

Développement de méthodes de validation et quantification des incertitudes des modèles physiques pour la thermohydraulique

Dans le contexte industriel actuel, un effort considérable est consacré à la Vérification et à la Validation (V&V) des outils de calcul scientifiques et des modélisations physiques sous-jacentes. Plus précisément, concernant les simulations thermiques et thermohydrauliques, la méthodologie Best Estimate Plus Uncertainty (BEPU) est de plus en plus utilisée. Cette méthodologie a pour objectif, d'une part de simuler aussi fidèlement que possible les phénomènes physiques d'intérêt, et d'autre part de quantifier l'incertitude de prédiction associée. Pour ce faire, des tests expérimentaux à effets séparés (SET - *Separate Effect Test*) sont utilisés pour la validation car ils permettent d'évaluer aussi individuellement que possible l'impact des modèles physiques sur les quantités d'intérêt (température, pression, etc). Cependant dans certains cas, seuls des tests à effets combinés (CET – *Coupled Effect Test*) sont disponibles. L'effet du modèle que l'on veut valider est alors en interaction avec au moins un autre modèle, qui lui aussi est incertain et doit être validé. Pour traiter ces cas où le risque de compensation d'erreur est accru, aucune méthodologie n'a à ce stade été formalisée.

L'objectif de cette thèse est de développer/établir une nouvelle démarche de validation en présence de CET et d'élaborer des méthodes statistiques avancées pour la quantification des incertitudes associées. Enfin, la faisabilité d'extrapoler hors de leur domaine de validation les modèles utilisées sera testée (évaluation des effets d'échelle). Pour développer ces nouvelles méthodes, nous proposons d'étudier un cas pratique : la validation et la quantification des incertitudes des modèles physiques utilisées pour la prédiction de la température de paroi de la cuve d'un réacteur nucléaire au cours des transitoires accidentels de type APRP (Accident de Perte de Réfrigérant Primaire). Cet accident déclenche une injection de sécurité à basse température pouvant être à l'origine d'un choc thermique pressurisé (« Choc froid » ou « Pressurized Thermal Shock – PTS ») risquant d'endommager la cuve du réacteur. Les modèles parmi les plus influents pour ce type de transitoire concernent la condensation de la vapeur lors de l'injection d'eau froide.

En définitive, cette thèse devra apporter les résultats suivants :

- Proposer une méthodologie unifiée, robuste et fiable pour la validation et la quantification des incertitudes des modèles physiques en présence de CET;
- Améliorer la compréhension des phénomènes thermohydrauliques liés à la problématique du choc froid ;
- Développer et valider les modèles physiques, notamment ceux relatifs à la condensation ;
- En quantifier les incertitudes ;
- Comprendre et évaluer les éventuels effets d'échelle.

Ce sujet de recherche permettra au/à la doctorant/e de développer des compétences en modélisation des systèmes thermohydrauliques complexes, en mécanique des fluides diphasique et en modélisation statistique, qui sont des disciplines d'intérêt dans l'industrie actuelle (nucléaire, aéronautique, automobile, etc). La pluridisciplinarité du sujet garantira au/à la candidat/e de travailler dans une ambiance dynamique et stimulante en relation avec différents experts du domaine. Le/La candidat/e sera amené à développer son sens critique et sa capacité à travailler en autonomie. Il/Elle sera amené à communiquer à l'oral comme à l'écrit, par sa participation à des

conférences internationales, mais aussi via l'écriture de rapports techniques et d'articles dans des revues à comité de lecture.

Références :

A. De Crécy, *Determination of the uncertainties of the constitutive relationship of the CATHARE 2 code*, Proceedings of the M&C conference, Salt Lake City, Utah, USA, 2001

C. Unal et al., *Improved BEPU methodology, including advanced validation concepts, to license evolving nuclear reactors*, Nuclear Engineering and Design 241(5), 1813-1833, May 2011

P. Gaillard, D. Bestion, I. Dor, P. Germain, F. Moutin, *The CATHARE code condensation modelling confronted to the topflow-pts steady state experiments*, NURETH16 conference, Chicago, USA, 2015

A. Ghione, B. Noël, P. Vinai, C. Demazière, *Assessment of thermal-hydraulic correlations for narrow rectangular channels with high heat flux and coolant velocity*, International Journal of Heat and Mass Transfer 99, 344-356, 2016

Guide de l'ASN n°28 : Qualification des outils de calcul scientifique utilisés dans la démonstration de sûreté nucléaire, 2017

J. Baccou, D. Bestion et al., *SAPIUM: A Systematic Approach for Input Uncertainty Quantification*. ANS BEPU Conference, Lucca, Italy, 2018

G. Damblin, P. Gaillard, *A Bayesian framework for quantifying the uncertainty of physical models integrated into thermal-hydraulic computer codes*, ANS BEPU Conference, Lucca, Italy, 2018

Profil du/de la candidat/e :

La thèse est proposée aux étudiants titulaires d'un diplôme de niveau Bac + 5 (ou équivalent) ayant un goût prononcé pour les applications en thermohydraulique/mécanique des fluides, l'analyse des données expérimentales et la modélisation statistique.

La maîtrise d'un logiciel de programmation comme C++, Fortran, Python ou Matlab est requise.

Information pratique :

La thèse se déroulera au centre CEA de Saclay dans le Laboratoire des Applications en Thermohydraulique et mécanique des Fluides (LATF) au sein du Service de Thermohydraulique et de Mécanique des Fluides (STMF) de la Direction de l'Énergie Nucléaire (DEN). Le LATF réalise des études de conception, dimensionnement, sûreté, met en œuvre des outils de calculs couplés multi-échelles et multidisciplinaires en collaboration avec des partenaires industriels. Le laboratoire participe également aux développements de méthodologies statistiques pour l'analyse et la quantification des incertitudes. La thèse bénéficiera du soutien du Laboratoire de Génie Logiciel pour la Simulation (LGLS) qui dispose de compétences avancées en modélisation statistique bayésienne.

Début : Octobre 2019

Durée : 3 ans

Contacts :

Alberto GHIONE (STMF/LATF) : alberto.ghione@cea.fr,

Lucia SARGENTINI (STMF/LATF) : lucia.sargentini@cea.fr,

Guillaume DAMBLIN (STMF/LGLS) : guillaume.damblin@cea.fr