



## Proposition thèse 2022

# Maîtrise des incertitudes d'une simulation non-linéaire multidimensionnelle et multifidélité, application au calcul de la déformation des assemblages combustibles au sein d'un REP.

### Contexte – enjeux

---

Au sein du cœur des réacteurs nucléaires, l'interaction fluide-structure (de Lambert et al. 2021) et l'irradiation intense conduisent à une déformation progressive des assemblages combustibles. Lorsqu'elle est importante, elle peut conduire à des surcoûts et à un allongement des opérations de déchargement et rechargement du combustible. Il est donc préférable d'adopter une gestion du combustible qui permette d'éviter les déformations et interactions excessives entre assemblages. Cependant, la prévision de la déformation et des interactions entre assemblages combustibles est incertaine (Wanninger, Seidl, and Macián-Juan 2018). En effet, les incertitudes initiales se propagent sur plusieurs cycles de puissance successifs d'une douzaine de mois chacun au travers du couplage de simulations thermohydrauliques et thermomécaniques non-linéaires, imbriquées et multidimensionnelles.

### Objectif – résumé du sujet

---

L'objectif de la thèse est de proposer une méthodologie de réduction des incertitudes dans le calcul des déformations d'assemblages au sein d'un cœur de réacteur nucléaire.

La méthodologie mise en œuvre devra être adaptée au caractère multidimensionnel et non-linéaire des phénomènes physiques à modéliser/simuler, en exploitant par ailleurs au mieux, les différents niveaux de simulation disponibles pour en améliorer le compromis coût de calcul/incertitude.

### Étapes d'activité avec mise en avant d'un enjeu/verrou

---

Le sujet de thèse comprendra les étapes suivantes, chacune associée à des verrous scientifiques à lever :

Étape 1 : Analyse bibliographique - spécification des paramètres d'entrée incertains (nature, dimension et domaine d'incertitudes, idéalement distribution statistique des paramètres d'entrée incertains) et identification des sorties d'intérêt dans le contexte de la simulation multiphysique de la déformée d'un assemblage couplant thermomécanique des structures et thermohydraulique. On s'attachera à ce stade préliminaire à rationaliser le nombre de paramètres incertains inhérents à la complexité de l'objet technologique étudié (assemblage) en terme de liaisons mécaniques et à identifier les caractérisations souhaitables des incertitudes sur les sorties d'intérêt (tendances centrales, variances, quantiles extrêmes).

Étape 2 : Mise au point d'une modélisation multiphysique simplifiée adaptée à une utilisation dans un contexte d'analyse de sensibilité. Pour ce faire, cette modélisation devra disposer des propriétés suivantes : rapidité d'exécution autorisant son utilisation pour l'exploration d'un domaine d'intérêt

couvrant les plages d'incertitudes des paramètres d'entrée ; accès aux paramètres incertains et sorties d'intérêt identifiées dans l'étape 1. Pour atteindre cet objectif, une approche de type multifidélité (Kennedy and O'Hagan, 2000 ; Le Gratiet and Garnier, 2014) sera mise en œuvre sur la partie mécanique de la modélisation multiphysique afin de rapprocher la modélisation mécanique de la modélisation thermohydraulique d'un point de vue performance.

Etape 3 : Déroulement d'une analyse de sensibilité basée sur l'utilisation d'outils statistiques et de méta-modélisation à l'état de l'art (Iooss et al. 2015). L'analyse sera réalisée à partir de la modélisation multiphysique mise au point dans l'étape 2. Elle permettra de hiérarchiser les paramètres incertains influents sur les sorties d'intérêt, tout en identifiant les effets de non-linéarité et d'interaction entre paramètres. À l'issue de cette étape, une connaissance fine de l'effet des incertitudes sur les réponses de la modélisation multiphysique sera disponible.

Etape 4 : En partant de la connaissance apportée par le travail d'exploration réalisé dans l'étape 3, on appliquera les résultats de l'analyse de sensibilité afin de mener une analyse critique des stratégies de repositionnement des assemblages dans un cœur REP qui actuellement n'intègre pas ou peu l'état déformé des assemblages. Cette analyse pourra faire l'objet de préconisations dans ce sens, pouvant aboutir à la définition de nouvelles stratégies intégrant une contrainte de type « état de déformation de l'assemblage ».

#### **Cadre d'activité – intervenants**

---

Ce travail, incluant un volet simulation numérique et un volet analyse de sensibilité/optimisation, sera conduit en collaboration avec Framatome pour l'expertise sur le comportement mécanique d'un assemblage sous contraintes hydraulique et neutronique. Il sera réalisé au CEA site de Saclay au sein d'une équipe pluridisciplinaire porteuse des compétences en simulation numérique et analyse de sensibilité, le tout en lien étroit avec le Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique (IP-Paris).

#### **Contact**

---

bertrand.leturcq@cea.fr

#### **Références**

---

- De Lambert Stanislas, Jérôme Cardolaccia, Vincent Faucher, Olivier Thomine, Bertrand Leturcq, and Guillaume Campioni. 2021. "Semi-Analytical Modeling of the Flow Redistribution Upstream from the Mixing Grids in a Context of Nuclear Fuel Assembly Bow." *Nuclear Engineering and Design* 371 (January): 110940.
- Wanninger Andreas, Marcus Seidl, and Rafael Macián-Juan. 2018. "Mechanical Analysis of the Bow Deformation of a Row of Fuel Assemblies in a PWR Core." *Nuclear Engineering and Technology* 50 (2): 297–305.
- Kennedy M., and O'Hagan, A., 2000. Predicting the output from a complex computer code when fast approximations are available. *Biometrika*, 87(1), 1– 13.
- Iooss Bertrand, and Lemaître Paul, 2015. A review on global sensitivity analysis methods. C. Meloni and G.Dellino. *Uncertainty management in Simulation-Optimization of Complex Systems: Algorithms and Applications*, Springer.
- Le Gratiet Loic, and Garnier Josselin, 2014. Recursive co-kriging model for design of computer experiments with multiple levels of fidelity. *International Journal for Uncertainty Quantification*, 4(5), 364–386.