

Implémentation du contrôle de la composition du combustible dans le code d'évolution SERPENT pour le réacteur à sels fondus MSFR

LPSC et SUBATECH –Nantes/Grenoble – Printemps/Été 2022

Stage niveau 3A-M2 – Durée : 6 mois

Contexte du stage

La plupart des réacteurs nucléaires fonctionnant ou ayant fonctionné utilise un combustible sous forme solide. Les Réacteurs à Sels Fondus (RSF) ont la particularité d'utiliser un combustible liquide ce qui leur confère des avantages potentiels importants :

- L'homogénéité du combustible permet une combustion uniforme, ce qui évite les plans de chargement ;
- Les coefficients de contre réaction du combustible sont intrinsèquement négatifs, notamment grâce à la dilatation de combustible qui le sort partiellement de la zone cœur ;
- Les retraitement et préparation du combustible peuvent se faire sans changement d'état de celui-ci ;
- En cas d'urgence, le combustible peut être vidangé rapidement par écoulement gravitaire vers des cuves conçues afin d'évacuer passivement la puissance résiduelle et d'assurer la sous-criticité ;
- Le retraitement du combustible peut se faire en ligne ou en mini batch et donc sans nécessiter l'arrêt du réacteur. Ceci permet de ne pas avoir de réserve de réactivité ;
- Une très grande flexibilité dans la composition en noyaux lourds du combustible pour les isotopes 'chauds'.

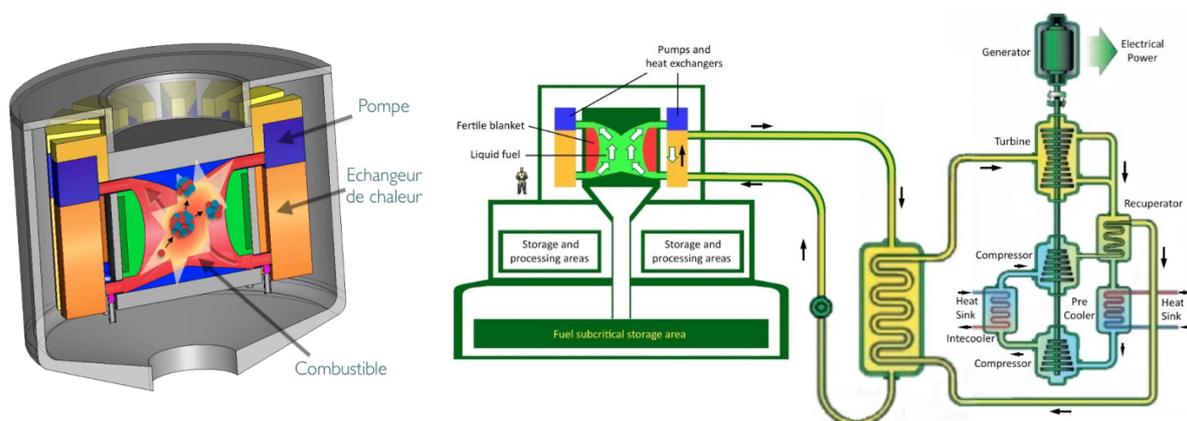


Fig.1. Représentation du circuit combustible du réacteur MSFR (gauche) et système complet incluant les 3 circuits (combustible, intermédiaire et de conversion de l'énergie) (droite)

En 2006 le LPSC à Grenoble a proposé un nouveau concept de réacteur à sels fondus en spectre neutronique rapide qui a été retenu par le forum international GEN IV (Generation IV International Forum ou GIF) en 2008 sous le nom de MSFR (Molten Salt Fast Reactor, voir figure 1). Le réacteur est basé sur un combustible liquide circulant entre le cœur et des échangeurs de chaleur, ce liquide remplissant à la fois le rôle de combustible et de caloporteur. L'utilisation d'un spectre neutronique rapide permet, de plus, d'accéder à l'incinération des actinides et de fortement réduire les sections efficaces de capture des produits de fission, ce qui rend le retraitement du combustible moins impératif (retraitement de moins de 0,1% du volume total du combustible chaque jour). Enfin ce concept innovant de réacteur nucléaire est conçu pour accéder à une sûreté intrinsèque et réduire la production de déchets radioactifs.

Le MSFR est aussi au cœur de deux projets européens du programme Horizon2020 d'Euratom : le projet SAMOFAR (Safety Assessment of Molten Salt Fast Reactors) (08/2015-08/2019) regroupant comme partenaires côté français à la fois des partenaires industriels (Framatome, l'IRSN, le CEA, EDF)

et académiques (CNRS, Grenoble INP) et centré sur les études de sûreté du MSFR, suivi du projet SAMOSAFER qui a débuté en octobre 2019 pour 4 ans. Le LPSC est en charge des groupes de travail « Design and Safety » de ces projets européens et également impliqué comme le laboratoire SUBATECH dans la tâche 3.1 du projet SAMOSAFER. Dans cette tâche, SUBATECH est en charge de la définition et coordination d'un benchmark neutronique de validation des outils de simulation et du calcul du terme source du risque de relâchement radioactif en situation d'accident grave avec les partenaires suivants : CEA, CNRS-LPSC, POLIMI et PSI.

Travail à réaliser

Le code SERPENT (VTT/Finlande) est actuellement utilisé à SUBATECH à la fois pour le benchmark neutronique du projet SAMOSAFER mais est également envisagé pour réaliser des calculs d'évolution du combustible pour d'autres concepts RSF, notamment pour calculer la puissance résiduelle et les incertitudes associées avec une méthode basée sur une approche Total Monte Carlo. Actuellement, le code SERPENT prend en compte le traitement en ligne du combustible liquide qui est nécessaire en phase de fonctionnement d'un RSF (bullage, traitement chimique) mais ne permet pas de réaliser des évolutions sous contrainte telles que : contrôle de la masse d'actinides ou de la réactivité, à l'opposé du code de référence du CNRS : REM (LPSC). L'objectif du stage est d'implémenter ces fonctionnalités en couplant SERPENT à un ensemble de scripts écrits en python qui fixeront à chaque pas en temps les actions à réaliser sur l'inventaire en cœur. Le cas test sera le concept MSFR décrit dans le benchmark EVOL et les résultats seront comparés à ceux obtenus avec REM.

Localisation du stage :

Au LPSC à Grenoble au début (2 mois) pour se familiariser avec le concept du MSFR, le code REM avec pour objectif de réaliser un calcul test d'évolution du combustible dans une géométrie EVOL, associé à la compréhension du contrôle de la réactivité et de la masse du combustible tels qu'ils sont implémentés dans REM. Le reste du stage (4 mois) sera réalisé à SUBATECH à Nantes pour développer les scripts python à coupler avec SERPENT pour permettre des premiers calculs d'évolution sous contrainte pouvant être comparés à un calcul REM. Des échanges (visio/visite) sont prévus entre SUBATECH et le LPSC régulièrement durant le stage.

Mots clés ou connaissances essentielles :

Physique des réacteurs, Neutronique, Modélisation, C/C++, Python

La convention de stage et la rémunération seront gérées par SUBATECH.

Ce stage donnera lieu à une poursuite en thèse dans le cadre du projet national PIA4 sur des calculs neutroniques du cœur du réacteur (performances cœur&cycle, sensibilité aux données nucléaires, puissance résiduelle) et des études de sûreté du réacteur de ce projet qui aura pour objet d'incinérer des actinides mineurs (comportement du cœur en situation accidentelle et participation à l'analyse de risques en collaboration avec EDF et Framatome)

Encadrement :

Lydie Giot – lydie.giot@subatech.in2p3.fr

Elsa Merle – elsa.merle@lpsc.in2p3.fr