux Using Lattice Boltzmann Methods: Application to the Experimental Devices of the RJH

DER/SERJH

LBM (Lattice Boltzmann Methods) are numerical techniques used to simulate transport phenomena in complex systems.

They allow modeling fluid behavior in terms of particles moving on a discrete grid (a "lattice"). Unlike classical methods, which solve the differential equations of fluids directly, LBM simulate the evolution of the fluid particle distribution functions in a discrete space using propagation and collision rules.

The choice of lattice in LBM is a crucial step, as it directly affects the accuracy, efficiency, and stability of the simulations. The lattice determines how fluid particles interact and move through space, as well as how the discretization of space and time is performed.

LBM methods exhibit a natural parallelism because the computations at each grid point are relatively independent. Compared to classical CFD methods, LBM can better capture certain complex phenomena (such as multiphase, turbulent, or porous media flows) because they rely on a mesoscopic modeling of the fluid, directly derived from particle kinetics, rather than on a macroscopic resolution of the Navier–Stokes equations. This approach allows for a finer representation of interfaces, nonlinear effects, and local interactions, which are often difficult to model accurately using classical CFD methods. LBM therefore enables the capture of complex phenomena at a lower computational cost. Recent studies have notably shown that LBM can reproduce the Nukiyama boiling curve (pool boiling) and, consequently, accurately calculate the critical heat flux. This flux corresponds to a bulk boiling, known as a boiling crisis, which results in a sudden degradation of heat transfer.

The critical heat flux is a crucial issue

for the experimental devices (DEX) of the Jules Horowitz Reactor, as they are cooled by water either via natural convection (fuel capsule-type devices) or forced convection (loop-type devices). Thus, to ensure the proper cooling of the DEX and reactor safety, it is essential to verify that the critical heat flux is not reached within the studied parameter range. It must therefore be determined with precision. Previous studies conducted on a fuel-capsule-type DEX using the NEPTUNE-CFD code (classical CFD methods) have shown that modeling is limited to regions far from the critical heat flux. In general, flows with high void fractions (greater than 10%) cannot be easily resolved using classical CFD approaches.

The student will first define a lattice to apply LBM to a RJH device under natural convection. They will consolidate the results obtained for the critical heat flux on this configuration by comparing them with available data. Finally, exploratory calculations under forced convection (laminar to turbulent regime) will be conducted.

The student will be hosted at the IRESNE institute.

- Formation recommandée :

Mathematics – Numerical Analysis – Simulation

- Ecole doctorale :
Aix-Marseille University

- Date souhaitée de début de thèse :

Between 10/01 and 12/01/2026.

- Lieu :
CEA Cadarache Center

- Directeur(s) de thèse :
BOIVIN Pierre

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BOULIN Anne

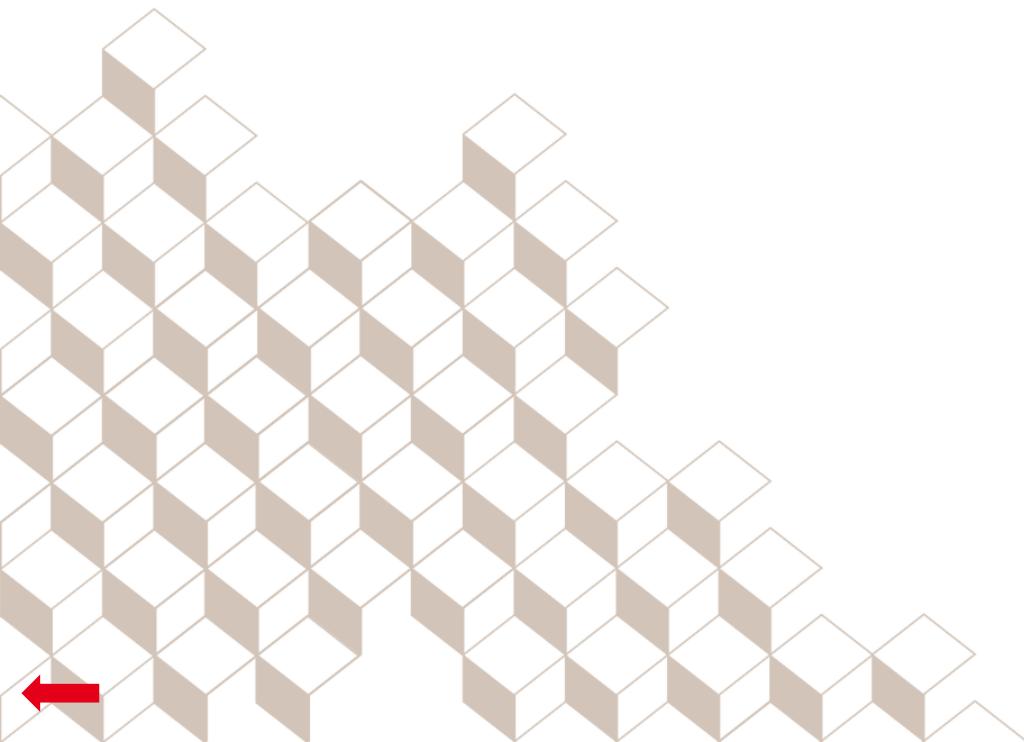
Anne.BOULIN@cea.fr

0442257823

SESI

Service d'étude
des systèmes
innovants

Innovative Systems Research Unit





Modélisation et études dynamiques d'un système électronucléaire spatial pour la propulsion

DER/SESI/LCOS

La technologie nucléaire est clef pour permettre l'installation de bases scientifiques sur la Lune ou sur Mars, ou encore l'exploration de l'espace lointain.

Son utilisation peut prendre plusieurs formes (par ex. Radioisotope Thermoelectric Generators, Nuclear Thermal Propulsion) et ce sujet de thèse s'intéresse à la Nuclear Electric Propulsion (NEP) : la chaleur produite par un réacteur nucléaire est convertie en électricité, afin d'alimenter un moteur de propulsion ionique. Différents concepts ont été étudiés par le passé (PROMETHEUS, MEGAHIT et DEMOCRITOS, typiquement pour des missions d'exploration des satellites de Jupiter) tandis qu'actuellement des études de conception sont en cours au CEA pour un système électronucléaire NEP de 100 kWe.

Le système d'intérêt combine plusieurs choix de conception très spécifiques : combustible en nitride d'uranium, refroidissement direct au gaz (mélange hélium-xénon) et système de conversion d'énergie basé sur un cycle de Brayton, ou encore évacuation de la chaleur fatale par rayonnement thermique. Ces choix répondent à des exigences de masse et d'encombrement à minimiser, et de performance et de fiabilité à assurer pour la durée de la mission scientifique. L'analyse du comportement dynamique du système électronucléaire est donc cruciale pour la réussite du projet. Toutefois, la question de la modélisation transitoire d'un système électronucléaire spatial complet est très peu traitée dans l'état de l'art, et ce particulièrement pour la NEP.

Les objectifs de la thèse sont donc de rechercher et de développer des modélisations physiques adaptées à un système NEP, de proposer une démarche pour leur validation, et enfin de les mettre en œuvre pour analyser le comportement dynamique du réacteur

et contribuer à l'amélioration de sa conception. On étudiera notamment plusieurs phases d'une mission : le démarrage du réacteur dans l'espace, les transitoires de variation de puissance fournie au moteur de propulsion ionique, la réponse du réacteur en cas d'avarie, et son arrêt éventuel avec la problématique d'évacuation sûre de la puissance résiduelle.

La thèse sera réalisée à l'Institut IRESNE (CEA Cadarache), dans un environnement scientifique stimulant, et intégrée dans une équipe de conception de réacteurs nucléaires innovants. Le CNES sera aussi impliqué dans le suivi des travaux, notamment pour définir les caractéristiques du moteur de propulsion ionique et les missions d'exploration d'intérêt pour le système électronucléaire. Le sujet de thèse, combinant modélisation, mécanique des fluides, thermodynamique, neutronique et mécanique spatiale, se prêtera à la communication scientifique et permettra de développer des compétences clefs pour une carrière académique ou dans l'industrie.

- Formation recommandée :

Energie, thermique, combustion, écoulements

- Ecole doctorale :
Université Grenoble Alpe

- Date souhaitée de début de thèse :

Entre le 01/10 et le 01/12/2026

- Lieu :
Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

BERTRAND Frédéric

frédéric.bertrand@cea.fr

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MASCARON Martin

Martin.MASCARON@cea.fr

0442254196





Modeling and dynamic studies of a space Nuclear Electric Propulsion system

DER/SESI/LCOS

Nuclear technology is key to enabling the establishment of scientific bases on the Moon or Mars, or for exploring deep space.

Its use can take several forms (RTG, NTP among others), but this thesis focuses on Nuclear Electric Propulsion (NEP): heat produced by a nuclear reactor is converted into electricity to power an ionic propulsion engine. Various concepts have been studied in the past (PROMETHEUS, MEGAHIT and DEMOCRITOS, typically for Jupiter satellite exploration missions), while currently design studies are underway at CEA for a 100 kWe nuclear-electric NEP system.

The system of interest combines several specific design choices: uranium nitride fuel, direct gas cooling (helium-xenon mixture) and energy conversion system based on a Brayton cycle, as well as waste heat evacuation through thermal radiation. These choices address requirements to minimize mass and volume, and to ensure performance and reliability for the duration of the scientific mission. Analysis of the dynamic behavior of the nuclear-electric system is therefore crucial for project success. However, the issue of transient modeling of a complete spatial nuclear-electric system is very poorly addressed in the state of the art, especially for NEP.

The thesis objectives are therefore to research and develop physical models adapted to a NEP system, to propose an approach for their validation, and finally to implement them to analyze the dynamic behavior of the reactor and contribute to improving its design. Several mission phases will be studied: reactor startup in space, power variation transients for the ionic propulsion engine, reactor response in case of failure, and its potential shutdown with the problem of safe residual power evacuation.

The thesis will be conducted at IRESNE Institute (CEA Cadarache), in a stimulating scientific environment, and integrated into a team designing innovative nuclear reactors. CNES will also be involved in monitoring the work, particularly to define the ionic propulsion engine characteristics and exploration missions of interest for the nuclear-electric system. The thesis topic, combining modeling, fluid mechanics, thermodynamics, neutronics, and space mechanics, will lend itself to scientific communication and allow the development of key skills for an academic or industrial career.

- Formation recommandée :

Energie, thermique, combustion, écoulements

- Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes

- Date souhaitée de début de thèse :

Between 10/01 and 12/01/2026.

- Lieu :

CEA Cadarache Center

- Directeur(s) de thèse :

BERTRAND Frédéric

frédéric.bertrand@cea.fr

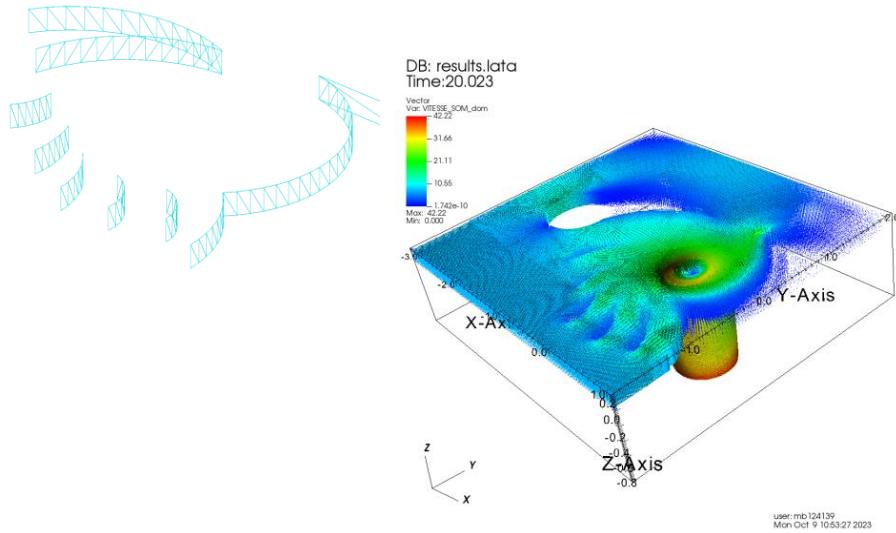
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MASCARON Martin

Martin.MASCARON@cea.fr

0442254196





Optimisation géométrique sous contrainte de frontières immergées pour la simulation thermo-hydraulique d'écoulements turbulents en volumes finis

DER/SESI/LEMS

La problématique sous-jacente à ce sujet de thèse concerne la mitigation des conséquences liées à un accident de perte de réfrigérant primaire dans un réacteur à eau pressurisée à boucles.

Il est de la plus haute importance de minimiser le débit d'eau sortant de la cuve et de gérer le mieux possible les réserves d'eau froide disponibles pour les injections de sûreté, afin d'empêcher ou de retarder le dénoyage du cœur, sa surchauffe et sa possible dégradation. On envisage pour cela l'utilisation de dispositifs passifs fonctionnant sur le principe des diodes hydrauliques, tels que les limiteurs de débit en cuve ou les accumulateurs avancés. Le sujet de cette thèse est l'optimisation géométrique de ce type de dispositif, décrit par une frontière immergée, afin de maximiser son efficacité de service.

Plusieurs thèses précédentes ont permis l'introduction dans le logiciel TRUST/TrioCFD de la méthode de frontière immergée Penalized Direct Forcing (PDF), sous diverses discrétisations spatiales et pour des régimes laminaires et turbulents. De même, elles ont statué sur les possibilités d'optimisation géométrique déterministe en éléments finis, au cours de la simulation, en s'appuyant sur l'utilisation de la méthode PDF.

Après une étude bibliographique de ce type de méthode, on s'intéressera aux possibilités de sa mise en œuvre pour des écoulements turbulents, en discrétisation volumes finis, à la prise en compte des contraintes et à la comparaison avec des calculs de référence. Cette comparaison sera réalisée sur des configurations académiques et industrielles (accumulateurs et limiteurs de débit).

Le doctorant sera intégré dans une unité de recherche sur les systèmes nucléaires innovants au sein de l'Institut IRESNE (CEA Cadarache). Il développera des compétences en mécanique des fluides et méthodes numériques.

▪ Formation recommandée :

Mathématiques - Analyse numérique - Simulation

▪ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Sciences pour l'Ingénieur :
Mécanique, Physique,
Micro et
Nanoélectronique
(SIMPMMN)

▪ Date souhaitée de début de thèse :

Entre le 01/10 et le
01/12/2026

▪ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :

Belliard Michel

michel.belliard@cea.fr

Pantz Olivier

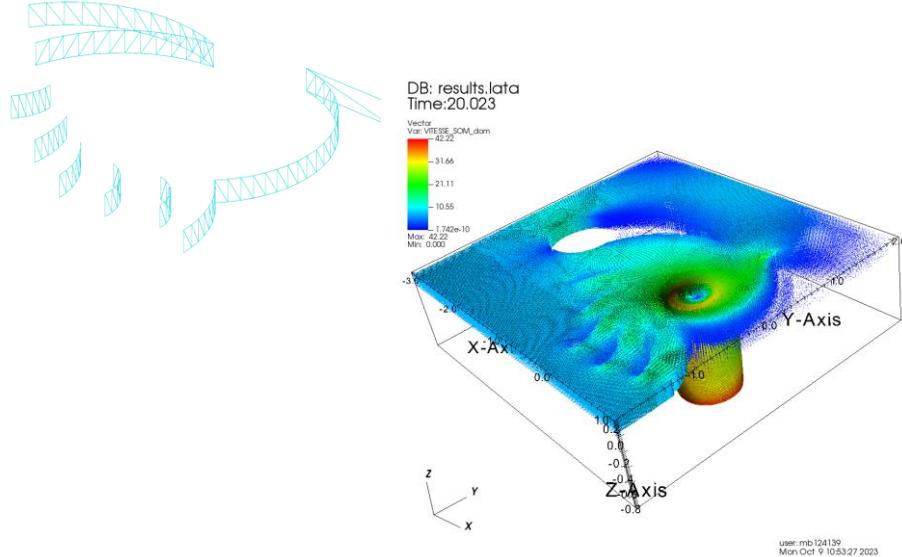
▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BELLIARD Michel

michel.belliard@cea.fr

0442252317





Constrained geometric optimization of immersed boundaries for thermal-hydraulic simulations of turbulent flow in a finite-volume approach

DER/SESI/LEMS

The technical issue underpinning this thesis topic is the mitigation of the consequences of a loss of primary coolant accident in a pressurized water reactor with loops.

It is of the utmost importance to minimize the flow of water leaving the vessel and to manage the available cold water reserves for safety injections as effectively as possible, in order to prevent or delay core flooding, overheating, and possible core degradation. To this end, the use of passive devices operating on the principle of hydraulic diodes, such as vessel flow limiters or advanced accumulators, is being considered. The subject of this thesis is the geometric optimization of this type of device, described by an immersed boundary, in order to maximize its service efficiency.

Several recent theses have shown how to introduce the Penalized Direct Forcing (PDF) immersed boundary method into the TRUST/TrioCFD software, under various spatial discretizations and for laminar and turbulent regimes. Similarly, they have ruled on the possibilities of deterministic geometric optimization in the finite-element context during simulations, based on the use of the PDF method.

After a bibliographic study of this kind of method, we will focus on the possibilities of implementation in finite volume discretization, the consideration of constraints, and the comparison to reference calculations. The latter will be carried out on academic and industrial configurations (accumulators and flow limiters).

The doctoral student will work in a R&D unit on innovative nuclear system within the IRESNE Institute (CEA Cadarache). He will develop skills in fluid mechanics and numerical methods.

- Formation recommandée :

Mathematics – Numerical Analysis – Simulation

- Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Engineering Sciences:
Mechanics, Physics,
Micro- and
Nanoelectronics
(SIMPMMN)

- Date souhaitée de début de thèse :

Between 10/01 and
12/01/2026.

- Lieu :

CEA Cadarache Center

- Directeur(s) de thèse :

▪ **Chercheur de l' IRESNE à contacter :**

BELLIARD Michel

michel.belliard@cea.fr

PANTZ Olivier

BELLIARD Michel

michel.belliard@cea.fr

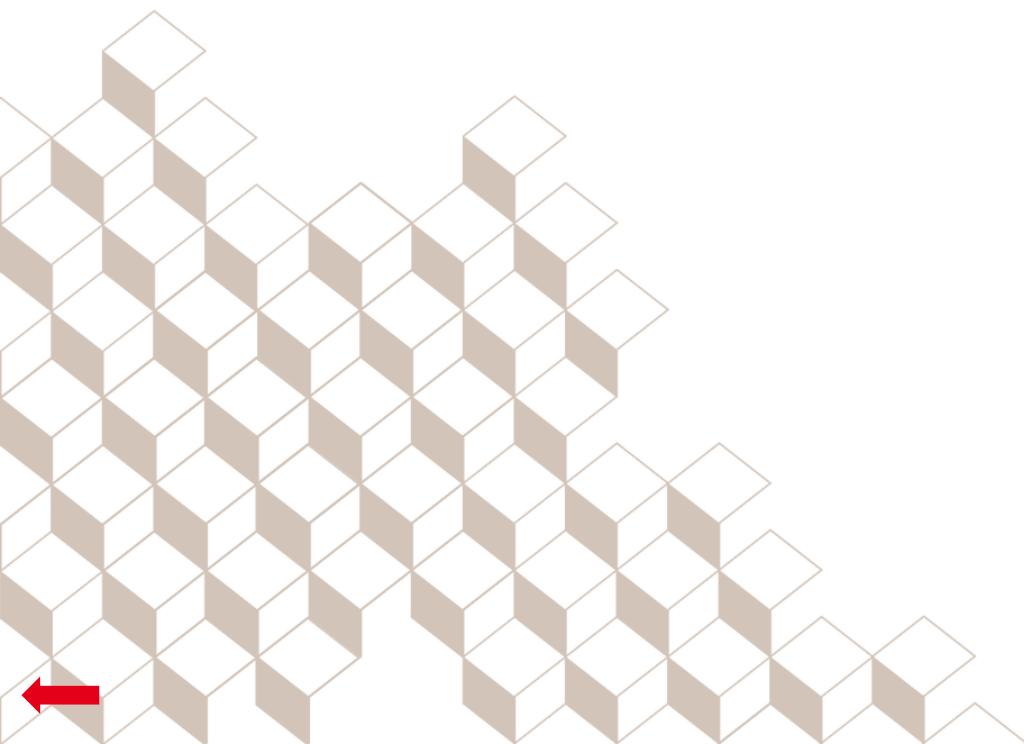
0442252317

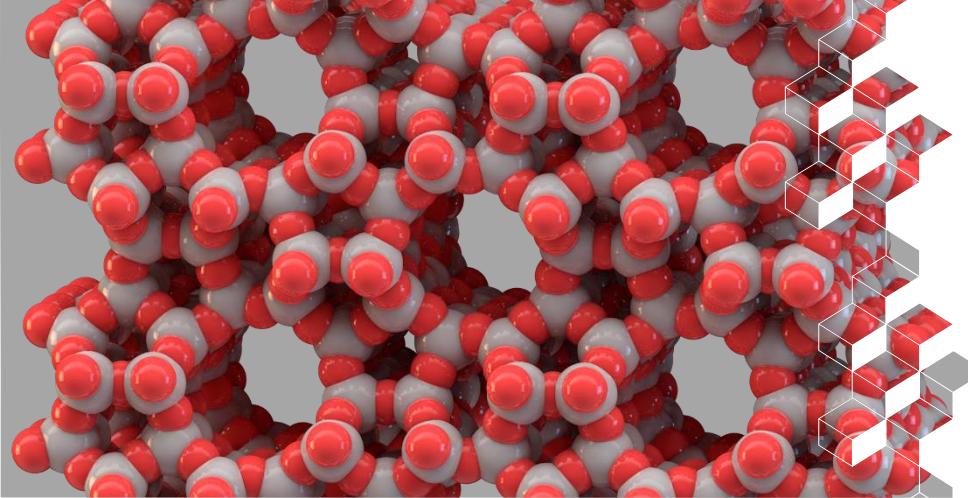


S P E S I

Service de physique
expérimentale,
d'essais en sûreté
et d'Instrumentation

*Experimental Physics, Safety Testing
and Instrumentation Unit*





Développement d'un dosimètre basé sur la capture de xénon dans une zéolithe

DER/SPESI/LDCI

La dosimétrie en réacteur permet de caractériser le spectre neutronique et déterminer la fluence neutronique reçue pendant une irradiation pour le suivi de la fragilisation des matériaux.

Cette technique s'appuie sur l'analyse de la radioactivité de dosimètres irradiés, constitués de métaux purs ou d'alliages de compositions connues dont certains isotopes sont l'objet de réactions d'activation ou de fission.

Il existe de nombreux dosimètres répondant en-dessous de 1 keV ou au-dessus de 2 MeV, quelques-uns entre 1 MeV et 2 MeV, mais le Zr est le seul adapté au domaine énergétique compris entre 1 keV et 1 MeV. En outre, peu de dosimètres répondent avec un seuil proche de 1 MeV.

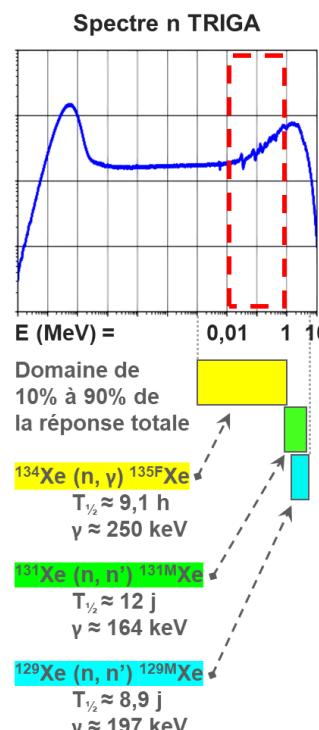
Dans ce contexte, le Xe présente non seulement une réaction intéressante déjà identifiée entre 1 keV et 1 MeV, mais dispose aussi de deux réactions proches de 1 MeV produisant deux fils ayant des périodes d'une dizaine de jours bien adaptées au cycle d'irradiation du prochain réacteur expérimental à fort flux du CEA, le réacteur Jules Horowitz (RJH).

L'idée maîtresse de ce sujet de thèse serait d'utiliser des matériaux adsorbants pour fixer une masse suffisante de Xe dans un volume réduit. Des zéolithes commerciales peuvent à présent piéger jusqu'à 30% en masse de Xe lorsque soumises à seulement 1 bar de Xe à température ambiante.

La thèse consistera à réaliser un dosimètre de Xe piégé sur une zéolithe au CNRS MADIREL (déplacements fréquents à prévoir sur le campus Saint Jérôme à Marseille durant la 1ère année) et une chambre gonflée au Xe via la fabrication sur les ateliers de notre laboratoire. L'irradiation conjointe d'un dosimètre et d'une chambre dans un réacteur tel que CABRI à Cadarache permettra d'évaluer les facteurs d'auto-absorption par la zéolithe des raies

gamma émises par les isotopes d'intérêt, vérifier leur mesurabilité par la plate-forme MADERE de notre laboratoire, ainsi que le vieillissement des zéolithes sous forte irradiation neutronique. Le dosimètre sera ensuite testé à plus haut flux, par exemple dans le TRIGA du JSI (déplacement d'une semaine à prévoir en Slovénie), via la collaboration CEA-JSI ininterrompue depuis 2008, afin de qualifier ce dosimètre pour le RJH.

Fort-e de l'acquisition de compétences dans le domaine de la mesure nucléaire, la ou le futur-e docteur-e pourra préparer son intégration professionnelle dans les grands organismes de recherche français et étrangers ou dans des entreprises du nucléaire.



- Formation recommandée :

Instrumentation nucléaire et métrologie des rayonnements ionisants

- Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physique et Sciences de la Matière (ED352)

- Date souhaitée de début de thèse :

Entre le 01/01 et le 01/12/2026

- Lieu :

Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

TISSEUR David

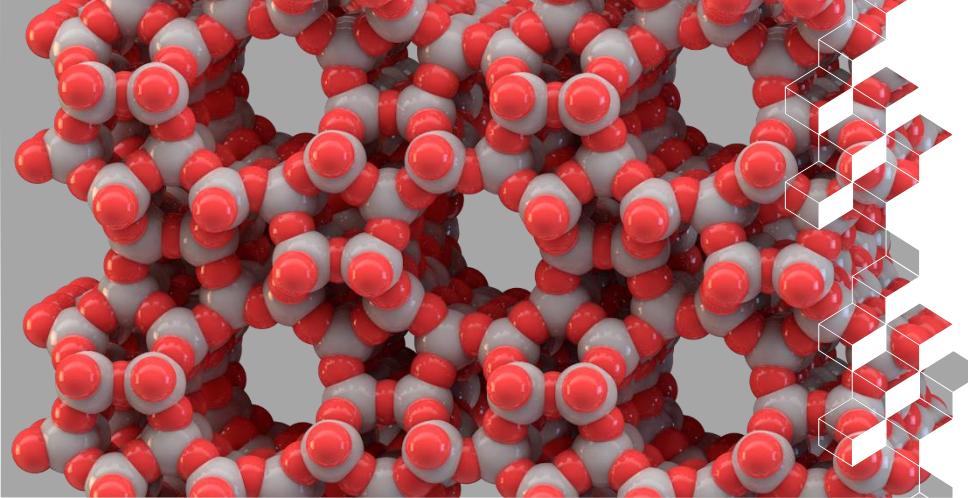
David.TISSEUR@cea.fr

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

FAUSSER Clément

Clement.FAUSSER@cea.fr





Development of a dosimeter based on the adsorption of xenon in a zeolite

DER/SPESI/LDCI

Reactor dosimetry makes possible to characterize the neutron spectrum (neutron energy distribution) and to determine the neutron fluence received during irradiation for monitoring the embrittlement of materials.

This technique relies on analyzing the radioactivity of irradiated dosimeters, made of pure metals or alloys of known compositions, some isotopes of which undergo activation or fission reactions.

There are numerous dosimeters sensitive below 1 keV or above 2 MeV, a few between 1 MeV and 2 MeV, but Zr is the only one suitable for the energy range between 1 keV and 1 MeV. Moreover, few dosimeters respond with a threshold close to 1 MeV.

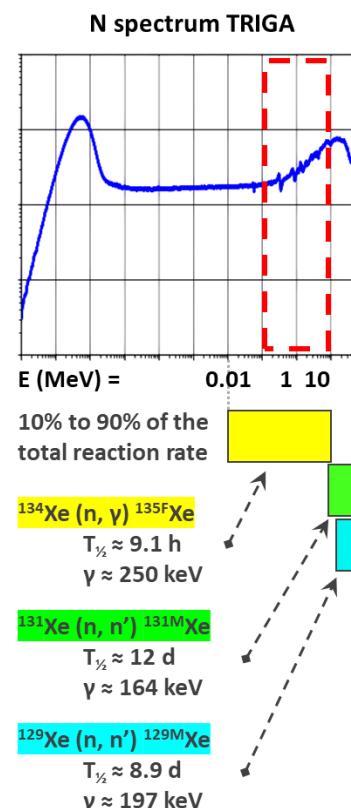
In this context, Xe not only exhibits an interesting reaction already identified between 1 keV and 1 MeV, but also has two reactions close to 1 MeV producing two nuclides with half-lives of about ten days, well suited to the irradiation cycles of the upcoming high-flux experimental reactor at CEA: the Jules Horowitz Reactor (JHR).

The main idea of this thesis topic would be to use adsorbent materials to trap a sufficient mass of Xe in a reduced volume. Some commercial zeolites can now trap up to 30% by weight of Xe when exposed to only 1 bar of Xe at room temperature.

The thesis will consist of producing a Xe dosimeter trapped on a zeolite at CNRS MADIREL (frequent trips to the Saint Jérôme campus in Marseille in the first year) as well as a simplified Xe-filled chamber manufactured in the workshops of our laboratory. The common irradiation of a dosimeter and a chamber in a reactor such as CABRI in Cadarache will allow the evaluation of the self-absorption factors by the zeolite of the gamma lines emitted by the isotopes of interest, verification of their measurability with the MADERE platform of our laboratory, as well as

assessment of the ageing of zeolites under strong neutron irradiation. The dosimeter will then be tested at higher neutron flux, for example in the TRIGA reactor at JSI (one-week trip to Slovenia to be expected), through the uninterrupted CEA-JSI collaboration since 2008, in order to qualify this dosimeter for JHR.

By acquiring expertise in the field of nuclear measurement, the future PhD graduate will be well prepared for professional integration into major French and international research organizations, or in nuclear companies.



▪ Formation recommandée :

Nuclear instrumentation and ionizing radiation metrology.

▪ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physics and Material Sciences (ED352)

▪ Date souhaitée de début de thèse :

Between 01/01 and 12/01/2026.

▪ Lieu :

CEA Cadarache Center

▪ Directeur(s) de thèse :

TISSEUR David

David.TISSEUR@cea.fr

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

FAUSSER Clément

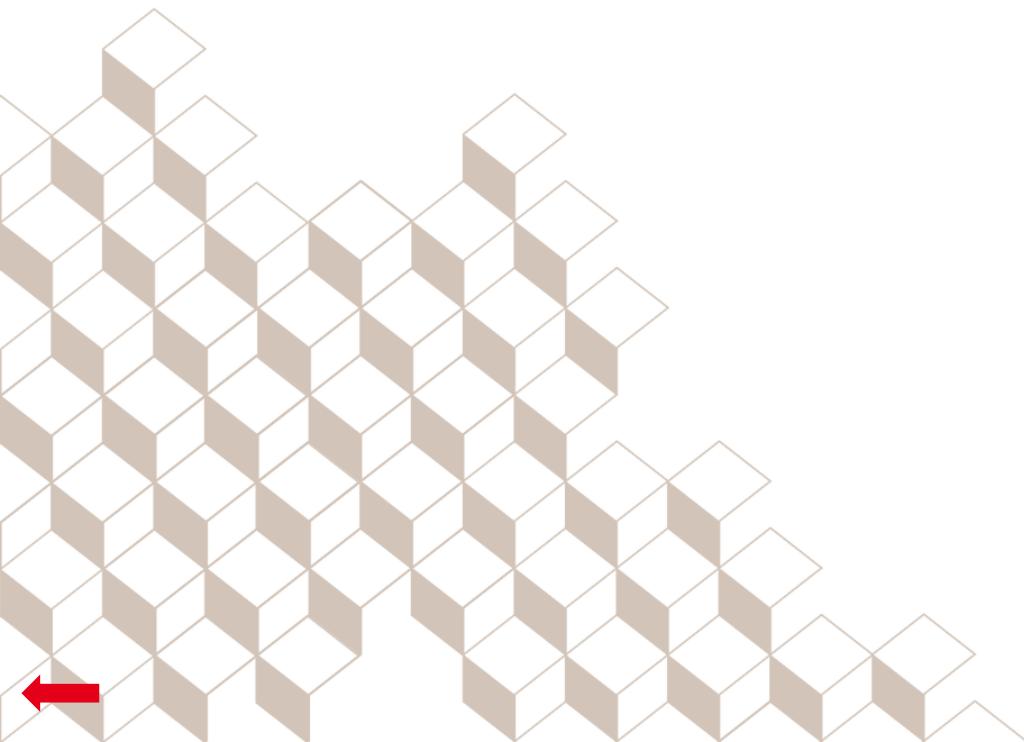
Clement.FAUSSER@cea.fr



SPRC

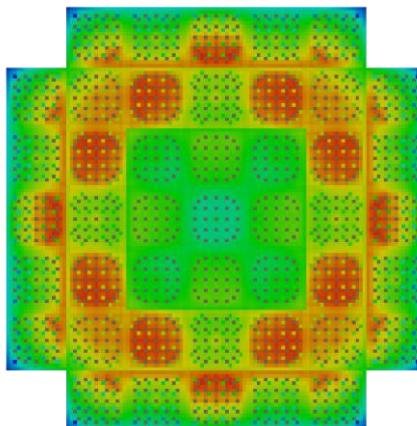
Service de physique des réacteurs et du cycle

Reactor and Cycle Physics Unit





© CEA



Modélisation multiphysique d'un réacteur nucléaire à eau légère fonctionnant en convection naturelle : étude de solutions innovantes pour le démarrage et le contrôle en puissance

DER/SPRC/LE2C

La thèse vise à développer un modèle numérique pour l'étude du démarrage d'un SMR en convection naturelle, à fournir des éléments de validation du modèle, et à proposer une méthodologie d'optimisation des systèmes de pilotage du réacteur.

Plusieurs concepts récents de Small Modular Reactors (SMR) à spectre thermique reposent sur une circulation de l'eau en convection naturelle dans le circuit primaire, en fonctionnement normal et accidentel, pour augmenter la sûreté intrinsèque. L'absence de pompes primaires dans ce genre de SMR complique singulièrement les phases de démarrage et de montée en puissance, ce qui conduit à développer des procédures spécifiques de démarrage pour chauffer l'eau du circuit primaire et permettre au réacteur d'atteindre son état nominal de fonctionnement dans le respect des exigences de sûreté. L'établissement de telles procédures nécessite des simulations au moyen de modèles validés afin de bien comprendre le comportement du réacteur dans ces phases et de délimiter le domaine paramétrique accessible.

L'enjeu de la thèse est de développer un modèle numérique capable de simuler le démarrage et la montée en puissance d'un SMR fonctionnant en convection naturelle et de fournir des éléments de validation du modèle. Le travail de thèse vise aussi à proposer une méthodologie d'optimisation des systèmes de pilotage du réacteur pour permettre un démarrage rapide dans le respect des critères de sûreté.

La problématique du démarrage fait intervenir deux disciplines : la neutronique et la thermohydraulique, ce qui demande la mise en œuvre d'une modélisation multi-physique couplée. En particulier, trois outils de calculs seront couplés lors de la thèse : CATHARE3 (thermohydraulique système), FLICA5 (thermohydraulique cœur), et APOLLO3 (neutronique).

Le doctorant sera positionné au sein d'équipes de neutroniciens et thermohydrauliciens de l'institut IRESNE (CEA Cadarache). Il développera des compétences en physique et modélisation des réacteurs nucléaires.

- Formation recommandée :

Energie, thermique, combustion, écoulements

- Ecole doctorale :
Université Grenoble Alpes

- Date souhaitée de début de thèse :

Entre le 01/10 et le 01/12/2026

- Lieu :

Centre CEA de Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

VIDAL Jean-François

jean-francois.vidal@cea.fr

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

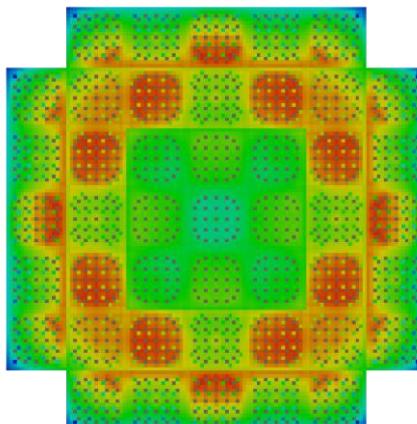
IBRAHIM Marcellle

Marcellle.IBRAHIM@cea.fr

OLITA Paolo

Paolo.OLITA@cea.fr





Multi-physics modelling of a light water nuclear reactor operating under natural convection: study of innovative solutions for startup and power control

DER/SPRC/LE2C

The PhD subject aims at developing a numerical model to study the startup of an SMR operating in natural convection. The PhD also aims at contributing to the model validation and developing a methodology for reactor control systems optimization.

Among the most recent designs of water-moderated Small Modular Reactors (SMR), several concepts are characterized by natural convection in the primary circuit during normal and abnormal operation, with the aim of increasing the inherent safety of the design. The absence of primary pumps in this type of SMRs significantly complicates the start-up and power increase ramps. This requires the development of specific start-up procedures to heat up the primary water circuit and enable the reactor to reach its nominal conditions, in accordance with safety requirements. These kinds of procedures rely on simulations using validated models to understand the reactor behavior during these phases and define the accessible parameters domain.

The goal of this PhD subject is to develop a numerical model capable of simulating the startup of an SMR operating in natural convection, and to contribute to the validation of this model. The PhD study also aims at developing a methodology for reactor control systems optimization, to attain a fast startup while remaining within the prescribed safety criteria.

The analysis of the reactor startup procedure entails two disciplines: thermal-hydraulics and neutronics, which requires the development of multi-physics coupled simulation tools. Three scientific calculation tools in particular will be coupled in the framework of the PhD study: CATHARE3 (reactor system thermal-hydraulics), FLICA5 (core thermal-hydraulics) and APOLLO3 (neutronics).

The PhD student will work in a team of neutron physicists and thermohydraulic engineers at the IRESNE Institute (CEA Cadarache). He/she will develop skills in nuclear reactor physics and modeling.

- Formation recommandée :

Energy, Thermal, Combustion, Fluid Flows

- Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes
(IMEP2)

- Date souhaitée de début de thèse :

Between 10/01 and
12/01/2026.

- Lieu :

CEA Cadarache Center

- Directeur(s) de thèse :

VIDAL Jean-François

jean-francois.vidal@cea.fr

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

IBRAHIM Marcelle

Marcelle.IBRAHIM@cea.fr

OLITA Paolo

Paolo.OLITA@cea.fr





Développement d'un estimateur hybride CPU-GPU pour le transport neutronique : vers une simulation Monte Carlo plus efficace

DER/SPRC/LPN

Des jumeaux numériques intégrant des modèles de simulation Monte Carlo sont en développement pour la conception, l'exploitation et le démantèlement d'installations nucléaires.

Ces jumeaux sont capables de prédire des grandeurs physiques telles que les flux de particules, les échauffements gamma/neutrons ou les débits d'équivalent de dose. Cependant, la méthode Monte Carlo présente un inconvénient majeur : un temps de calcul élevé pour obtenir une variance acceptable. Pour améliorer l'efficacité des simulations, l'estimateur eTLE a été développé et intégré au code Monte Carlo TRIPOLI-4®. Comparé à l'estimateur classique TLE (Track Length Estimator), l'eTLE offre une variance théorique plus faible, notamment dans les milieux fortement absorbants, en apportant des contributions au détecteur sans que la particule ne l'atteigne. Cependant, son coût computationnel reste encore élevé, surtout lorsqu'on souhaite évaluer plusieurs détecteurs.

Dans deux thèses récentes, deux variantes ont été développées pour surmonter cette limite. Le Forced Detection eTLE- (Guadagni, EPJ Plus 2021) utilise un échantillonnage préférentiel qui oriente les pseudo-particules vers le détecteur à chaque collision. Il est particulièrement efficace pour les petits détecteurs et les configurations avec blindages modérés, notamment pour les neutrons rapides. Le Split Exponential TLE (Hutinet & Antonanti, EPJ Web 2024) repose sur une approche GPU asynchrone, externalisant le transport en ligne droite des particules sur processeur graphique. Grâce à un échantillonnage multiple, il maximise l'usage du GPU et permet une exploration plus efficace de

l'espace des phases.

La thèse proposée vise à combiner ces deux approches dans un estimateur

hybride nommé seTLE-DF. Ce nouvel estimateur pourra être utilisé soit directement, soit pour générer des cartes d'importance sans recourir à des calculs auxiliaires avec des codes déterministes. Sa mise en œuvre nécessitera des développements spécifiques sur GPU, notamment pour optimiser la bibliothèque géométrique et la gestion mémoire dans des géométries complexes.

Ce sujet s'inscrit dans le cadre de l'informatique verte, visant à réduire l'empreinte carbone du calcul haute-performance. Il repose sur une approche hybride CPU-GPU, évitant le portage complet du code Monte Carlo sur GPU. Des solutions telles que l'utilisation du format demi-précision seront envisagées et une évaluation de l'impact énergétique avant et après implémentation sera réalisée. Le futur docteur sera accueilli au sein de l'Institut IRESNE (CEA Cadarache). Il pourra acquérir des compétences solides en simulation neutronique, facilitant son intégration dans les grands organismes de recherche ou les entreprises du secteur nucléaire.

- Formation recommandée :
Physique nucléaire
- Ecole doctorale :
Aix-Marseille Université
Physique et Sciences de la Matière (ED352)
- Date souhaitée de début de thèse :
Entre le 01/10 et le 01/12/2026
- Lieu :
Centre CEA de Cadarache
- Directeur(s) de thèse :
LE LOIREC Cindy
Cindy.LELOIREC@cea.fr
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
LE LOIREC Cindy
Cindy.LELOIREC@cea.fr
0442254062





Designing a hybrid CPU-GPU estimator for neutron transport: Advancing eco-efficient Monte Carlo simulations

DER/SPRC/LPN

This project falls within the scope of green computing, aiming to reduce the carbon footprint of high-performance computing.

It leverages a hybrid CPU/GPU architecture to optimize resource usage. Its main application is Monte Carlo simulation, which plays a key role in developing digital twins for the nuclear sector. These twins are capable of predicting physical quantities such as particle fluxes, gamma/neutron heating, and dose equivalent rates. However, the Monte Carlo method presents a major drawback: high computational time to achieve acceptable variance levels.

To enhance simulation efficiency, the eTLE estimator has been developed and integrated into the TRIPOLI-4® Monte Carlo code. Compared to the conventional TLE (Track Length Estimator), eTLE offers lower theoretical variance, particularly in highly absorbing media, by contributing to the detector response even when particles do not physically reach it. Nevertheless, its computational cost remains significant, especially when evaluating multiple detectors.

Two recent PhD works have proposed variants to overcome this limitation. The Forced Detection eTLE- (Guadagni, EPJ Plus 2021) employs preferential sampling that directs pseudo-particles toward the detector at each collision. It is particularly effective for small detectors and configurations with moderate shielding, especially for fast neutrons. The Split Exponential TLE (Hutinet & Antonsanti, EPJ Web 2024) is based on an asynchronous GPU approach, offloading straight-line particle transport to the graphics processor. Through multiple sampling, it maximizes GPU utilization and enables more efficient exploration of phase space.

The proposed thesis aims to merge these two approaches into a hybrid estimator named seTLE-DF. This new estimator could be used either directly or to generate importance maps without relying on auxiliary deterministic calculations. Its implementation will require dedicated GPU developments, particularly to optimize the geometry library and memory management in complex geometries.

This research topic aligns with green computing objectives, aiming to reduce the carbon footprint of high-performance computing. It relies on a hybrid CPU-GPU strategy, avoiding full porting of the Monte Carlo code to GPU. Solutions such as half-precision formats will be considered, and an energy impact assessment will be conducted before and after implementation. The future PhD student will be welcomed with the IRESNE Institute (CEA Cadarache) and will acquire strong expertise in neutron transport simulation, facilitating integration into major research institutions or companies within the nuclear sector.

▪ Formation recommandée :
Nuclear physics

▪ Ecole doctorale :
Aix-Marseille University
Physics and Material Sciences (ED352)

▪ Date souhaitée de début de thèse :
Novembre 2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache Center

▪ Directeur(s) de thèse :
LE LOIREC Cindy
Cindy.LELOIREC@cea.fr
Franck VIDAL :
franck.vidal@stfc.ac.uk

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
LE LOIREC Cindy
Cindy.LELOIREC@cea.fr
0442254062

Crédit marine nationale

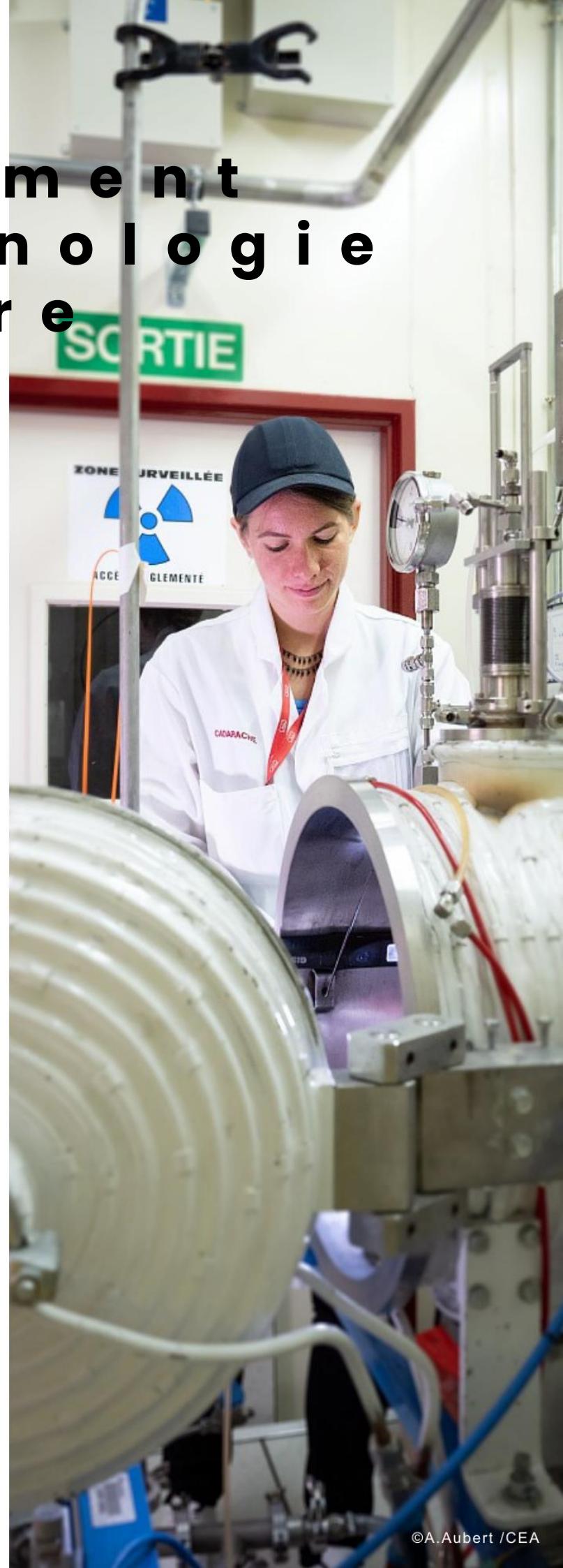
Département de Technologie Nucléaire

Le Département de Technologie Nucléaire (DTN) est une unité de R&D dont les missions sont d'améliorer la technologie des réacteurs nucléaires actuels et de développer celle des réacteurs futurs en :

- étudiant, concevant et réalisant des essais de qualification de composants de réacteurs (assemblages, dispositifs...),
- étudiant le comportement et les performances des caloporeurs,
- développant l'instrumentation pour la surveillance réacteur, le contrôle de procédé, la mesure nucléaire,
- modélisant le transfert des radionucléides dans l'environnement et en réacteurs,
- étudiant les accidents graves.

Le DTN qui compte environ 250 salariés (dont 200 CDI, 30 doctorants, et post doc, CDD OD ou ATA, apprentis, stagiaires) est organisé en deux services:

- le Service de Modélisation des Transferts et des Accidents graves (SMTA),
- le Service de Technologie des Composants et des Procédés (STCP).



N u c l e a r T e c h n o l o g y D e p a r t e m e n t

The Department of Nuclear Technology (DTN) is an R&D unit whose mission is to improve the technology of current nuclear reactors and develop that of future reactors by:

- Studying, designing, and conducting qualification tests on reactor components (assemblies, devices...),
- Studying the behavior and performance of coolants,
- Developing instrumentation for reactor monitoring, process control, and nuclear measurement,
- Modeling radionuclide transfer in the environment and reactors,
- Studying severe accidents.

The DTN, which has around 250 employees (including 200 permanent staff, 30 PhD students, post-docs, temporary contracts, apprentices, and interns), is organized into two services:

- The Severe Accidents and Transfer Modeling Service (SMTA),
- The Components and Process Technology Service (STCP).





S u j e t s d e t h è s e T h e s i s t o p i c s

Département de technologie nucléaire / Nuclear Technology Department

DTN/Direction

DTN/Direction

Couplage partitionné fluide-structure avec approche Lattice-Boltzmann pour l'analyse de transitoires rapides dans le cadre du risque hydrogène.

Fluid-structure coupling with Lattice-Boltzmann approach for the analysis of fast transient dynamics in the context of hydrogen risk.

SMTA – Service mesures et modélisation des transferts et des accidents graves

SMTA – Transfer and Severe Accident Modelling Unit

Modélisation du flux d'imbibition en accident grave par expérimentation à effets séparés.

Modeling of water ingressoin in a severe accident by separate effect testing.

Couplage entre transfert de masse et hydrodynamique diphasique : investigation expérimentale et validation/calibration de modèles.

Mass transfers and hydrodynamic coupling: experimental investigation and models validation and calibration.

Modélisation d'une phase dispersée hors équilibre et de sa fragmentation.

Modelling of a non-equilibrium dispersed phase and its fragmentation.

Etude et modélisation de la spéciation du tritium issu du dégazage des déchets tritiés.

Study and Modelling of Tritium Speciation from the Outgassing of Tritiated Waste.

Méthode primale-duale proximale pour l'estimation conjointe de l'objet et des paramètres d'acquisition inconnus en tomographie.

Proximal primal-dual method for joint estimation of the object and of unknown acquisition parameters in Computed Tomography.

Simuler l'altération du verre dans son environnement : développement d'un module autonome pour le couplage avec les codes de transport réactif.

Development of an autonomous module for glass alteration modeling and its coupling with reactive transport codes.





Sujets de thèse Thesis topics

Département de technologie nucléaire / Nuclear Technology Department

STCP – Service de technologie des composants et des procédés

STCP – Component Technology and Processes Unit

Mesures fines en trois dimensions de couches limites en écoulements turbulents dans les assemblages de REP.

Three-Dimensional fine measurements of boundary layers in turbulent flows within PWR fuel assemblies .

Méthodes de synthèse de turbulence des milieux poreux à partir de simulations fines pour la modélisation multi-échelle des coeurs nucléaires.

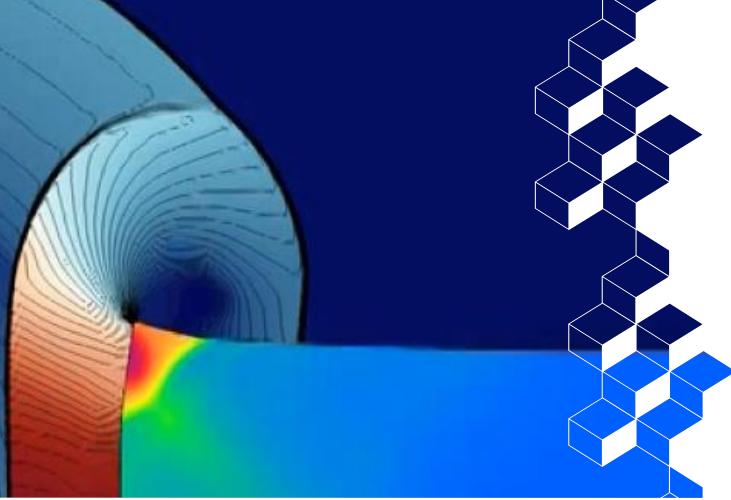
Turbulence synthetization methods in porous media from detailed simulations for multi-scale simulations of nuclear cores.

Tomographie électrique pour l'étude des écoulements diphasiques métal liquide/gaz.
Electrical impedance tomography for the study of two-phase liquid metal/gas flows.

Ebullition nucléée au sein de substrats poreux : étude du couplage entre la composition du caloporeur et la vaporisation capillaire.

Nucleate boiling within porous deposits: study of the coupling between coolant composition and capillary vaporization.





Couplage partitionné fluidé-structure avec approche Lattice-Boltzmann pour l'analyse de transitoires rapides dans le cadre du risque hydrogène.

DTN/Dir

Cette thèse vise à étendre les méthodes de Boltzmann sur réseau (LBM) pour simuler la propagation de flammes dans des mélanges hydrogène/air en interaction avec des structures flexibles, en collaboration entre l'institut IRESNE du CEA Cadarache et le laboratoire M2P2 (AMU).

Dans une logique de préparation de l'avenir dans le domaine de la simulation à haute-fidélité et haute performance, le CEA explore avec ses partenaires académiques et industriels le potentiel des couplages fluide-structure impliquant la méthode de Boltzmann sur réseau (Lattice Boltzmann Methods, LBM). Le couplage se place dans le cadre d'un standard open-source promu par le CEA et des premiers pas prometteurs ont été franchis pour des écoulements compressibles en interaction avec des structures subissant grands déplacements et rupture. Des verrous importants restent à lever, notamment pour des représentations du fluide plus complexes et représentatives des besoins industriels, en particulier pour la sûreté des dispositifs énergétiques décarbonés comme les batteries ou les réacteurs nucléaires.

Le présent travail doctoral s'intéresse ainsi à l'extension des briques de base disponibles au cas de la propagation

de flammes dans des mélanges hydrogène/air, dans des régimes de déflagration et de détonation avec transition possible entre les deux, et en interaction avec des structures flexibles en déplacement fini. Cela presuppose notamment la prise en compte d'écoulements compressibles avec des nombres de mach élevés dépassant significativement ce qui a été mis en œuvre jusqu'alors, impliquant de réanalyser en profondeur les schémas de couplage et techniques d'interaction fluide-structure.

La thèse sera réalisée dans le cadre d'une collaboration entre l'institut IRESNE du CEA Cadarache et le laboratoire M2P2 (AMU). Elle se déroulera majoritairement au M2P2 sous la direction de Pierre Boivin et Julien Favier, avec un encadrement méthodologique de l'IRESNE, notamment pour les questions de technique de couplage.

- Formation recommandée : Mathématiques appliquées, dynamique des fluides, interaction fluide-structure

- Ecole doctorale : ED 353 – Sciences pour l'ingénieur

- Date souhaitée de début de thèse :

10/2026

- Lieu : Laboratoire M2P2 et CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

Pierre Boivin

M2P2, Centrale Méditerranée et Aix-Marseille Université

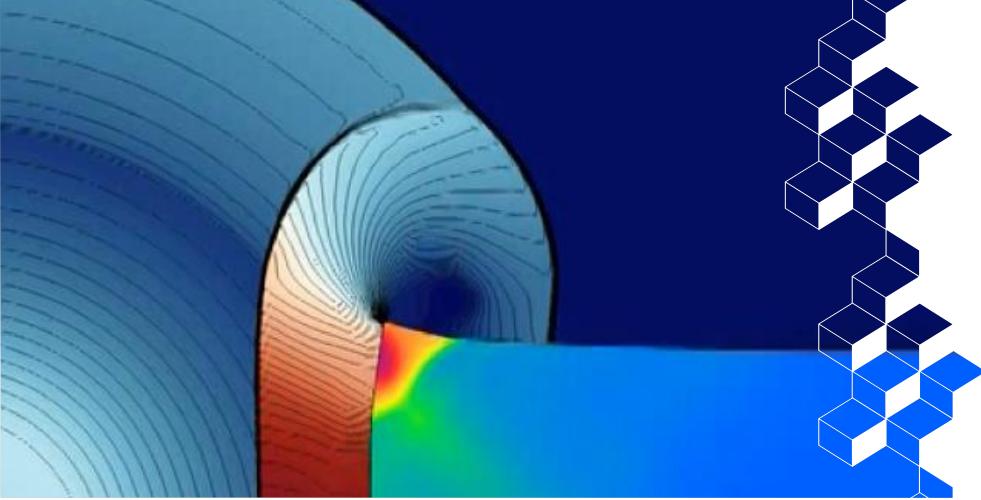
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

FAUCHER Vincent

vincent.faucher@cea.fr

04 42 25 43 73





Fluid-structure coupling with Lattice-Boltzmann approach for the analysis of fast transient dynamics in the context of hydrogen risk.

DTN/Dir

This thesis aims to extend lattice Boltzmann methods (LBM) to simulate flame propagation in hydrogen/air mixtures interacting with flexible structures, in collaboration between the IRESNE institute at CEA Cadarache and the M2P2 laboratory (AMU).

With a view to preparing for the future in the field of high-fidelity, high-performance simulation, the CEA is working with its academic and industrial partners to explore the potential of fluid-structure couplings involving Lattice Boltzmann Methods (LBM). The coupling is part of an open-source standard promoted by the CEA, and promising first steps have been taken for compressible flows interacting with structures undergoing large displacements and rupture. Significant obstacles remain to be overcome, particularly for more complex fluid representations that are representative of industrial needs, especially for the safety of carbon-free energy devices such as batteries and nuclear reactors.

This doctoral work therefore focuses on extending the available basic building blocks to the case of flame propagation in hydrogen/air mixtures, in deflagration and detonation regimes with possible transition between the two, and in interaction with flexible structures

undergoing finite displacement. This presupposes, in particular, the consideration of compressible flows with high Mach numbers significantly exceeding those used to date, requiring an in-depth reanalysis of coupling schemes and fluid-structure interaction techniques.

The thesis will be part of a collaboration between the IRESNE Institute (CEA Cadarache) and the M2P2 laboratory (AMU). The work will be mostly localized at M2P2 with a close methodological supervision from IRESNE, especially in the field of coupling techniques.

- Formation recommandée :
Applied mathematics, fluid dynamics, fluid-structure interaction

- Ecole doctorale :
ED 353 – Sciences pour l'ingénieur

- Date souhaitée de début de thèse :

10/2026

- Lieu :
Laboratoire M2P2 et CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Pierre Boivin

M2P2, Centrale Méditerranée
et Aix-Marseille Université

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

FAUCHER Vincent

vincent.faucher@cea.fr

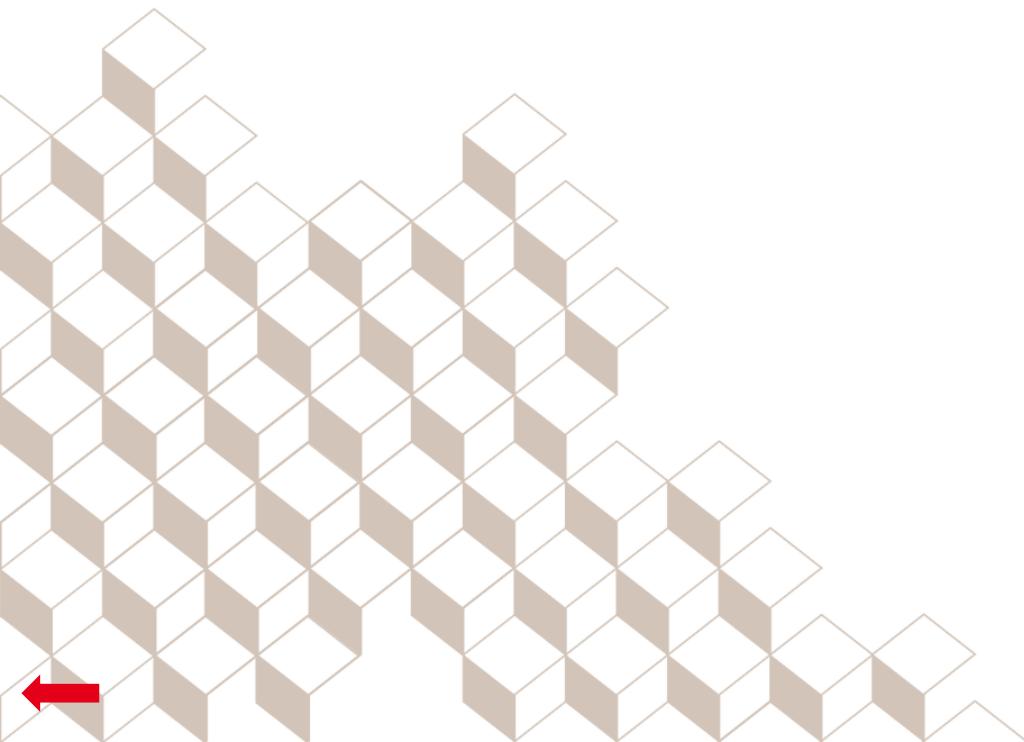
04 42 25 43 73



S M T A

Service mesures et
modélisation des
transferts et des
accidents graves

*Transfer and Severe Accident
Modelling Unit*





Modélisation du flux d'imbibition en accident grave par expérimentation à effets séparés.

DTN/SMTA/LEAG

Cette thèse vise à étudier l'imbibition du corium via des expériences sur MERELAVA pour améliorer les modèles physiques, au sein du Laboratoire d'études et d'expérimentation pour les accidents graves de l'institut IRESNE du CEA Cadarache.

L'énergie nucléaire est un des piliers de la transition énergétique car elle est faiblement carbonée. Elle nécessite des études de sûreté poussées, en particulier sur le sujet des accidents nucléaires graves hypothétiques. Ces scénarios postulent la fonte du cœur et la formation d'un corium (magma de matériaux radioactifs fondus). La compréhension du comportement du corium est un élément clef de la sûreté.

A l'institut IRESNE du CEA Cadarache, l'installation MERELAVA permet d'étudier une stratégie de mitigation d'accident par aspersion du corium par le haut. Un bain de corium prototypique (comportant de l'uranium appauvri) est refroidi par aspersion d'eau, dans des conditions réalistes. Ce dispositif permet d'étudier les interactions complexes entre le corium, l'eau et le béton sacrificiel situé dessous.

Dans ce cadre, le phénomène d'imbibition joue un rôle central dans le refroidissement du corium. Lors de l'aspersion, la croûte solidifiée se

fissure, l'eau s'infiltre dans le réseau de fissures et s'évapore, ce qui augmente significativement le flux de chaleur extrait par rapport à un mécanisme de conduction. Pourtant, les modèles actuels décrivent mal ce mécanisme et peinent à prédire son impact ; en raison notamment du caractère fortement multi-physique du phénomène.

Cette thèse vise à étudier l'imbibition via des expériences dédiées sur MERELAVA qui permettront de caractériser la croûte formée et en mesurant le flux d'imbibition sur matrices imprimées en 3D représentatives. L'objectif est d'améliorer le modèle physique existant, dont les résultats seront comparés à des données expérimentales complexes. La thèse se déroulera au Laboratoire d'études et d'expérimentation pour les accidents graves de l'institut IRESNE (CEA Cadarache). Le candidat devra maîtriser la mécanique des fluides et la thermique.

- Formation recommandée :
Master 2 ou Ecole d'Ingénieurs spécialisé en mécanique des fluides, énergétique

- Ecole doctorale :
ED 510 – Ingénierie, Matériaux, Environnement, Energétique, Procédés, Production (IMEP2)

- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Nathalie Seiler
CEA, IRESNE

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

RENAUDIERE DE VAUX
Sébastien

sebastien.renaudieredevaux@cea.fr

04 42 25 36 33





Modeling of water ingressoin in a severe accident by separate effect testing.

DTN/SMTA/LEAG

This thesis aims to study corium imbibition through experiments on MERELAVA in order to improve physical models, within the Laboratory for Studies and Experiments on Severe Accidents at the IRESNE institute of the CEA Cadarache..

Nuclear energy is one of the pillars of the energy transition due to its low carbon footprint. It requires advanced safety studies, particularly regarding hypothetical severe nuclear accidents. These scenarios involve core meltdown and the formation of corium (molten radioactive material magma). Understanding corium behavior is a key element of nuclear safety.

At IRESNE institute of CEA Cadarache, the MERELAVA facility studies accident mitigation strategies by spraying water onto corium from above. A prototypical corium bath (containing depleted uranium) is cooled by water spraying under realistic conditions. This setup allows the study of complex interactions between corium, water, and the sacrificial concrete beneath.

In this context, the water ingressoin phenomenon plays a central role in corium cooling. During spraying, the solidified crust cracks, water seeps into the cracks and evaporates, significantly increasing the extracted heat flux

compared to conduction alone. However, current models poorly describe this mechanism and struggle to predict its impact, mainly due to its highly multi-physical nature.

This thesis aims to study ingressoin through dedicated experiments on MERELAVA, to characterize the crust and to measure the ingressoin flux using 3D-printed representative matrices. The goal is to improve the existing physical model, with results compared to more complex experimental data. The thesis will primarily take place in the Severe Accidents experimental laboratory of the IRESNE institute. The candidate should have expertise in fluid mechanics and heat and mass transfer.

- Formation recommandée :
Master's degree or engineering school specializing in fluid mechanics, energy

- Ecole doctorale :
ED 510 – Ingénierie, Matériaux, Environnement, Energétique, Procédés, Production (IMEP2)
- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Nathalie Seiler
CEA, IRESNE

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
RENAUDIERE DE VAUX Sébastien
sebastien.renaudieredevaux@cea.fr





Couplage entre transfert de masse et hydrodynamique diphasique : investigation expérimentale et validation/calibration de modèles.

DTN/SMTA/LMAG

Cette thèse vise à étudier expérimentalement les transferts de masse et la formation de gouttes dans un système simulant à base d'eau pour valider et calibrer les modèles existants, en vue de les intégrer dans la plateforme logicielle PROCOR, en collaboration entre le CEA Cadarache et l'université de Lorraine.

Dans le contexte de la transition énergétique et de la place cruciale du nucléaire dans un mix énergétique décarboné, comprendre, puis réfléchir à l'atténuation des potentielles conséquences de tout accident conduisant à la fusion, même partielle, du cœur d'un réacteur représente une direction de recherche impérative.

Lors d'un accident avec fusion du cœur, un bain de matière en fusion, appelée corium, peut se former en fond de cuve. Le bain de corium n'est pas homogène et peut se stratifier en plusieurs phases immiscibles. La composition du bain peut évoluer au cours du temps par assimilation progressive de matériaux. Avec l'évolution de la composition globale du corium les propriétés des différentes phases évoluent. Ceci peut induire un réarrangement vertical des phases. Lors de ce réarrangement des gouttes peuvent se former à partir d'une phase et traverser l'autre. L'ordre des phases ainsi que leurs mouvements sont de première importance, car ils influencent grandement les flux thermiques transmis à la cuve. Mieux comprendre ces phénomènes permet d'améliorer la sûreté des réacteurs actuels et futurs.

Des modélisations ont déjà été réalisées, mais elles manquent de validation et de calibration. Les expériences prototypiques (avec des matériaux réellement présents dans un réacteur) sont difficiles à mettre en place et à court terme aucune n'est prévue. Le présent sujet de thèse propose d'étudier expérimentalement, d'une part les transferts de masse entre une goutte et le milieu continu qu'elle traverse et d'autre part la formation des gouttes. Un système simulant

à base d'eau est envisagé pour permettre une instrumentation locale. Le but est de valider et calibrer les modèles existants, voire en développer de nouveaux, avec en ligne de mire la possibilité de capitaliser ces résultats dans la plateforme logiciel PROCOR. Le dispositif expérimental serait construit et opéré au laboratoire LEMTA de l'université de Lorraine où le doctorant serait détaché.

La thèse sera principalement expérimentale avec un volet utilisation de codes pour leur calage, et validation, mais aussi la création de l'expérience. Cette thèse se déroulera en collaboration entre les laboratoires LMAG du CEA IRESNE Cadarache et LEMTA de l'université de Lorraine. Le doctorant sera basé au LEMTA à Nancy, où les expériences seront réalisées, tout en étant salarié CEA. Le doctorant profitera ainsi à la fois des compétences du LEMTA en ce qui concerne le développement de dispositifs expérimentaux, les transferts dans les fluides et la métrologie, ainsi que des compétences du LMAG en ce qui concerne la modélisation des transferts de masses, la mise en équation, la simulation numérique notamment dans le domaine des accidents nucléaires graves. Le doctorant interagira régulièrement avec les équipes du CEA qui suivront de près son travail. Il sera donc amené à régulièrement se rendre sur le site CEA de Cadarache.

Il sera intégré à un environnement dynamique composé de chercheurs et d'autres doctorants. Le candidat devra avoir des connaissances en phénomènes de transferts (de masses notamment), ainsi qu'une appétence certaine pour les sciences expérimentales.

- Formation recommandée : Ingénieur ou Master mécanique des fluides, avec compétences en méthodes expérimentales et modélisation

- Ecole doctorale : ED 608 – Sciences et Ingénierie des Molécules, Produits, Procédés et Energie (SIMPPE)

- Date souhaitée de début de thèse : 10/2026

- Lieu : CEA Cadarache et LEMTA, Université de Lorraine

- Directeur(s) de thèse : Nicolas Rimbert
LEMTA, Université de Lorraine

- Chercheur de l' IRESNE à contacter : LECOANET Alexandre
alexandre.lecoanet@cea.fr
04 42 25 64 73





Mass transfers and hydrodynamic coupling: experimental investigation and models validation and calibration.

DTN/SMTA/LMAG

This thesis aims to experimentally study mass transfer and droplet formation in a water-based simulation system in order to validate and calibrate existing models, with a view to integrating them into the PROCOR software platform, in collaboration between CEA Cadarache and the University of Lorraine.

With the energy transition and the paramount importance of the nuclear energy in this context, it is pivotal to understand the consequences of potential accident with core meltdown, as well as thinking about mitigation strategy.

During a nuclear severe accident with core meltdown a magma called corium can form a pool in the reactor lower head. The pool is not homogeneous and can stratify into multiple immiscible layers. The composition of the pool may evolve in time, due to progressive material assimilation. With the evolution of the global composition of the corium, the properties of the layers evolve. The vertical position of these layer may then change. This change comes with the creation of droplets from a layer which then cross the other one. The vertical order of the different layers as well as their movements have a significant impact on the heat fluxes imposed on the reactor vessel. A better understanding of these phenomena improves safety of both nowadays and future nuclear reactors.

Modelling work has been done, but it lacks validation and need calibration. Prototypical experiments (with actual materials present inside a reactor) are difficult to carry and are not foreseen in the near future. This PhD aims at experimentally studying the mass transfer between a droplet and its surrounding as well as the droplet creation. The planned experimental setup will use a water-based system which allow for local measurement. The goal is to validate, calibrate the existing model, and potentially create new ones. The final goal being to capitalize the work into PROCOR software platform. The experimental setup will be

constructed and operated in LEMTA laboratory in University of Lorraine, where the student will work.

The PhD work will be mainly experimental but will also require software use for calibration, validation and for the design of the experimental setup. This work will be conducted in close collaboration between the laboratories LMAG in CEA/IRESNE (Cadarache) and LEMTA in University of Lorraine (Nancy). The student will work in LEMTA, where the experiments will be conducted, while being part of the CEA. The student will benefit from LEMTA's expertise in building of experimental setup, transport phenomena in fluids and metrology, and from LMAG's expertise in mass transfer, physical modeling and simulation in the scope of nuclear severe accidents. The student will regularly interact with CEA team which will follow the work closely. The student will therefore have to regularly go to CEA Cadarache.

The PhD student will be integrated to a dynamic environment comprised of researchers and other PhD students. The PhD candidate needs to be knowledgeable in transport phenomena, and needs to have a taste for experimental sciences.

▪ Formation recommandée :
Engineer or Master's degree in fluid mechanics, with skills in experimental methods and modeling

▪ Ecole doctorale :
ED 608 – Sciences et Ingénierie des Molécules, Produits, Procédés et Energie (SIMPPE)

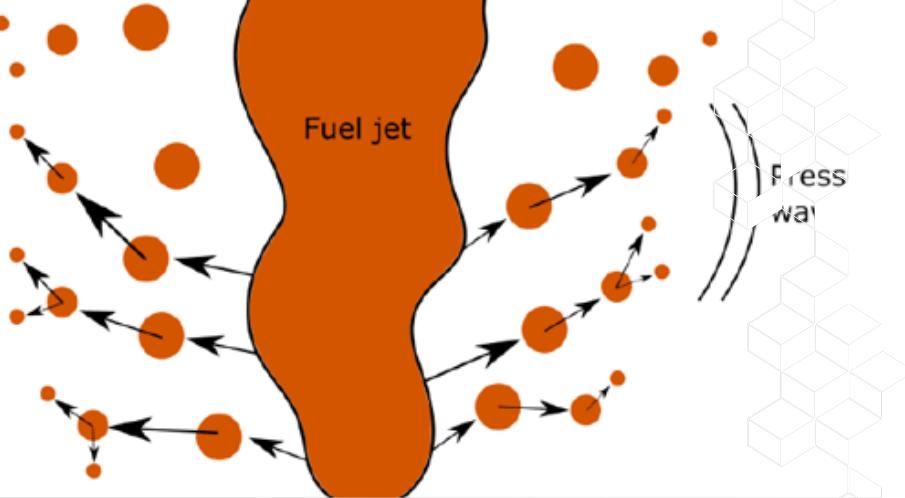
▪ Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache et LEMTA, Université de Lorraine

▪ Directeur(s) de thèse :
Nicolas Rimbert
LEMTA, Université de Lorraine

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
LECOANET Alexandre
alexandre.lecoanet@cea.fr
04 42 25 64 73





Modélisation d'une phase dispersée hors équilibre et de sa fragmentation.

DTN/SMTA/LMAG

Cette thèse vise à modéliser la fragmentation d'un jet de corium dans un réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium, en utilisant la méthode des moments pour étudier les interactions thermiques et les risques d'emballement, en collaboration entre le LMAG de l'institut IRESNE et le Laboratoire EM2C.

Dans le cadre de l'utilisation durable de l'énergie nucléaire pour produire une électricité décarbonée, les réacteurs de 4e génération dits « à neutrons rapides » sont nécessaires pour fermer le cycle du combustible.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre des études de sûreté associées à de tels réacteurs à caloporteur sodium et plus particulièrement la situation hypothétique d'un cœur fondu qui se relocalise par gravité vers le récupérateur en fond de cuve. Un jet de corium (mélange de combustible et éléments structurels du cœur fondu) interagit alors violemment avec le fluide caloporteur, induisant entre autres la fragmentation du jet de corium en gouttes couplée à l'ébullition en film du réfrigérant. Les caractéristiques de la phase dispersée de corium résultante et de sa fragmentation sont déterminantes pour étudier le risque d'emballement et d'explosion vapeur.

L'objectif de la thèse est ainsi de modéliser une phase dispersée et sa fragmentation dans un fluide environnant, avec une approche à la fois performante et capable de rendre compte des variétés d'échelle et des déséquilibres thermiques entre les gouttes et la phase porteuse. La méthode envisagée pour satisfaire ces objectifs est la méthode des moments qui découle d'un

modèle cinétique. Elle demande une fermeture adéquate et des schémas numériques satisfaisant des contraintes non standards, en offrant en retour un compromis coût/précision primordial dans le contexte étudié. Les avancées seront a priori implémentées dans le logiciel CFD SCONE construit sur la plateforme open-source TRUST du CEA.

Le lieu de travail principal sera basé au LMAG (Laboratoire de Modélisation des Accidents Graves) au sein de l'institut IRESNE du CEA Cadarache. Une partie des travaux sera aussi réalisée au Laboratoire EM2C (Energétique Moléculaire et Macroscopique, Combustion) – CNRS/CentraleSupélec à Paris.

Le futur docteur travaillera dans un environnement scientifique dynamique et pourra acquérir des compétences par la suite prétendre à des postes académiques et de R&D industriels.

Mots-clés : Phase Dispersée, Fragmentation, Cinétique, Méthode des Moments, Multiphasique, Méthodes Numériques, Accidents Graves.

- Formation recommandée : Ingénieur ou Master en mathématiques appliquées ou mécanique des fluides ou physique

- Ecole doctorale : ED 574 – Mathématiques Hadamard (EDMH)

- Date souhaitée de début de thèse :

10/2026

- Lieu : CEA Cadarache

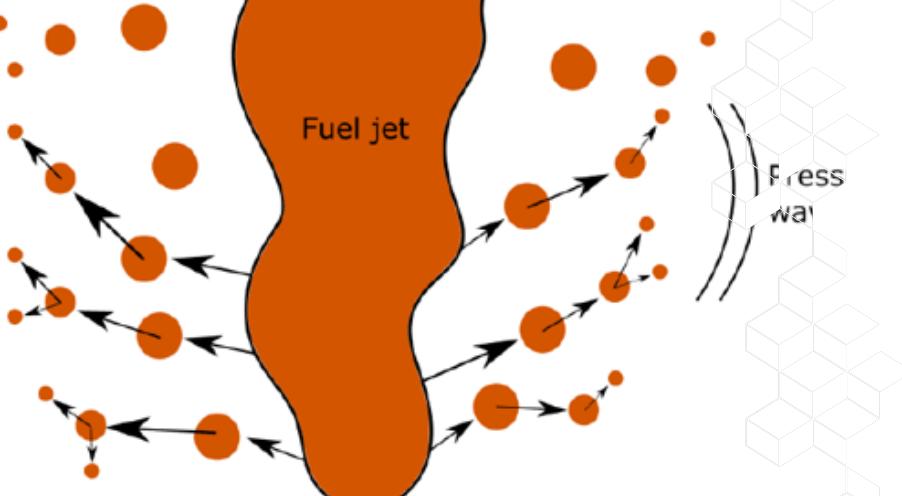
- Directeur(s) de thèse :

Frédérique Laurent-Nègre
EM2C, Paris-Saclay

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

PONS Kévin
kevin.pons@cea.fr
04 42 25 35 19





Modeling of a non-equilibrium dispersed phase and its fragmentation.

DTN/SMTA/LMAG

This thesis aims to model the fragmentation of a corium jet in a sodium-cooled fast neutron reactor, using the method of moments to study thermal interactions and runaway risks, in collaboration between the LMAG at the IRESNE institute and the EM2C Laboratory.

In the context of the sustainable use of nuclear energy to produce carbon-free electricity, fourth-generation reactors, also known as "fast neutron" reactors, are necessary to close the fuel cycle.

This thesis falls within the framework of safety studies associated with such sodium-cooled reactors, and more particularly the hypothetical situation of a molten core relocating by gravity towards the core catcher at the bottom of the reactor vessel. A jet of corium (mixture of molten fuel and structural elements of the core) then interacts violently with the coolant, inducing, among other things, the fragmentation of the corium jet into droplets coupled with film boiling of the coolant. Characteristics of the resulting dispersed phase of corium and its fragmentation are crucial for studying the risk of runaway and steam explosion.

The aim of this thesis is to model a dispersed phase and its fragmentation in a surrounding fluid, using an approach that is both efficient and able to account to the scale variations and thermal imbalances between the droplets and the carrier phase. The method considered to meet these objectives is the method of moments, which

derives from a kinetic model. It requires adequate closure and numerical schemes that satisfy non-standard constraints, while offering, in return, a crucial cost/accuracy compromise in the context studied. The advancements will be a priori implemented in the CFD software SCONE, built on the CEA's open-source TRUST platform.

The main work location will be based at the LMAG (Laboratory of Severe Accidents Modeling) at the IRESNE Institute of CEA Cadarache. Part of the work will also be carried out at the EM2C Laboratory (Molecular and Macroscopic Energetics, Combustion) – CNRS/CentraleSupélec in Paris.

The future PhD will work in a scientific dynamic environment and will acquire skills enabling to aspire to academic and industrial R&D positions.

Keywords : Dispersed Phase, Fragmentation, Kinetic, Method of Moments, Multiphase, Numerical methods, Severe Accidents.

- Formation recommandée :
Engineer or Master's degree in applied mathematics, fluid mechanics, or physics

- Ecole doctorale :
ED 574 – Mathématiques Hadamard (EDMH)

- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Frédérique Laurent-Nègre
EM2C, Paris-Saclay

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
PONS Kévin
kevin.pons@cea.fr

04 42 25 35 19



TO	M	T	M	M
TO	M	M	M	M
H ₂ O		M	M	M
HO	M	T	M	M
HTO		M	M	M
TO	M	M	M	M

Etude et modélisation de la spéciation du tritium issu du dégazage des déchets tritiés.

DTN/SMTA/LMCT

Cette thèse vise à identifier les phénomènes influençant la spéciation du tritium lors du dégazage des déchets tritiés, à mener une étude expérimentale pour vérifier les hypothèses et à développer un modèle numérique pour prédire les proportions d'HT et HTO, au sein de l'Institut IRESNE du CEA Cadarache.

Le tritium, isotope radioactif de l'hydrogène, est utilisé comme combustible pour la fusion nucléaire, notamment dans le réacteur de recherche ITER, en construction à Cadarache. Sa petite taille lui permet de diffuser facilement dans les matériaux, ce qui entraînera, après la phase d'exploitation d'ITER, la production de déchets contenant du tritium.

Pour optimiser la gestion de ces déchets tritiés, le CEA développe des solutions technologiques visant à extraire et recycler le tritium, ainsi qu'à limiter sa migration vers l'environnement. L'efficacité de ces solutions dépend en grande partie de la forme chimique sous laquelle le tritium est libéré. Les retours d'expérience sur le dégazage du tritium provenant de différents types de déchets montrent qu'il se libère sous deux formes chimiques principales : l'hydrogène tritié (HT) et la vapeur d'eau tritée (HTO), dans des proportions variées.

Cependant, les mécanismes qui déterminent la répartition du tritium entre ces deux espèces ne sont pas bien compris. Plusieurs facteurs, comme les concentrations en oxygène et en eau, la nature et l'état de surface des déchets, ainsi que la concentration en tritium, peuvent influencer cette spéciation.

Les objectifs de cette thèse sont donc les suivants :

- Identifier les phénomènes affectant la spéciation du tritium lors du dégazage des déchets tritiés.
- Mener une étude expérimentale pour vérifier les hypothèses formulées.
- Développer un modèle numérique pour prédire les proportions d'HT et HTO relâchées, afin d'optimiser la gestion de ces déchets.

La thèse sera réalisée au sein de l'Institut IRESNE (Institut de Recherche sur les Systèmes Nucléaires pour la production d'Énergie bas carbone) sur le site du CEA à Cadarache, dans un laboratoire spécialisé dans l'étude du tritium. Le doctorant évoluera dans un environnement scientifique stimulant et pourra valoriser ses travaux de recherche. Le(a) candidat(e) doit être titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou d'un master 2 en Génie Chimique, Génie des procédés ou Chimie.

▪ Formation recommandée :

Diplôme d'ingénieur ou master 2 en Génie Chimique, Génie des procédés ou Chimie

▪ Ecole doctorale :

ED 353 – Sciences pour l'ingénieur

▪ Date souhaitée de début de thèse :

10/2026

▪ Lieu :

CEA Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :

Pierrette Guichardon

M2P2, Centrale Méditerranée et Aix-Marseille Université

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

CHASSERY Aurélien

aurellien.chassery@cea.fr

04 42 25 24 81



TO	M	T	M	M
TO	M	M	M	M
H ₂ O		M	M	M
HO	M	T	M	M
HTO		M	M	M
TO	M	M	M	M

Study and Modelling of Tritium Speciation from the Outgassing of Tritiated Waste.

DTN/SMTA/LMCT

This thesis aims to identify the phenomena influencing tritium speciation during the degassing of tritiated waste, to conduct an experimental study to verify the hypotheses, and to develop a numerical model to predict the proportions of HT and HTO, at the IRESNE Institute of the CEA Cadarache.

Tritium, the radioactive isotope of hydrogen, is used as fuel for nuclear fusion, particularly in the ITER research reactor currently under construction in Cadarache (France). Its small size allows it to easily diffuse into materials, which will lead to the production of waste containing tritium after the operational phase of ITER.

To optimize the management of this tritiated waste, the CEA is developing technological solutions aimed at extracting and recycling tritium, as well as limiting its migration to the environment. The effectiveness of these solutions largely depends on the chemical form in which tritium is released. Experience from the outgassing of tritium from various types of waste indicates that it is released in two main chemical forms: tritiated hydrogen (HT) and tritiated water vapor (HTO), in varying proportions.

However, the mechanisms determining the distribution of tritium between these two species are not well understood. Several factors, such as oxygen and water concentrations, the nature and surface state of the waste, and the

concentration of tritium, can influence this speciation.

The objectives of this thesis are as follows:

- To identify the phenomena affecting the speciation of tritium during the outgassing of tritiated waste.
- To conduct an experimental study to verify the proposed hypotheses.
- To develop a numerical model to predict the proportions of HT and HTO released, in order to optimize the management of this waste.

The thesis will be conducted within the IRESNE Institute (Institute for Research on Nuclear Systems for Low Carbon Energy Production) at the CEA site in Cadarache, in a laboratory specialised in tritium studies. The PhD candidate will work in a stimulating scientific environment and will have the opportunity to showcase their research work. The candidate must hold an engineering degree or a master's degree in Chemical Engineering, Process Engineering, or Chemistry.

▪ Formation recommandée :
Engineering degree or
Master's degree in Chemical
Engineering, Process
Engineering, or Chemistry

▪ Ecole doctorale :
ED 353 – Sciences pour
l'ingénieur

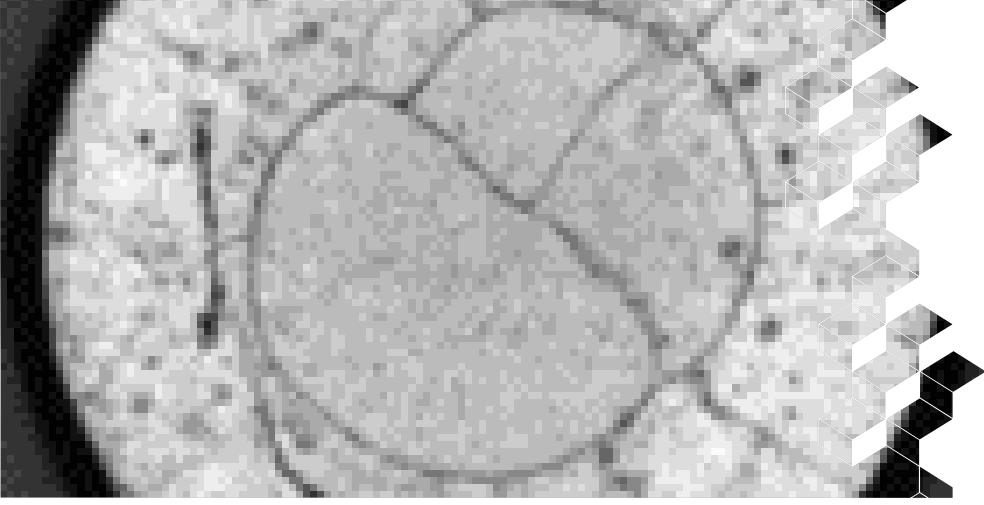
▪ Date souhaitée de début de
thèse :
10/2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :
Pierrette Guichardon
M2P2, Centrale Méditerranée
et Aix-Marseille Université

▪ Chercheur de l' IRESNE
à contacter :
CHASSERY Aurélien
aurellien.chassery@cea.fr
04 42 25 24 81





Méthode primale-duale proximale pour l'estimation conjointe de l'objet et des paramètres d'acquisition inconnus en tomographie.

DTN/SMTA/LMN

Cette thèse vise à développer des méthodes d'optimisation convexe et de machine learning pour estimer conjointement les paramètres d'acquisition et l'objet caractérisé dans le cadre de l'imagerie tomographique du réacteur de recherche Jules Horowitz, en collaboration entre l'Institut de Mathématiques de Marseille et le CEA Cadarache.

Dans le cadre de l'utilisation durable et sûre de l'énergie nucléaire au service de la transition énergétique décarbonée, le réacteur de recherche Jules Horowitz, en cours de construction sur le site du CEA Cadarache, est un outil-clé pour l'étude du comportement des matériaux sous irradiation. Une ligne d'imagerie tomographique est prévue en accompagnement des dispositifs expérimentaux afin d'obtenir l'image de la dégradation des échantillons en temps réel. Cette ligne présente des caractéristiques extraordinaires de par sa géométrie et la dimension des objets à caractériser. En conséquence, certains paramètres d'acquisition, indispensables pour la bonne reconstruction de l'image, ne sont pas connus avec précision. Ainsi, l'image finale peut se retrouver fortement dégradée.

L'objectif de cette thèse est de proposer des méthodes permettant l'estimation conjointe de l'objet caractérisé ainsi que des paramètres d'acquisition inconnus.

Ces méthodes s'appuieront notamment sur les outils de l'optimisation convexe moderne. Cette thèse explorera également des méthodes de machine learning afin d'automatiser et d'optimiser le choix des hyperparamètres du problème.

La thèse sera réalisée en collaboration entre l'Institut de Mathématiques de Marseille (I2M CNRS UMR 7373, Aix-Marseille Université, site Saint Charles) et le laboratoire de Mesures Nucléaires de l'institut IRESNE du CEA (site de Cadarache, Saint Paul les Duranç). Le ou la doctorant(e) évoluera dans un environnement de recherche stimulant en lien avec des problématiques stratégiques liées au contrôle non destructif. Il ou elle pourra également valoriser ses travaux de recherche en France comme à l'étranger.

■ Formation recommandée :
Master 2 ou Ecole d'Ingénieurs spécialisé en mathématiques appliquées / traitement du signal / data sciences

■ Ecole doctorale :
ED 184 – Mathématiques et Informatique de Marseille (MIM)

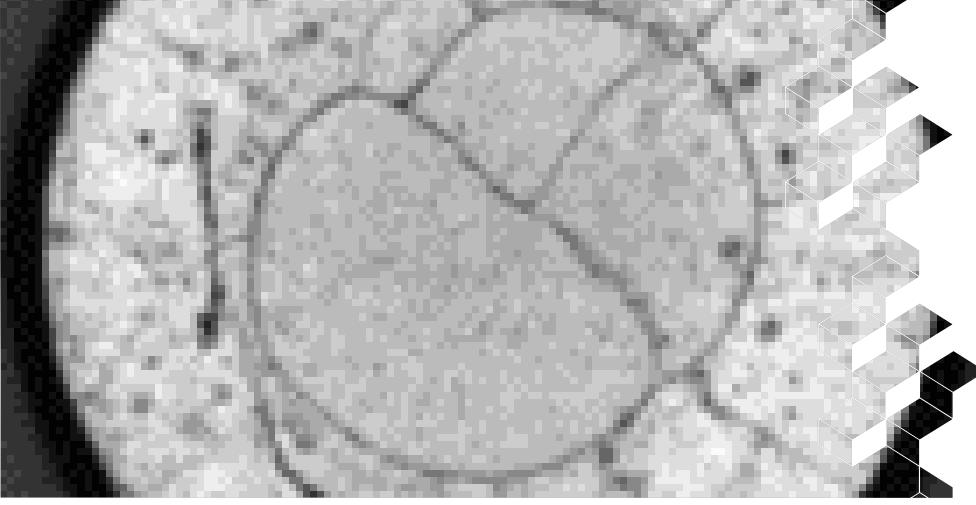
■ Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

■ Lieu :
CEA Cadarache et Institut de Mathématiques de Marseille

■ Directeur(s) de thèse :
Frédéric Richard
Institut de Mathématiques de Marseille

■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
TARPAU Cécilia
cecilia.tarpau@cea.fr
04 42 25 62 32





Proximal primal-dual method for joint estimation of the object and of unknown acquisition parameters in Computed Tomography..

DTN/SMTA/LMN

This thesis aims to develop convex optimization and machine learning methods to jointly estimate the acquisition parameters and the characterized object in the context of tomographic imaging of the Jules Horowitz research reactor, in collaboration between the Marseille Mathematics Institute and CEA Cadarache.

As part of the sustainable and safe use of nuclear energy in the transition to a carbon-free energy future, the Jules Horowitz research reactor, currently under construction at the CEA Cadarache site, is a key tool for studying the behaviour of materials under irradiation. A tomographic imaging system will be exploited in support of experimental measures to obtain real-time images of sample degradation. This imaging system has extraordinary characteristics due to its geometry and to the size of the objects to be characterized. As a result, some acquisition parameters, which are essential to obtain a sufficient image reconstruction quality, are not known with precision. This can lead to a significant degradation of the final image.

The objective of this PhD thesis is to propose methods for the joint estimation of the object under study and of the unknown acquisition parameters. These methods will be based on modern convex optimization tools. This

thesis will also explore machine learning methods in order to automate and optimize the choice of hyperparameters for the problem.

The thesis will be carried out in collaboration between the Marseille Institute of Mathematics (I2M CNRS UMR 7373, Aix-Marseille University, Saint Charles campus) and the Nuclear Measurement Laboratory of the IRESNE institute of the French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA Cadarache, Saint Paul les Durance). The doctoral student will work in a stimulating research environment focused on strategic questions related to non-destructive testing. He or she will also have the opportunity to promote his or her research work in France and abroad.

- Formation recommandée :
Master's degree or engineering school specializing in applied mathematics/signal processing/data sciences

- Ecole doctorale :
ED 184 – Mathématiques et Informatique de Marseille (MIM)

- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache et Institut de Mathématiques de Marseille

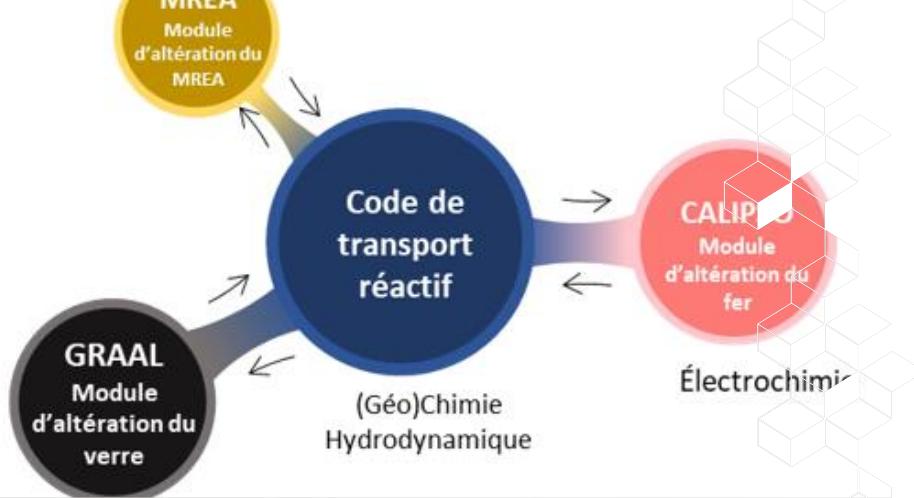
- Directeur(s) de thèse :
Frédéric Richard
Institut de Mathématiques de Marseille

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
TARPAU Cécilia
cecilia.tarpau@cea.fr
04 42 25 62 32



Simuler l'altération du verre dans son environnement : développement d'un module autonome pour le couplage avec les codes de transport réactif.

DTN/SMTA/LMTE



Cette thèse vise à développer un module verre autonome basé sur le modèle GRAAL2 pour simuler l'altération des verres nucléaires et s'interfacer avec des codes de transport réactif, au sein du CEA Cadarache.

Dans le cadre de l'utilisation durable et sûre de l'énergie nucléaire au sein d'un mix énergétique décarboné répondant à l'urgence climatique, la maîtrise de l'inventaire en déchets radioactifs est une question prioritaire. L'altération des verres nucléaires conditionne alors directement l'évaluation à long terme de la sûreté des stockages géologiques de ces déchets. Comprendre et simuler ces processus représente donc un enjeu scientifique, industriel et sociétal majeur. Les modèles existants, tels que GRAAL2 [1] développé par le CEA, permettent de simuler et prédire des mécanismes de passivation courants à l'échelle nanométrique transposés à l'échelle mésoscopique via des lois cinétiques mésoscopique utilisées dans les codes de transport réactif (CTR).

Cette thèse vise à développer un module verre (MV) autonome sur la base du modèle GRAAL2, capable de calculer, l'altération du verre et de s'interfacer avec différents CTR (HYTEC, CRUNCH...). Les objectifs principaux sont : (i) concevoir et implémenter le MV sur la base d'un module cinétique robuste, (ii) développer un coupleur assurant les échanges d'informations avec le CTR, (iii) définir et réaliser des campagnes de validation

numérique sur des cas tests de référence pour le MV et le coupleur, et (iv) conduire des analyses de sensibilité et d'incertitude afin d'identifier les paramètres déterminants dans un contexte de modélisation multi-matériaux (verre, fer, argile).

La thèse se déroulera dans le Laboratoire de Modélisation des Transferts dans l'Environnement de l'Institut IRESNE (CEA, site de Cadarache, Saint Paul les Durance). Le sujet offrira à le ou la doctorante des compétences transverses en géochimie, couplage multiphysique et développement logiciel, ouvrant des débouchés tant dans la recherche académique que dans l'ingénierie nucléaire et environnementale.

Références :

- [1] M. Delcroix, P. Frugier, E. Geiger, C. Noiriel, The GRAAL2 glass alteration model: initial qualification on a simple chemical system, *Npj Mater Degrad* 9 (2025) 38. <https://doi.org/10.1038/s41529-025-00589-4>.

▪ Formation recommandée :
Master 2 ou Ecole d'Ingénieurs spécialisé en modélisation, développement et ingénierie logicielle

▪ Ecole doctorale :
ED 398 – Géosciences, ressources naturelles et environnement

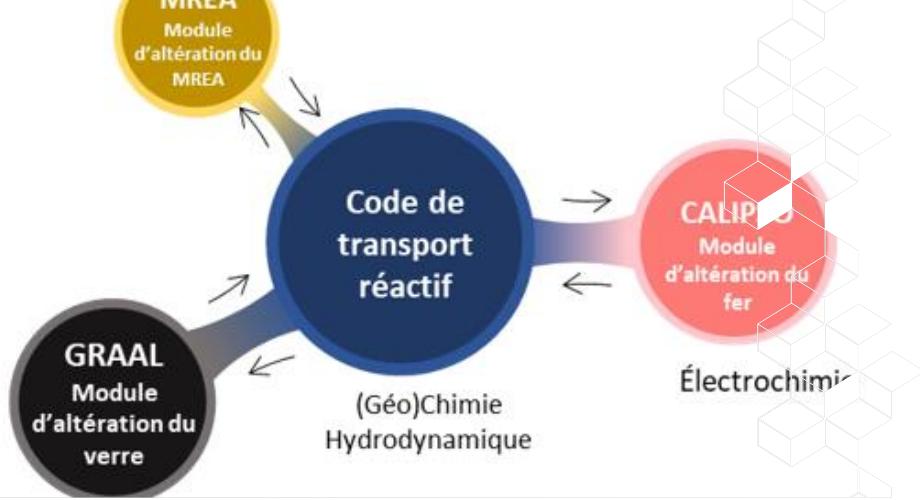
▪ Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :
Nicolas Seigneur
Centre pour les Géosciences, Ecole des Mines de Paris

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
BANC Camille
camille.banc@cea.fr
04 42 25 37 24





Development of an autonomous module for glass alteration modeling and its coupling with reactive transport codes.

DTN/SMTA/LMTE

This thesis aims to develop a standalone glass module based on the GRAAL2 model to simulate the alteration of nuclear glasses and interface with reactive transport codes at the CEA Cadarache.

In the context of the sustainable and safe use of nuclear energy within a carbon-free energy mix that addresses the climate emergency, managing radioactive waste inventory is a priority concern. The alteration of nuclear glass therefore directly affects the long-term assessment of the safety of geological storage of this waste. Understanding and simulating these processes is therefore a major scientific, industrial, and societal challenge. Existing models, such as GRAAL2 [1] developed at the CEA, capture the passivation mechanisms governing glass alteration, bridging nanometric processes to mesoscopic scale through mesoscopic-scale kinetic laws used in reactive transport codes (RTC).

This PhD aims to develop an autonomous glass module (GM) based on the GRAAL2 model, capable of computing glass alteration kinetics and interfacing with different reactive transport codes (HYTEC, CRUNCH...). The main objectives are: (i) to design and implement a kinetic module, (ii) to develop a coupling interface managing information exchange with RTC, (iii) to define and carry out numerical

validation campaigns on reference test cases for both the GM and the coupler, and (iv) to perform sensitivity and uncertainty analyses to identify the key parameters controlling glass behavior in a multi-material context (glass, iron, clay).

The PhD will take place at the Laboratory for Environmental Transfer Modeling (LMTE), within the IRESNE Institute (CEA, Cadarache site, Saint-Paul-lès-Durance). The project will provide the PhD candidate with cross-disciplinary skills in geochemistry, multiphysics coupling, and scientific software development, opening career opportunities in both academic research and nuclear/environmental engineering.

References:

- [1] M. Delcroix, P. Frugier, E. Geiger, C. Noiriel, The GRAAL2 glass alteration model: initial qualification on a simple chemical system, *Npj Mater Degrad* 9 (2025) 38. <https://doi.org/10.1038/s41529-025-00589-4>.

- Formation recommandée :
Master's degree or engineering school specializing in modeling, development, and software engineering

- Ecole doctorale :
ED 398 – Géosciences, ressources naturelles et environnement

- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Nicolas Seigneur
Centre pour les Géosciences, Ecole des Mines de Paris

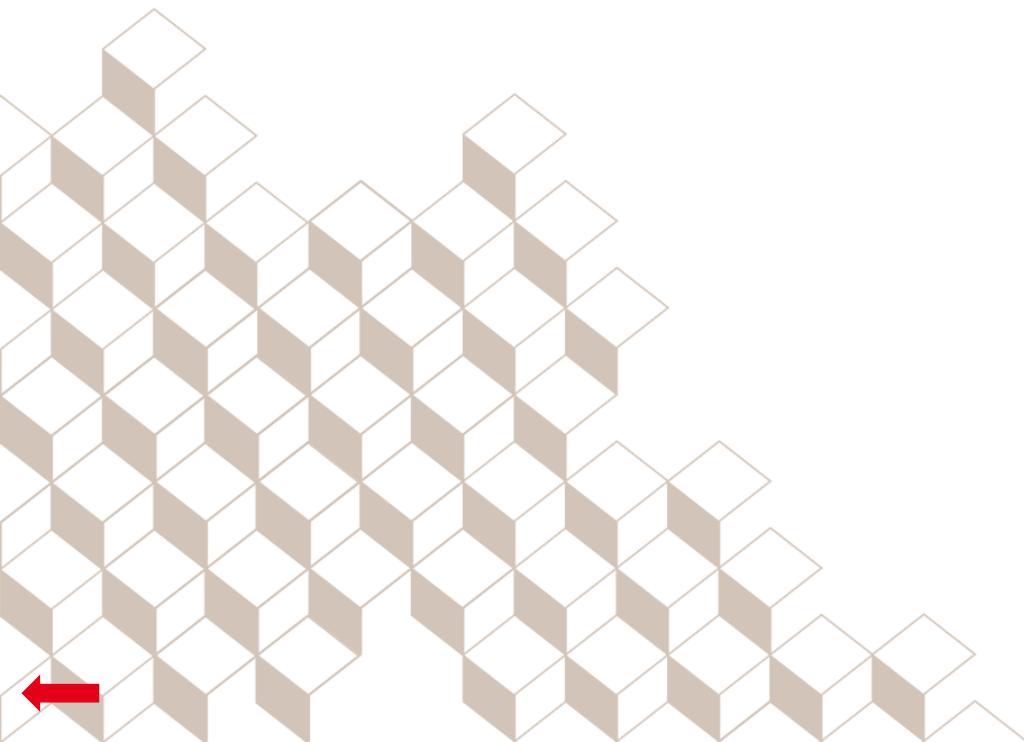
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
BANC Camille
camille.banc@cea.fr
04 42 25 37 24

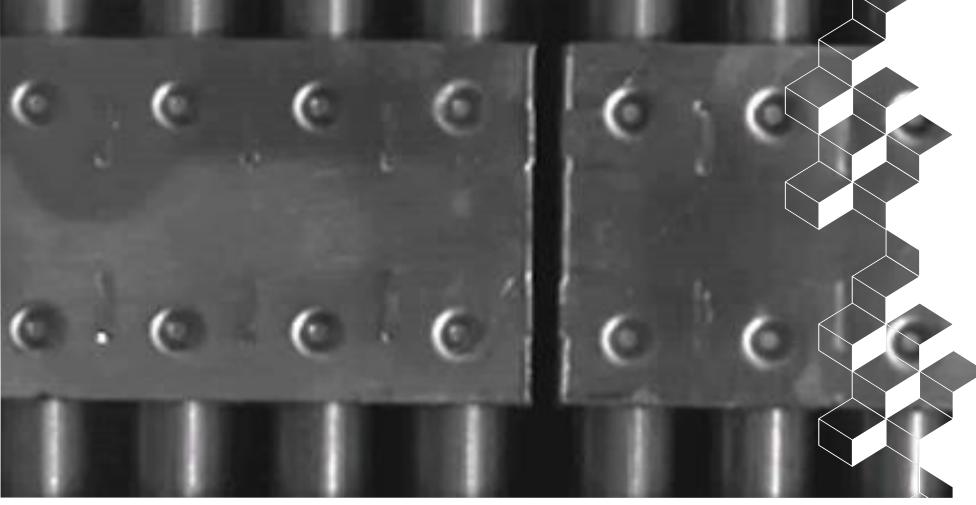


STCP

Service de
technologie des
composants et des
procédés

*Component Technology and Processes
Unit*





Mesures fines en trois dimensions de couches limites en écoulements turbulents dans les assemblages de REP.

DTN/STCP/LETH

Cette thèse vise à développer des mesures optiques avancées pour étudier les écoulements turbulents dans les assemblages combustibles nucléaires, en combinant adaptation d'indice, caméra panoptique et PTV, au sein du laboratoire LETH de l'Institut IRESNE du CEA Cadarache, en collaboration avec l'Université de George Washington.

La production d'électricité grâce à l'énergie nucléaire constitue un pilier essentiel de la transition énergétique en raison de son faible impact carbone. Dans une démarche de constante amélioration de la sûreté et des performances, l'établissement de nouvelles connaissances et de nouveaux outils sont nécessaires.

Les assemblages combustibles composants du cœur d'un réacteur font l'objet de différentes problématiques impliquant des phénomènes thermo-hydrauliques. On pourra citer les vibrations induites par écoulement, la transmission de puissance associée aux flux critiques ou encore les interactions fluide structure en cas de déformation d'assemblage ou d'excitation sismique. Dans toutes ces situations le comportement du fluide en proche paroi joue un rôle essentiel. L'utilisation de la CFD permet de simuler ces phénomènes avec pour objectif d'obtenir des outils prédictifs. Les besoins de validation expérimentale requis par les simulations réalisables aujourd'hui poussent les techniques de mesures classiques dans leur retranchement. Il

existe aujourd'hui un besoin fort d'avoir des données expérimentales raffinées en temps et en espace sur des géométries complexes.

Ce projet de thèse propose de répondre à ce besoin en utilisant les dernières avancées en termes de mesures optiques dans les écoulements turbulents. En effet, grâce à la combinaison des techniques d'index matching, de caméra panoptique et de PTV (Particule Tracking Velocimetry) il est possible de mesurer le champ de vitesse dans un volume représentatif (environ 1 cm³) avec une densité spatiale de l'ordre de 10 micromètres et ainsi mesurer l'écoulement dans la couche limite en même temps que dans le canal hydraulique.

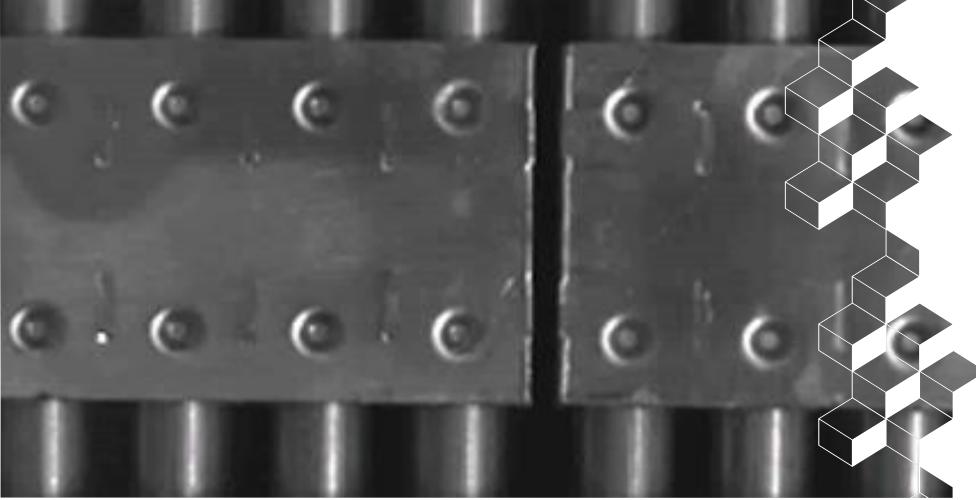
La thèse sera principalement réalisée au laboratoire d'hydromécanique LETH de l'Institut IRESNE (CEA Cadarache), et fera l'objet d'une collaboration avec le Thermo-Fluids Lab à l'Université de George Washington aux USA (mission sur place envisagée).

- Formation recommandée :
Master 2 ou Ecole d'Ingénieurs spécialisé en mécanique des fluides et instrumentation
- Ecole doctorale :
ED 353 – Sciences pour l'ingénieur
- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026
- Lieu :
CEA Cadarache et George Washington University
- Directeur(s) de thèse :
Guillaume Ricciardi
CEA, IRESNE

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
RICCIARDI Guillaume
guillaume.ricciardi@cea.fr

04 42 25 33 20





Three-Dimensional fine measurements of boundary layers in turbulent flows within PWR fuel assemblies .

DTN/STCP/LETH

This thesis aims to develop advanced optical measurements to study turbulent flows in nuclear fuel assemblies, combining index adaptation, panoptic camera, and PTV, at the LETH laboratory of the IRESNE Institute at CEA Cadarache, in collaboration with George Washington University.

The production of electricity through nuclear energy is a key pillar of the energy transition due to its low carbon footprint. In a continuous effort to improve safety and performance, the development of new knowledge and tools is essential.

Fuel assemblies, which are components of a reactor core, face various challenges involving thermo-hydraulic phenomena. These include flow-induced vibrations, power transmission associated with critical fluxes, and fluid-structure interactions in cases of assembly deformation or seismic excitation. In all these situations, the behavior of the fluid near the wall plays a crucial role. The use of Computational Fluid Dynamics (CFD) allows for the simulation of these phenomena with the goal of obtaining predictive tools. The experimental validation needs required by today's simulations push classical measurement techniques to their limits. There is a strong need for refined

experimental data in both time and space on complex geometries.

This doctoral project aims to address this need by leveraging the latest advancements in optical measurements for turbulent flows. By combining index matching techniques, panoramic cameras, and Particle Tracking Velocimetry (PTV), it is possible to measure the velocity field in a representative volume (approximately 1 cm³) with a spatial density of around 10 micrometers. This allows for the simultaneous measurement of flow in the boundary layer and the hydraulic channel.

The thesis will primarily be conducted at the Hydromechanics Laboratory (LETH) at the IRESNE Institute (CEA Cadarache) and will involve collaboration with the Thermo-Fluids Lab at George Washington University. Travel to the USA will be required.

- Formation recommandée :
Master's degree or engineering school specializing in fluid mechanics and instrumentation

- Ecole doctorale :
ED 353 – Sciences pour l'ingénieur

- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

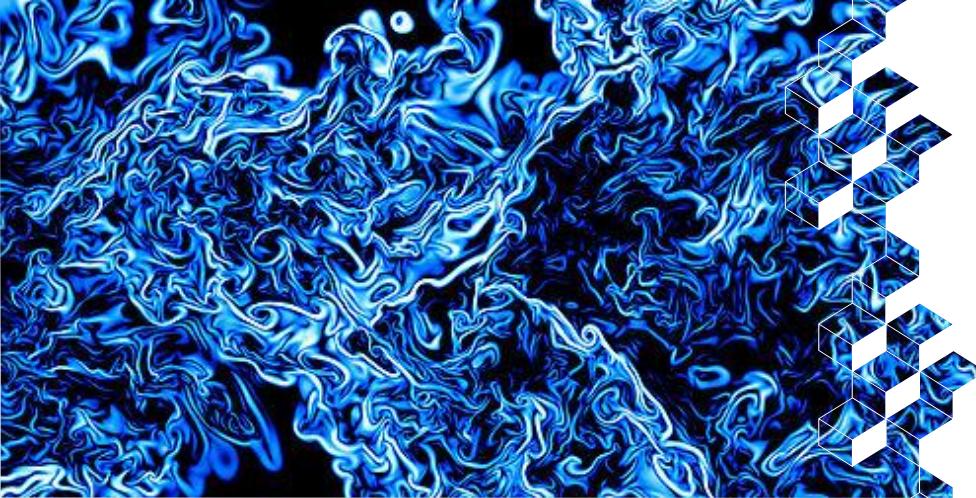
- Lieu :
CEA Cadarache et George Washington University

- Directeur(s) de thèse :
Guillaume Ricciardi
CEA, IRESNE

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
RICCIARDI Guillaume
guillaume.ricciardi@cea.fr

04 42 25 33 20





Méthodes de synthèse de turbulence des milieux poreux à partir de simulations fines pour la modélisation multi-échelle des cœurs nucléaires.

DTN/STCP/LETH

Cette thèse vise à développer des méthodes multi-échelles pour synthétiser la turbulence à partir de simulations de milieu poreux, afin d'améliorer les conditions aux limites pour les simulations CFD locales, dans le cadre d'une collaboration entre l'institut IRESNE (CEA) et l'ASNR à Cadarache.

La production d'électricité par l'énergie nucléaire joue un rôle crucial dans la transition énergétique, grâce à son faible impact carbone. Pour améliorer continuellement la sécurité et les performances, il est indispensable de développer de nouvelles connaissances et outils.

Le cœur d'un réacteur nucléaire est constitué de milliers de crayons combustibles traversés par un écoulement turbulent. Ce flux peut provoquer des vibrations, pouvant entraîner une usure. Deux échelles d'écoulement sont identifiées : une échelle locale, où le fluide interagit avec les crayons, et une échelle globale, représentant la distribution de l'écoulement dans le cœur. L'échelle locale nécessite des simulations CFD et un couplage fluide-structure, tandis que l'échelle globale peut être modélisée par des approches moyennes, comme les simulations de milieux poreux.

Les simulations couplées d'interaction fluide-structure (FSI) à l'échelle CFD sont limitées à de petits domaines. Pour surmonter cette limitation, des approches multi-échelles sont requises,

combinant simulations de milieu poreux à grande échelle et simulations CFD détaillées à petite échelle. L'objectif de la thèse est de développer des méthodes pour synthétiser la turbulence à partir des résultats des simulations de milieu poreux, afin d'améliorer les conditions aux limites pour les simulations CFD. Le candidat étudiera d'abord comment les modèles de turbulence existants peuvent fournir des détails sur le flux turbulent à l'échelle du composant, puis comment synthétiser la turbulence pour les simulations CFD locales.

Ce projet de thèse fait l'objet d'une collaboration entre l'institut IRESNE (CEA) et l'ASNR. La thèse sera réalisée sur le site de Cadarache (principalement à l'ASNR). Le financement sera assuré par un MSCA Doctoral Network. Le doctorant sera intégré dans un réseau de 17 doctorants, pour être éligible le candidat devra avoir résider au maximum 12 mois sur les 36 derniers en France.

- Formation recommandée :
Diplôme d'ingénieur ou master 2 en mécanique des fluides et modélisation

- Ecole doctorale :
ED 353 – Sciences pour l'ingénieur

- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

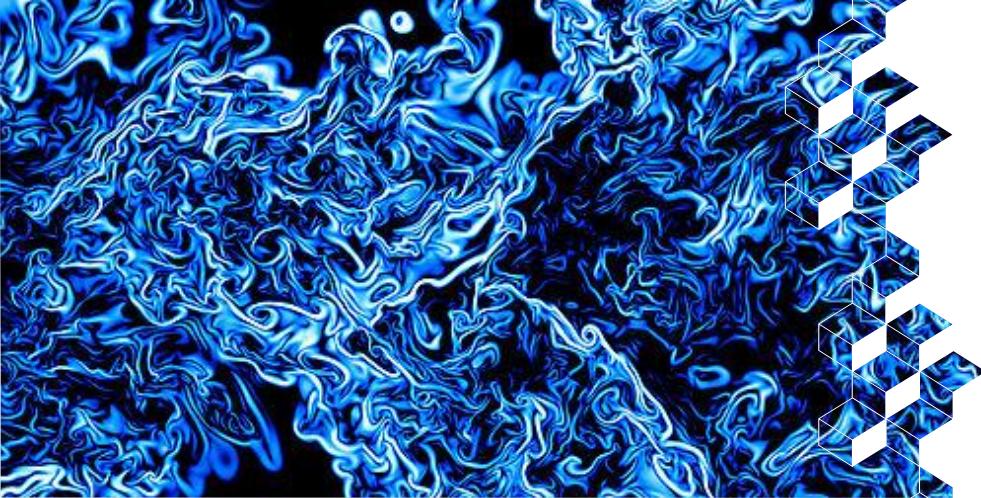
- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Guillaume Ricciardi
CEA IRESNE

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
RICCIARDI Guillaume
guillaume.ricciardi@cea.fr
04 42 25 33 20

Bourse européenne Marie Skłodowska-Curie réservée aux étudiants non-français





Turbulence synthetization methods in porous media from detailed simulations for multi-scale simulations of nuclear cores.

DTN/STCP/LETH

Cette thèse vise à développer des méthodes multi-échelles pour synthétiser la turbulence à partir de simulations de milieu poreux, afin d'améliorer les conditions aux limites pour les simulations CFD locales, dans le cadre d'une collaboration entre l'institut IRESNE (CEA) et l'ASNR à Cadarache.

The production of electricity through nuclear energy plays a crucial role in the energy transition due to its low carbon impact. To continuously improve safety and performance, it is essential to develop new knowledge and tools.

The core of a nuclear reactor consists of thousands of fuel rods traversed by a turbulent flow. This flow can cause vibrations, leading to wear. Two flow scales are identified: a local scale, where the fluid interacts with the rods, and a global scale, representing the flow distribution within the core. The local scale requires CFD simulations and fluid-structure coupling, while the global scale can be modeled using averaged approaches, such as porous media simulations.

Coupled fluid-structure interaction (FSI) simulations at the CFD scale are limited to small domains. To overcome this limitation, multi-scale approaches are required, combining large-scale porous media simulations and detailed small-

scale CFD simulations. The goal of the thesis is to develop methods for synthesizing turbulence from the results of porous media simulations to improve boundary conditions for CFD simulations. The candidate will first study how existing turbulence models can provide details on turbulent flow at the component scale, and then how to synthesize turbulence for local CFD simulations.

This PhD project is the subject of a collaboration between the IRESNE Institute (CEA) and the ASNR (main execution site of the thesis) in Cadarache. Funding is provided by a MSCA Doctoral Network. The PhD student will be integrated into a network of 17 PhD students. To be eligible, the candidate must have resided no more than 12 months in the last 36 months in France.

- Formation recommandée :
Engineering degree or
Master's degree in fluid
mechanics and modeling

- Ecole doctorale :
ED 353 – Sciences pour
l'ingénieur

- Date souhaitée de début de
thèse :
10/2026

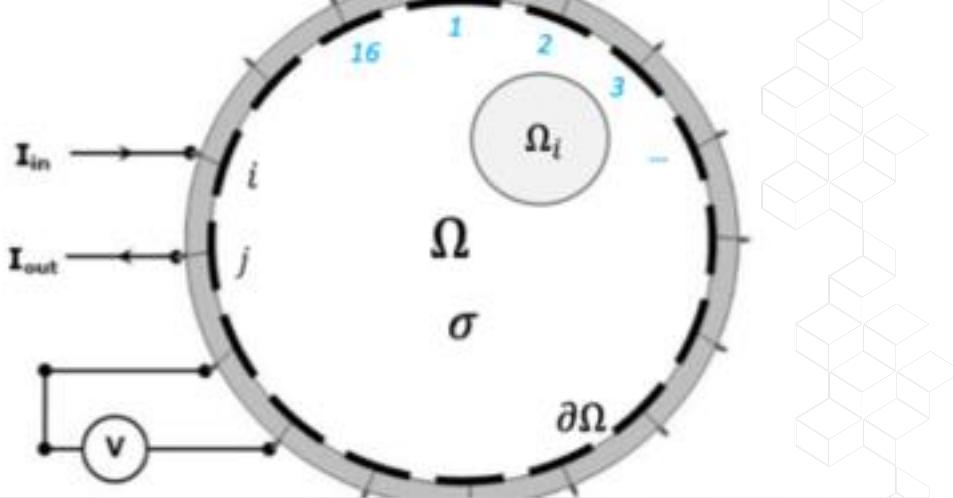
- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Guillaume Ricciardi
CEA IRESNE

- Chercheur de l' IRESNE
à contacter :
RICCIARDI Guillaume
guillaume.ricciardi@cea.fr
04 42 25 33 20

European Marie Skłodowska-Curie scholarship reserved for non-French students





Tomographie électrique pour l'étude des écoulements diphasiques métal liquide/gaz.

DTN/STCP/LISM

Cette thèse vise à modéliser la fragmentation d'un jet de corium dans un réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium, en utilisant la méthode des moments pour étudier les interactions thermiques et les risques d'emballement, en collaboration entre le L MAG de l'institut IRESNE et le Laboratoire EM2C.

Dans le cadre de l'utilisation durable de l'énergie nucléaire dans le cadre d'un mix énergétique décarboné en association avec les énergies renouvelables, les réacteurs de IVe génération à neutrons rapides sont cruciaux pour la fermeture du cycle du combustible et la maîtrise de la ressource en uranium. La maîtrise de la sûreté d'un tel réacteur à caloporteur sodium repose notamment sur la détection précoce de vides gazeux dans les circuits. Dans ces milieux opaques et métalliques, les méthodes d'imagerie optiques sont inopérantes, d'où la nécessité de développer des techniques innovantes.

Cette thèse s'inscrit dans le développement de la tomographie d'impédance électrique (EIT) appliquée aux métaux liquides, une approche non intrusive permettant d'imager la distribution de conductivité dans un écoulement.

Les travaux porteront sur l'étude des phénomènes électromagnétiques dans les milieux diphasiques métal/gaz, en particulier l'effet de peau et les courants

de Foucault produits par des champs oscillants.

Des approches d'intelligence artificielle, notamment les Physics-Informed Neural Networks (PINNs), seront explorées pour combiner apprentissage numérique et contraintes physiques et seront comparées à l'utilisation de simulations numériques.

L'objectif est d'établir des modèles physiques adaptés au contexte métallique et de concevoir des méthodes d'inversion robustes vis-à-vis des bruits de mesure.

Des essais sur galinstan permettront de valider les modèles et de démontrer la faisabilité de la détection d'inclusions gazeuses dans un métal liquide.

Ce travail conduit à l'institut IRESNE du CEA Cadarache, ouvrira de nouvelles perspectives d'imagerie électromagnétique pour les milieux opaques fortement conducteurs.

▪ Formation recommandée :
Physique + IA

▪ Ecole doctorale :
ED 361 – Sciences pour l'Ingénieur (SPI)

▪ Date souhaitée de début de thèse :

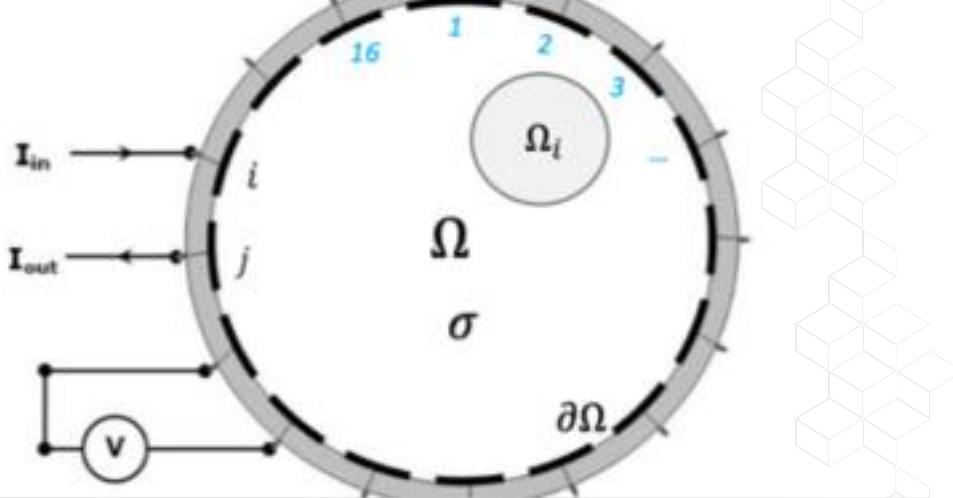
10/2026

▪ Lieu :
CEA Cadarache

▪ Directeur(s) de thèse :
Alexandre Baussard
LIST3N, Université de Troyes

▪ Chercheur de l' IRESNE à contacter :
MICHEL Frédéric
frederic.michel@cea.fr
04 42 25 47 84





Electrical impedance tomography for the study of two-phase liquid metal/gas flows.

DTN/STCP/LISM

This thesis aims to model the fragmentation of a corium jet in a sodium-cooled fast neutron reactor, using the method of moments to study thermal interactions and runaway risks, in collaboration between the LMAG at the IRESNE institute and the EM2C Laboratory.

As part of the sustainable use of nuclear energy within a carbon-free energy mix in combination with renewable energies, fourth-generation fast neutron reactors are crucial for closing the fuel cycle and controlling uranium resources. Ensuring the safety of such a sodium-cooled reactor relies for a significant part on the early detection of gas voids in their circuits. In these opaque and metallic environments, optical imaging methods are ineffective, making it necessary to develop innovative techniques.

This PhD project is part of the development of Electrical Impedance Tomography (EIT) applied to liquid metals, a non-intrusive approach enabling the imaging of local conductivity distributions within a flow.

The work will focus on the study of electromagnetic phenomena in two-phase metal/gas systems, in particular the skin effect and eddy currents

generated by oscillating fields.

Artificial-intelligence approaches, such as Physics-Informed Neural Networks (PINNs), will be explored to combine numerical learning with physical constraints and will be compared with purely numerical simulations.

The objective is to establish refined physical models adapted to metallic environments and to design inversion methods robust against measurement noise.

Experiments on Galinstan will be conducted to validate the models and demonstrate the feasibility of detecting gas inclusions in a liquid metal.

This research, carried out at IRESNE Institute of CEA Cadarache, will open new perspectives in electromagnetic imaging for opaque, highly conductive media.

- Formation recommandée : Physics + AI

- Ecole doctorale : ED 361 – Sciences pour l'Ingénieur (SPI)

- Date souhaitée de début de thèse :

10/2026

- Lieu : CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

Alexandre Baussard

LIST3N, Université de Troyes

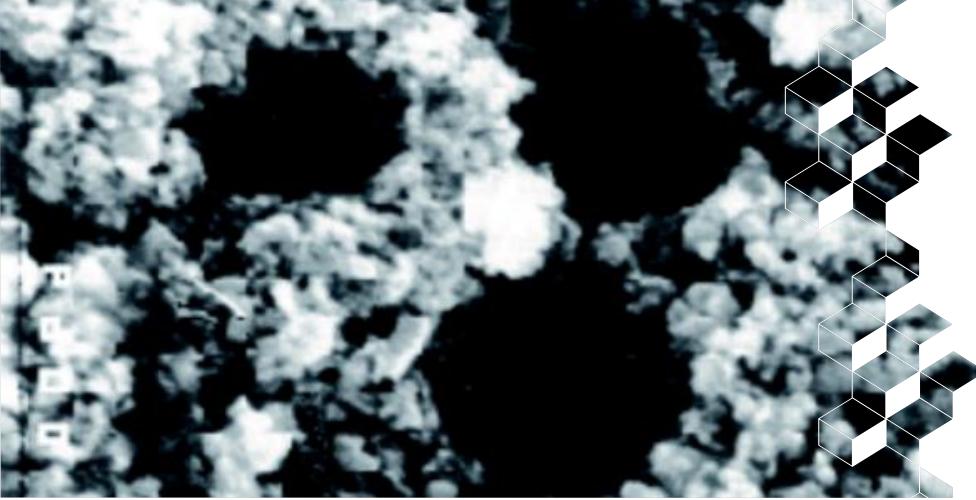
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MICHEL Frédéric

frederic.michel@cea.fr

04 42 25 47 84





Ebullition nucléée au sein de substrats poreux : étude du couplage entre la composition du caloporeur et la vaporisation capillaire.

DTN/STCP/LTHC

Cette thèse étudie l'influence de la chimie du caloporeur et de la vaporisation capillaire sur l'ébullition nucléée sous-refroidie dans des substrats poreux chauffés, via des essais expérimentaux au CEA IRESNE Cadarache.

Dans la recherche de la meilleure combinaison des énergies décarbonées pour faire face à l'enjeu du changement climatique, l'énergie nucléaire joue un rôle crucial en association avec les énergies renouvelables intermittentes. Dans ce contexte, la performance et la sûreté des réacteurs à eau pressurisés (REP) composant le parc français est un champ de recherche toujours actif et à forte valeur ajoutée.

Dans ces réacteurs, l'établissement d'un régime d'ébullition nucléée sous-refroidie est possible notamment lorsque la température locale du caloporeur devient supérieure à la température de saturation de ce dernier. Cette ébullition à la paroi favorise la formation de dépôts poreux d'oxydes métalliques. Au sein des porosités du dépôt, des germes gazeux peuvent être piégés et permettre l'apparition du phénomène d'ébullition nucléée sur ces surfaces. La vapeur formée selon un mécanisme de wick boiling, ou vaporisation capillaire, s'échappe ensuite par les cheminées du dépôt. La chimie du caloporeur considéré influence non seulement les propriétés thermodynamiques du fluide (température de saturation, chaleur latente), mais surtout ses propriétés interfaciales (tension de surface et angles de mouillage solide/liquide/gaz). Ces propriétés interfaciales contrôlent directement les forces capillaires en jeu dans les dépôts et donc le déclenchement et la dynamique de l'ébullition sous-refroidie. A ce jour, l'influence de la chimie du caloporeur sur le déclenchement et le développement de l'ébullition nucléée sous-refroidie au sein de surfaces chauffantes poreuses reste encore mal comprise. Ainsi, l'objectif de cette thèse

est d'étudier de façon systématique l'influence couplée de la composition du caloporeur et de la vaporisation capillaire sur l'ébullition nucléée au sein de substrats poreux chauffés par conduction.

Dans ce travail de thèse, il est proposé de suivre une démarche expérimentale afin d'étudier l'influence de la chimie du caloporeur sur la tension de surface et sur l'angle de contact pour caractériser le mouillage par le fluide de substrats poreux idéalisés. Des essais d'ébullition convective sous-refroidie seront aussi réalisés avec une caractérisation du phénomène par ombroscopie et thermométrie à fibre optique.

La thèse se déroulera au sein des laboratoires de thermohydraulique du cœur et des circuits (LTHC) et de maîtrise de la contamination, de la chimie des caloporeurs et du tritium (LMCT) du CEA IRESNE (Cadarache, France). L'étudiant(e) mènera ses travaux sous la direction du Pr. Benoit Stutz de l'Université Savoie-Mont-Blanc. Lors de ce projet de recherche, le doctorant pourra développer ses compétences dans le domaine de la physico-chimie des interfaces et de la thermohydraulique diphasique, par l'observation, la caractérisation et la modélisation de phénomènes multi-physiques complexes.

- Formation recommandée :

Diplôme d'ingénieur ou Master 2 avec spécialité : énergétique, mécanique des fluides, physico-chimie ou génie des procédés

- Ecole doctorale :

ED 634 – Sciences, Ingénierie, Environnement (SIE)

- Date souhaitée de début de thèse :

10/2026

- Lieu :

CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :

Benoit Stutz

LOCIE, Université Savoie Mont-Blanc

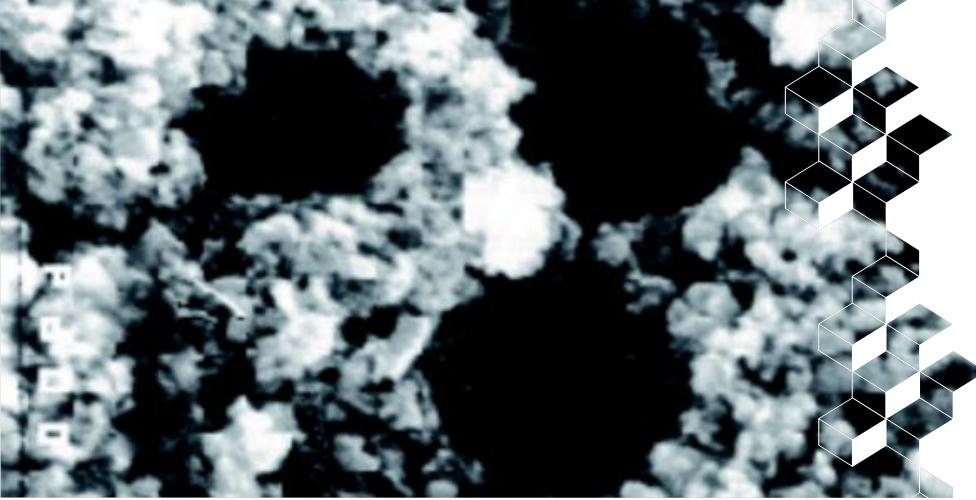
- Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MARTIN Jimmy

jimmy.martin@cea.fr

04 42 25 74 50





Nucleate boiling within porous deposits: study of the coupling between coolant composition and capillary vaporization.

DTN/STCP/LTHC

This thesis studies the influence of heat transfer fluid chemistry and capillary evaporation on subcooled nucleate boiling in heated porous substrates, through experimental tests at CEA IRESNE Cadarache.

In the search of the optimal combination of low-carbon energy sources to address the challenge of climate change, nuclear energy plays a crucial role alongside intermittent renewable energies. In this context, the performance and safety of Pressurized Water Reactors (PWRs), which make up the French nuclear fleet, remain an active and high-value research area.

In these reactors, a subcooled nucleate boiling regime can occur, particularly when the local temperature of the coolant exceeds its saturation temperature. This wall boiling promotes the formation of porous deposits of metallic oxides. Within the porosities of these deposits, gas nuclei can be trapped and lead to the onset of nucleate boiling on these surfaces. The vapor formed through a wick boiling or capillary vaporization mechanism then escapes through the chimneys of the deposit. The chemistry of the coolant affects not only the thermodynamic properties of the fluid (such as saturation temperature and latent heat) but, more importantly, its interfacial properties (surface tension and solid/liquid/gas contact angles). These interfacial properties directly control the capillary forces within the deposits, and thus the onset and dynamics of subcooled boiling. As of today, the influence of coolant chemistry on the initiation and development of subcooled nucleate boiling within porous heated surfaces remains poorly understood.

The objective of this PhD is therefore to systematically study the coupled influence of coolant composition and capillary vaporization on nucleate boiling within porous substrates heated by conduction.

The research will follow an experimental approach to investigate how coolant chemistry affects surface tension and contact angles, in order to characterize fluid wetting on idealized porous substrates. Subcooled convective boiling experiments will also be conducted, with the phenomena characterized by shadowgraphy and fiber-optic thermometry.

The PhD will take place within the Thermal Hydraulics of Core and Circuits Laboratory (LTHC) and the Contamination Control, Coolant Chemistry and Tritium Management Laboratory (LMCT) at CEA IRESNE (Cadarache, France). The work will be supervised by Prof. Benoît Stutz of the University of Savoie Mont Blanc. Throughout this project, the doctoral student will develop expertise in interfacial physico-chemistry and two-phase thermohydraulics through the observation, characterization, and modeling of complex multiphysics phenomena.

- Formation recommandée :
Engineering degree or Master's degree with specialization in: energy, fluid mechanics, physical chemistry, or process engineering

- Ecole doctorale :
ED 634 – Sciences, Ingénierie, Environnement (SIE)

- Date souhaitée de début de thèse :
10/2026

- Lieu :
CEA Cadarache

- Directeur(s) de thèse :
Benoit Stutz
LOCIE, Université Savoie Mont-Blanc

- Chercheur de l' IRESNE à contacter :
MARTIN Jimmy
jimmy.martin@cea.fr
04 42 25 74 50



Contact

 iresne@cea.fr

 04 42 25 20 71

 fr.linkedin.com/company/cea-iresne

IRESNE – bâtiment 707
Centre CEA de Cadarache
13115 Saint-Paul-lez-Durance

