

PROPOSITION DE STAGE EN 2020 AU CEA DE SACLAY (5/6 MOIS)



TITRE : EVALUATION PROBABILISTE DES INCERTITUDES DE MODELE DANS LES SIMULATIONS NUMERIQUES EN THERMOHYDRAULIQUE

Contexte et description du stage

La simulation numérique est déployée de façon massive dans l'ingénierie pour concevoir, étudier ou optimiser des systèmes physiques complexes. Elle s'appuie sur un standard de Vérification et de Validation (V&V) dont l'objectif est d'évaluer la qualité de prédiction des codes de calcul utilisés, aussi bien du point de vue de la résolution numérique des équations et de leur implémentation sur un ordinateur (Vérification), que de la précision des modélisations physiques utilisées (Validation). La validation s'appuie sur des comparaisons entre les simulations numériques des quantités physiques d'intérêt et les valeurs de référence issues d'essais expérimentaux.

Dans le domaine de la thermohydraulique à l'échelle système, la méthodologie BEPU (Best Estimate Plus Uncertainty) est à l'heure actuelle le nouveau référentiel pour la simulation numérique des scénarios accidentels dans le cadre des études de sûreté des installations nucléaires. Cette méthodologie limite les conservatismes en produisant une simulation réaliste du scénario accidentel, appelée simulation Best Estimate. La deuxième étape de la méthodologie BEPU consiste à quantifier l'incertitude de cette simulation de référence pour évaluer la confiance que l'on peut lui accorder. Une source d'incertitude importante est celle qui affecte les modèles physiques utilisés comme lois de fermeture des équations de conservation sur lesquelles repose le code de thermohydraulique. Ces incertitudes sont évaluées au CEA de façon probabiliste via la méthode CIRCE [1] qui applique un coefficient (log)-gaussien λ en facteur de chaque modèle physique de référence M_{ref} :

$$M_\lambda = \lambda \times M_{ref}.$$

L'estimation des paramètres de λ (moyenne et variance) s'appuie sur la confrontation des simulations numériques Y avec des résultats de référence issus de tests expérimentaux Z à échelle réduite appelés SETs (Separate Effect Tests) :

$$Z = Y(M_\lambda) + E$$

où E désigne une variable aléatoire d'erreur, supposée gaussienne également, entre les simulations et les données expérimentales. La méthode CIRCE est une méthode de quantification des incertitudes dite « inverse » car elle s'appuie sur la mesure des écarts entre Z et Y pour remonter à l'estimation de λ qui est une « entrée » de la simulation.

Outre CIRCE, il existe dans la littérature des méthodes inverses basées sur des techniques bayésiennes [2,3]. La particularité de ces méthodes est d'une part de représenter l'incertitude sur λ par une densité de probabilité $\pi(\lambda)$ non nécessairement gaussienne, et d'autre part d'introduire une fonction d'erreur B entre les simulations et les données expérimentales :

$$Z = Y(M_\lambda) + B + E$$

Dans ce stage, nous proposons à l'étudiant de comparer les estimations obtenues par la méthode CIRCE avec les résultats issus des méthodes bayésiennes lorsque la fonction B est supposée nulle en première approche. Les comparaisons devront être statistiques, mais aussi en terme d'interprétation physique des résultats obtenus. Ensuite, si l'avancement du stage le permet, la pertinence de prendre en compte ou non cette fonction d'erreur B pourra être étudiée. Les comparaisons seront appliquées à la prédiction d'une grandeur fondamentale pour les études de sûreté des réacteurs : le débit critique [4].

Références

- [1] Damblin, G., Gaillard, P. Bayesian inference and non-linear extensions of the CIRCE method for quantifying the uncertainty of closure relationships integrated into thermal-hydraulic system codes, *to appear in Nuclear Engineering and Design*, 2019).
- [2] Baccou, J., Zhang, J., Fillion, P., Damblin, G., Petrucci, A., Mendizábal, R., Reventós, F., Skorek, T., Couplet, M., Iooss, B., Oh, D., and Takeda, T. Development of good practice guidance for quantification of thermal-hydraulic code model input uncertainty, *Nuclear Engineering and Design* 354, 2019.
- [3] Wu, X., Kozłowski, T., Meidani, H., and Shirvan, K. Inverse uncertainty quantification using the modular Bayesian approach based on Gaussian process, part 1: Theory - , Part 2: Application to TRACE. *Nuclear Engineering and Design*, 335:339 – 355 and 417–431, 2018.
- [4] Y. Bartosiewicz, M. Giot and J.-M. Seynhaeve, «Revisiting Modeling Techniques and Validation Experiments for Two-Phase Choked Flows Relevant to LOCA,» *NUTHOS-8*, 2010.

Environnement de travail

Au sein du Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA), le Service de Thermohydraulique et de Mécanique des Fluides (STMF) étudie les écoulements et les transferts thermiques au sein des réacteurs nucléaires. Le stage sera encadré au sein du STMF par le laboratoire LGLS qui dispose de compétences en modélisation probabiliste et statistique appliquée à la thermohydraulique. L'encadrement s'effectuera en étroite collaboration avec les laboratoires LATF et LMES qui disposent de compétences en modélisation physique et en simulation numérique pour l'étude de la thermohydraulique des réacteurs. Enfin, le stage pourrait s'inscrire dans le cadre du projet NEEDS (Nucléaire : Energie, Environnement, Déchets, Société). Ce projet permettrait au stagiaire de mettre en visibilité ses travaux avec les partenaires EDF et IRSN, mais aussi auprès de l'IMT (Institut de Mathématique de Toulouse) qui dispose d'une expertise sur la quantification inverse des incertitudes.

Profil souhaité du stagiaire

- Niveau Bac+5 (3^e année d'école d'ingénieurs ou Master 2).
- Des connaissances en mathématiques appliquées, en particulier en probabilités/statistiques.
- Des connaissances en thermohydraulique et(ou) en mécanique des fluides.
- La connaissance de Linux et du langage Python et(ou) C++ est souhaitable.
- Une bonne qualité rédactionnelle est indispensable.

Localisation du stage et contacts

Commissariat à l'énergie atomique (CEA) - Centre de Saclay

DEN/DM2S/STMF/LGLS – Bâtiment 451, 91191 GIF-SUR-YVETTE cedex

Guillaume Damblin (LGLS)

01 69 08 39 18

guillaume.damblin@cea.fr

Philippe Fillion (LMES)

01 69 08 91 40

philippe.fillion@cea.fr