

# IRESNE<sup>2025</sup> SUJETS DE THESES

*IRESNE THESIS TOPICS*

iresne@cea.fr  
04 42 25 20 71

IRESNE – bât 707  
CEA Cadarache, 13115 Saint-Paul-lès-Durance



iresne



# Sommaire Summary

[Présentation de l'IRESNE](#)

*About IRESNE*

[IRESNE : Un institut du CEA à Cadarache](#)

*IRESNE : A CEA institute at Cadarache*

[Les thèses à l'IRESNE en pratique](#)

*Thesis at IRESNE in practice*

[Département d'études des combustibles](#)

*Fuel Studies Department*

[Département d'études des réacteurs](#)

*Reactors Studies Department*

[Département de technologie nucléaire](#)

*Nuclear Technology Department*

# 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. Créé 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 puisant 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 déliantage, 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 environnants 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



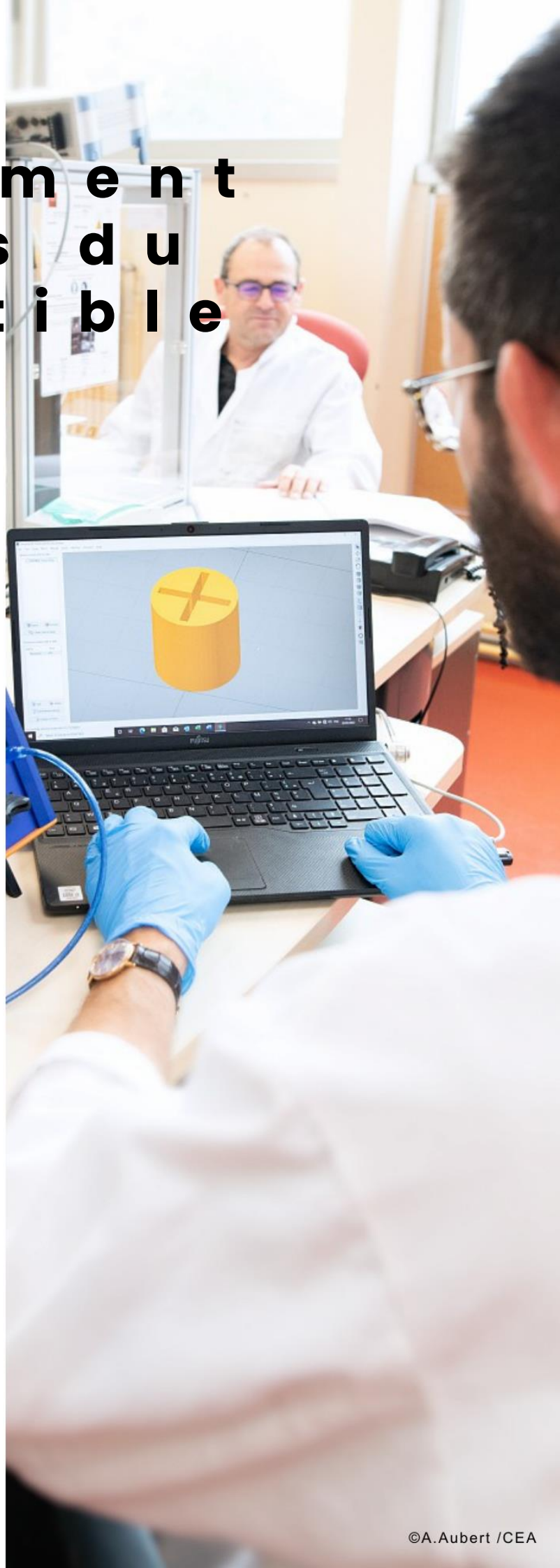
# D é p a r t e m e n t d ' E t u d e s d u C o m b u s t i b l e

Le Département d'Études 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'Études et de Simulation du comportement des Combustibles (SESC),
- le Service d'Exploitation et de Traitements des Combustibles (SETC).





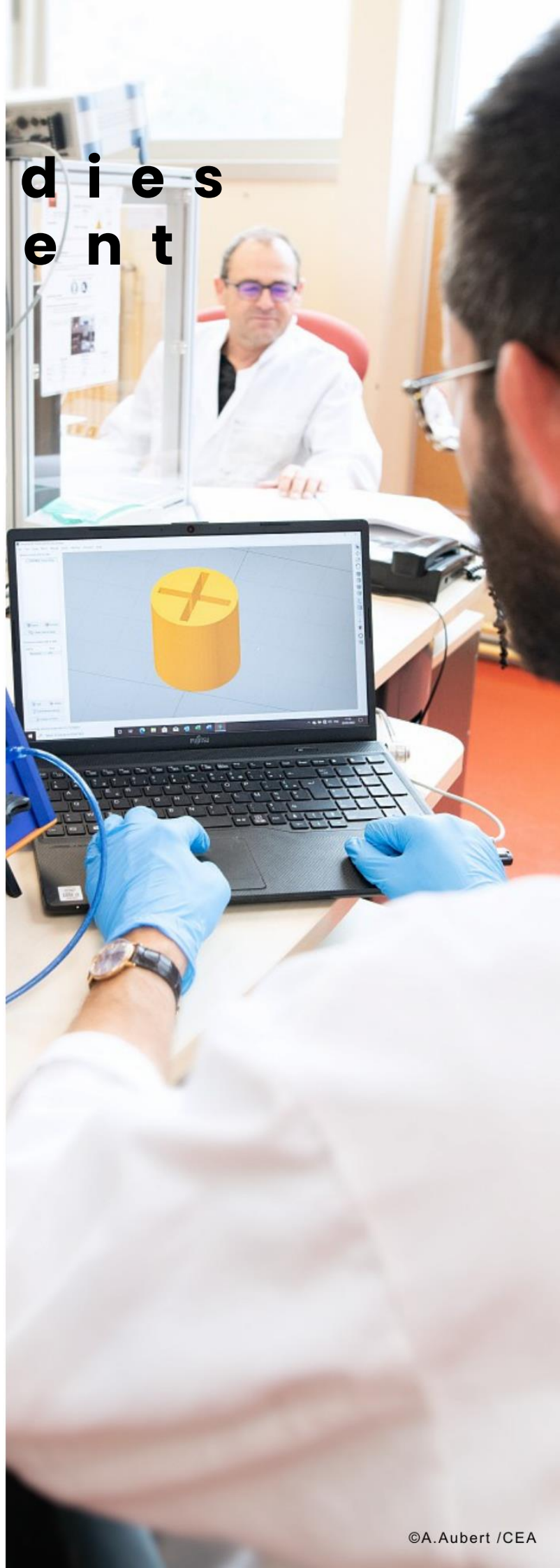
# Fuel Studies Department

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:

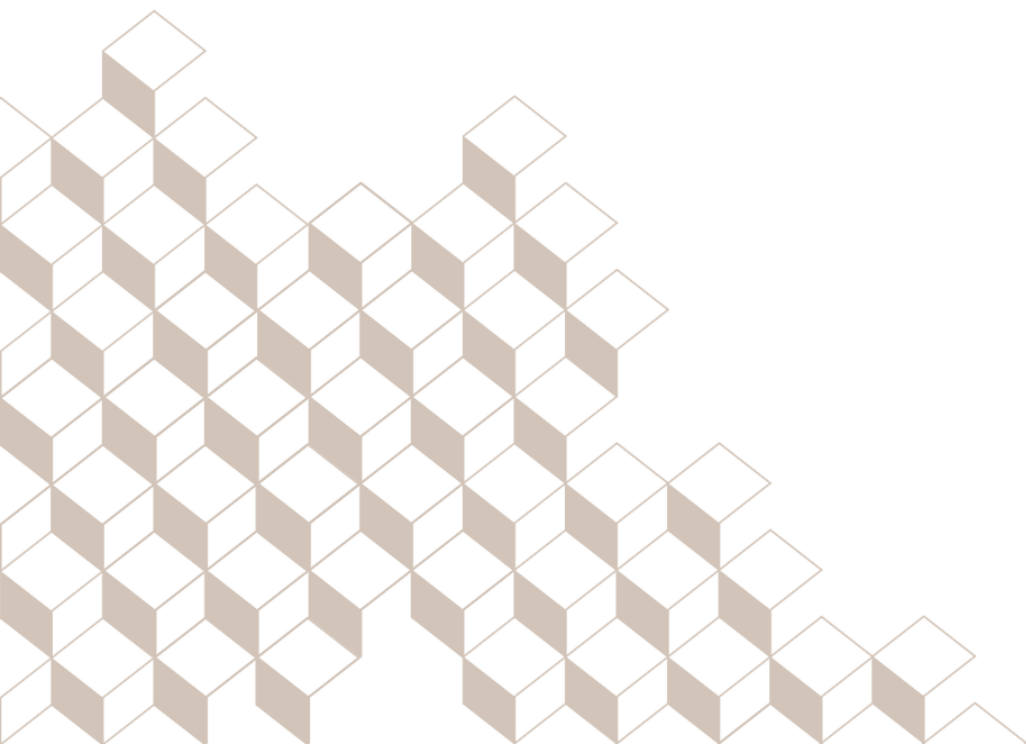
- Analysis, Elaboration, Experimentation and Examination of Fuels Unit (SA3E).
- Studies and Simulation of Fuel Behavior Unit (SESC),
- Operating and Fuel Treatment Unit (SETC).



# S A 3 E

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

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





## Influence du dopage au chrome du combustible UO<sub>2</sub> sur la spéciation des produits de fission en conditions accidentelles

DEC/SA3E/LAMIR

**Le développement des réacteurs nucléaires s'inscrit dans une démarche d'amélioration de la sûreté, avec par exemple le déploiement de combustibles nucléaires à propriétés améliorées vis-à-vis de leur comportement en conditions accidentelles : les combustibles nucléaires dits E-ATF (Enhanced accident tolerant fuel).**

Parmi les combustibles E-ATF envisagés, le combustible UO<sub>2</sub> dopé avec Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est développé par l'opérateur industriel FRAMATOME. En revanche, très peu de données existent sur le comportement des produits de fission d'un combustible dopé Cr en conditions accidentelles.

La thèse propose de mettre au point un procédé de synthèse d'un combustible UO<sub>2</sub> dopé Cr simulant le combustible irradié pour étudier le comportement des éléments (Cr et produits de fission) en température et sous différentes pressions partielles d'oxygène. La méthodologie repose sur une approche expérimentale couplant synthèse de matériaux modèles et caractérisation chimique approfondie, complétée par une approche théorique (calculs thermodynamiques) permettant de dimensionner les séquences thermiques et conforter les mécanismes réactionnels proposés.

La thèse sera réalisée au CEA de Cadarache (France), au sein de l'IRESNE (Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone). Le(La) doctorant(e) sera accueilli(e) dans un laboratoire dédié à l'étude des composés à base d'uranium du Département d'étude des combustibles (DEC). Selon les procédés de densification choisis, des expériences de plus ou moins longue durée pourront être menées dans d'autres laboratoires en France ou en Europe.

La thèse sera réalisée au CEA de Cadarache (France), au sein de l'IRESNE (Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone). Le(La) doctorant(e) sera accueilli(e) dans un laboratoire dédié à l'étude des composés à base d'uranium du Département d'étude des combustibles (DEC). Selon les procédés de densification choisis, des expériences de plus ou moins longue durée pourront être menées dans d'autres laboratoires en France ou en Europe.

Le doctorant aura l'opportunité de se former à des techniques pointues de caractérisation des sciences des matériaux céramiques, d'accéder à des expériences sur grands instruments (synchrotron) et de participer à des échanges avec le monde académique (CNRS, Universités, JRC). Il pourra valoriser ses travaux à travers des publications et des participations à congrès.

A l'issue de cette thèse, le doctorant aura acquis des compétences en science des matériaux et en caractérisation du solide qu'il pourra mettre à profit dans différents domaines des matériaux, ainsi qu'une expérience dans le milieu nucléaire d'intérêt pour l'industrie nucléaire.

### ■ Formation recommandée :

Matière ultra-divisée, physico-chimie des matériaux

### ■ Ecole doctorale :

*Sera précisée ultérieurement*

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

AUDUBERT Fabienne

DES/IRESNE/DEC/SA3E

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

AUDUBERT Fabienne

[fabienne.audubert@cea.fr](mailto:fabienne.audubert@cea.fr)

04 42 25 76 47



# Essais thermomécaniques jusqu'à de hautes températures sur une céramique nucléaire irradiée

DEC/SA3E/LAMIR

**Ces travaux de thèse s'inscrivent dans le cadre des études sur les interactions pastille-gaine dans les crayons combustibles utilisés dans les réacteurs des centrales nucléaires à eau pressurisé.**

L'exploitant doit assurer et démontrer l'intégrité de l'ensemble des crayons, en toutes situations. Or, les contraintes mécaniques subies par la gaine, première barrière de sûreté, sont reliées aux propriétés viscoplastiques du combustible. Il faut donc connaître ces propriétés et leurs évolutions en fonctionnement.

Le sujet de thèse proposé s'intéresse particulièrement à la caractérisation en cellule de haute activité de combustibles irradiés en réacteur nucléaire. Une des difficultés majeures réside dans le fait que les combustibles issus d'une irradiation en réacteur sont multi-fissurés, ce qui rend leurs caractérisations mécaniques particulièrement compliquées. Toutefois, une thèse en cours (2022-25) a permis de (i) concevoir une machine spécifique d'essais thermomécaniques, (ii) qualifier en partie ce dispositif, (iii) mettre en place des outils et méthode d'extraction d'échantillon fissuré, (iv) ainsi qu'une modélisation intégrale du système (jumeau numérique).

La thèse proposée ici correspond à la suite de ces travaux et sera construite en quatre étapes sur trois plateformes expérimentales disponibles au CEA

1. Prise en main et amélioration des outils numériques et expérimentaux existant,
2. Implémentation du dispositif en cellule de haute activité sur un four existant,
3. Réalisation d'essai thermomécanique sur combustible irradié ; ce qui constituera en soi une première mondiale dans ces conditions.

Les essais demanderont des post-traitements dédiés basés sur une discussion essai-simulation. En premier lieu, cela permettra de décoller les phénomènes et de se focaliser sur le comportement viscoplastique du matériau. Une fois la base expérimentale suffisamment étoffée et interprétée, il sera alors possible de conforter ou revoir les lois de comportement du combustible. Un lien avec la microstructure des matériaux pourrait être abordé.

Tout au long de ces étapes, le thésard s'appuiera sur les compétences et expertises de différents laboratoires du Département d'études des Combustible (Institut IRESNE, CEA Cadarache) et sur un environnement collaboratif académique. Cette thèse s'inscrit également dans le cadre du projet européen OPERA HPC et en est un enjeu majeur.

Le doctorant devra présenter un goût marqué pour l'approche expérimentale et quelques facilités pour l'utilisation d'outils numériques. Des connaissances en science des matériaux sont le minimum requis. Au long des trois années de doctorat, le doctorant améliorera ses compétences multiphysiques en conception de dispositifs expérimentaux et comportement des matériaux à haute température, ainsi qu'en simulation numérique, ce qui facilitera son insertion professionnelle. Au regard de l'ampleur de la tâche, il serait préférable, mais non obligatoire, que le candidat ait suivi préalablement le stage de master lié à ce sujet (voir par ailleurs).

## ■ Formation recommandée :

Matériaux et applications

## ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université  
Sciences pour l'Ingénieur :  
Mécanique, Physique, Micro et  
Nanoélectronique (SIMPMN)

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

LEBON Frédéric  
MISTRAL-LMA

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

COLIN Christian

[christian.colin@cea.fr](mailto:christian.colin@cea.fr)

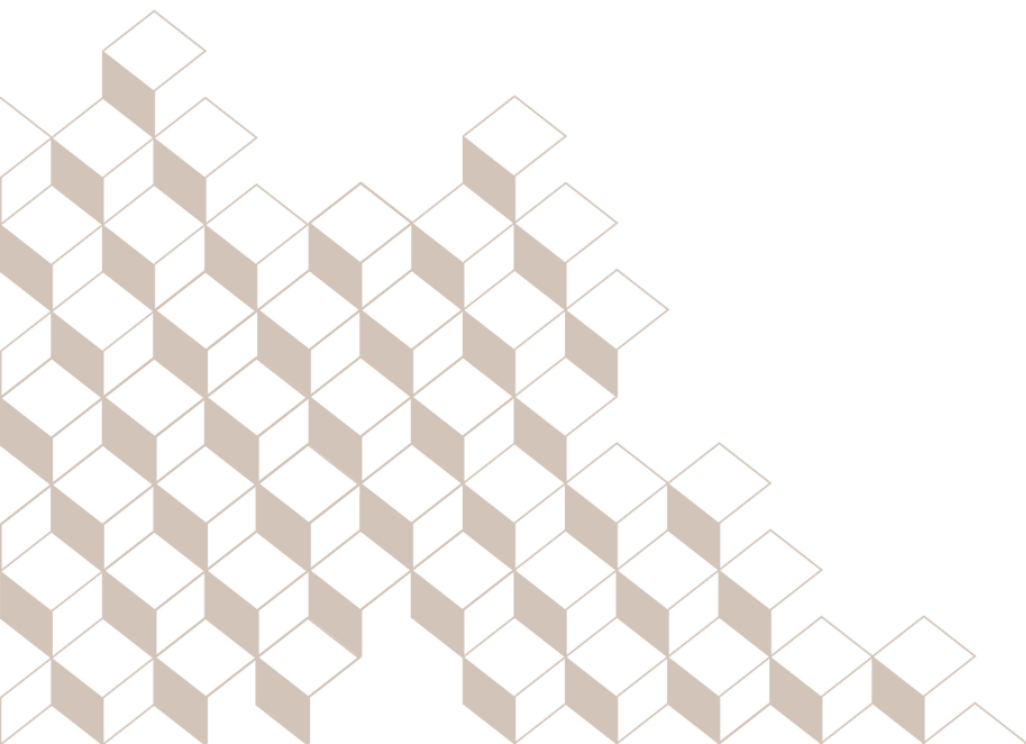
04 42 25 43 72




# S E S C

Service d'études et  
de simulation du  
comportement des  
combustibles

*Studies and Simulation of Fuel  
Behavior Unit*





## Modélisation thermo-chemo-mécanique du frittage : effet de l'atmosphère et de la densification différentielle sur le retrait des pastilles

DEC/SESC/LDOP

**Les combustibles de dioxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>), utilisés dans les centrales nucléaires sont des céramiques, dont le frittage en phase solide est une étape-clé de la fabrication.**

L'étape de frittage consiste en un traitement thermique sous pression partielle contrôlée de O<sub>2</sub> permettant de consolider, densifier le matériau et faire grossir les grains de UO<sub>2</sub>. La densification induit un retrait macroscopique de la pastille. 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 l'apparition de défauts.

Cette thèse se consacre à la mise en place d'un modèle thermo-chemo-mécanique du frittage pour simuler l'impact de la composition et les propriétés physiques de l'atmosphère sur la densification du combustible à l'échelle de la pastille. Cette échelle nous permettra 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 qui elle-même impactera le processus de transport. Une simulation multiphysique est nécessaire pour simuler le couplage de ces phénomènes.

Ce travail de thèse sera mené au sein du Laboratoire commun MISTRAL (Aix-Marseille Université/CNRS/Centrale Marseille et l'institut IRESNE du CEA-Cadarache). 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.

■ Formation recommandée :

Mécanique, énergétique, génie des procédés, génie civil

■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université  
Sciences pour l'Ingénieur :  
Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique (SIMPMN)

■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

■ Directeur(s) de thèse :

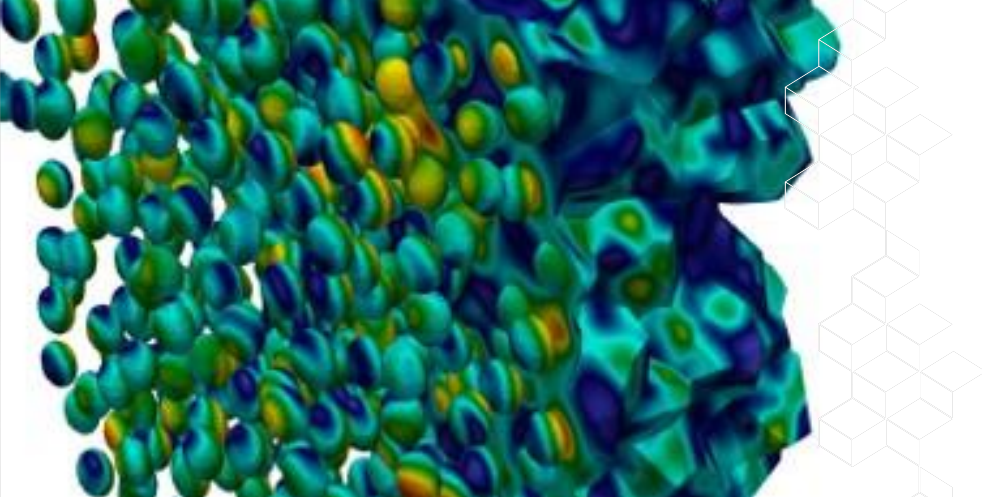
LEJEUNES Stéphane  
CNRS, LMA

■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

SOCIÉ Adrien

[adrien.socie@cea.fr](mailto:adrien.socie@cea.fr)

04 42 25 27 22



# Implémentation d'algorithmes parallèles sur GPU pour les simulations du combustible nucléaire sur supercalculateurs exaflopiques

DEC/SESC/LDOP

**Dans un contexte où le calcul haute performance (HPC) est en perpétuelle évolution, le design des nouveaux supercalculateurs tend à intégrer toujours plus d'accélérateurs ou de cartes graphiques (GPUs), qui fournissent l'essentiel de la puissance de calcul de la plupart des supercalculateurs actuels.**

En raison de leurs différences architecturales par rapport aux unités centrales de calcul (CPUs) et des environnements logiciels en constante évolution, les GPUs posent de profonds défis de programmation. Une utilisation efficace de leur puissance de calcul demande une refonte des algorithmes et logiciels de simulation existants pour atteindre un parallélisme massif.

Le CEA a développé la plateforme de calcul PLEIADES dédiée à la simulation du comportement des combustibles, depuis la fabrication jusqu'au comportement en réacteur, puis lors du stockage. Elle inclut une parallélisation en mémoire distribuée MPI permettant une parallélisation sur plusieurs centaines de cœurs. Cette plateforme répond aux exigences des partenaires du CEA que sont EDF et Framatome, mais il est nécessaire de l'adapter pour les nouvelles infrastructures de calcul. Proposer une solution flexible, portable et performante pour les simulations sur des supercalculateurs équipés de GPUs est d'un intérêt majeur afin de capturer des phénomènes toujours plus complexes sur des simulations comportant des domaines de calcul toujours plus grands.

Dans ce cadre, la thèse visera d'élaborer puis évaluer différentes stratégies de portage de noyaux de calculs sur GPU ainsi que l'utilisation de méthodes de répartition dynamique de la charge adaptés aux supercalculateurs GPUs actuels et futurs. Le candidat s'appuiera sur des outils développés au CEA comme les solveurs thermo-mécaniques MFEM-MGIS [1,2] ou MANTA [3]. Les solutions logicielles et algorithmes parallèles proposés avec cette thèse permettront à terme la réalisation de grands calculs de modélisation multi-physique en 3D du comportement des crayons

combustibles sur des supercalculateurs comportant des milliers de cœurs de calcul et des GPUs.

Le candidat travaillera au sein du Laboratoire de développement des Outils de Calcul Scientifique (OCS) combustibles PLEIADES (LDOP) au département d'études des combustibles (DEC - Institut IRESNE, CEA Cadarache). Il sera amené à évoluer dans une équipe pluridisciplinaire composée de mathématiciens, physiciens, mécaniciens et informaticiens. A terme, les contributions de la thèse visent à enrichir la plate-forme numérique pour la simulation de combustibles nucléaires PLEIADES.

Références : [1] MFEM-MGIS - <https://thelfer.github.io/mfem-mgis/>; [2] Th. Helfer, G. Latu. « MFEM-MGIS-MFRONT, a HPC mini-application targeting nonlinear thermo-mechanical simulations of nuclear fuels at mesoscale ». IAEA Technical Meeting on the Development and Application of Open-Source Modelling and Simulation Tools for Nuclear Reactors, June 2022, [https://conferences.iaea.org/event/247/contributions/20551/attachments/10969/16119/Abstract\\_Latu.docx](https://conferences.iaea.org/event/247/contributions/20551/attachments/10969/16119/Abstract_Latu.docx), [https://conferences.iaea.org/event/247/contributions/20551/attachments/10969/19938/Latu\\_G\\_ONCORE.pdf](https://conferences.iaea.org/event/247/contributions/20551/attachments/10969/19938/Latu_G_ONCORE.pdf); [3] O. Jamond et al. « MANTA : un code HPC généraliste pour la simulation de problèmes complexes en mécanique », <https://hal.science/hal-03688160>.

## ■ Formation recommandée :

Mathématiques - Analyse  
numérique - Simulation

## ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Mathématiques et Informatique  
de Marseille (MIM)

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

LATU Guillaume

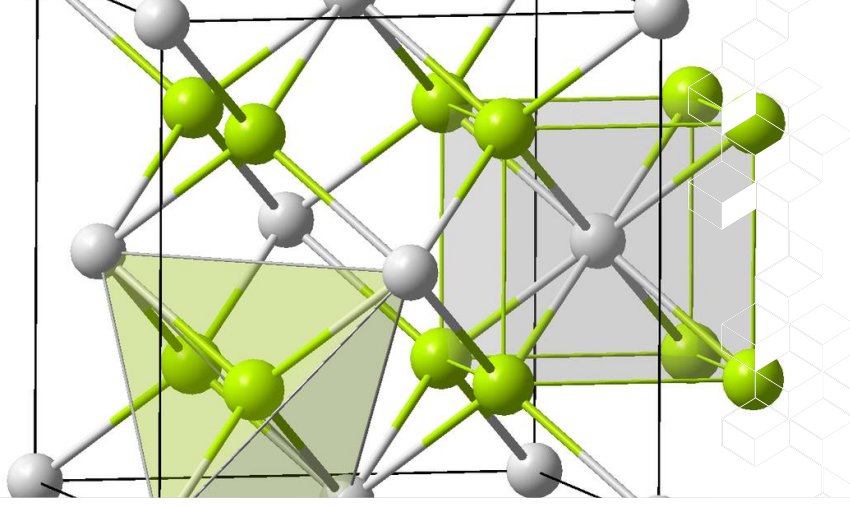
DES/IRENE/DEC/SESC

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

CUTERI Francesca

[francesca.cuteri@cea.fr](mailto:francesca.cuteri@cea.fr)

04 42 25 74 07



## Modélisation du “Joint Oxyde-Gaine” et de la corrosion interne de gaine dans Germinal à partir des résultats issus de différentes techniques de caractérisation expérimentale

DEC/SESC/LECIM

**Ce sujet de thèse s’inscrit dans le cadre des études sur le comportement physico-chimique en conditions d’irradiation du combustible « oxyde d’uranium et de plutonium » actuellement envisagé pour les futurs réacteurs nucléaires de 4ème génération.**

Du fait de son régime thermique particulièrement élevé au cours de son séjour en réacteur, le combustible des réacteurs à neutrons rapides est le lieu de divers phénomènes de transformations physiques et chimiques. Ces phénomènes peuvent affecter significativement le comportement de l’élément combustible dans son ensemble, mais on assiste en particulier à deux phénomènes spécifiques à ce type de combustible ayant lieu à moyen et fort taux de combustion :

-La formation par évaporation-condensation d’une couche de composés de produits de fission localisée entre la surface externe de la pastille et la face interne de la gaine à taux de combustion moyen, dénommée JOG pour Joint Oxyde Gaine ;

-La formation d’une couche composée de produits de fission et des éléments constitutifs de l’acier de gainage sur la face interne de la gaine à fort taux de combustion issue de la ROG (Réaction Oxyde-Gaine).

L’apparition successive ou conjointe de ces deux phénomènes est un facteur limitant pour les taux de combustion. Aussi, il est important de pouvoir estimer de manière assez précise la composition chimique de la pastille combustible et du jeu pastille-gaine au cours de l’irradiation. De précédents travaux expérimentaux ont été confortés par des calculs thermodynamiques qui ont conduit à supposer que le JOG était principalement constitué de  $\text{Cs}_2\text{MoO}_4$ , avec également la présence d’autres éléments tels que le tellure ou le baryum. Malgré tout, il n’y avait pas eu de mise en évidence directe de la présence de ce composé. Or récemment, des caractérisations expérimentales réalisées dans le cadre d’une thèse en cours ont permis d’obtenir des mesures quantitatives des éléments chimiques et de confirmer que le JOG était principalement constitué de Cs, Mo et d’O mais aussi d’I et Ba répartis dans plusieurs phases. D’autres éléments ont été détectés et mesurés dans des zones localisées, à savoir du Te, du Zr ainsi que de l’U et du Pu. En ce qui concerne la corrosion, des phases à base de Fe, Te et Pd ont été observées, ainsi que la présence conjointe de Cr et d’O.

En parallèle, un travail de modélisation de la redistribution axiale du césium a été initié en vue d’une amélioration de la description actuellement adoptée dans GERMINAL, l’outil de calcul scientifique (OCS) dédié au calcul du comportement thermomécanique et physico-chimique du combustible des réacteurs de 4ème génération irradié en conditions nominales et/ou incidentelles. En effet, l’inventaire en éléments chimiques à une cote axiale donnée intervient au premier ordre sur l’épaisseur de JOG et l’épaisseur de ROG calculée.

L’objectif du sujet de thèse consiste à améliorer la description et la modélisation de la formation du JOG et de la ROG dans l’outil de calcul scientifique (OCS) GERMINAL.

Ainsi, il sera possible de pouvoir évaluer de manière plus précise la composition chimique du combustible irradié, du JOG et des produits de la ROG en fonction du taux de combustion via l’OCS GERMINAL en fonction du temps aux différentes localisations radiales et axiales.

Le doctorant sera intégré dans le service d’étude et de simulation du comportement du combustible qui dispose ou développe des outils de simulation variés (Département d’études des combustibles, Institut IRESNE - CEA Cadarache). Il interagira également avec le laboratoire de caractérisation et d’étude des propriétés des combustibles (SA3E/LCPC) d’où sont issues l’essentiel des données expérimentales actuellement disponibles sur le JOG et la ROG. Par ailleurs, des collaborations de type académiques ou internationales sont envisageables, notamment dans le cadre de l’OCDE/AEN avec le développement de la base de données thermodynamiques TAFID. Elles permettront au doctorant de valoriser les compétences qu’il aura acquises dans le domaine de la caractérisation des matériaux nucléaires ainsi que dans celui du calcul thermodynamique et de la simulation du comportement physico-chimique du combustible nucléaire irradié.

### ■ Formation recommandée :

Matériaux et applications

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physique et Sciences de la Matière (ED352)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

BENIGNI Pierre

IM2NP, CNRS-AMU Saint-Jérôme

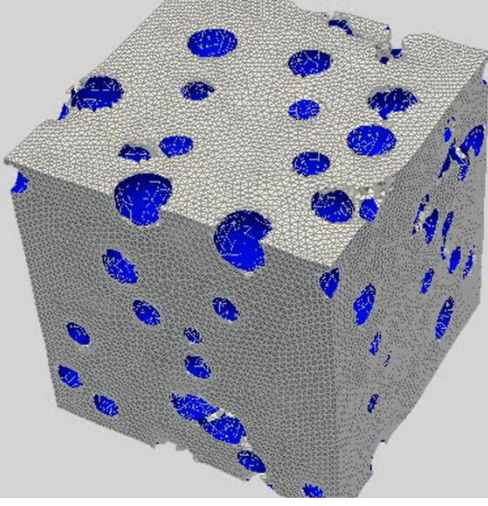
### ■ Chercheur de l’IRESNE à contacter :

DUMAS Jean-Christophe

[jean-christophe.dumas@cea.fr](mailto:jean-christophe.dumas@cea.fr)

04 42 25 73 13





## Étude de la diffusion de petits amas de xénon au sein du combustible nucléaire métallique UMo

DEC/SESC/LM2C

**Ce sujet de thèse est centré sur l'application de méthodes de calcul à l'échelle des atomes afin d'étudier la diffusion et la stabilité intra-granulaire d'amas de Xe au sein du combustible métallique UMo.**

Les alliages d'uranium-molybdène UMo présentent d'excellentes propriétés thermiques et une bonne densité en uranium. C'est notamment pour ces propriétés que l'UMo monolithique est considéré comme l'un des potentiels combustibles candidats pour les réacteurs de recherche. Il est donc crucial pour le CEA de développer de nouveaux modèles de calcul permettant d'analyser l'évolution des propriétés thermomécaniques de l'UMo en conditions d'irradiation.

Au cours de cette thèse, votre travail consistera dans un premier temps à valider ou recalibrer si nécessaire les modèles de calcul à l'échelle atomique existants pour l'UMo dans la littérature. Vous devrez ensuite de les appliquer à la simulation de la stabilité et de la diffusion de petits amas de xénon au sein de cristaux d'UMo. Ces calculs seront effectués à l'aide de méthodes de dynamique moléculaire accélérée novatrices, et seront systématiquement comparés aux résultats obtenus pour le combustible nucléaire de référence UO<sub>2</sub>. Après avoir analysé vos résultats par comparaison aux mesures expérimentales de collaborateurs du département, vous serez en charge de transférer les données produites à d'autres chercheurs du département afin d'alimenter les codes de simulation des combustibles nucléaires à plus grande échelle. Vos résultats seront publiés au sein de publications scientifiques, et vous présenterez vos résultats dans le cadre de conférences scientifiques.

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 et accélérée, utilisation des supercalculateurs 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 accueilli au sein du Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles (Institut IRESNE, CEA Cadarache). Il s'agit d'un groupe de recherche dynamique, au sein duquel vous serez amené à collaborer avec les autres doctorants présents au laboratoire. L'environnement de travail sera de plus riche en collaboration nationales et internationales (expérimentateurs du département, Institut ISAS (CEA Saclay), Laboratoire CINAM à Marseille, collaborations avec les laboratoires nationaux américains), qui vous permettront de vous insérer au sein de la communauté de la recherche en matériaux pour les sciences du nucléaire.

### ■ Formation recommandée :

Physique du solide, surfaces et interfaces

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physique et Sciences de la Matière (ED352)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

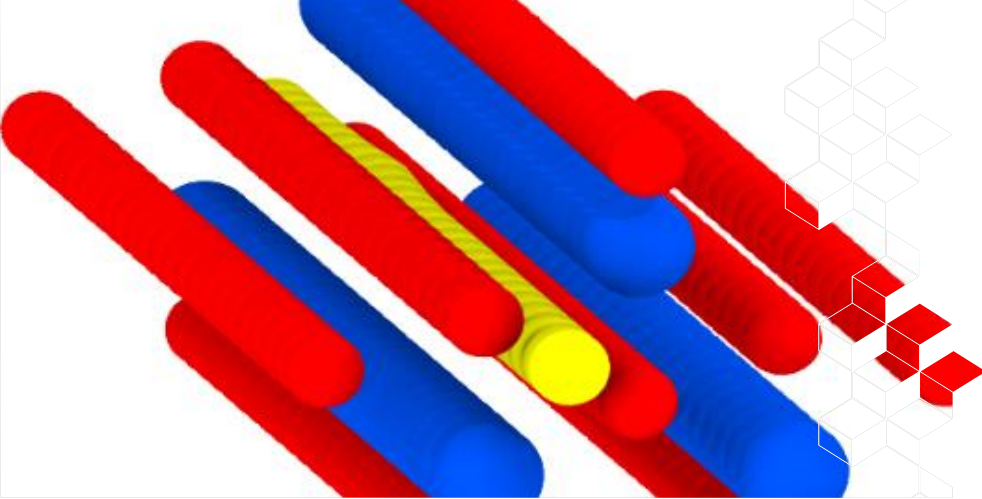
CROCOMBETTE Jean-Paul  
CEA/SRMP

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

TRANCHIDA Julien

[julien.tranchida@cea.fr](mailto:julien.tranchida@cea.fr)

04 42 25 22 25



## Étude à l'échelle atomique de la mobilité des dislocations dans le combustible MOX

DEC/SESC/LM2C

**La transition vers la neutralité carbone exige une augmentation rapide des énergies décarbonées, dont le nucléaire, qui nécessite une compréhension approfondie des matériaux irradiés.**

Le combustible à oxyde mixte (MOX) est particulièrement important, car il optimise l'utilisation des ressources nucléaires et réduit les déchets radioactifs. Le comportement mécanique du MOX sous irradiation est crucial pour garantir l'intégrité du combustible dans diverses conditions de fonctionnement.

L'objectif de la thèse est de réaliser des simulations atomistiques afin de comprendre la mobilité des dislocations, essentielle pour soutenir la modélisation multiéchelle du comportement mécanique du MOX. Des calculs de dynamique moléculaire permettront d'analyser la mobilité des dislocations en fonction de diverses conditions de température, de contraintes, de teneur en plutonium et de déviations à la stœchiométrie, avec pour but d'établir des lois de vitesse. Les résultats de ces simulations amélioreront la modélisation micromécanique dans la plateforme de simulation PLEIADES du CEA, dédiée à la simulation du cycle de vie complet du combustible nucléaire, de sa fabrication jusqu'à l'entreposage.

Le doctorant sera accueilli au Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles (Institut IRESNE, CEA-Cadarache), un environnement dynamique composé de 11 chercheurs et d'un nombre équivalent de doctorants. Situé en Provence, ce centre offre un cadre de travail agréable, entre les parcs naturels du Verdon et du Lubéron. La thèse se fera en collaboration avec l'IM2NP, un laboratoire à la pointe de la recherche en physique des matériaux.

Le candidat doit avoir de solides bases en physique des matériaux, idéalement en mécanique aux petites échelles. Ces compétences pourront être renforcées durant un stage de M2 au sein du laboratoire. Le doctorant valorisera son travail à travers des publications scientifiques et des présentations en conférences internationales, ouvrant ainsi des opportunités dans les domaines de la recherche et de l'industrie.

### ■ Formation recommandée :

Physique du solide, surfaces et interfaces

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

ED 352 – Physique et sciences de la matière

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

AMODEO Jonathan

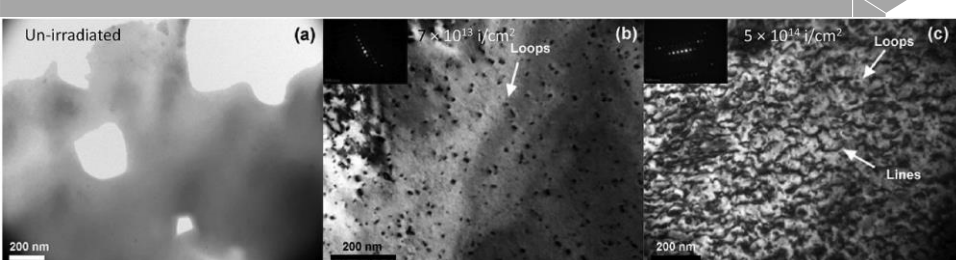
IM2NP-CNRS Aix-Marseille

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

PIVANO Adrien

[adrien.pivano@cea.fr](mailto:adrien.pivano@cea.fr)

04 42 25 79 68



Réseau de boucles et lignes de dislocation apparaissant en cours d'irradiation dans l' $\text{UO}_2$ . L'objectif est de prédire la concentration de ces défauts de microstructure (Onofri et al 2016)

De l'Angström au micron :  
un modèle d'évolution  
microstructurale du  
combustible nucléaire  
dont les paramètres sont  
calculés à l'échelle  
atomique

DEC/SESC/LM2C

**Les gaz issus de la fission du combustible nucléaire en réacteur affectent la sûreté. L'objectif est de valider sur des expériences multi-échelles un modèle décrivant leur comportement en réponse à l'endommagement 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 de type cinétique chimique 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' $\text{UO}_2$  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 de cavités, bulles de gaz et boucles de dislocation par microscopie électronique à transmission, caractérisation du dommage par spectrométrie d'annihilation de positons). 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'intérêt pour d'articuler à une dimension "théorique" (amélioration du modèle), ainsi que de physique numérique (simulations en DA et Monte Carlo) une dimension "expérimentale" (interprétation d'expériences déjà réalisées, voire conception et suivi de nouvelles expériences). Ainsi, l'approche d'un ensemble

varié de techniques d'observation et de mesure vous ouvrira le monde de la physique expérimentale et complètera votre profil. Vous aurez également à animer des collaborations dans le but d'analyser les données expérimentales, de développer l'outil de calcul ou de spécifier des calculs atomistiques complémentaires. Vous pourrez également bénéficier d'un environnement de collaboration académique.

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 multi-échelle 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.

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  $\text{UO}_2$  using in situ TEM: Temperature and fluence effects. *Journal of Nuclear Materials* 482, 105-13.

#### ■ Formation recommandée :

Physique du solide, surfaces et interfaces

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

■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

■ Lieu :  
Centre CEA de Cadarache

■ Directeur(s) de thèse :  
BECQUART Charlotte

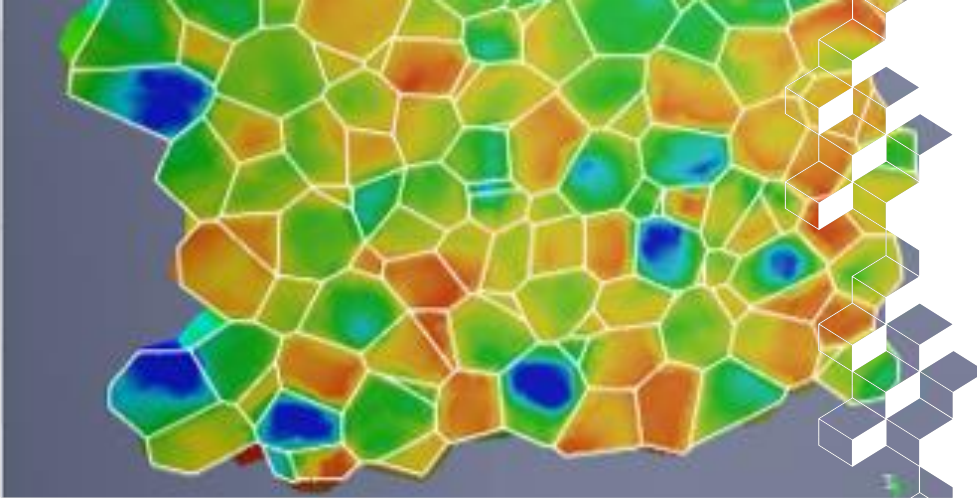
■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MAILLARD Serge

[serge.maillard@cea.fr](mailto:serge.maillard@cea.fr)

04 42 25 20 36





## Simulation de l'évolution des microstructures de dislocations dans UO<sub>2</sub> : impact de la montée des dislocations à haute température

DEC/SESC/LM2C

**La neutralité carbone passe par le développement de systèmes de production d'énergie bas carbone incluant le nucléaire. L'analyse de sûreté du fonctionnement des réacteurs nucléaires porte sur le confinement des produits de fission dans toutes les situations de fonctionnement, avec notamment l'intégrité de la première barrière composée des éléments combustibles.**

Pour les concepts de type crayon, constitués d'un empilement de pastilles combustibles dans une gaine métallique, le comportement mécanique des pastilles en dioxyde d'Uranium (UO<sub>2</sub>) joue un rôle important dans l'évaluation de l'intégrité de la gaine. Ainsi, en situation de transitoire de puissance, le contact combustible-gaine accroît les sollicitations mécaniques de la gaine et le fluage du combustible peut permettre une accommodation des déformations de gonflement réduisant ainsi les contraintes appliquées à la gaine. Un des enjeux porte sur la compréhension et la prédiction de ce phénomène de fluage de l'UO<sub>2</sub> avec les mécanismes qui le pilotent à l'échelle microstructurale polycristalline, notamment impliquant les dislocations.

L'objectif de la thèse sera de construire une méthode de simulation indispensable à l'acquisition de résultats de référence en support à la modélisation multi-échelle du comportement mécanique du combustible à haute température fortement dépendant du phénomène de montée des dislocations. Ce type de démarche de simulation et les résultats qui seront obtenus seront particulièrement novateurs et n'ont encore jamais été mis en œuvre dans le cas des combustibles oxyde pour lesquels l'évolution de la microstructure de dislocation a également un impact fort sur le comportement des produits de fission gazeux en plus des aspects mécaniques étudiés dans la thèse. Pour cela le doctorant développera un schéma de calcul, basée sur le couplage entre un code de dynamique des dislocations (NUMODIS) et un code de résolution des équations aux

dérivées partielles non linéaires par FFT (AMITEX-FFTP). Ceci permettra de décrire l'évolution d'une microstructure de dislocations sous l'effet de la montée des dislocations (NUMODIS) induite par la diffusion des lacunes (AMITEX-FFTP). Ensuite, des simulations basées sur cette approche permettront de quantifier les phénomènes de restauration de la densité des dislocations stockées avec l'effet des mécanismes de montée dans différentes configurations (températures, contraintes...). Ce travail permettra in fine d'améliorer et valider la modélisation micromécanique existante et mise en œuvre dans la plateforme de simulation PLEIADES du CEA.

Cette thèse sera réalisée dans le cadre d'un co-encadrement entre le Département d'Etude des Combustibles (Institut IRESNE, CEA Cadarache) et Le Département de recherche sur les Matériaux et la Physico-chimie (Institut ISAS, CEA Saclay), et d'une collaboration avec l'IM2NP d'Aix Marseille Université. Les travaux de thèse seront menés au sein des laboratoires LM2C (Cadarache) et LC2M (Saclay) dans un environnement donnant accès à une grande expertise sur la modélisation multi-échelle des matériaux. Les travaux de recherche seront valorisés par des publications et des participations à des conférences internationales dans le domaine des matériaux.

### ■ Formation recommandée :

Matériaux et applications

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université  
Sciences pour l'Ingénieur :  
Mécanique, Physique, Micro et  
Nanoélectronique (SIMPMN)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

FIVEL Marc  
CNRS/SIMAP

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MICHEL Bruno

[bruno.michel@cea.fr](mailto:bruno.michel@cea.fr)

04 42 25 34 73





## Modélisation multiphysique du comportement des gaz de fission dans la microstructure des combustibles nucléaires

DEC/SESC/LM2C

**Face à l'urgence climatique, l'accélération de la transition vers des technologies décarbonées est impérative, ce qui implique entre autre le développement de matériaux plus performants pour la production et le stockage de l'électricité. Cela inclut l'innovation dans le domaine des combustibles au cœur du fonctionnement des réacteurs nucléaires.**

La compréhension et la prédiction de leur comportement sont nécessaires pour améliorer la sécurité et l'efficacité du parc nucléaire actuel et futur. Un aspect clé concerne les gaz de fission générés lors des réactions de fission. Ces atomes de gaz, peu solubles, forment des bulles nanométriques puis micrométriques qui grossissent pendant l'exploitation du combustible, affectant significativement les propriétés macroscopiques. La simulation numérique, complémentaire à la caractérisation expérimentale, permet de modéliser la formation et l'évolution de ces bulles, ainsi que de prédire l'évolution des propriétés. Cette approche facilite la conception de nouveaux types de combustible aux performances accrues.

L'objectif de cette thèse est de contribuer au développement et à l'amélioration des modèles de simulation du comportement des gaz de fission dans la microstructure polycristalline des combustibles nucléaires, notamment l'oxyde d'uranium. Le/la doctorant-e devra définir un modèle physique basé sur la méthode du champ de phase, calculer les paramètres d'entrée et réaliser des simulations numériques reproduisant des expériences d'irradiation menées au sein de notre département. Ces travaux permettront d'approfondir notre compréhension des phénomènes physiques sous-jacent au comportement du gaz (formation de bulles, relâchement et gonflement engendré) grâce à la comparaison directe entre les résultats des simulations et les mesures expérimentales. Ce projet constituera

également la validation expérimentale du code de calcul scientifique INFERNO qui sera utilisé pour ces simulations sur les supercalculateurs du réseau national.

La thèse se déroulera au Département d'Étude des Combustibles (DEC) de l'institut IRESNE (CEA-Cadarache), dans un cadre collaboratif impliquant des experts en modélisation et en caractérisation expérimentale du CEA. Le/la doctorant-e sera amené-e à disséminer les résultats de ses recherches via des publications scientifiques et à participer à des congrès internationaux. Au cours de la thèse, il/elle développera une expertise approfondie en modélisation multiphysique, simulations numériques et informatique. Ces compétences seront aisément valorisables pour une carrière dans la recherche académique, dans la R&D industrielle, ou l'ingénierie des matériaux.

### Références :

<https://doi.org/10.1063/5.0105072>

<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.01.019>

### ■ Formation recommandée :

Physique du solide, surfaces et interfaces

■ Ecole doctorale :  
Université Paris-Saclay  
Sciences Mécaniques et  
Énergétiques, Matériaux et  
Géosciences (SMEMaG)

■ Date souhaitée de début de  
thèse :

01/10/2025

■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

■ Directeur(s) de thèse :

LE BOUHAR Yann

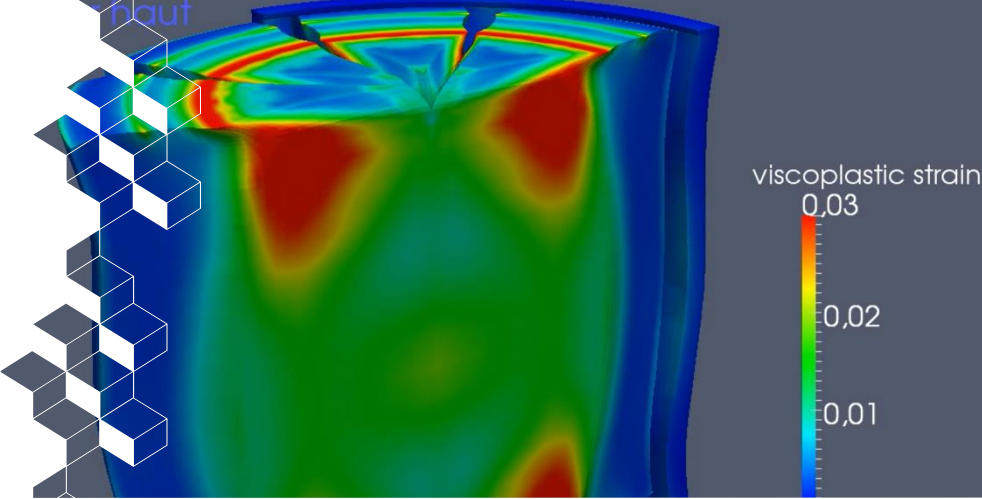
ONERA/CNRS

■ Chercheur de l' IRESNE  
à contacter :

MESSINA Luca

[luca.messina@cea.fr](mailto:luca.messina@cea.fr)

04 42 25 61 80



## Solveur Intégrodifférentiel HPC Parallèle pour la dynamique des dislocations

DEC/SESC/LMCP

### La compréhension du comportement des métaux à forts taux de déformation représente un défi scientifique et technologique considérable.

Cette déformation irréversible (plastique) est due à la présence de défauts linéaires d'alignement cristallin : les dislocations, qui interagissent via le champ élastique à longue portée et par interactions de contact.

Actuellement, le comportement des métaux à forts taux de déformation ne sont accessibles expérimentalement que par chocs laser. D'où la nécessité d'un outil de simulation. Deux grands types d'approches sont possibles : la dynamique moléculaire, et les simulations élastodynamiques. Cette thèse s'inscrit dans le second type d'approche, capitalisant sur nos travaux récents [1, 2] qui ont permis les premières simulations numériques de l'équation de Peierls-Nabarro Dynamique (PND) [5]. Celle-ci décrit des phénomènes intervenant à l'échelle de la dislocation.

PND est une équation intégrodifférentielle non-linéaire qui présente une double difficulté : la non-localité en temps et en espace des opérateurs. Nous l'avons simulée pour la première fois grâce à une stratégie numérique efficace [1], issue de [6]. Mais la nature mono-processeur de son implantation actuelle constitue un verrou, limitant fortement la taille du système et l'étude de son comportement en temps long.

Sujet de thèse : Les objectifs de cette thèse sont de deux natures :

-Numérique. Sur la base algorithmique développée dans [1], implémenter un solveur HPC (Calcul Haute Performance) parallélisé en espace et en temps, avec mémoire distribuée.

-Physique. Grâce au code développé, éclaircir des points cruciaux relatifs à la phénoménologie des dislocations en régime dynamique rapide. L'exploitation des résultats numériques requerra des techniques de traitement de données et de statistiques - potentiellement assistées par de l'IA.

En fonction de l'avancement, il sera possible d'appliquer la méthode numérique développée aux phénomènes de fissuration dynamique [3].

Profil du candidat : Le sujet de thèse proposé est pluridisciplinaire, à la croisée des chemins entre simulation numérique, physique des dislocations et de la propagation de fissures, et traitement statistique. Le candidat devra d'abord posséder une solide formation en calcul scientifique appliqué aux équations aux dérivées partielles et un gout prononcé pour les applications physiques. La maîtrise du C++, avec des compétences en OpenMP et MPI seraient fortement appréciées. Des connaissances en mécanique des milieux continus seraient aussi vu comme un plus.

La thèse se déroulera au Département d'Etudes des Combustibles (Institut IRESNE, CEA/DES, centre de Cadarache), avec des déplacements réguliers en région parisienne pour la collaboration avec le CEA/DAM et le CEA/DRF.

[1] Pellegrini, Josien, Shock-driven motion and self-organization of dislocations in the dynamical Peierls model, soumis.

[2] Josien, Etude mathématique et numérique de quelques modèles multi-échelles issus de la mécanique des matériaux. Thèse. (2018).

[3] Geubelle, Rice. J. of the Mech. and Phys. of Sol., 43(11), 1791-1824. (1995).

[4] Remington et coll., Metall. Mat. Trans. A 35, 2587 (2004).

[5] Pellegrini, Phys. Rev. B, 81, 2, 024101, (2010).

[6] Lubich & Schädle. SIAM J. on Sci. Comp. 24(1), 161-182. (2002).

#### ■ Formation recommandée :

Mathématiques - Analyse  
numérique - Simulation

#### ■ Ecole doctorale :

Paris Sciences et Lettres

#### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

#### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

#### ■ Directeur(s) de thèse :

BONAMY Daniel

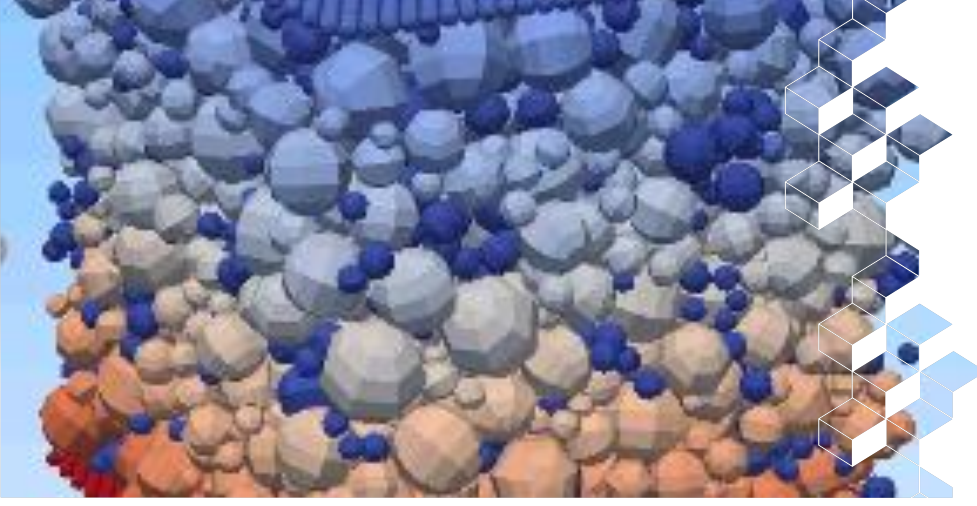
DRF/IRAMIS/SPEC

#### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

JOSIEN Marc

[jmarc.josien@cea.fr](mailto:jmarc.josien@cea.fr)

04 42 25 75 72



## Simulation du comportement des poudres cohésives : lien entre l'échelle atomique et l'échelle granulaire

DEC/SESC/LMCP

**Le combustible nucléaire est fabriqué par un procédé de métallurgie des poudres mettant en œuvre différentes étapes de préparation du milieu granulaire (broyage, mélange), de pressage et de frittage. Les poudres mises en œuvre lors de ces étapes présentent une cohésion importante entre les grains rendant leur comportement à l'écoulement complexe.**

La prédiction du comportement de la poudre est un enjeu industriel crucial pour pouvoir s'adapter rapidement à un changement de matière première, optimiser la qualité du produit et améliorer les cadences de production.

Cette thèse vise à établir le lien entre les propriétés des poudres et leur aptitude à l'écoulement et au pressage. La cohésion entre les grains de poudre est un facteur clé influençant l'écoulement et la densification des matériaux granulaires. Elle est déterminée par plusieurs forces interparticulaires, telles que les forces de van der Waals, les interactions capillaires, et les forces électrostatiques. Comprendre ces interactions à une échelle atomique est essentiel pour prédire et modéliser le comportement des poudres. Cette thèse cherche à adresser deux questions : Comment les propriétés de surface des grains à l'échelle atomique influencent-elles la force de cohésion à l'échelle des grains composant la poudre ? Et, comment passer de l'échelle atomique à l'échelle du grain pour simuler de manière réaliste les poudres ?

Les approches de simulation multi-échelles permettent de relier les phénomènes microscopiques aux comportements macroscopiques des matériaux granulaires. Les simulations DEM (Discrete Element Method) actuelles intègrent rarement les interactions élémentaires telles que les forces de van der Waals, électrostatiques et capillaires dans les lois de contact. Des travaux de thèse récents (1) (2) ont exploré l'effet de la cohésion avec une approche simplifiée où la cohésion est prise en compte comme une force d'attraction ou une énergie de cohésion. Les méthodes de simulation de type Dynamique Moléculaire (MD) ou Coarse-graining permettent de simuler le comportement du matériau à une échelle inférieure à partir de ces propriétés structurales et chimiques locales. Une meilleure compréhension de la cohésion à petite échelle permettra d'améliorer la prédictivité des simulations DEM et de mieux comprendre le lien entre les propriétés des poudres et leur comportement global.

L'objectif principal de cette thèse est de mieux comprendre les liens entre les interactions à l'échelle atomique et la cohésion à l'échelle des grains et d'en évaluer les conséquences pour les simulations de pressage et de l'écoulement des poudres.

L'un des principaux défis de ce projet réside dans la création de lois de contact DEM qui intègrent les interactions complexes à l'échelle atomique. Cela nécessite une collaboration étroite entre les experts en simulation atomistiques et ceux en modélisation DEM. De plus, il est crucial de valider ces modèles par des comparaisons avec des expériences et des observations afin de garantir leur précision et leur applicabilité aux procédés industriels.

Le doctorant sera accueilli au sein de l'institut IRESNE (CEA-Cadarache) dans le Laboratoire des Méthodes numériques et Composants physiques de la plateforme PLEIADES du Département d'Étude des Combustibles et collaborera avec le Laboratoire de Modélisation du Comportement des Combustibles. Il bénéficiera d'un environnement faisant appel à des outils d'investigation de pointe sur le plan de la modélisation-simulation et d'un environnement collaboratif avec Le Laboratoire de Mécanique et Génie Civil de l'Université de Montpellier.

### Références

1. Sonzogni, Max. Modélisation du calandrage des électrodes Li-ion en tant que matériau granulaire cohésif : des propriétés des grains aux performances de l'électrode. s.l. : Thèse, 2023.
2. Tran, Trieu-Duy. Cohesive strength and bonding structure of agglomerates composed. 2023. 08

### ■ Formation recommandée :

Mécanique, énergétique, génie des procédés, génie civil

### ■ Ecole doctorale :

Université Montpellier

Information, Structures et Systèmes (I2S)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

RADJAI Farhang

IOANNIDOU Katerina

LMCG Montpellier


### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

VANSON Jean-Mathieu

[Jean-mathieu.vanson@cea.fr](mailto:Jean-mathieu.vanson@cea.fr)

04 42 25 72 60





# Dynamique multiéchelle d'une structure élancée avec singularités de frottement : application à un assemblage de combustible

DEC/SESC/LMCP

**La modélisation dynamique de structures complexes peut nécessiter la prise en compte de phénomènes intervenant à des échelles très différentes. Or, une modélisation fine de ce type de structures entraîne généralement des coûts de calculs prohibitifs.**

La modélisation multiéchelle se présente alors comme une solution alternative à cette problématique en tenant compte de chaque phénomène à l'échelle la plus adéquate.

Nous nous intéressons ici à des structures élancées soumises à des sollicitations mécaniques qui conduisent à des contacts frottants entre la structure et les éléments de maintien. Le comportement des structures élancées est en général représenté par des modèles de type poutre équivalente, mais la prise en compte précise du contact/frottement local nécessite des modèles 3D massifs.

L'originalité du travail proposé ici est de bâtir une approche multiéchelle et multimodèle efficace entre modèles poutres et massifs qui permette de prendre en compte localement le contact frottant de structures élancées. Nous nous orientons ainsi vers l'utilisation de méthodes multigrilles (ou multiniveaux) locales qui permettent naturellement un couplage multiéchelle non intrusif. La précision de ces méthodes repose alors sur le choix des opérateurs de transfert entre échelles, qui devront être définis avec soin. Il faudra également prendre en compte la non compatibilité des maillages soutenant les modèles sur les différentes échelles pertinentes. Ainsi, le modèle final sera un modèle de poutre enrichi permettant de prendre en compte des phénomènes de contact locaux.

Le modèle développé sera comparé à des résultats expérimentaux obtenus lors de campagnes d'essais déjà réalisées, et à des solutions numériques de référence, de complexité croissante, destinées à valider finement la pertinence de l'approche multiéchelle proposée.

Le potentiel fort des approches multiéchelles visées, appliqué dans ce sujet au domaine du nucléaire, pourra être valorisé par le candidat à d'autres problématiques industrielles telles que celles de l'aéronautique ou encore de l'automobile.

La thèse se déroulera dans le cadre du laboratoire commun MISTRAL entre le CEA et le LMA (laboratoire de mécanique et d'acoustique) de Marseille. Le doctorant réalisera la majeure partie de sa thèse au CEA au sein de l'institut IRESNE (Cadarache) dans les équipes spécialisées autour des méthodes numériques et de la modélisation dynamique de structures complexes. Il se rendra régulièrement à Marseille pour échanger avec les encadrants universitaires.

## ■ Formation recommandée :

Mathématiques - Analyse  
numérique - Simulation

## ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université  
Sciences pour l'Ingénieur :  
Mécanique, Physique, Micro et  
Nanoélectronique (SIMPMN)

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :


LEBON Frédéric  
LMA

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

RAMIERE Isabelle

[isabelle.ramiere@cea.fr](mailto:isabelle.ramiere@cea.fr)

04 42 25 30 38



## Génération assistée de noyaux de calculs complexes en mécanique du solide

DEC/SESC/LMCP

**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, leur complexité 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 oeuvre 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 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'études des combustibles nucléaires de l'institut 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 et EDF.

[1] [https://thelfer.github.io/mgis/web/mgis\\_fenics.html](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 :

Mathématiques - Analyse  
numérique - Simulation

### ■ Ecole doctorale :

Paris Sciences et Lettres  
Ingénierie des Systèmes,  
Matériaux, Mécanique,  
Énergétique (ISMME)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

KERFRIDEN Pierre

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

HELPER Thomas

[thomas.helfer@cea.fr](mailto:thomas.helfer@cea.fr)

04 42 25 22 67



# D é p a r t e m e n t d ' E t u d e s d e s r é a c t e u r s

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





# Reactors Studies Department

**The Department of Reactors 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:

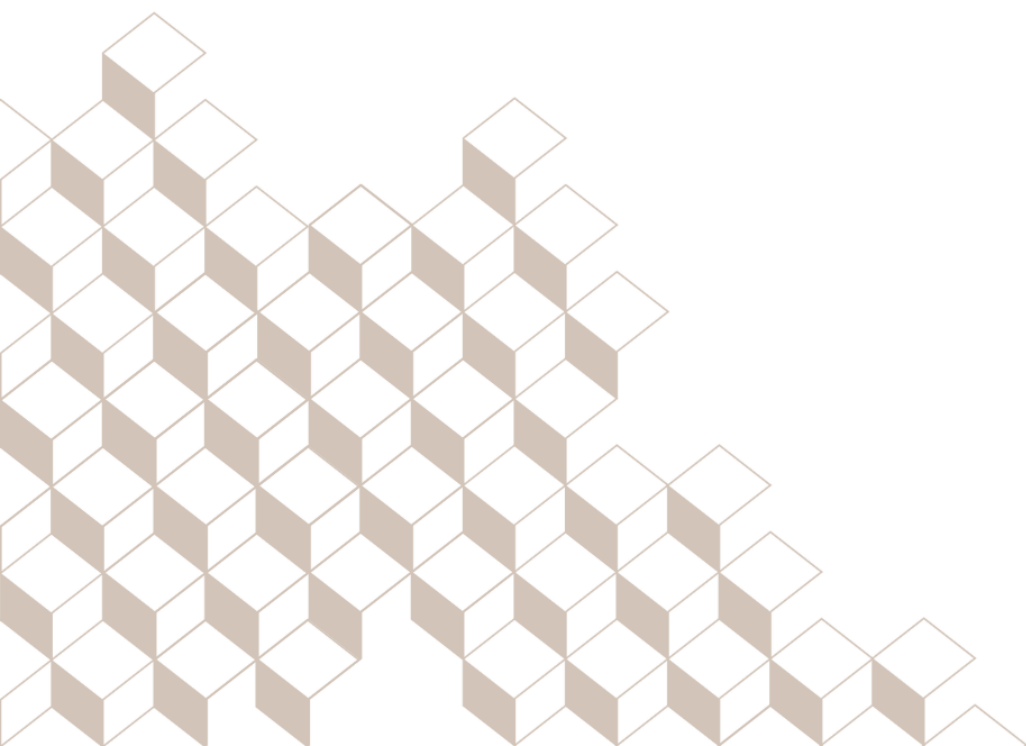
- The Innovative Systems Study Service (SESI),
- The Experimental Physics, Safety Testing, and Instrumentation Service (SPESI),
- The Reactor and Fuel Cycle Physics Service (SPRC),
- The Jules Horowitz Reactor Operations Service (SERJH).

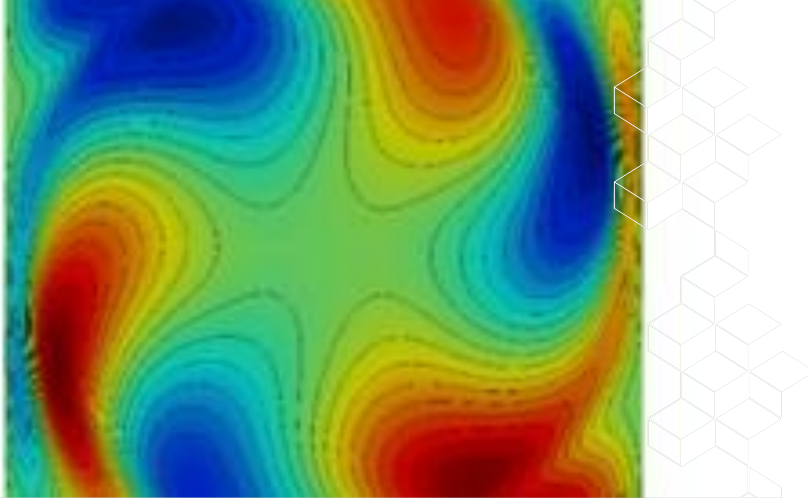


# SESI

Service d'étude  
des systèmes  
innovants

*Innovative Systems Research Unit*





# Étude de la dynamique des réacteurs rapides à sels fondus en convection naturelle

DER/SESI/LCOS

**Les réacteurs à sels fondus (RSF) sont présentés comme des systèmes intrinsèquement stables vis-à-vis des perturbations de réactivité du fait du couplage entre température du sel et puissance nucléaire conduisant à un comportement homéostatique du réacteur.**

Néanmoins, bien que les RSF présentent des caractéristiques intéressantes pour la sûreté, le faible retour d'expérience limite nos connaissances sur leur comportement dynamique, qui restent encore parcellaires. Ce sujet de thèse propose de contribuer au développement d'une méthodologie d'analyse de la dynamique des RSF visant à caractériser les phénomènes complexes de couplage neutronique-thermohydraulique intervenant lors d'un fonctionnement en régime de convection naturelle, ainsi qu'à identifier des séquences de transitoires potentiellement instables, à hiérarchiser les phénomènes physiques source de ces instabilités et à proposer des modèles physiques de ces phénomènes.

Ces travaux contribueront à la définition d'une méthodologie orientée sûreté en soutien aux travaux de conception des RSF à partir de l'étude du comportement dynamique du réacteur en transitoire à travers l'analyse dimensionnelle et l'étude de la stabilité de l'écoulement. Cette méthodologie vise à définir des critères simples et robustes pour garantir la sûreté intrinsèque d'un RSF à spectre rapide, en fonction de ses paramètres de conception et d'opération permettant de respecter les limites du domaine de fonctionnement.

Ce travail de thèse se situe à la croisée de l'analyse théorique des phénomènes physiques régissant le comportement du réacteur, en particulier autour de l'étude des régimes instables (de nature oscillatoire ou divergente) dus au

couplage neutronique-thermohydraulique en convection naturelle, et de la mise en place d'outils analytiques et numériques pour la réalisation des calculs visant à caractériser ces phénomènes.

Le doctorant sera positionné au sein d'une unité de recherche sur les systèmes nucléaires innovants. Il développera des compétences en modélisation des RSF et en analyse de sûreté. Il pourra valoriser ses travaux auprès de la communauté internationale de recherche sur les RSF.

## ■ Formation recommandée :

Energie, thermique, combustion, écoulements

## ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physique et Sciences de la Matière (ED 352)

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

BUIRON Laurent – CEA/LEPh

RUBIOLO Pablo – CNRS/LPSC

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MARTIN LOPEZ Eléna

[elena.martinlopez@cea.fr](mailto:elena.martinlopez@cea.fr)

04 42 25 41 78





# Méthodologie de déploiement d'une flotte de réacteurs nucléaires innovants pilotée par les besoins et contraintes du réseau

DER/SESI/LCOS

**Les réseaux électriques sont à une société ce que le système sanguin est au corps humain : les pourvoyeurs d'énergie électrique indispensable à la vie quotidienne de tous les organes de la société. Il s'agit de systèmes très complexes qui doivent garantir à tout instant l'équilibre entre la demande des consommateurs et la puissance injectée sur ses lignes via des mécanismes à des échelles spatiales et temporelles différentes.**

Cette thèse vise à élaborer une méthodologie d'optimisation du déploiement de réacteurs nucléaires innovants dans des réseaux électriques, adaptée aux besoins et contraintes spécifiques de ceux-ci.

Cette approche devra être applicable à une grande variété de réseaux, qu'ils soient insulaires ou de taille continentale, et à divers niveaux de pénétration et technologies d'Energies Renouvelables Intermittentes (EnRI).

Les contraintes des réseaux devront traduire leurs besoins en stabilité à court terme (localisation et capacités des réserves inertielles, participation aux services systèmes), à moyen terme (pilotabilité et suivi de charge), ainsi qu'à long terme (disponibilité saisonnière et facteur de charge des moyens de production).

Les réacteurs nucléaires innovants pourront appartenir à n'importe quelle filière, étant caractérisés uniquement par des grandeurs macroscopiques telles que la cinétique de montée/descente en charge, les paliers de puissance partielle, la durée avant redémarrage, les capacités de cogénération, etc... ainsi que des données technico-économiques requises pour le dispatching.

Concrètement, l'objectif est de pouvoir dresser le portrait-robot (ie. localisation, puissance, cinétique) de flottes de réacteurs nucléaires garantissant un fonctionnement stabilisé des réseaux électriques malgré un fort taux de pénétration d'EnRI.

Deux contributions principales sont attendues :

- Apport académique : proposer une méthodologie novatrice pour optimiser le déploiement de systèmes énergétiques de grande dimension comprenant des réacteurs nucléaires innovants, en intégrant à la fois la physique des réseaux électriques et leurs contraintes opérationnelles ;

- Apport industriel : développer des recommandations pour le déploiement optimal de réacteurs nucléaires innovants dans des systèmes électriques intégrant des EnRI, prenant en compte des aspects comme la puissance des réacteurs et leur inertie, leur localisation, les besoins en réserves pour les services systèmes, leur capacité de suivi de charge ou leur disponibilité.

Le doctorant sera basé dans une unité de recherche sur les systèmes nucléaires innovants. À l'intersection de l'étude de la dynamique des réacteurs nucléaires, de la physique des réseaux électriques, et de l'optimisation, cette thèse en énergétique offrira au doctorant l'opportunité de développer une connaissance approfondie sur les systèmes énergétiques de demain et les enjeux qui leur sont associés.

## ■ Formation recommandée :

Mécanique, énergétique,  
génie des procédés, génie  
civil

## ■ Ecole doctorale :

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

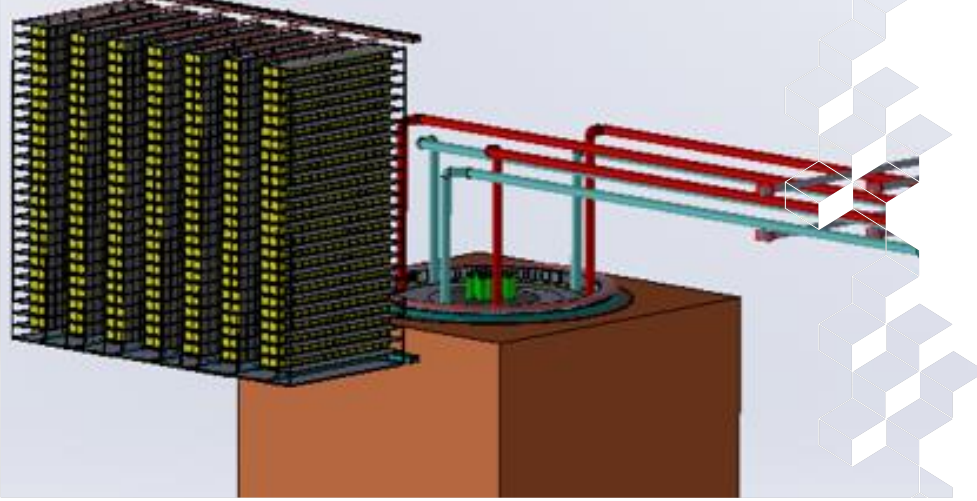
## ■ Directeur(s) de thèse :

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BOUDOT Charly

[charly.boudot@cea.fr](mailto:charly.boudot@cea.fr)

04 42 25 40 12



# Cinétique du front de fusion d'un Matériau à Changement de Phase utilisé pour évacuer la puissance résiduelle d'un réacteur nucléaire innovant

DER/SESI/LEMS

**Dans le cadre du développement de réacteurs nucléaires innovants de à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na), cette thèse vise à explorer l'utilisation d'un matériau à changement de phase (MCP) pour évacuer la puissance résiduelle.**

Le MCP étudié dans ce projet est le Zamak, un alliage métallique présentant des caractéristiques intéressantes pour ce type d'applications thermiques.

Certains concepts de RNR-Na intègrent des systèmes de sûreté passifs conçus pour assurer l'évacuation de cette puissance résiduelle, qui correspond à la chaleur dégagée par les fissions retardées et les décroissances radioactives des isotopes du combustible après l'arrêt du réacteur. L'utilisation de matériaux à changement de phase est une option intéressante, permettant d'absorber et de stocker la chaleur grâce à la fusion du MCP, puis de la restituer progressivement.

Le cœur de cette thèse porte sur la modélisation CFD du processus de fusion du Zamak et de la remontée d'échelle vers un outil de calcul simplifié. Le défi principal réside dans la prédiction du comportement du front de fusion, de sa stabilité et de son impact sur la cinétique d'évacuation de la puissance résiduelle. Ce front de fusion est influencé entre autre par l'angle de mouillage, la physico-chimie de l'interface MCP-paroi ou MCP-gaz environnant, qui seront à étudier durant la thèse. Les travaux de recherche porteront donc sur le développement d'un modèle CFD qui intègre ces éléments, avec une approche par enthalpie poreuse, permettant ainsi des simulations prédictives du comportement du MCP dans le système d'évacuation de la puissance résiduelle. Une analyse de remontée d'échelle sera ensuite effectuée.

Le doctorant sera positionné dans une équipe de recherche sur les réacteurs innovants à l'institut IRESNE sur le site du CEA de Cadarache. Les débouchés après la thèse incluent la recherche universitaire, la R&D et l'industrie nucléaire, également dans des secteurs mettant en œuvre des MCP....).

## ■ Formation recommandée :

Mécanique, énergétique, génie des procédés, génie civil

## ■ Ecole doctorale :

Université Claude Bernard  
Lyon 1 - MEGA

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

TRONTIN Pierre  
CEA/DES/IRESNE/DER/SESI  
ALIZARD Frédéric  
Univ. Lyon1 LMFA

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

LI Simon

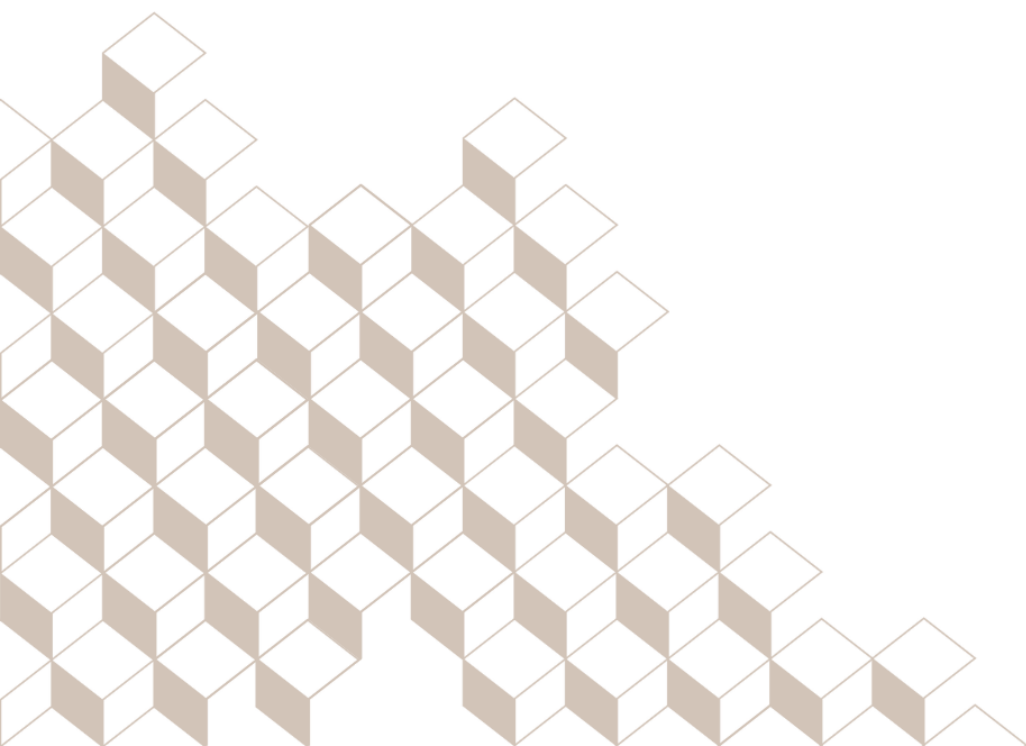
[simon.li@cea.fr](mailto:simon.li@cea.fr)

04 42 25 32 73

# SPESI

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

*Experimental Physics, Safety Testing  
and Instrumentation Unit*







## Étude et utilisation de verres à l'uranium pour la détection des neutrons par voie optique

DER/SPESI/LDCI

**Le Laboratoire de dosimétrie, capteurs et Instrumentation (LDCI) du CEA/IRENE Cadarache, développe, fabrique et exploite des détecteurs de flux neutronique qui sont utilisés à proximité immédiate ou à l'intérieur des cœurs des réacteurs nucléaires.**

Le LDCI mène des recherches actives non seulement sur des détecteurs classiques (chambres à fissions, collecteurs...), mais aussi sur des voies de mesures innovantes telles que des détecteurs optiques, semi-conducteurs, scintillateurs fibrés...

Avec cette thèse, le laboratoire souhaite explorer le potentiel de verres dopés à l'uranium. Ces verres sont connus pour produire une vive fluorescence sous différents rayonnements. L'idée maitresse est d'essayer d'exploiter cette fluorescence pour détecter les réactions de fission qui sont induites dans le verre lorsqu'il est exposé à un flux de neutrons. Cela permettrait de développer une nouvelle génération de détecteurs de neutrons par voie optique à mi-chemin entre une chambre à fission et un scintillateur.

Le travail de thèse sera articulé autour de deux grands axes :

- d'une part la compréhension fine des mécanismes de fluorescence, ainsi que la synthèse de verre à l'uranium aux propriétés optimisées pour nos besoins (sensibilité, spectre d'émission, vecteur isotopique...). La synthèse sera

effectuée dans des laboratoires partenaires ;

- d'autre part le développement d'une instrumentation dédiée, probablement sous la forme de fibres optiques, pour tester ces prototypes en réacteur.

### ■ Formation recommandée :

Interactions rayonnement-matière

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physique et Sciences de la Matière (ED 352)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

TISSEUR David

DES/IRENE/DER/SPESI

### ■ Chercheur de l'IRENE à contacter :

LLIDO Olivier

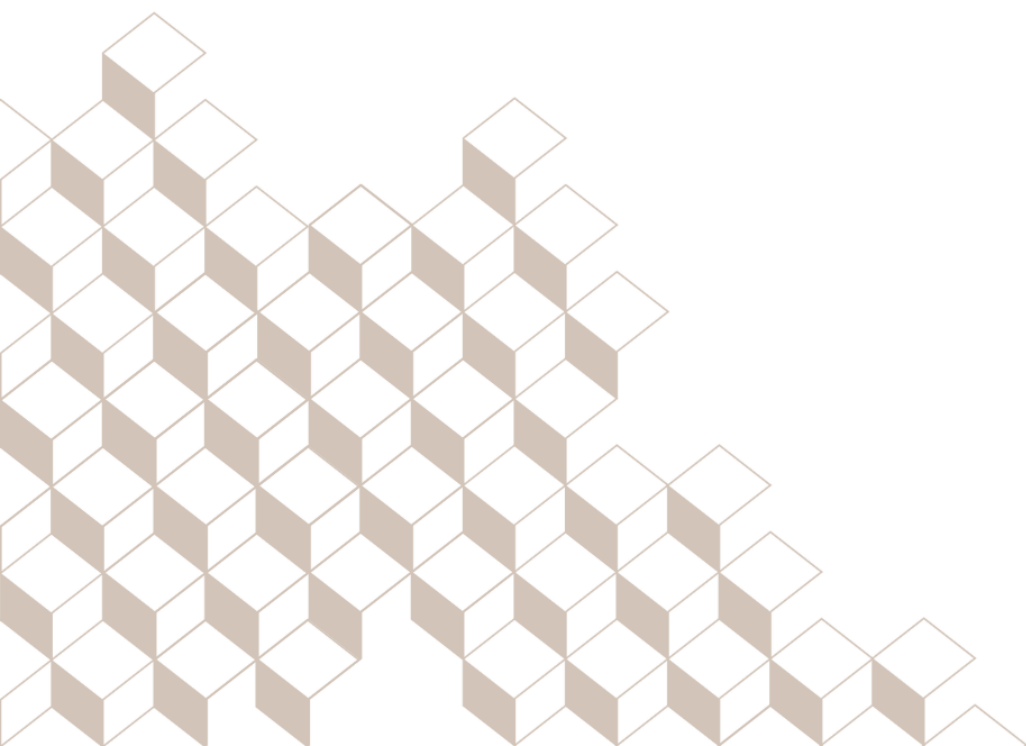
[olivier.llido@cea.fr](mailto:olivier.llido@cea.fr)

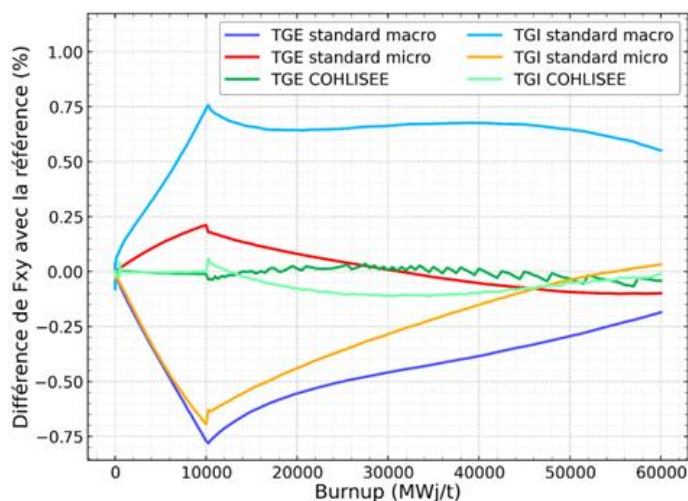
04 42 25 73 05

# S P R C

Service de physique  
des réacteurs et du  
cycle

*Reactor and Cycle Physics Unit*





## Apport de l'IA sur les calculs neutroniques déterministes de réacteurs SMR-REP pilotés en eau claire

DER/SPRC/LE2C

**Face aux enjeux climatiques, la recherche d'énergies propres et fiables se concentre sur le développement de petits réacteurs modulaires à eau sous pression (SMR de type REP), d'une puissance de 50 à 1000 MWth, qui visent à décarboner la production d'électricité et de chaleur dans la prochaine décennie.**

En comparaison des réacteurs en exploitation, leur taille réduite peut permettre de simplifier leur conception en n'utilisant pas de bore soluble dans l'eau du circuit primaire. Le pilotage repose alors principalement sur le niveau d'insertion des barres absorbantes, qui perturbent la distribution spatiale de puissance lorsqu'elles sont fortement insérées, ce qui provoque des pics de puissance plus prononcés que dans un cœur géré au bore soluble, et complique la gestion de la réactivité. Estimer correctement ces paramètres pose alors des défis en matière de modélisation neutronique, en particulier les effets de l'historique d'insertion des absorbants sur l'évolution isotopique du combustible. Une thèse achevée en 2022 a exploré ces effets à l'aide d'un modèle neutronique analytique, mais des difficultés subsistent car les mouvements d'absorbants neutroniques ne sont pas les seuls phénomènes à influencer sur le spectre neutronique.

La thèse proposée cherche à développer une méthode alternative qui permette de gagner en robustesse, tout en cherchant à réduire encore les biais de calculs. Une analyse de sensibilité sera réalisée pour identifier les paramètres clés, permettant de

créer un méta-modèle utilisant l'intelligence artificielle pour corriger les biais des modèles existants.

Ce projet, en collaboration avec l'IRSN et le CEA, permettra à l'étudiant d'acquérir une expertise en physique des réacteurs, en simulations numériques et en *machine learning*.

### ■ Formation recommandée :

Energie, thermique, combustion, écoulements

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université  
Mathématiques et Informatique de Marseille (MIM)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

AYACHE Stéphane – AMU  
BACCOU Jean - IRSN

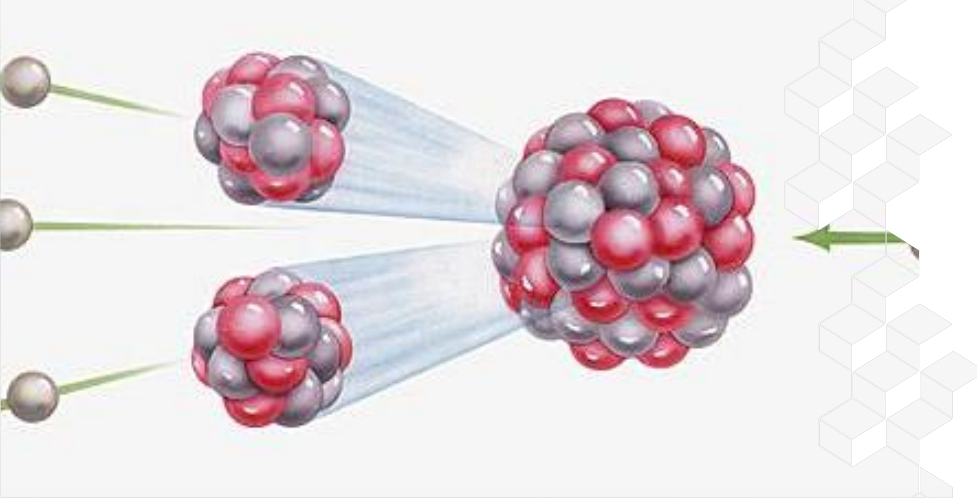
### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

PRULHIÈRE Géraud

[geraud.prulhiere@cea.fr](mailto:geraud.prulhiere@cea.fr)

04 42 25 79 79





# Modèles microscopiques de structure nucléaire pour étudier le processus de désexcitation dans la fission nucléaire

DER/SPRC/LEPH

**Le code FIFRELIN est développé au CEA/IRESNE Cadarache afin de fournir une description détaillée du processus de fission et de calculer avec précision toutes les observables de fission pertinentes.**

Le code repose en grande partie sur la connaissance détaillée de la structure sous-jacente des noyaux impliqués dans le processus de désexcitation post-fission. Dans la mesure du possible, le code s'appuie sur des bases de données de structures nucléaires telles que RIPL-3, qui fournissent des informations précieuses sur les schémas de niveaux nucléaires, les rapports de branchement et d'autres propriétés nucléaires essentielles.

Malheureusement, toutes ces quantités n'ont pas été mesurées, des modèles nucléaires sont donc utilisés.

Le développement de modèles nucléaires avancés est la tâche du groupe de théorie nucléaire nouvellement formé à Cadarache, dont l'expertise principale est l'implémentation de solveurs du problème nucléaire à  $A$  corps basés sur des interactions nucléon-nucléon effectives.

Le but de cette thèse est de quantifier l'impact de la fonction de force  $E1/M1$  et  $E2/M2$  sur les observables de fission. Actuellement, cette quantité est principalement estimée à l'aide de modèles simples tels que la Lorentzienne généralisée. Le doctorant devra remplacer ces modèles par des théories entièrement microscopiques

basées sur l'interaction effective entre les nucléons via les techniques de type QRPA. Une étude préliminaire a démontré que l'utilisation de modèles macroscopiques (Lorentzienne généralisée) ou microscopiques (QRPA) a un impact non négligeable sur les observables de fission.

Les débouchés de la thèse incluent la recherche académique et les labos de R&D nucléaire théorique et appliquée.

## ■ Formation recommandée :

Physique nucléaire

## ■ Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes

Physique (ED 47)

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

LITAZE Olivier

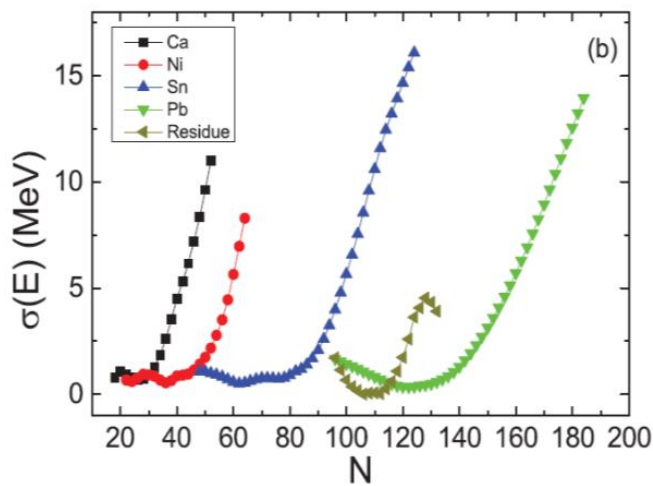
DES/DER/SPRC/LEPH

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

PASTORE Alessandro

[alessandro.pastore@cea.fr](mailto:alessandro.pastore@cea.fr)

04 42 25 38 75



## Ajustement d'un modèle d'interaction nucléaire effective et propagation des erreurs statistiques

DER/SPRC/LEPH

**Au cœur de chaque approche « many-body » utilisée pour décrire les propriétés fondamentales d'un noyau atomique, on retrouve l'interaction effective nucléon-nucléon.**

Une telle interaction effective doit prendre en compte les effets du milieu nucléaire. Pour l'obtenir, il faut utiliser un protocole d'ajustement complexe qui prend en compte une variété d'observables nucléaires comme les rayons, les masses, les centroïdes des résonances géantes ou encore l'équation d'état de la matière nucléaire autour de la densité de saturation.

Un modèle d'interaction forte très utilisé est celui de Gogny, qui est formé par une combinaison linéaire des constantes de couplages et d'opérateurs avec un facteur de forme radial de type Gaussien [1]. Les constantes de couplages sont déterminées via un protocole d'ajustement sur les propriétés d'un nombre restreint de noyaux, typiquement les noyaux sphériques comme  $^{40-48}\text{Ca}$ ,  $^{56}\text{Ni}$ ,  $^{120}\text{Sn}$  et  $^{208}\text{Pb}$ .

L'objectif premier de cette thèse consiste à développer un protocole d'ajustement de l'interaction nucléaire qui puisse donner accès à la matrice de covariance des paramètres du modèle pour ensuite effectuer une analyse de la propagation des erreurs statistiques sur les observables nucléaires [2].

Après avoir analysé les relations entre paramètres et leurs poids relatifs sur les différentes observables, le doctorant explorera la possibilité de modifier certains termes de l'interaction comme le terme à trois corps ou les effets au-delà du champ moyen.

Le doctorant sera positionné dans une équipe de physiciens nucléaires au sein d'un laboratoire d'études de physique de l'institut CEA IRESNE situé à Cadarache. Le travail s'effectuera en équipe avec le CEA/DIF. Les principaux débouchés professionnels sont la recherche académique et les organismes de R&D dans le domaine nucléaire.

[1] D. Davesne et al. "Infinite matter properties and zero-range limit of non-relativistic finite-range interactions." *Annals of Physics* 375 (2016): 288-312.

[2] T. Haverinen and M. Kortelainen. "Uncertainty propagation within the UNEDF models." *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 44.4 (2017): 044008.

### ■ Formation recommandée :

Physique théorique

### ■ Ecole doctorale :

Université de Lyon

Physique et Astrophysique de Lyon (PHAST)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

DAVESNE Dany

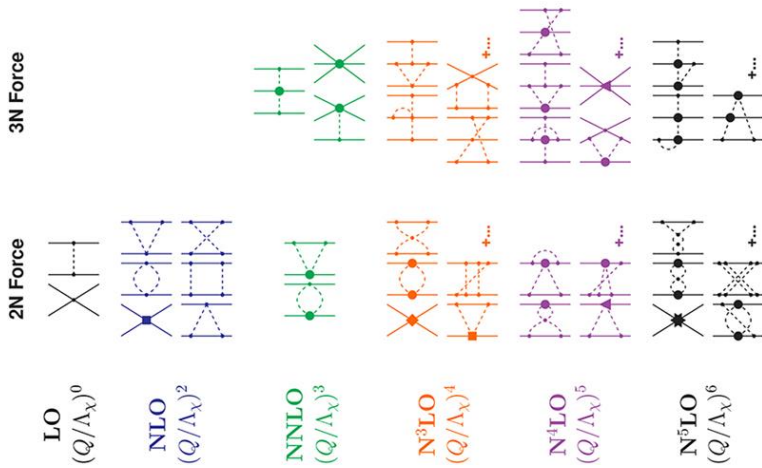
IP2I Lyon

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

PASTORE Alessandro

[alessandro.pastore@cea.fr](mailto:alessandro.pastore@cea.fr)

04 42 25 38 75



## Construction d'interactions en théorie effective des champs pour la physique nucléaire théorique

DER/SPRC/LEPH

**La capacité d'un modèle du noyau à donner une description prédictive des phénomènes nucléaires (que ce soit dans un but théorique ou dans l'optique de produire des données nucléaires pour les applications) est conditionnée par la possibilité de construire un cadre théorique systématiquement améliorable, avec des approximations contrôlées et une estimation des incertitudes et biais associés.**

C'est l'objectif des méthodes dites ab initio, qui reposent sur deux étapes :

1 - La construction d'une interaction inter-nucléons compatible avec la théorie sous-jacente (la chromodynamique quantique) et ajustée dans les noyaux légers, suivant la théorie effective des champs (EFT).

2 - La résolution du problème nucléaire à  $A$  corps à une précision donnée (pour la structure ou les réactions) pour faire des prédictions pour tous les noyaux d'intérêt. La spécificité des méthodes ab initio permet et appelle à une propagation des incertitudes provenant de l'interaction jusqu'aux prédictions pour les données nucléaires.

Cette thèse s'inscrit principalement dans la 1ère étape. L'objectif de la thèse est de construire une famille d'interactions ab initio en développant une nouvelle procédure d'ajustement des paramètres de la théorie, appelés constantes de basse énergie (LECs), sur les données expérimentales disponibles (en incluant le calcul de covariances pour des analyses de sensibilité). L'ajustement se fera sur des données de structure mais aussi de réaction dans les noyaux légers. Ceci ouvrira en outre la porte à une nouvelle

évaluation des sections  $p + n \rightarrow d + \gamma$  (qui ont de larges incertitudes et sont néanmoins importantes pour les applications de neutronique) dans le cadre moderne des théories effectives de champs.

La thèse est en collaboration entre le CEA/IRESNE Cadarache et l'IJCLab d'Orsay, et sera partagée entre les deux instituts (18 mois au CEA/IRESNE, puis 18 mois à l'IJCLab). Les débouchés de la thèse incluent la recherche et les labos de R&D en physique nucléaire.

### ■ Formation recommandée :

Physique nucléaire

### ■ Ecole doctorale :

Université Paris Saclay

PHENIICS

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

VAN KOLCK Ubirajara

IJCLab

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

FROSINI Mikael

[mickael.frosini@cea.fr](mailto:mickael.frosini@cea.fr)

04 42 25 72 75





## Simulations multiphysiques avec estimation d'incertitudes appliquées aux réacteurs rapides refroidis au sodium

DER/SPRC/LEPH

**La modélisation multiphysique est essentielle pour l'analyse des réacteurs nucléaires, mais la propagation des incertitudes entre différents domaines physiques (comme les comportements thermiques, mécaniques et neutroniques) est souvent négligée en raison de sa complexité.**

Ce projet de thèse vise à relever ce défi en développant des méthodes innovantes pour intégrer la quantification des incertitudes dans les modèles multiphysiques.

L'objectif principal est de proposer des approches de modélisation optimales, adaptées à différents niveaux de précision. Le projet explorera des techniques avancées, telles que la modélisation d'ordre réduit et l'expansion du chaos polynomial, pour identifier et classer les paramètres d'entrée ayant l'impact le plus significatif sur les sorties du système, indépendamment de leur domaine physique. Une comparaison entre des modèles « haute fidélité », développés à l'aide des outils de simulation de référence du CEA, et des modèles « best-estimate » conçus pour un usage industriel sera réalisée. Cette analyse comparative mettra en lumière comment les erreurs se propagent dans les différentes approches de simulation.

Les modèles seront validés à l'aide de données expérimentales de SEFOR, un réacteur rapide refroidi au sodium. Ces expériences fournissent des repères précieux pour tester les modèles multiphysiques dans des conditions réalistes de réacteur. Ce projet répond directement au besoin croissant de l'industrie nucléaire pour des outils de modélisation fiables et efficaces, visant à améliorer la sûreté et la performance des réacteurs.

Le candidat évoluera dans un environnement dynamique au CEA, avec accès à des ressources de simulation avancées et des opportunités de collaboration avec d'autres chercheurs et doctorants. Le projet offre également la possibilité de présenter les résultats lors de conférences nationales et internationales, avec des perspectives de carrière solides dans la conception de réacteurs nucléaires, l'analyse de la sûreté et la simulation avancée.

### ■ Formation recommandée :

Neutronique

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

ED 352 Physique et sciences  
de la matière

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

BUIRON Laurent

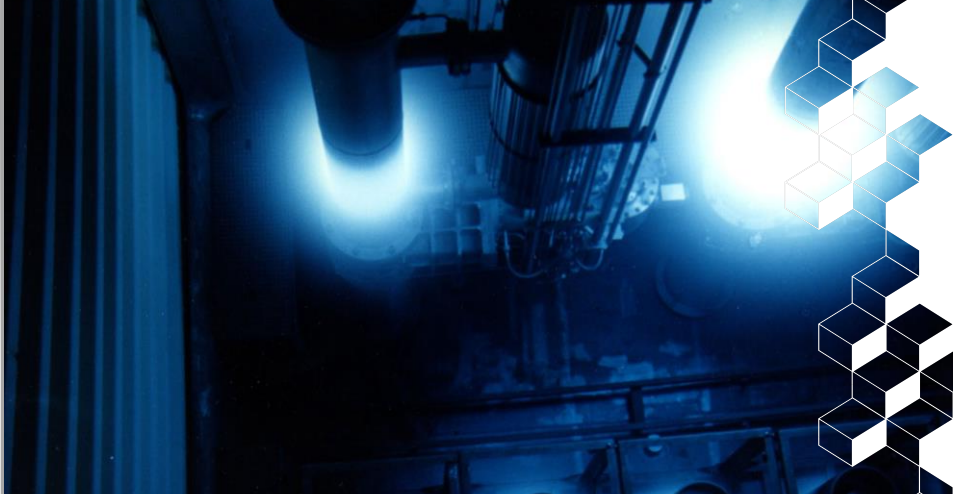
DES/IRENE/DER/SPRC

### ■ Chercheur de l'IRENE à contacter :

GARCIA-CERVANTES Elias

[elias-yammir.garcia-cervantes@cea.fr](mailto:elias-yammir.garcia-cervantes@cea.fr)

04 42 25 71 40



## Études expérimentales et théoriques de la génération du moment angulaire nucléaire et de l'énergie d'excitation des fragments de fission

DER/SPRC/LEPH

**La découverte de la fission en 1939 a profondément modifié notre connaissance de la physique nucléaire. Cette réaction permet de diviser des noyaux lourds comme l'uranium 235, en deux noyaux (fragments) plus légers, tout en libérant une grande quantité d'énergie. Les travaux de recherche sur la fission prennent la forme de modèles nucléaires servant à produire des bases de données nucléaires, qui sont essentiels pour simuler les réacteurs nucléaires.**

La qualité de ces données est encore insuffisante aujourd'hui, car notre compréhension fine de la fission reste très fragmentaire.

Ce travail de thèse vise à mieux décrire la génération du moment angulaire et l'énergie d'excitation des fragments de fission d'un point de vue expérimental et théorique. Ces recherches permettront à la fois de mieux comprendre le processus sous-jacent et d'améliorer le pouvoir de prédiction des outils de simulations, notamment les modèles utilisés pour calculer les échauffements gamma au sein d'un réacteur.

Une partie du travail du doctorant consistera en l'exploitation des données acquises durant une thèse récente. Une autre partie sera la participation à des campagnes expérimentales complémentaires auprès du réacteur nucléaire de l'Institut Laue-Langevin (ILL), à l'aide du spectromètre LOHENGRIN afin de mesurer les rapports isomériques et les distributions en énergie cinétique des fragments de fission.

Le doctorant sera positionné au sein d'un laboratoire de physique nucléaire et de physique des réacteurs. Il développera des compétences en analyse de données, en physique nucléaire ainsi qu'en programmation informatique. Les langages utilisés seront C++ et python. Les débouchés sont la recherche en milieu académique ou industriel, également des postes de *Data Scientist*.

■ Formation recommandée :

Physique nucléaire

■ Ecole doctorale :

Université Aix-Marseille

Physique et Sciences de la Matière (ED 352)

■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

■ Directeur(s) de thèse :

CHEBBOUBI Abdelhazize

CEA/DES/IRESNE/DER/SPRC

■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

KESSEDJIAN Grégoire

[gregoire.kessedjian@cea.fr](mailto:gregoire.kessedjian@cea.fr)

04 42 25 41 14



## Mesure intégrale de sections efficaces de capture de produits de fission par la combinaison de techniques d'oscillation et d'activation

DER/SPRC/LEPH

**Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet Poséidon (*Fission product oscillation experiments for improving depletion calculations*), qui porte sur la mesure intégrale des sections efficaces de capture et de diffusion neutroniques des principaux produits de fission contributeurs à la perte de réactivité dans les combustibles irradiés.**

Il consiste en la mesure, au moyen d'un dispositif d'oscillation en réacteur, de l'effet en réactivité d'échantillons d'isotopes séparés, couplée à la mesure par activation neutronique, dans trois configurations spectrales de cœur : thermique, REP et épithermique.

Une partie de la thèse se déroulera au CEA IRESNE à Cadarache et une partie au Centre de Recherche de la République Tchèque CV Rez. L'étudiante/étudiant participera aux tests et à l'optimisation du dispositif d'oscillation actuellement en cours de fabrication, ainsi qu'à la réalisation des mesures au sein du réacteur expérimental tchèque LR0. La partie de la thèse qui aura lieu à Cadarache portera sur l'analyse des données obtenues. Cette analyse sera réalisée avec des outils de simulation Monte-Carlo. Certaines fonctionnalités nécessaires à l'exploitation des données nécessiteront un développement spécifique au sein des codes par l'étudiante/étudiant.

Une retombée attendue de ces travaux est une meilleure prédiction de la perte de réactivité des cœurs de réacteur en fonction du *burn-up*. Actuellement, même avec les bibliothèques de données nucléaires internationales les plus récentes, un biais important existe dans l'estimation de cette perte de réactivité.

L'étudiante/étudiant développera des compétences en physique neutronique expérimentale et théorique. Les débouchés incluent les laboratoires de R&D et l'industrie nucléaire.

■ Formation recommandée :

Neutronique

■ Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes  
Ingénierie - Matériaux -  
Environnement - Energétique -  
Procédés - Production (IMEP2)

■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

■ Directeur(s) de thèse :

LECONTE Pierre  
DES/DER/SPRC/LEPH

■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

COMBE-COLAS Rodolphe

[rodolphe.combe@cea.fr](mailto:rodolphe.combe@cea.fr)

04 42 25 46 03





## Mesure et évaluation de la dépendance énergétique des données de neutrons retardés du $^{239}\text{Pu}$

DER/SPRC/LEPH

**Cette proposition de thèse vise à mesurer et à caractériser l'émission des neutrons retardés émis par la fission du  $^{239}\text{Pu}$ .**

Cet actinide est impliqué dans divers concepts de réacteurs et la connaissance des données nucléaires qui le caractérisent reste actuellement insuffisante, en particulier en spectre rapide. Ce projet comprend une forte composante expérimentale, avec plusieurs campagnes de mesures sur l'accélérateur électrostatique MONNET au JRC Geel, auxquelles le doctorant prendra activement part.

La première étape de cette thèse consistera à intercomparer les méthodes de mesure du flux neutronique (dosimétrie, chambre à fission, détecteur *long-counter* et scintillateur à protons de recul) puis de les confronter à des calculs Monte-Carlo simulant l'émission des neutrons par interaction de particules chargées (D+T, D+D, p+T). Ce travail permettra d'assurer la bonne caractérisation du flux neutronique, une étape essentielle pour la suite du projet.

Dans un second temps, le doctorant devra reproduire des mesures de neutrons retardés du  $^{238}\text{U}$ , à l'aide d'une cible préexistante, dans une logique d'inter-comparaison par rapport à une campagne expérimentale menée en 2023.

Dans un troisième temps, le doctorant réalisera la mesure des rendements en neutrons retardés et des abondances par groupe du  $^{239}\text{Pu}$ , sur une gamme d'énergie de neutrons comprise entre 1 et 8 MeV. In fine, il produira une

évaluation dépendante de l'énergie et l'intégrera dans un fichier ENDF pour être testée sur différents calculs de réacteur (beta-eff, transitoires de puissance, calibration d'efficacité d'absorbants...). Ces mesures complèteront une étude en spectre thermique menée à l'ILL en 2022 dans le but de former un modèle cohérent pour le  $^{239}\text{Pu}$  sur une gamme d'énergie de 0 à 8 MeV.

Ce projet contribuera au fichier de données nucléaires JEFF-4 de l'OCDE/AEN. Il répond à une forte demande de l'industrie nucléaire (soulignée par l'AIEA) pour améliorer la précision des mesures de multiplicité et des paramètres cinétiques des neutrons retardés, contribuant ainsi à une meilleure maîtrise de la sûreté des réacteurs nucléaires ainsi qu'à la réduction des marges de sûreté.

### ■ Formation recommandée :

Neutronique

### ■ Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes

ED 510

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

LECONTE Pierre

DES/DER/SPRC/LEPH

OBERSTEDT Stephan

JRC Geel

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

KESSACI Kieran

[kieran.kessaci@cea.fr](mailto:kieran.kessaci@cea.fr)

04 42 25 20 24



# Étude systématique des réactions de diffusion des neutrons sur les matériaux de structure d'intérêt pour les applications électronucléaires

DER/SPRC/LEPH

**Les réactions de diffusion élastique et inélastique sur les matériaux de structure ont un impact non négligeable sur la simulation du transport des neutrons dans ces matériaux. Les données nucléaires des matériaux de structure d'intérêt pour les réacteurs nucléaires et les études de criticité doivent être connues avec une bonne précision sur un large domaine en énergie du neutron incident, allant de quelques dizaines de meV à plusieurs MeV.**

Or, la méconnaissance de ces réactions empêche d'atteindre la précision souhaitée. Cette proposition de thèse vise à mener une étude systématique des réactions de diffusion au-delà du domaine des résonances résolues jusqu'à 5 MeV, domaine dans lequel ni le formalisme de la Matrice- $R$  ni le modèle statistique Hauser-Feshbach ne sont applicables pour les matériaux de structure. L'absence de modèle nucléaire utilisable nécessite la mise en place d'un nouveau formalisme alimenté par des mesures à haute résolution des distributions angulaires associées aux réactions de diffusion.

Ce travail portera plus précisément sur des mesures déjà réalisées (sodium [1], fer [2]) et sera étendu à d'autres éléments étudiés dans le cadre du projet international INDEN de l'AIEA, tels que le cuivre, chrome et nickel. Pour cela, la base de données expérimentales disponible sera complétée dans le cadre de cette thèse par de nouvelles mesures sur les isotopes du cuivre ( $\text{Cu63}$  et  $\text{Cu65}$ ). Les mesures seront réalisées au JRC Geel avec le multi-détecteur ELISA. Concernant le cuivre, les benchmarks intégraux de la base de criticité ICSBEP ont révélés plusieurs lacunes dans les bibliothèques JEFF de données nucléaires évaluées qui questionnent indirectement la connaissance des données nucléaires de l' $\text{U235}$ . Par exemple, les benchmarks ZEUS, utilisés pour étudier la section efficace de capture de l' $\text{U235}$  dans le domaine en énergie des neutrons rapides, sont

très sensibles aux données nucléaires du réflecteur en cuivre. Ce type de benchmark permettra de quantifier l'impact du nouveau formalisme d'évaluation des données nucléaires des matériaux de structure.

Cette recherche permettra au candidat d'acquérir des compétences en physique nucléaire expérimentale et théorique, ainsi qu'en physique neutronique. Les résultats obtenus seront valorisés auprès du groupe de travail JEFF de L'Agence pour l'Energie Nucléaire (OCDE/AEN).

[1] P. Archier, Contribution à l'amélioration des données nucléaires neutroniques du sodium pour le calcul des réacteurs de génération IV, Thèse, Université de Grenoble, 2011.

[2] G. Gkatis, Study of neutron induced reaction cross sections on Fe isotopes at the GELINA facility relevant to reactor applications, Thèse, Université Aix-Marseille, 2024.

## ■ Formation recommandée :

Physique nucléaire

## ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physique et Sciences de la Matière (ED 352)

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

NOGUERE Gilles

CEA/DES/IRESNE/DER/SPRC

M. DIAKAKI

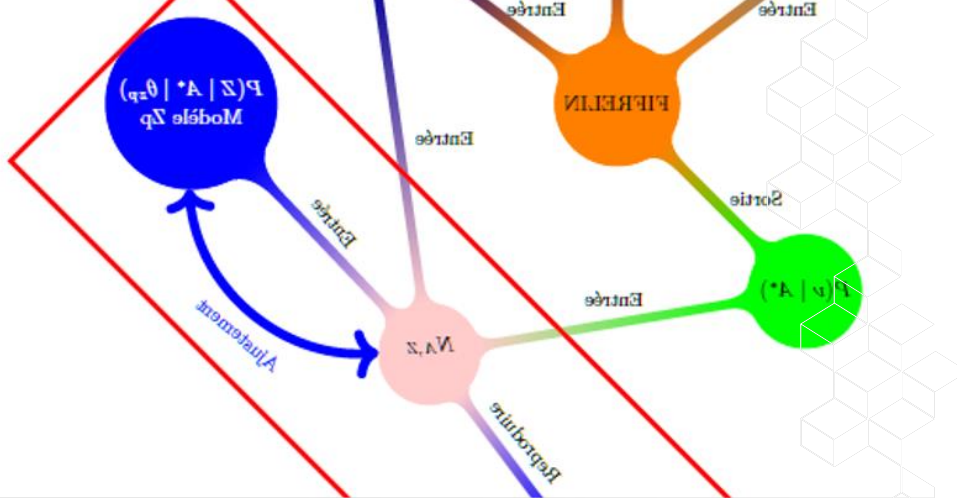
National Technical Univ of Athens

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

NOGUERE Gilles

[gilles.noguere@cea.fr](mailto:gilles.noguere@cea.fr)

04 42 25 27 77



## Modélisation de la polarisation de charges nucléaires des fragments de fission pour l'évaluation des rendements de fission : applications aux noyaux d'intérêt pour le cycle du combustible

DER/SPRC/LEPH

**La thématique des données nucléaires est centrale pour les applications de l'énergie nucléaire, constituant le pont entre les propriétés « microscopiques » des noyaux et les valeurs clés « macroscopiques » utiles aux calculs de physique des réacteurs et du cycle.**

Le Laboratoire d'études de physique de l'institut IRESNE du CEA Cadarache est engagé dans l'évaluation de ces données nucléaires dans le cadre d'un programme développé au sein du groupe JEFF (animé par l'Agence de l'Energie Nucléaire) et d'un *Coordinated Research Project* de l'AIEA.

Le développement récent d'une nouvelle méthodologie d'évaluation des rendements de fission (taux de production des produits de fission après l'émission des neutrons prompts) induite par neutrons thermiques a permis d'améliorer les précisions des évaluations proposées pour la bibliothèque JEFF-4.0 en fournissant leur matrice de covariances.

Pour étendre les évaluations de rendements de fission induites par neutrons thermiques au spectre des neutrons rapides, il est nécessaire de développer un couplage des outils d'évaluation actuels avec des modèles de rendements de fission avant émission des neutrons prompts. Ce couplage est indispensable pour extrapoler les études déjà réalisées sur la fission thermique de l' $^{235}\text{U}$  et du  $^{239}\text{Pu}$  aux noyaux moins connus expérimentalement ( $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{245}\text{Cm}$ ) ou étudier la dépendance de ces rendements avec l'énergie cinétique des neutrons incidents.

Une des composantes essentielles manquantes est la description de la distribution en charge nucléaire ( $Z$ ) en fonction de la masse des fragments de fission et de l'énergie du neutron incident. Ces distributions sont caractérisées par un paramètre clé : la polarisation de charge.

Cette polarisation traduit un excès (respectivement défaut) de proton dans le pic des fragments légers (respectivement lourds) par rapport à la densité de charges moyenne du noyau fissionnant. Si cette quantité a été mesurée pour la réaction  $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ , elle est lacunaire pour d'autres énergies de neutrons ou d'autres systèmes fissionnants.

Les perspectives de ce sujet portent autant sur l'impact de ces nouvelles évaluations sur les grandeurs-clés pour les applications électronucléaires qu'à la validation des mécanismes de fission décrit par les modèles microscopiques de fission.

### ■ Formation recommandée :

Physique nucléaire

### ■ Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes  
Ecole Doctorale de Physique  
de Grenoble (EdPHYS)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

KESSEDJIAN Grégoire  
CHEBBOUBI Abdelhazize  
CEA/DES/IRESNE/DER/SPRC

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

KESSEDJIAN Grégoire  
[gregoire.kessedjian@cea.fr](mailto:gregoire.kessedjian@cea.fr)

04 42 25 41 14





## Calcul des sensibilités en neutronique déterministe : développement des méthodologies pour l'étape réseau

DER/SPRC/LEPH

**En neutronique, les calculs déterministes reposent généralement sur une approche en deux étapes, appelées étapes réseau et étape cœur.**

Dans la première, les sections efficaces multi-groupes sont réduites (condensées sur quelques groupes d'énergie et homogénéisées sur des régions de la taille d'un assemblage) en utilisant un petit sous-ensemble du modèle géométrique du système (typiquement, un seul sous-assemblage représentatif d'un modèle répété) afin de réduire la dimensionnalité de l'étape du calcul cœur.

Lorsque ces ensembles réduits de sections efficaces sont utilisés pour les analyses de sensibilité du calcul cœur, l'impact de l'étape réseau est généralement négligé. Pour certaines quantités d'intérêt, cela peut conduire à des écarts importants entre les sensibilités calculées et les sensibilités réelles, étant donné que les calculs de transport sur réseau sont essentiels pour véhiculer les informations sur le spectre neutronique local à énergie fine et les effets d'autoprotection des résonances. Il peut y avoir un problème supplémentaire lorsque ces calculs de sensibilité sont utilisés pour fournir un retour d'information sur les évaluations des données nucléaires, ou dans le cas d'études de similitude. Pour résoudre ce problème, plusieurs approches sont disponibles, telles que les calculs directs ou les études de théorie des perturbations, chacune représentant des compromis différents en termes de coût ou de complexité.

L'objectif de cette thèse est par conséquent d'explorer l'état de l'art du domaine, depuis les approches basées sur la force brute jusqu'à celles utilisant la théorie des perturbations avec la possibilité d'en proposer des nouvelles.

L'implémentation des méthodes retenues dans des codes de nouvelle génération (comme APOLLO3) permettra d'améliorer la précision des études de sensibilité.

Le doctorant sera basé dans l'unité de recherche en physique des réacteurs du CEA/IRESNE à Cadarache, qui accueille de nombreux étudiants et stagiaires. Les perspectives post-diplôme incluent la recherche dans les laboratoires de R&D nucléaire et dans l'industrie.

### ■ Formation recommandée :

Neutronique

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

Physique et Sciences de la Matière (ED 352)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

TOMMASI Jean

DES/DER/SPRC/LEPH

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

VALOCCHI Giorgio

[giorgio.valocchii@cea.fr](mailto:giorgio.valocchii@cea.fr)

04 42 25 62 79



## Impact des historiques de puissance sur la chaleur résiduelle des combustibles nucléaires usés

DER/SPRC/LPN

**La puissance résiduelle est l'énergie dégagée par la désintégration des radionucléides présents dans le cœur d'un réacteur à l'arrêt. Une connaissance précise de sa valeur moyenne et de sa plage de variations revêt un aspect important pour le design et la sûreté des systèmes de transport et d'entreposage du combustible.**

Ces informations ne pouvant être mesurées de manière exhaustive, on utilise des outils de simulation numérique pour estimer la valeur nominale de la puissance résiduelle et quantifier ses variations dues aux incertitudes sur les données nucléaires.

Dans cette thèse, on se propose de quantifier les variations de la puissance résiduelle induite par les données de fonctionnement du réacteur, notamment les historiques de puissance, soit la puissance instantanée des assemblages de combustible lors de leur séjour en cœur.

Ce travail revêt un challenge particulier puisque les données d'entrée ici ne sont plus des grandeurs scalaires mais des fonctions dépendant du temps. Pour cela, un modèle de substitution de l'outil de calcul scientifique sera développé afin de réduire le temps de calcul. La modélisation globale du problème sera réalisée dans un cadre bayésien à l'aide d'approches de réduction de modèle associées à des méthodes multifidélité. L'inférence bayésienne permettra in fine de résoudre un problème inverse pour quantifier les incertitudes induites par les historiques de puissance.

Le doctorant intégrera l'équipe du Laboratoire des projets nucléaires de l'institut IRESNE du CEA Cadarache. Il développera des compétences en simulation neutronique, science des données et réacteurs nucléaires. Il sera amené à présenter ses travaux périodiquement et les publiera dans des revues à comité de lecture.

### ■ Formation recommandée :

Mathématiques - Analyse numérique - Simulation

### ■ Ecole doctorale :

Université Aix-Marseille

Physique et Sciences de la Matière (ED 352)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

LE LOIREC Cindy

DES/DER/SPRC/LPN

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

LE LOIREC Cindy

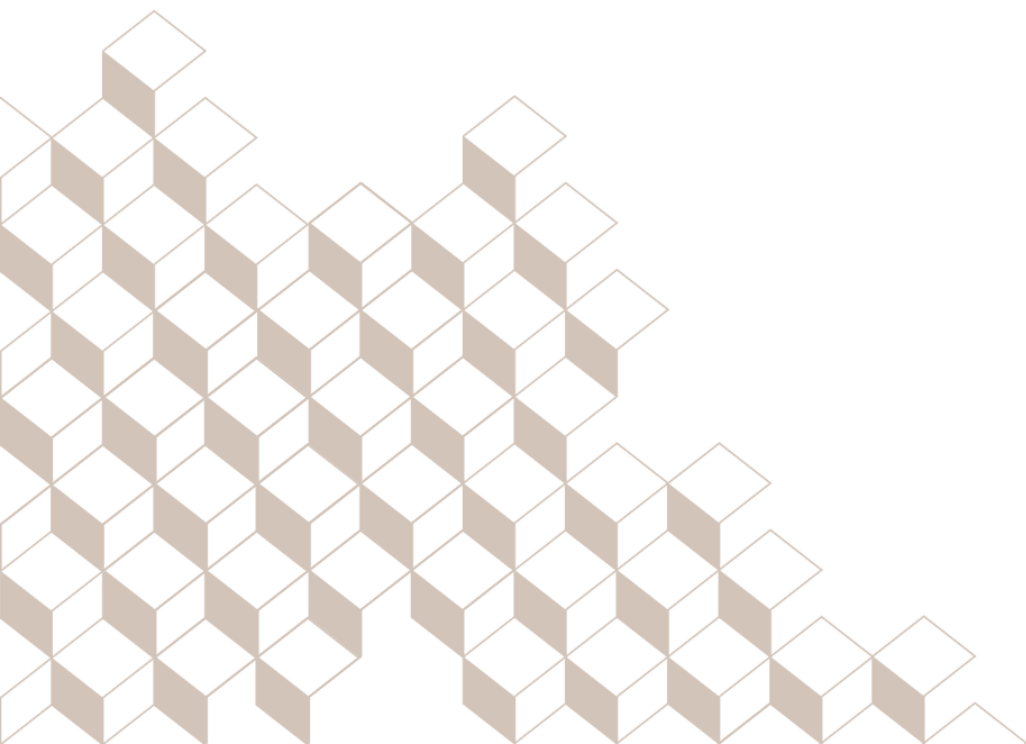
[cindy.leloirec@cea.fr](mailto:cindy.leloirec@cea.fr)

04 42 25 40 62

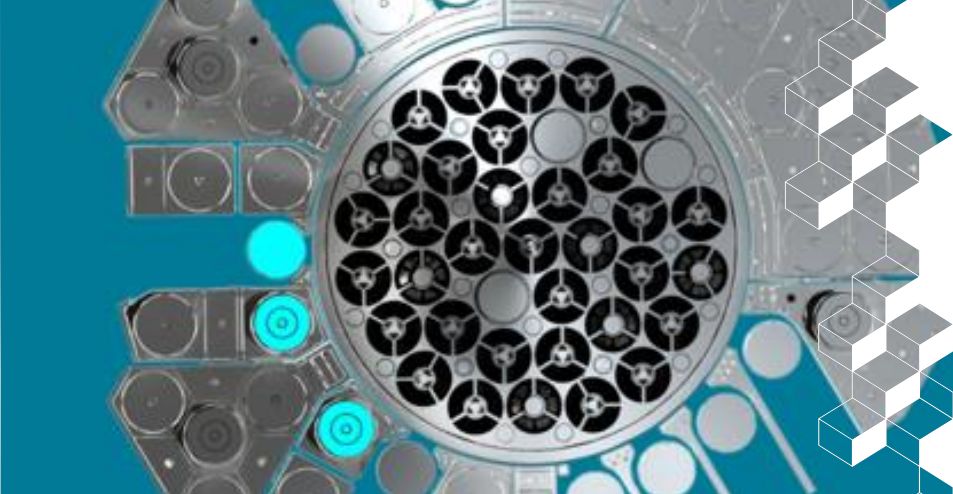
# S E R J H

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/SRJH/CCAP

**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 interagissent 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. Bien que les méthodes classiques de CFD, basées sur la résolution des équations de Navier-Stokes, puissent aussi être parallélisées, les termes non linéaires peuvent rendre le parallélisme plus difficile à gérer, en particulier pour les modèles impliquant des écoulements turbulents ou des maillages irréguliers. 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 le Réacteur Jules Horowitz, car les dispositifs expérimentaux (DEX) sont refroidis par de l'eau en convection naturelle ou forcée. 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.

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 obtenus en les comparant aux données disponibles. Enfin, des calculs exploratoires en convection forcée (régime laminaire à turbulent) seront menés.

### ■ Formation recommandée :

Mathématiques - Analyse numérique - Simulation

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université  
Sciences pour l'Ingénieur :  
Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique (SIMPMN)

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

BOIVIN Pierre

CNRS/M2P2

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BOULIN Anne

[anne.boulin@cea.fr](mailto:anne.boulin@cea.fr)

04 42 25 78 23

# D é p a r t e m e n t d e T e c h n o l o g i e N u c l é a i r e

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 caloporteurs,
- 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).





# Nuclear Technology Department

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:

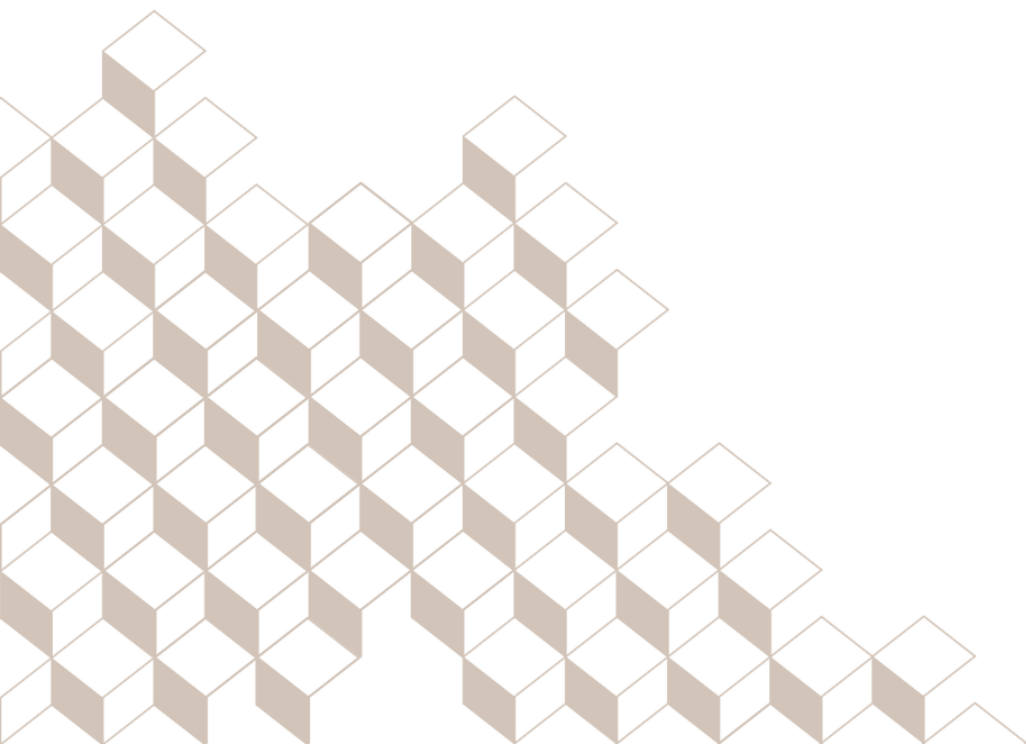
- The Severe Accidents and Transfer Modeling Service (SMTA),
- The Components and Process Technology Service (STCP).



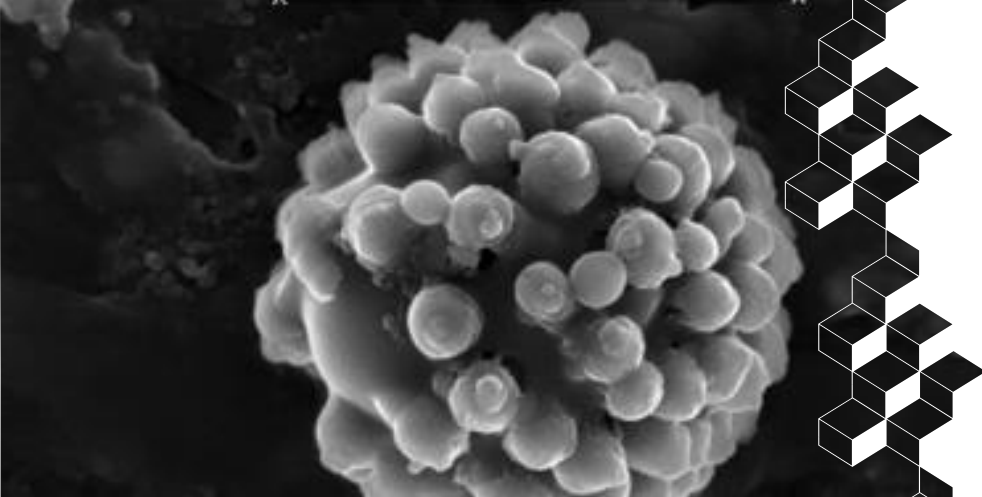
# S M T A

Service mesures et  
modélisation des  
transferts et des  
accidents graves

*Transfer and Severe Accident  
Modelling Unit*







## Génération de micro-particules de césium silicaté de Fukushima

DTN/SMTA/LEAG

**Microscopiques de par leur taille, mais grandes de par leur impact environnemental, les microparticules de césium détiennent une des clés de la compréhension de l'accident nucléaire de Fukushima.**

Suite à l'accident de Fukushima Daiichi, ces microparticules de verre silicaté riches en césium (MSC) ont été découvertes dans l'environnement, portant une part significative de la radioactivité. Très peu solubles dans l'eau, elles diffèrent de celles observées à Tchernobyl. Une thèse précédente a démontré que ces MSC pourraient être issues de l'interaction entre le corium et le béton lors d'un accident grave, via des expériences à petite échelle. L'étude a permis de reproduire des particules similaires, constituées de silice amorphe avec des nano-inclusions cristallines. Toutefois, les résultats doivent être affinés, notamment en ce qui concerne la

présence de zinc et de calcium. La thèse proposée vise à explorer les mécanismes physico-chimiques menant à la synthèse de ces MSC. Des expériences en laboratoire recréeront les conditions d'interaction corium-béton, représentatives de Fukushima, afin d'optimiser les compositions et d'améliorer la modélisation des relâchements de ces particules dans les outils actuels d'évaluation des accidents graves.

### ■ Formation recommandée :

Matériaux et applications

### ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université

ED 352 Physique et Science  
de la Matière

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

AUDUBERT Fabienne

DES/IRENE/DEC/SA3E/LAMIR

### ■ Chercheur de l'IRENE à contacter :

DELACROIX Jules

[jules.delacroix@cea.fr](mailto:jules.delacroix@cea.fr)

04 42 25 35 64



## Compréhension locale de l'interface corium- béton par expérimentation

DTN/SMTA/LMAG

**Dans le contexte de la transition énergétique et de la place cruciale du nucléaire dans un mix énergétique décarboné, comprendre, puis atténuer les conséquences de tout accident conduisant à fusion, même partielle, du cœur d'un réacteur représente une direction de recherche impérative.**

Lors d'un accident grave avec fusion du cœur, l'amalgame de matériaux issus de la fusion du cœur, ou corium, peut interagir avec le béton du radier de la centrale. La méconnaissance des phénomènes physiques locaux et interfaciaux lors de l'interaction corium-béton (ICB) a conduit à l'élaboration de différents outils internationaux de simulation. Aucun n'a réussi à expliquer les récentes observations sur la centrale accidentée de Fukushima Daiichi. Il s'avère donc crucial d'améliorer les outils de simulation de l'ICB.

Ainsi, ce sujet de thèse a pour objet l'étude expérimentale, détaillée et locale, de l'interface corium/béton avec du corium prototypique (uranium appauvri). Pour cela, le candidat élaborera un dispositif d'essai qui sera introduit dans le four inductif VITI de la plateforme PLINIUS dédiée à l'étude des accidents graves sur le centre de Cadarache. Après la qualification du dispositif expérimental, des essais locaux d'interaction corium béton dans VITI seront réalisés sur différents types de béton (dont un échantillon de Fukushima) et avec différents coriums, permettant une approche incrémentale par effets séparés. L'ablation sera

caractérisée via la perte de masse et le relâchement d'hydrogène. L'interface sera aussi caractérisée après rapide retrait du corium. Les échantillons seront également étudiés aux rayons X (e.g. tomographie). Suivant l'avancement des travaux et la compréhension de la phénoménologie de l'ICB, un modèle pourra être développé, puis intégré dans un outil de simulation.

Le travail de thèse se déroulera conjointement dans les laboratoires d'expérimentation et de modélisation des accidents graves de l'institut IRESNE de Cadarache, dans un environnement de recherche au meilleur niveau international pour l'étude des phénomènes multiphysiques à très haute température. Ce travail pourra aussi s'enrichir des travaux recherche réalisés dans le cadre de l'ANR IMMOC, en partenariat avec des universitaires (CNRS Laboratoire Navier, AMU-CNRS Madirel...).

### ■ Formation recommandée :

Énergie, thermique,  
combustion, écoulements

### ■ Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes

ED 510 I-MEP2

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

SEILER Nathalie

CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

DELACROIX Jules

[jules.delacroix@cea.fr](mailto:jules.delacroix@cea.fr)

04 42 25 35 64



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

DTN/SMTA/LMAG

**Dans le contexte de la transition énergétique et de la place cruciale du nucléaire dans un mix énergétique décarboné, comprendre, puis atténuer les conséquences de tout accident conduisant à 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. La composition du bain peut évoluer au cours du temps. Le bain de corium n'est pas homogène et peut se stratifier en plusieurs phases immiscibles. Avec l'évolution de la composition globale du corium, les propriétés des différentes phases évoluent. Ainsi l'ordre de stratification vertical des phases peut changer, ce qui induit un réarrangement vertical des phases. Lors de ce réarrangement une phase traverse l'autre sous forme de gouttes. 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 et le design autant des réacteurs actuels que futures.

Des premières modélisations ont déjà été réalisées, mais elles manquent de validation et de calibration. Les expériences prototypiques sont difficiles à mettre en place et à court terme aucune n'est prévue. Le présent sujet de thèse propose de combler ce manque en réalisant une étude expérimentale du phénomène à l'aide d'un système simulant à base d'eau permettant une instrumentation locale et de grandes campagnes d'essai. Le but est de valider, 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, qui est utilisée pour réaliser des estimations de probabilité de percement de la cuve d'un réacteur. Le dispositif expérimental serait construit et opéré

au laboratoire LEMTA de l'université de Lorraine où le doctorant serait détaché. En termes d'expériences, deux cas seront à étudier, le cas goutte seule, et le cas stratifié avec formation de goutte via instabilités de Rayleigh-Taylor.

La thèse sera principalement expérimentale avec un volet utilisation de code pour le calage, la validation et pourra inclure un volet modélisation. Elle se déroulera dans son intégralité au laboratoire LEMTA à Nancy. Le doctorant profitera ainsi des compétences du LEMTA en ce qui concerne le développement de dispositifs expérimentaux simulants, les transferts dans les fluides et la métrologie. 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 :

Énergie, thermique, combustion, écoulements

### ■ Ecole doctorale :

Université de Lorraine

ED 608 SIMPPE

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

RIMBERT Nicolas

LEMTA - Université de Lorraine

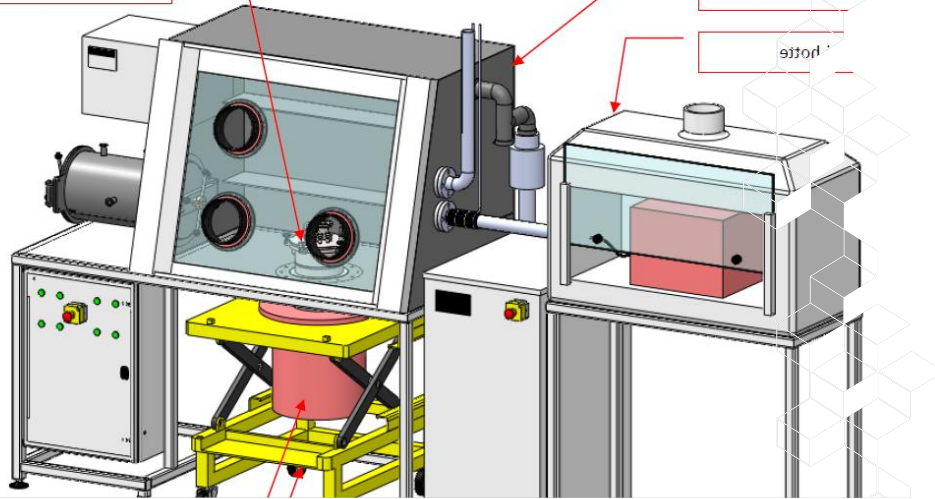
### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

LECOANET Alexandre

[alexandre.lecoanet@cea.fr](mailto:alexandre.lecoanet@cea.fr)

04 42 25 64 73





# Purification des sels chlorures en vue de leur utilisation dans des systèmes de production d'énergie : développement de méthodes, compréhension et optimisation

DTN/SMTA/LMCT

**Dans le cadre de la transition énergétique, les sels chlorures fondus reçoivent un intérêt croissant comme fluide caloporteur et combustible dans des systèmes de production d'énergie, tels que le solaire à concentration ou le nucléaire de IVème génération avec les réacteurs à sels fondus ('molten salt reactors' ou MSR).**

Toutefois, leur utilisation est pour l'instant limitée par les fortes vitesses de corrosion des matériaux de structure utilisés, corrosion qui semble en grande partie liée à la pureté du sel utilisé. En particulier, la maîtrise de la teneur en oxygène semble primordiale pour limiter la dissolution de nombreux éléments. Cependant, certains sels d'intérêt pour l'industrie nucléaire (ternaire NaCl-MgCl<sub>2</sub>-PuCl<sub>3</sub> et son simulant NaCl-MgCl<sub>2</sub>-CeCl<sub>3</sub>) se trouvent être particulièrement difficile à purifier, du fait de leur forte affinité avec l'eau.

Il est donc nécessaire de comprendre la nature et la stabilité des espèces formées dans un système pollué (chlorures, oxydes, oxy-chlorures, hydroxy-chlorures) et de proposer des méthodes de purification des sels adaptées à un système industriel. Le candidat à la thèse aura ainsi pour objectifs de purifier et caractériser des mélanges de sels (binaires, ternaires et éventuellement quaternaires) à partir des méthodes disponibles dans les différents laboratoires impliqués par ce travail. La purification pourra avoir lieu à partir d'électrolyse, de précipitation, de filtration, de bullage de gaz chlorant ; la caractérisation pourra être réalisée par des méthodes électrochimiques, des sondes potentiométriques à oxygène, par spectroscopie Raman à haute température sous atmosphère inerte, ou encore par analyses chimiques et matériaux classiques.

L'étudiant réalisera son doctorat à l'institut sur les énergies IRESNE situé au CEA Cadarache (Bouches-du-Rhône), au sein d'un laboratoire (LMCT) où seront installés la boîte à gants de purification et les moyens de mesure. Le LMCT a une grande expérience de la chimie des caloporteurs avancés (en particulier le sodium).

Des collaborations seront réalisées avec d'autres laboratoires du CEA, en particulier à Marcoule, et avec le LGC Toulouse disposant d'une expérience de plus de 20 ans dans les sels fondus (co-direction de thèse).

Le profil recherché est un ingénieur ou master recherche en électrochimie ou science des matériaux.

## ■ Formation recommandée :

Chimie physique et électrochimie

## ■ Ecole doctorale :

Université Toulouse III

Sciences de la Matière (ED482)

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

CHAMELOT Pierre

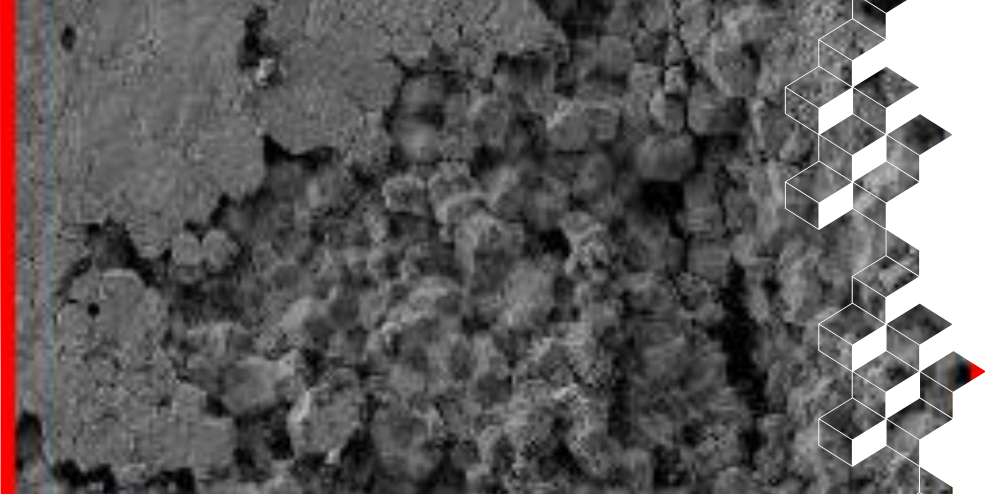
LGC, UPS Toulouse

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BRISSONEAU Laurent

[laurent.brissoneau@cea.fr](mailto:laurent.brissoneau@cea.fr)

04 42 25 42 58



## Céramiques électrolytes pour sondes potentiométriques à oxygène dans des milieux corrosifs pour les réacteurs nucléaires avancés

DTN/SMTA/LMCT

### Les électrolytes solides sont des matériaux qui jouent un rôle de plus en plus important dans les applications énergétiques (piles à combustibles, électrolyseur...).

Parmi ceux-ci, les céramiques oxydes de structure fluorite occupent une place de choix. Convenablement dopées, elles permettent d'obtenir des conductivités électriques importantes et présentent des propriétés qui permettent de les utiliser à hautes températures ou dans les milieux extrêmes. Toutefois, ces propriétés d'usage sont très dépendantes de la microstructure de la céramique et donc de sa voie d'élaboration. Au CEA IRESNE, nous développons depuis plusieurs années des sondes potentiométriques utilisant ce type d'électrolyte pour mesurer l'oxygène (en impureté) dans les fluides caloporteurs des réacteurs avancés.

Dans ce travail de thèse, il est proposé d'étudier les liens entre la microstructure de deux matériaux fluorites, le dioxyde d'hafnium et le dioxyde de thorium dopés, et leur comportement dans des milieux agressifs, le sodium liquide ou les sels chlorures fondus. L'influence la taille de

grains, la présence d'impuretés et la densité de ces oxydes qui seront élaborés par voie humide sur la cinétique de corrosion en milieu sodium permettra de déterminer les mécanismes de corrosion. Le but est d'optimiser la durée de vie en fonctionnement de ces céramiques pour réaliser des sondes potentiométriques à oxygène dans des systèmes énergétiques et de les utiliser dans des sondes potentiométriques pour étudier la chimie de ces milieux complexes.

Le travail de thèse de trois ans, proposé à un(e) étudiant(e) diplômé(e) en sciences des matériaux, se déroulera au CEA/IRESNE sur le site de Cadarache (Bouches du Rhône) en collaboration avec l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (Gard)..

#### ■ Formation recommandée :

Matière ultra-divisée, physico-chimie des matériaux

#### ■ Ecole doctorale :

Université Montpellier

ED 459 Sciences Chimiques  
Balard

#### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

#### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

#### ■ Directeur(s) de thèse :

CLAVIER Nicolas

CNRS

CEA/DES/ISEC/ICSM/LIME

#### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BRISSONEAU Laurent

[laurent.brissoneau@cea.fr](mailto:laurent.brissoneau@cea.fr)

04 42 25 42 58



# Caractérisation élémentaire par activation neutronique pour l'économie circulaire

DTN/SMTA/LMN

**Dans le cadre de l'économie circulaire, un objectif majeur est de faciliter le recyclage des matières stratégiques nécessaires à l'industrie. Cela demande en priorité d'être capable de les localiser avec précision dans des composants industriels sans usage.**

La mesure nucléaire non destructive répond à cette objectif en se fondant sur l'analyse des gamma prompts d'activation neutronique (PGNAA). Cette approche consiste à interroger les échantillons à analyser avec un générateur électrique émettant des impulsions de neutrons rapides qui se thermalisent dans une enceinte en polyéthylène et graphite : on mesure entre les impulsions les rayonnements gamma de capture radiative. L'intérêt d'une telle approche tient dans le fait que des éléments de grande valeur comme le dysprosium ou le néodyme ont une section efficace de capture radiative par les neutrons thermiques élevée et que ces derniers peuvent sonder en profondeur d'importants volumes de matière (plusieurs litres).

Une précédente thèse a permis de démontrer la faisabilité de cette technique et a ouvert des pistes de recherche prometteuses, avec deux volets complémentaires pour progresser concrètement vers les objectifs pratiques de recyclage. Le premier prévoit d'étudier

expérimentalement et par simulation la performance de la mesure des cascades gamma sur ces cas représentatifs des besoins industriels (taille et composition des objets, vitesse de mesure). Le second permettra d'enrichir et d'améliorer l'exploitation de la grande quantité d'information disponible à la suite des mesures de rayonnements gamma émis en cascade.

En pratique, le travail sera effectué dans le cadre d'une collaboration entre le CEA et l'institut FZJ (ForschungsZentrum Jülich), en Allemagne. Le premier volet de la thèse sera conduit au CEA au Laboratoire de Mesures Nucléaires. La seconde moitié de la thèse sera effectuée au FZJ (Jülich Centre for Neutron Science, JCNS). Ce volet allemand de la thèse fera l'objet d'expérimentations avec le dispositif FaNGaS du Heinz-Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) à Garching.es autres.

## ■ Formation recommandée :

Instrumentation

## ■ Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes

ED 047 PHYS

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

CARASCO Cédric

CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

LOUBET Laurent

[laurent.loubet@cea.fr](mailto:laurent.loubet@cea.fr)

04 42 25 63 03





# Optimisation de l'estimation de la masse de matière nucléaire par méthodes statistiques avancées

DTN/SMTA/LMN

**Afin de se conformer aux normes de sécurité et de sûreté relatives au stockage des déchets nucléaires et aux traités de non-prolifération, les producteurs de déchets contenant de l'uranium ou du plutonium ont souvent besoin de mesurer la quantité de matières nucléaires dans leurs déchets radioactifs.**

La caractérisation radiologique des matières nucléaires par mesure neutronique passive et active est l'une des activités de recherche historiques du Laboratoire de mesures nucléaires (LMN) du CEA/IRESNE de Cadarache.

Les compteurs proportionnels remplis de  $^3\text{He}$  ou recouverts de bore sont les détecteurs de référence utilisés pour ces techniques qui constituent des outils de référence pour la mesure du plutonium ou de l'uranium. En mesure passive, la coïncidence neutronique permet de discriminer les événements de fission spontanée associés notamment au  $^{240}\text{Pu}$  des neutrons issus des réactions ( $\alpha$ , n). En mesure active, la technique d'interrogation neutronique active (DDT) fournit des informations sur la quantité d'isotopes fissiles à l'intérieur d'un colis de déchets.

Afin de réduire la sensibilité des techniques de mesures neutroniques aux effets d'atténuation de matrice et de localisation du contaminant, un des objectifs de la thèse est d'étudier le couplage de différents types de mesures, tels que la mesure voie par voie, la tomographie d'émission ou la radiographie RX haute énergie, dans un cadre de méthodes statistiques avancées. La thèse vise également à évaluer l'apport des méthodes statistiques avancées, tels que les algorithmes de régression, les approches bayésiennes (parmi lesquelles le processus gaussien), et les réseaux de neurones, pour réduire l'incertitude associée à la masse du plutonium.

Une attention particulière sera accordée au traitement des hétérogénéités de la matrice et de la distribution du contaminant radioactif. L'influence de ces hétérogénéités peut être particulièrement difficile à quantifier, nécessitant non seulement l'utilisation de méthodes statistiques avancées, mais aussi une étude expérimentale approfondie à l'aide du poste de mesure neutronique SYMETRIC du CEA/IRESNE.

Les travaux de thèse seront réalisés au Laboratoire de Mesures Nucléaires du CEA/IRESNE de Cadarache, qui est un laboratoire métier, expert dans les méthodes non-destructives de caractérisation radiologique, élémentaire et physique d'objets qu'ils soient radioactifs ou non. Il est doté de plateformes technologiques de premier plan, implantées dans l'installation TOTEM (mesures neutroniques et gamma) et l'INB Chicade (plateformes Symetric en mesure neutronique et Cinphonie pour l'imagerie RX de haute énergie). Enfin, le doctorant évoluera dans un environnement collaboratif où les différentes équipes sont en forte interaction les unes avec les autres.

## ■ Formation recommandée :

Matériaux et applications

## ■ Ecole doctorale :

Université de Lyon

ED 52 PHAST

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

CARASCO Cédric

CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

BEN MOSBAH Mehdi

[mehdi.benmosbah@cea.fr](mailto:mehdi.benmosbah@cea.fr)

04 42 25 73 51



## Établissement d'un bilan hydrique à l'échelle d'un sous bassin versant semi-naturel par mesures in situ et modélisation 2D/3D

DTN/SMTA/LMN

**Afin d'évaluer l'impact du fonctionnement de ses installations, le CEA se doit de disposer de méthodes et d'outils opérationnels pour mesurer, contrôler et prédire le devenir d'éventuels rejets dans les sols et les nappes phréatiques, ou maîtriser le risque d'inondation en cas de pluies extrêmes**

Le sujet proposé s'inscrit dans ce cadre général. Il fait suite à une précédente thèse qui avait ciblé la caractérisation des propriétés hydrodynamiques de la zone non saturée (ZNS), interface complexe entre la surface et la nappe phréatique, et plus spécifiquement la quantification de la recharge. Deux grands types d'approches ont été développés dans cette précédente thèse : (i) approche 1D à l'échelle d'une fosse pédologique équipée de sondes de teneur en eau et tensiomètres sur plusieurs profondeurs, par détermination de courbes de rétention en eau et des paramètres de Van Genuchten-Mualem, et modélisation de la recharge avec le logiciel HYDRUS, et (ii) approche 2D à l'échelle du centre de Cadarache, avec des prélèvements et analyses de sols pour prédiction des propriétés hydrodynamiques de la ZNS par fonctions de pédotransfert, des mesures de conductivités hydrauliques de surface, et la recherche de critères de spatialisation de l'infiltration (géologie à l'affleurement, végétation, ...).

L'objectif principal de la présente thèse est de spatialiser le bilan hydrique, en incluant à la fois l'infiltration et le ruissellement de surface. L'échelle spatiale envisagée est celle d'un sous-bassin versant du Ravin de la Bête, ruisseau temporaire qui traverse le site de Cadarache et recueille ses eaux de ruissellement avant de se jeter dans la Durance. Différentes mesures in situ sont envisagées (teneur en eau, conductivité hydraulique en surface et

sous la zone racinaire, débit, ...), ainsi que des prélèvements et analyses de sols complémentaires. Une parcelle expérimentale avec simulateur de pluie et mesure du ruissellement sera également dimensionnée et mise en place au cours de la thèse. Une modélisation avec le logiciel Parflow/CLM est envisagée : en 1D à l'échelle de la fosse pédologique (bilan hydrique et détermination de la recharge, le ruissellement étant négligé), et en 2D/3D à l'échelle du sous-bassin versant (bilan hydrique incluant recharge et ruissellement).

Cette thèse sera menée en collaboration avec l'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) de l'Université Grenoble Alpes (UGA). Elle se déroulera sur le site du CEA de Cadarache, au Laboratoire de modélisation des transferts dans l'environnement (LMTE), avec des missions ponctuelles possibles à l'IGE.

### ■ Formation recommandée :

Matériaux et applications

### ■ Ecole doctorale :

Université Grenoble Alpes

ED 105 TUE

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

COHARD Jean-Martial

Institut des Géosciences et de l'Environnement

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

COURTOIS Nathalie

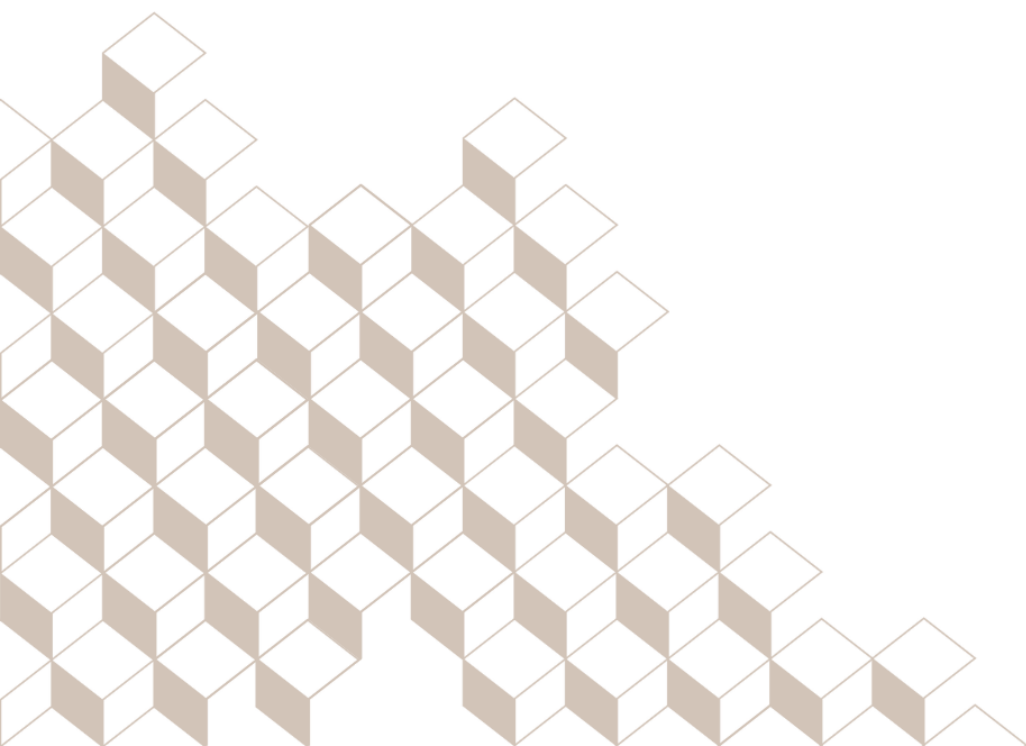
[nathalie.courtois@cea.fr](mailto:nathalie.courtois@cea.fr)

04 42 25 73 51

# STCP

Service de  
technologie des  
composants et des  
procédés

*Component Technology and Processes  
unit*







## Étude d'un procédé de lavage innovant pour le traitement de composants sodés issus d'installations utilisant du sodium liquide comme caloporteur

DTN/STCP/LESC

**Le sodium est utilisé comme fluide caloporteur dans les réacteurs nucléaires à neutrons rapides. Compte tenu des températures de fonctionnement de ces installations, toutes les surfaces en contact avec le sodium liquide restent mouillées par du sodium résiduel une fois les circuits vidangés et égouttés.**

Le traitement de ce sodium résiduel est impératif pour assurer la sécurité des interventions sur les composants et structures dans un processus de démantèlement.

Le procédé de référence pour cette action est le lavage à l'eau dans un puits de lavage dédié. Ce procédé met en œuvre une réaction du sodium avec l'eau sous différentes formes, en maîtrisant la cinétique de réaction, qui est instantanée et fortement exothermique sans contrôle de la mise en contact des réactifs.

Une étude exploratoire menée au CEA a fait l'objet d'une thèse soutenue en 2014 sur l'utilisation de sels pour mitiger la cinétique de réaction. Le Laboratoire d'études des technologies sodium et caloporteurs avancés (LESC) possède ainsi des installations de R&D, instrumentées et dédiées à l'étude des procédés de lavage du sodium et équipées des fonctionnalités d'un puits de lavage industriel, telles que des rampes d'aspersion, des buses d'atomisation et un dispositif d'immersion.

Le principal objectif scientifique de la nouvelle thèse proposée est à présent d'identifier, de comprendre et de modéliser les mécanismes physico-chimiques impliqués dans la cinétique réactionnelle sodium-eau en présence de sels. Ces travaux permettront de limiter ou d'éviter les phénomènes d'onde de pression ou d'explosion lors du traitement du sodium résiduel des circuits de réacteurs nucléaires à neutrons rapides lors de leur assainissement-démantèlement.

Le doctorant aura pour mission de définir les plans d'expérience, de participer activement à la réalisation des campagnes d'essai, d'exploiter les résultats et de proposer une interprétation des phénomènes observés (cinétiques, pic de pression, élévation locale de température...). Les essais auront pour objectif d'acquérir des données de thermodynamique et de cinétique de réaction fiables, tels que les temps de réaction, la variation de la pression dynamique, l'élévation de la température, la composition des phases gaz et liquide, la spéciation en phase liquide et la visualisation de la phénoménologie via caméra rapide. Des outils de modélisation seront mis à sa disposition pour établir et simuler un modèle de cinétique réactionnelle. À terme, les travaux proposés permettront de qualifier le procédé pour une application industrielle dans le domaine de l'assainissement/démantèlement à fort enjeu pour la filière nucléaire française.

En complément de l'expérience acquise dans le domaine du démantèlement de systèmes nucléaires, le travail proposé ouvre des perspectives professionnelles en particulier vers les centres de recherche et les départements de R&D dans l'industrie.

Un stage de master 2 est proposé par l'équipe en complément de la thèse.

### ■ Formation recommandée :

Mécanique, énergétique, génie des procédés, génie civil

### ■ Ecole doctorale :

INP Toulouse

ED 468 MEGeP

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

ESPITALIER Fabienne  
Centre RAPSODEE  
UMR CNRS 5302 – IMT Mines d'Albi

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

GICQUEL Leïla

[leila.gicquel@cea.fr](mailto:leila.gicquel@cea.fr)

04 42 25 46 96



# Étude du fluage d'assemblage de combustible en interaction fluide- structure

DTN/STCP/LETH

**Dans le contexte de la transition énergétique et de la place cruciale du nucléaire dans un mix énergétique décarboné, comprendre, puis atténuer les conséquences de tout accident conduisant à fusion, même partielle, du cœur d'un réacteur représente une direction de recherche impérative.**

Lors d'un accident grave avec fusion du cœur, l'amalgame de matériaux issus de la fusion du cœur, ou corium, peut interagir avec le béton du radier de la centrale. La méconnaissance des phénomènes physiques locaux et interfaciaux lors de l'interaction corium-béton (ICB) a conduit à l'élaboration de différents outils internationaux de simulation. Aucun n'a réussi à expliquer les récentes observations sur la centrale accidentée de Fukushima Daiichi. Il s'avère donc crucial d'améliorer les outils de simulation de l'ICB.

Ainsi, ce sujet de thèse a pour objet l'étude expérimentale, détaillée et locale, de l'interface corium/béton avec du corium prototypique (uranium appauvri). Pour cela, le candidat élaborera un dispositif d'essai qui sera introduit dans le four inductif VITI de la plateforme PLINIUS dédiée à l'étude des accidents graves sur le centre de Cadarache. Après la qualification du dispositif expérimental, des essais locaux d'interaction corium béton dans VITI seront réalisés sur différents types de béton (dont un échantillon de Fukushima) et avec différents coriums,

permettant une approche incrémentale par effets séparés. L'ablation sera caractérisée via la perte de masse et le relâchement d'hydrogène. L'interface sera aussi caractérisée après rapide retrait du corium. Les échantillons seront également étudiés aux rayons X (e.g. tomographie). Suivant l'avancement des travaux et la compréhension de la phénoménologie de l'ICB, un modèle pourra être développé, puis intégré dans un outil de simulation.

Le travail de thèse se déroulera conjointement dans les laboratoires d'expérimentation et de modélisation des accidents graves de l'institut IRESNE de Cadarache, dans un environnement de recherche au meilleur niveau international pour l'étude des phénomènes multiphysiques à très haute température. Ce travail pourra aussi s'enrichir des travaux recherche réalisés dans le cadre de l'ANR IMMOCC, en partenariat avec des universitaires (CNRS Laboratoire Navier, AMU-CNRS Madirel...).

## ■ Formation recommandée :

Mécanique, énergétique,  
génie des procédés, génie  
civil

## ■ Ecole doctorale :

Université Aix-Marseille

ED 353 Sciences pour l'ingénieur

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

RICCIARDI Guillaume

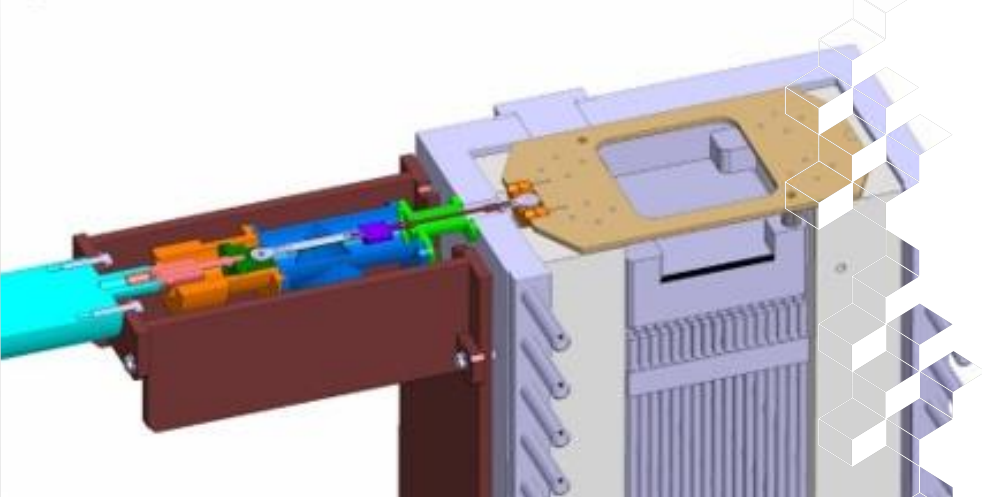
CEA/DES/IRESNE/DTN/STCP

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

RICCIARDI Guillaume

[guillaume.ricciardi@cea.fr](mailto:guillaume.ricciardi@cea.fr)

04 42 25 33 20



# Forces d'impact sous écoulement : effet de lame fluide sur la dynamique d'un composant nucléaire

DTN/STCP/LETH

**Dans le cadre de l'apport du nucléaire dans le mix énergétique décarboné, la maîtrise de la sûreté du fonctionnement des réacteurs est un enjeu de première importance. Dans l'éventualité d'un évènement sismique, la sollicitation dynamique subie par un cœur de réacteur pourrait entraîner des chocs entre assemblages de combustible.**

La présence de l'écoulement en cœur a un effet significatif sur le comportement dynamique des assemblages.

Des essais récents ont montré un effet supplémentaire de l'écoulement sur les forces d'impact entre structures, attribuable à un phénomène de lame fluide.

L'objectif de cette thèse, en 3 volets, est de comprendre et caractériser ce phénomène de lame fluide avec la spécificité de la géométrie d'un assemblage de combustible.

Un volet sera consacré à des simulations CFD avec prise en compte de la déformation du domaine fluide par méthode sur grille mobile ALE (Arbitrary Lagrange-Euler) [1]. Il sera associé à des campagnes expérimentales ambitieuses pour mesurer jusqu'au choc l'effet du déplacement de la structure sur le champ de vitesse du fluide (méthodes optiques de type Particle Image Velocimetry [2]) et les forces d'impact résultantes. Les enseignements seront synthétisés au travers d'une modélisation analytique du phénomène.

L'étudiant(e) sera accueilli(e) au sein du laboratoire qui porte l'expertise en interactions fluide-structure sur le centre CEA de Cadarache. Il/elle sera intégré(e) à un environnement de recherche avec un rayonnement international (collaboration avec l'université de Georges Washington - USA), publiera ses travaux dans des journaux de première importance sur la thématique, et participera à des conférences internationales.

[1] A computationally efficient dynamic grid motion approach for Arbitrary Lagrange-Euler simulations, A. Leprevost, V. Faucher, and M. A. Puscas, Fluids, 8(5), 2023.

[2] Longo, L., Capanna, R., Ricciardi, G., & Bardet, P. (2024). Threshold of Keulegan-Carpenter instability within a  $6 \times 6$  rod bundle, Experimental Thermal and Fluid Science

## ■ Formation recommandée :

Énergie, thermique, combustion, écoulements

## ■ Ecole doctorale :

Aix-Marseille Université  
ED 353 Sciences pour l'ingénieur

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

## ■ Directeur(s) de thèse :

RICCIARDI Guillaume  
CEA/DES/IRESNE/DTN/STCP

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

LO PINTO Emmanuel  
[emmanuel.lopinto@cea.fr](mailto:emmanuel.lopinto@cea.fr)

04 42 25 78 39





## Mesure de débit dans une canalisation par détection des bruits thermiques

DTN/STCP/LTHC

**La mesure du débit est un élément clé pour la gestion des procédés, notamment dans les secteurs nucléaire et industriel. Toutefois, les méthodes actuelles de mesure nécessitent des installations complexes, particulièrement en cas de réglementations strictes, comme dans le nucléaire.**

Pour pallier ces contraintes, le CEA a développé une méthode innovante de mesure de débit dans des écoulements non isothermes reposant sur l'analyse des fluctuations thermiques. Cette technique, employant deux capteurs de température installés en amont et aval de la canalisation, est d'une mise en œuvre simple et peu contraignante. Les variations de température sont transportées par l'écoulement d'un capteur à l'autre et en comparant les signaux enregistrés par ceux-ci, il est possible de calculer le temps de transit thermique entre eux, ce qui permet de déterminer la vitesse de l'écoulement, et par conséquent, le débit. L'objectif de cette thèse est d'optimiser cette méthode en renforçant sa fiabilité. Pour ce faire, il s'agira d'étudier la propagation du bruit thermique au sein de l'écoulement et d'optimiser à la fois le type et la position des capteurs. Ces

travaux seront menés au sein du Laboratoire de Thermohydraulique du Cœur et des Circuits et en collaboration avec le Laboratoire d'Instrumentation, Système et Méthode détenant des équipements expérimentaux de référence. Des simulations numériques viendront compléter les expérimentations pour valider les résultats obtenus. En parallèle, des approches basées sur l'intelligence artificielle seront explorées pour améliorer le traitement des signaux thermiques. Au terme de la thèse, le doctorant aura acquis de larges compétences dans le domaine expérimental et numérique et pourra faire valoir celles-ci.

### ■ Formation recommandée :

Instrumentation

### ■ Ecole doctorale :

Université de Lorraine

ED 608 SIMPPE

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

LABERGUE Alexandre

LEMTA Université de Lorraine

### ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

GUENADOU David

[david.guenadou@cea.fr](mailto:david.guenadou@cea.fr)

04 42 25 47 64



# Étude expérimentale de la convection naturelle diphasique et des régimes de vaporisation en piscine de refroidissement d'une installation nucléaire

DTN/STCP/LTHC

**L'énergie nucléaire, faiblement émettrice en CO<sub>2</sub>, est l'un des acteurs majeurs de la transition énergétique française. Dans ce contexte, la maîtrise du refroidissement des éléments combustibles irradiés est un sujet de première importance.**

Ce sujet de thèse porte sur les écoulements de convection naturelle diphasique et les phénomènes de vaporisation pouvant se développer dans les bassins de refroidissement d'installations nucléaires, en particulier ceux présentant une variation verticale significative de la température de saturation du réfrigérant du fait de leur grande profondeur. Ces bassins sont utilisés pour dissiper la chaleur résiduelle des combustibles dans divers types de réacteurs nucléaires du parc actuel ou en projet.

En situation accidentelle avec un fort dégagement de chaleur par les combustibles, l'eau de ces bassins peut se vaporiser, limitant à terme leur capacité de refroidissement. Parmi les mécanismes de changement de phase possibles dans des bassins de grande profondeur figure l'auto-vaporisation gravitaire, un phénomène que l'on retrouve dans divers systèmes naturels ou industriels assimilables à des canaux verticaux chauffés par le bas. Pour autant, le phénomène a été peu étudié dans la configuration spécifique d'un bassin et n'a été mis en évidence dans cette dernière que très récemment. Ainsi, l'objectif de cette thèse est de mieux comprendre le phénomène, ainsi que la turbulence induite au sein du réfrigérant par les bulles qu'il génère, afin d'améliorer les modèles thermohydrauliques à l'état de l'art permettant de simuler de tels bassins.

Les travaux envisagés, de nature expérimentale, se dérouleront en collaboration avec l'Université catholique de Louvain (UCLouvain, Belgique) et le laboratoire LEGI du CNRS Grenoble, avec une grande partie de la recherche menée à l'UCLouvain. Le candidat sera rattaché au Laboratoire de thermohydraulique du cœur et des circuits (LTHC) du CEA IRESNE, spécialisé dans l'étude des écoulements diphasiques en installation nucléaire.

Au cours de la thèse, des données expérimentales finement résolues en temps et en espace seront acquises et interprétées, concourant à une meilleure compréhension du phénomène.

Pour ce faire, des techniques avancées de stéréo-vélocimétrie par images de particules (PIV 3D) en milieu diphasique, de thermométrie et d'ombroscopie seront mises en œuvre.

Lors de ce projet de thèse, le doctorant pourra développer ses compétences dans le domaine de la thermohydraulique expérimentale par la définition, la réalisation, l'interprétation d'essais et l'utilisation de moyens de mesure d'écoulements diphasiques avancés.

## ■ Formation recommandée :

Énergie, thermique, combustion, écoulements

## ■ Ecole doctorale :

*A confirmer*

## ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

## ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

Université Ca

## ■ Directeur(s) de thèse :

BARTOSIEWICZ Yann

Université Catholique de Louvain

## ■ Chercheur de l' IRESNE à contacter :

MARTIN Jimmy

[jimmy.martin@cea.fr](mailto:jimmy.martin@cea.fr)

04 42 25 94 31



## Étude et caractérisation de l'ébullition nucléée en conditions réacteur

DTN/STCP/LTHC

**Dans le cadre de transition énergétique et de la place du nucléaire dans le mix énergétique, la maîtrise de la sûreté et l'optimisation de la performance des réacteurs représentent des domaines de recherche impératifs et à grande valeur ajoutée.**

Dans ce contexte, l'ébullition à hautes pression et température constitue un point de vigilance clé pour les réacteurs à eau largement déployés en France et dans le monde.

Les nombreux travaux sur ce sujet réalisés par le passé montrent leur limitation en terme de représentativité et présentent certaines lacunes (e.g. l'évolution de topologie de l'écoulement à haute pression). Le sujet proposé concerne donc la caractérisation de l'ébullition nucléée pour une large gamme de conditions de pression et de température, et plus particulièrement l'étude du couplage entre la thermique de la paroi et l'écoulement (tailles de bulles, fréquence de détachement, taux de vide local, ...). Ce travail permettra en outre de fournir des données relatives aux modèles d'ébullition susceptibles d'être utilisés dans les outils de calcul numérique de type CFD. Une visualisation directe de l'écoulement à l'aide de hublots (procédé mis en œuvre avec succès par le passé), couplée à l'utilisation d'outils stéréologiques (en collaboration avec le LRVE au CEA Marcoule) et associée à une mesure de température

de la paroi, devrait permettre d'atteindre les objectifs fixés. Ces mesures réalisées en conditions représentatives du cas réacteur (conditions thermohydrauliques, fluide réel, surface chauffante représentative) font l'originalité de cette étude par rapport aux travaux existant.

Après une première analyse critique de la bibliographie, le doctorant concevra et testera les dispositifs expérimentaux avant de les mettre en œuvre au travers de campagnes d'essais sur une installation dédiée. Les résultats collectés seront analysés, interprétés, confrontés aux modèles existant et pourront, le cas échéant, conduire à la construction de nouveaux modèles.

Cette thèse se déroulera sur la plateforme expérimentale POSEIDON, dédiée à l'étude des écoulements, et permettra au doctorant d'aborder toutes les phases d'un projet de recherche, depuis la conception de dispositifs expérimentaux jusqu'à l'interprétation des résultats obtenus.

### ■ Formation recommandée :

Énergie, thermique, combustion, écoulements

### ■ Ecole doctorale :

INP Toulouse

ED 468 - MEGeP

### ■ Date souhaitée de début de thèse :

01/10/2025

### ■ Lieu :

Centre CEA de Cadarache

### ■ Directeur(s) de thèse :

FRANCOIS Fabrice

DES/IRENE/DTN/STCP/LTHC

### ■ Chercheur de l'IRENE à contacter :

BOTTIN Manon

[manon.bottin@cea.fr](mailto:manon.bottin@cea.fr)

04 42 25 39 21

# Contact



iresne@cea.fr



04 42 25 20 71



fr.linkedin.com/company/cea-iresne

**IRESNE – bâtiment 707**  
Centre CEA de Cadarache  
13 115 Saint-Paul-lez-Durance

