

Sujet de Stage : Effets et conséquences du choix d'une procédure d'agrégation multicritère sur la robustesse et la lisibilité des conclusions : le cas du choix de bases de données expérimentales pour l'identification de paramètres physiques incertains de modèles thermodynamiques dans le domaine nucléaire

Contexte industriel : problème de l'adéquation d'une base de données expérimentale à une modélisation physique pour l'étude de la sûreté des réacteurs nucléaires

L'exploitation des réacteurs à eau pressurisée (REP) du parc de production électrique français est soumise à diverses exigences réglementaires garantissant l'absence de risque pour la population et l'environnement y compris en cas de situation incidentelle ou accidentelle. Ceci implique un examen de sûreté destiné à démontrer le maintien de l'intégrité des composants critiques et la capacité du système à évacuer la puissance thermique dégagée par les éléments combustibles en toutes circonstances. Cette démonstration de sûreté passe par une caractérisation de l'état physique du réacteur au cours de divers transitoires accidentels qui s'appuie sur des codes numériques simulant les écoulements fluides et échanges thermiques à l'œuvre au sein de la chaudière du réacteur lors de tels transitoires.

Ces codes de thermo-hydraulique comportent de nombreux paramètres physiques dont la valeur est déterminée expérimentalement à l'aide de boucles d'essais reproduisant, dans une certaine mesure, les configurations d'écoulement rencontrées sur un réacteur réel. Dans la plupart des cas, les grandeurs estimées via ces essais ne sont pas directement observables, et doivent donc être inférées à partir des mesures réalisées lors des expériences, mais aussi des conditions initiales choisies pour leur réalisation ou encore de diverses caractéristiques des dispositifs expérimentaux. Ces grandeurs sont donc affectées par une incertitude que l'on cherche également à déterminer sur la base des mêmes données expérimentales.

Les installations expérimentales étant spécifiques, complexes et coûteuses, celles-ci sont utilisées pour la réalisation de différentes campagnes d'essais afin de couvrir les différents phénomènes modélisés. Par ailleurs certaines données provenant de partenaires internationaux sont accessibles et viennent enrichir l'ensemble des connaissances disponibles pour la validation des codes de simulation. Pour chaque modèle physique implémenté dans le code, se pose alors la question de la/des base(s) de données adéquate pour l'identification des paramètres intervenant dans le modèle et la caractérisation des incertitudes associées, et plus globalement la question de la représentativité de ces bases vis-à-vis d'un phénomène physique et de sa modélisation sans le code.

Contexte méthodologique : élaboration d'une méthode d'évaluation des bases de données expérimentales à partir d'interrogation d'experts

L'évaluation de la représentativité des bases expérimentales en vue de sélectionner la base la plus adaptée à une modélisation physique peut être réalisée à partir du jugement d'experts. Les méthodes multicritères et multi-acteurs permettent d'explicitier les différentes étapes du processus menant de l'interrogation d'experts à l'établissement d'un classement des bases selon leur adéquation au modèle visé. Ce processus passe notamment par l'agrégation des différents critères à partir desquels les bases sont évaluées (qualité de la documentation associée à la base de données, précision des données, bonne couverture du domaine de validité du modèle, etc.), et sur lesquels les experts sont invités à se prononcer. Le choix de la procédure d'agrégation multicritère peut avoir un impact important sur la robustesse des conclusions, de même que sur leur lisibilité et leur interprétation dans un cadre applicatif donné.

Les travaux menés jusqu'ici sur le sujet ont permis d'établir une liste de critères qui peut être considérée comme validée par les experts du domaine. De plus, une première évaluation de l'adéquation de bases de données expérimentales a été mise en œuvre dans le cadre du projet international OCDE/NEA ATRIUM [1] sur la base de ces critères. Cette évaluation s'appuie sur la méthode AHP [2], choisie principalement pour sa simplicité de mise en œuvre. On cherche désormais à approfondir le travail méthodologique ainsi initié, et en particulier à examiner la robustesse de la méthode d'évaluation des bases et des conclusions auxquelles celle-ci permet d'aboutir.

Objectifs du stage :

Ce stage vise à analyser les effets du choix d'une procédure d'agrégation multicritère sur la robustesse et la lisibilité des conclusions obtenues dans le cadre de la sélection de bases de données expérimentales pour l'identification de paramètres incertains dans des modèles thermodynamiques. Le stagiaire se focalisera sur les questions suivantes :

- Quels sont les critères pertinents pour la sélection de bases de données expérimentales dans ce contexte ?
- Comment le choix de différentes méthodes d'agrégation multicritère (par exemple : méthodes de surclassement, méthodes de moyenne pondérée, analyse hiérarchique, etc.) affecte-t-il la robustesse des résultats ?
- Quelle est l'influence de ces choix sur la lisibilité et l'interprétation des conclusions par les experts du domaine nucléaire ?

Méthodologie :

Le stagiaire devra, dans un premier temps, réaliser une revue de la littérature sur les différentes approches d'agrégation multicritère et leur utilisation dans le cadre de la modélisation thermo-hydraulique pour la sûreté nucléaire. Ensuite, des études de cas seront menées à partir de jeux de données expérimentales existantes. Le stagiaire mettra en œuvre plusieurs procédures d'agrégation afin de comparer leurs impacts sur les conclusions tirées. L'accent sera mis sur l'évaluation de la robustesse des conclusions et la simplicité de leur interprétation.

Compétences requises :

- Maîtrise des méthodes d'agrégation multicritère et outils associés (analyse multicritère, surclassement, etc.).
- Capacités d'analyse de données expérimentales.
- Une bonne compréhension des concepts de robustesse des modèles et de gestion des incertitudes.
- Connaissances et intérêt pour la modélisation thermodynamique et identification des paramètres incertains.

Encadrement et environnement de travail :

Le stagiaire sera encadré par une équipe pluridisciplinaire composée d'experts en modélisation thermodynamique et en analyse multicritère. Il/elle sera intégré(e) à un laboratoire de recherche en ingénierie nucléaire et bénéficiera d'un accès à des outils et logiciels spécialisés dans l'analyse de données et l'agrégation multicritère.

Durée : 6 mois

Lieu : Chatou (78)

Rémunération : 600 euros/ mois sur 6 mois.

Pour en savoir plus :

Myriam Merad (myriam.merad@lamsade.dauphine.fr) – UMR CNRS LAMSADE Université Dauphine, PSL*

Jean Baccou (jean.baccou@irsn.fr), IRSN

Roman Sueur (roman.sueur@edf.fr), EdF R&D

[1] Ghione A., Sargentini L., Damblin G., Fillion P., Baccou J., Sueur R., Iooss B., Petruzzi A., Zeng K., Zhang J., Mendizábal R., Skorek T., Wu X., Freixa J., Adorni M., 2023, Application of SAPIUM guidelines to Input Uncertainty Quantification: the ATRIUM project, NURETH-20 conference, Washington DC, USA.

[2] Saaty T.L., 1990, How to make a decision: the Analytical Hierarchical Process, European Journal of Operational Research 48:9-26.