

Durée du CDD : 36 mois

Poste à pourvoir à partir du : dès que possible (début entre mars et octobre 2023)

Intitulé de la fonction : *Thèse en physique des réacteurs nucléaires à sels fondus (H/F) / PhD Thesis in Molten Salt Reactor Physics (M/F) – Section CNRS 01*

Description Approfondie du sujet de thèse :

Sujet détaillé de la thèse : Contributions au design et à l'évaluation des performances d'un réacteur à sels fondus de type convertisseur d'actinides

Description du sujet de thèse

Les réacteurs nucléaires à sels fondus (RSF) ont un très grand potentiel en termes de sûreté et de flexibilité. Il s'agit de réacteurs dont le combustible est dissous dans un mélange de sels fondus (liquide), jouant le rôle de caloporteur. Le sel circule dans le circuit combustible au travers d'une zone appelée « cœur » où il est rendu critique par géométrie, produisant ainsi de la chaleur, qu'il restitue en traversant un échangeur de chaleur, permettant ainsi de valoriser l'énergie produite, soit sous forme de chaleur (rôle calogène), soit sous forme d'électricité (rôle électrogène). Ce type de réacteur se caractérise par son comportement intrinsèquement stable, et sa versatilité (choix du cycle, choix du spectre neutronique, choix du sel, etc.) et donc la polyvalence de ses applications (réacteur électrogène sur une gamme allant de la petite à la très grosse puissance, incinérateur de déchets à forte activité et à vie longue par transmutation, etc.). Ces qualités étant recherchées dans le contexte nucléaire actuel, il suscite un fort regain d'intérêt en France, en Europe et dans le monde. Depuis une vingtaine d'années, le CNRS au travers de l'équipe MSFR (Molten Salt Fast Reactor) du LPSC (Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie) étudie ce type de réacteur sous diverses déclinaisons et notamment la version dite MSFR de référence, réacteur régénérateur de puissance élevée fonctionnant en cycle Thorium et avec un sel fluorure. L'équipe SEN (Structure et Energie nucléaire) de SUBATECH (laboratoire de Physique SUBAtomique et TECHnologies Associées) a rejoint cette thématique depuis quelques années avec un intérêt particulier pour les aspects de modélisation neutronique et calculs associés de puissance résiduelle.

Compte tenu du net regain d'intérêt pour cette technologie prometteuse, de nouvelles collaborations se sont mises en place, et de nouvelles études sont en cours avec notamment celles autour de concepts RSF en sels chlorures convertisseur d'actinides parmi lesquels le réacteur ARAMIS (Advanced Reactor for Actinides Management in Salt) porté par le CEA et étudié dans le cadre du projet national ISAC (Innovative System for Actinides Conversion) qui a débuté au premier semestre 2022 et dont les partenaires sont : le CEA, le CNRS, EDF, FRAMATOME et ORANO. Le projet ISAC vise à étudier la capacité d'une technologie de rupture, ici les RSF, à diminuer l'inventaire des actinides issus du parc existant via la transmutation des actinides mineurs, et ce en réalisant une étude d'esquisse (évaluation des options de conception, performances du concept, analyse de fonctionnement et de sûreté) et en lui associant des premières expérimentations à petite échelle sur les principaux verrous de cette filière : la chimie des sels, le traitement/recyclage, la prévention de la corrosion appliquée aux matériaux

constitutifs du circuit primaire. Des études de scénarios seront associées afin d'évaluer l'impact final sur l'inventaire et le type de déchets à stocker selon différentes hypothèses.

Le sujet de thèse proposé ici contribuera à la définition de l'esquisse en collaboration avec les différents partenaires du consortium, via les études de neutronique du réacteur ARAMIS. La thèse portera sur le calcul des performances du cœur et du cycle, sur les sensibilités aux données nucléaires, ainsi que sur l'étude de la puissance résiduelle. D'autres études pourront être abordées par le doctorant, selon l'avancement de la thèse et du projet ISAC, notamment en lien avec les études sûreté : le comportement du cœur en situations accidentelles, la participation à l'analyse de risques en collaboration avec EDF et Framatome). La thèse, portée par les deux laboratoires LPSC et SUBATECH, se déroulera à 50% à Nantes à SUBATECH puis à 50% à Grenoble au LPSC.

Les études neutroniques seront réalisées avec le code d'évolution SERPENT pour la caractérisation du cœur en tenant compte du schéma de traitement en ligne du combustible pour le concept défini. Des développements du code SERPENT, spécifiques pour la technologie des RSF (contrainte sur la réactivité et/ou de la composition du combustible lors de l'évolution) sont actuellement en cours au laboratoire SUBATECH et le doctorant y contribuera. Les résultats de ces études seront également comparés à ceux obtenus avec le code REM développé à Grenoble depuis plus de 20 ans et qui est actuellement le code d'évolution de référence pour les concepts RSF. Les études de sensibilité aux données nucléaires seront réalisées avec les codes Coconust et Cocodrilo développés à SUBATECH et au LPSC. Un travail sur les besoins d'amélioration des données nucléaires liées à la puissance résiduelle sera réalisé dans le cadre de la thèse. Le doctorant pourra être amené à utiliser les codes multiphysiques couplés développés au LPSC pour le calcul de transitoires normaux et accidentels de RSF, notamment le code couplé 3D TFM-OpenFOAM et le code système LiCore. Egalement une partie des études pourra porter sur l'optimisation du circuit combustible du concept ARAMIS, avec le code d'optimisation multicritères Songe du LPSC.

Enfin, les laboratoires du LPSC et de SUBATECH collaborent dans les projets européens SAMOSAFER (Simulation Models and Safety Assessment for Fluid-fuel Energy Reactors) et MIMOSA (Multi-recycling strategies of LWR SNF focusing on MOlten SAIt technology), et le doctorant aura l'occasion de présenter ses travaux dans ces cadres européens et également de contribuer aux groupes de travail de ces projets en lien avec le sujet de thèse.

Contexte de travail

Le doctorant sous contrat CNRS sera basé durant la première moitié de la thèse au laboratoire SUBATECH à Nantes et durant la seconde moitié au laboratoire du LPSC à Grenoble. Les travaux de recherche seront pluridisciplinaires allant de la physique des réacteurs, les données nucléaires et à l'analyse de sûreté.

Le(la) candidat(e) devra être titulaire d'un Master en physique nucléaire ou physique des réacteurs ou équivalent. Il ou elle devra :

- Avoir de bonnes notions de physique des réacteurs (neutronique, thermohydraulique, sûreté...)
- Avoir de bonnes notions d'utilisation d'un code neutronique évoluant traitant le couplage des équations de Boltzmann (transport des neutrons) et de Bateman (évolution des matériaux)
- Etre capable de travailler en équipe dans le cadre de collaborations très variées
- Etre habitué à développer du code informatique, notamment en langage Python et Java
- Maîtriser une production importante de données
- Maîtriser le français et l'anglais scientifique, parlé et écrit

- Etre rigoureux/se : savoir rendre compte, respect des échéances.

Nom des responsables scientifiques CNRS : Elsa Merle (LPSC Grenoble – merle@lpsc.in2p3.fr) et Lydie Giot (SUBATECH Nantes – lydie.giot@subatech.in2p3.fr)

Contexte de travail

Le doctorant sous contrat CNRS sera basé durant la première moitié de la thèse au laboratoire SUBATECH à Nantes et durant la seconde moitié au laboratoire du LPSC à Grenoble.

Le laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie de Grenoble (LPSC) (<http://lpsc.in2p3.fr>) est une unité mixte de recherche associant le CNRS-IN2P3, l'Université Grenoble Alpes (UGA) et l'école Grenoble INP, pour un effectif moyen d'environ 230 personnes. Le doctorant(e) sera affecté(e) à l'Equipe MSFR composée de 2 agents du LPSC (1 professeure et 1 directeur de recherche émérite) et sera placé(e) sous l'autorité hiérarchique directe du responsable d'équipe (E. Merle).

Le laboratoire de Physique SUBAtomique et TECHnologies Associées (Subatech) (<http://www-subatech.in2p3.fr>) est une unité mixte de recherche située à Nantes associant le CNRS-IN2P3, Nantes Université et l'école IMT Atlantique pour un effectif moyen d'environ 180 personnes. Le doctorant(e) sera affecté(e) à l'Equipe Structure et Energie nucléaire composée de 5 agents de SUBATECH (3 enseignants-chercheurs, 2 chargés de recherche CNRS) et sera placé(e) sous l'autorité hiérarchique directe du responsable de la thématique Simulations réacteurs et puissance résiduelle (L. Giot).

Son directeur de thèse sera Elsa Merle et il/elle sera co-encadré(e) par Lydie Giot et Axel Laureau.

Informations complémentaires :

Section CNRS : 01 / CNRS section : 01

(Cf. description pour tous les détails / See the full description for all details)

Detailed title of the PhD thesis:

Contributions to the design and performance evaluation of an actinide converter type molten salt reactor

Description of the subject

Molten salt nuclear reactors (MSRs) have great potential in terms of safety and flexibility. These are reactors in which the fuel is dissolved in a mixture of molten salts (liquid), acting also as the coolant. The salt circulates in the fuel circuit through an area called the "core" where it is made critical by geometry, producing heat, which is extracted by passing through a heat exchanger, thus allowing the energy produced to be used, either in the form of heat (heat-generating role) or electricity (power-generating role). This type of reactor is characterized by its intrinsically core stable behavior, and its versatility (choice of cycle, choice of neutron spectrum, choice of salt composition, etc.) and therefore the versatility of its applications (power reactor on a range from very small to very large power, burner of high activity and long-life waste by transmutation, etc.). As these qualities are sought after in the current nuclear context, it is attracting renewed interest in France, in Europe and in the world.

For about twenty years, the CNRS, through the MSFR (Molten Salt Fast Reactor) team of LPSC (Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie), has been studying this type of reactor in various forms, and in particular the so-called reference MSFR, a high-power breeder reactor operating in the Thorium cycle and with a fluoride salt. The SEN (Structure and Nuclear Energy) team of SUBATECH (Laboratoire de Physique SUBAtomique et TECHnologies Associées) joined this theme a few years ago with a particular interest in the aspects of neutronics and associated calculations of residual power.

Taking into account the renewed interest for this promising technology, new collaborations have been set up, and new studies are in progress, in particular those around the MSR concepts of chloride salt actinide converter: among which the ARAMIS (Advanced Reactor for Actinides Management in Salt) reactor carried by the CEA and studied in the framework of the national ISAC (Innovative System for Actinides Conversion) project which began in the first half of 2022 and whose partners are: CEA, CNRS, EDF, FRAMATOME and ORANO. The ISAC project aims to study the capacity of a breakthrough technology, in this case the MSR, to reduce the inventory of actinides from the existing reactor fleet via the transmutation of minor actinides, by carrying out a sketch study (evaluation of design options, performances of the concept, operational and safety analysis) and by associating with it the first small-scale experiments on the main barriers of this technology: the chemistry of the salts, treatment/recycling, and the prevention of corrosion applied to the materials making up the primary circuit. Scenario studies will be associated in order to evaluate the final impact on the inventory and the type of waste to be stored according to different hypotheses.

The subject of the PhD thesis proposed here will contribute to the definition of the outline in collaboration with the different partners of the consortium, via the neutronic studies of the ARAMIS reactor. The thesis will focus on the calculation of the core and cycle performances, on the sensitivities to nuclear data, as well as on the study of the residual power. Other studies may be undertaken by the PhD student, depending on the progress of the thesis and of the ISAC project, particularly in connection with safety studies: core behavior in accident situations, participation in risk analysis in collaboration with EDF and Framatome. The thesis, which will be supported by the two laboratories LPSC and SUBATECH, will be carried out 50% in Nantes at SUBATECH and 50% in Grenoble at LPSC.

The neutronic studies will be performed with the SERPENT evolution code for core characterization taking into account the on-line fuel processing scheme for the defined concept. Developments of the SERPENT code, specific to the MSR technology (constraints on the reactivity and/or the fuel composition during evolution) are currently underway at the SUBATECH laboratory. The results of these studies will also be compared to those obtained with the REM code developed in Grenoble since more than 20 years and which is currently the reference evolution code for the MSR concepts. Sensitivity studies to nuclear data will be performed with the Coconust and Cocodrilo codes developed at SUBATECH and LPSC. A work on the needs for improvement of nuclear data related to residual power will be carried out in the framework of the thesis. The PhD student may also use the coupled multiphysics codes developed at LPSC for the calculation of normal and accidental transients of MSR, in particular the coupled 3D code TFM-OpenFOAM and the system code LiCore. Also, part of the studies could focus on the optimization of the fuel circuit of the ARAMIS concept, with the LPSC multi-criteria optimization code Songe.

In addition, the LPSC and SUBATECH laboratories are collaborating in the European projects SAMOSAFER (Simulation Models and Safety Assessment for Fluid-fuel Energy Reactors) and MIMOSA (Multi-recycling strategies of LWR SNF focusing on MOlten SAIt technology), and the PhD student will have the opportunity to present his/her work in these European frameworks and also to contribute to the working groups of these projects in relation to the PhD thesis subject.

Context of the work

The PhD student under CNRS contract will be based during the first half of the thesis at the SUBATECH laboratory in Nantes and during the second half at the LPSC laboratory in Grenoble. The research work will be multidisciplinary, ranging from reactor physics, nuclear data and safety analysis.

The candidate must have a Master's degree in nuclear or reactor physics or equivalent. He or she must:

- Have a good knowledge of reactor physics (neutronics, thermal-hydraulics, safety...)
- Have a good knowledge of the use of an evolving neutronic code, dealing with the coupling of Boltzmann (neutron transport) and Bateman (material evolution) equations
- Be able to work in a team in the context of a wide range of collaborations
- Be used to developing computer code, especially in Python and Java
- Ability to produce large amounts of data
- Fluency in scientific English, both spoken and written
- Basics in French and will to learn !
- Be rigorous: know how to report, respect deadlines.