

# Développement du simulateur de pilotage d'un réacteur à sels fondus : Modélisation d'un compresseur et d'une turbine à détente isentropique

*LPSC et CORYS - Grenoble – Printemps/Été 2020*

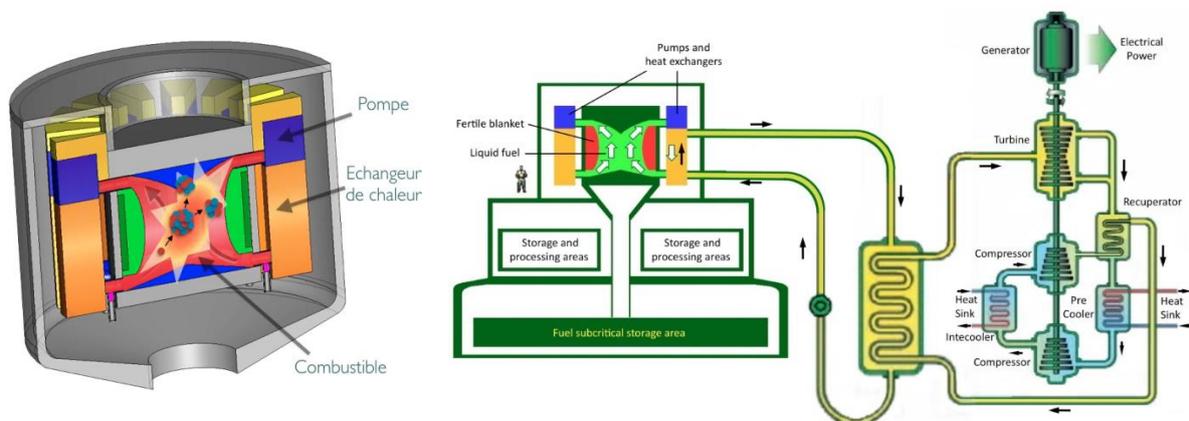
*Stage niveau 2A / 3A – Durée : 3 à 6 mois*

## 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 ;
- Le retraitement et la 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 lourd du combustible pour les isotopes 'chauds'.

Dès les années 50, les réacteurs à combustibles liquides ont été largement étudiés soit sous forme de réacteurs homogènes (le composé contenant l'élément combustible est soluble ou en suspension dans l'eau), soit sous forme de réacteurs inhomogènes à sels fondus circulant dans une matrice de béryllium ou de graphite pour modérer le spectre neutronique (le composé contenant l'élément combustible est soluble dans les sels fondus). Des études historiques ont aussi montré la possibilité de piloter ce type de réacteur sans l'aide de barres de contrôle ou de commande grâce à ses excellents coefficients de contre réaction.



*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 CNRS a proposé un nouveau concept de réacteur à sels fondus en spectre neutronique rapide qui allie les avantages des réacteurs homogènes (pilotabilité) avec ceux des réacteurs à sels fondus (fonctionnement sans pression à haute température) tout en évitant les défauts du MSBR. Ce nouveau concept 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. Le concept MSFR est développé et optimisé depuis dans le cadre de projets européens et de collaborations nationales.

Du fait de l'originalité du concept MSFR et de son combustible liquide en circulation, les études et optimisations nécessitent la mise au point de nouvelles méthodologies d'analyse compatibles avec ce type de réacteur notamment dans les domaines de la sûreté et de la résistance à la prolifération, et le développement d'outils innovants de simulation multi-physique. De tels outils ont été mis au point ou sont en cours de conception. Ainsi CORYS et le LPSC travaillent en collaboration depuis quelques années sur le développement d'un code système permettant de simuler le pilotage du MSFR, objet du présent stage. Ce code système basé sur le modèle neutronique LiCore (développé par Axel Laureau et nommé initialement CPZ pour Cinétique Point à Zone, cf référence [2] chapitre 5) est destiné à simuler en temps réel le comportement du MSFR lors de transitoires normaux et incidentaux afin de définir les procédures de pilotage du réacteur (démarrage, arrêt, suivis de charge). Il a fait l'objet de deux stages les années dernières (Florian Passelaigue puis Andrea Zanini) entre le LPSC et CORYS pour l'intégration du code LiCore dans l'environnement logiciel de CORYS et l'ajout de modules pour développer l'ensemble du simulateur.

### **Travail à réaliser**

CORYS a développé un atelier de simulation temps réel pour la conception et l'implémentation de simulateurs dans le domaine de l'énergie (ALICES). Cet atelier dispose de bibliothèques d'objets « hydrauliques » permettant la réalisation de modèles de simulation. Une de ces bibliothèques permet la simulation des écoulements monophasique (liquide, gaz, fluide supercritique) dans les conduites.

Dans l'optique d'améliorer la représentativité et le rendement du circuit de conversion du simulateur MSFR, il est nécessaire de développer des organes adaptés pour des fluides supercritiques c'est-à-dire pouvant fonctionner à faible densité.

La mission consiste à réfléchir, concevoir puis implémenter une turbine à détente isentropique et un compresseur dans la bibliothèque de l'atelier ALICES. Par la suite le stagiaire pourra analyser l'impact sur le rendement du circuit de conversion et effectuer des études plus poussées de transitoires sur le simulateur MSFR.

### **Méthodologie :**

Bibliographie sur les modèles de compresseur et turbine à détente isentropique,

Prendre en main l'outil de modélisation.

Développer les nouveaux modèles.

Définir des tests complets et représentatifs des nouveaux modèles dans le domaine vapeur (monophasique) et fluide supercritique.

Evaluer le gain sur le rendement du circuit de conversion.

Effectuer des tests supplémentaires sur le simulateur MSFR.

### **Mots clés ou connaissances essentielles :**

Physique, Thermohydraulique, Physique des réacteurs, Ecoulement monophasique, Simulation, C/C++

### **Localisation du stage :**

Chez CORYS sur la partie développement d'objets logiciels + périodes au LPSC sur la connaissance du système MSFR

Le LPSC et CORYS sont installés tous les 2 sur le polygone scientifique de Grenoble, à 200m de distance.

**Contacts/encadrement :**

Elsa Merle – merle@lpsc.in2p3.fr – 04-76-28-41-50

Olivier Bruneau – olivier.bruneau@corys.fr

Daniel Heuer – heuer@lpsc.in2p3.fr – 04-76-28-41-60

Jean-Christophe Blanchon - jblanchon@corys.fr

La convention de stage et la rémunération seront gérées par le LPSC.