Electricité de France R&D
Département PERICLES
EDF Lab Paris Saclay
7, avenue Gaspard Monge
91120 PALAISEAU

2027

Proposition EDF R&D de stage de fin d'études pré-thèse (Master2 ou dernière année d'école d'ingénieur pré-thèse)

Développement d'un modèle d'ordre réduit (ROM) intrusif du transport neutronique SPN pour la simulation en temps réel des cœurs REP

Mots clefs : neutronique, développement, méta-modélisation (« Reduced Order Modelling »)

EDF R&D a pour missions principales de contribuer à l'amélioration de la performance des unités opérationnelles du groupe EDF ainsi qu'à identifier et préparer les relais de croissance à moyen et long terme. Dans ce cadre, le département PÉRICLÈS est pôle de compétences pour contribuer à la sûreté et à la performance des réacteurs du parc nucléaire et préparer des solutions polyvalentes dans les domaines du calcul scientifique et des technologies de l'informatique au service des métiers du groupe.

Le stage s'inscrit dans le cadre du développement de la nouvelle chaîne de calcul de la physique des cœurs EDF Framatome ODYSSÉE, fondée sur le code neutronique COCAGNE, intégrant à la fois un schéma dit industriel, rapide mais comprenant des simplifications des modèles physiques, et les schémas de référence très précis mais également très longs et difficilement applicables à l'ensemble des configurations et conditions de fonctionnement du parc nucléaire français. Les schémas avancés comme industriels ont d'ores et déjà démontré leurs capacités à sensiblement accroître la finesse de modélisation de la physique neutronique des réacteurs nucléaires, et les plus raffinés peuvent être considérés comme une référence industrielle.

Ces progrès en précision ont pour contrepartie un volume de calcul nettement plus important qu'avec le code historique, même pour le schéma industriel, ce qui malgré les optimisations algorithmiques accroît les temps de résolution. Une application particulièrement sensible à l'enjeu de performance temporelle est l'« outil d'aide au pilotage » des réacteurs. Installé en salle de commande d'une tranche, il simule en continu l'état physique du cœur en fonctionnement, via des calculs d'évolution du cœur complet assistés par les mesures. Ce jumeau numérique offre aux opérateurs une vision physique détaillée de l'état courant du cœur. Il permet également de simuler plusieurs heures à l'avance, les conséquences d'une action prise par les opérateurs à l'instant *t*, fournissant ainsi un précieux outil d'aide à la décision. L'intégration dans ces simulations du nouveau code de cœur COCAGNE constitue une évolution naturelle et importante. Cependant la contrainte du temps réel rend cette évolution inenvisageable sur les machines actuelles sans une réduction radicale du temps d'accès au résultat de ces simulations. Les méthodes de réduction de modèle (« Reduced Order Modelling »), permettent de reporter la majeure partie des calculs sur une phase d'entraînement amont afin de construire une approximation fidèle des résultats. Elles permettent ainsi d'obtenir en phase aval de production des résultats en un temps minimal, et constituent un paradigme de méta-modélisation à erreur contrôlée particulièrement adéquat au contexte exigeant de l'aide au pilotage de réacteur.

Objectif du stage :

Pour ce stage, on s'intéressera au solveur SPN du code de cœur COCAGNE résolvant l'équation de transport neutronique. Le module envisagé de simulation par modèle d'ordre réduit des équations SPN adoptera le cadre théorique suivant :

- La méthode visera la réduction des calculs neutroniques statiques et quasi-statiques, paramétrés par le point de fonctionnement du cœur, via l'approche « intrusive » de résolution du système réduit.
- Un module hors-ligne construira la base réduite par « Proper Orthogonal Decomposition », à partir d'un espace paramétrique d'entraînement choisi, qui pourra faire l'objet d'optimisations automatiques.

- Un module en ligne restituera la solution par assemblage à la volée des matrices réduites, a priori via une décomposition affine en blocs pré-calculés puis résolution directe.

Nous proposons dans ce stage de construire et tester ce module, en bénéficiant de travaux antérieurs notamment sur la phase hors-ligne, puis de le tester dans le contexte de calculs d'aide au pilotage. Cela comprendra :

- le développement de ses éléments constitutifs, en particulier des composantes i) de pré-calcul des termes matriciels réduits et ii) d'assemblage et de résolution directe du système réduit en ligne;
- l'étude de performance du module sur différentes configurations d'essai, ouvrant la possibilité de comparer des variantes : projection de Petrov-Galerkin, hyper-réduction des paramètres, etc.

Après le développement d'un noyau fonctionnel minimal, les nombreuses voies possibles pour le module seront sélectionnées selon les performances observées et l'intérêt du stagiaire.

Compétences développées au cours du stage :

Les schémas de calcul neutronique seront abordés au cours de ce stage permettant d'enrichir les connaissances du stagiaire sur l'ensemble des étapes du calcul neutronique, des choix de modélisation et de leurs impacts sur les performances des résultats de calcul. Cela s'accompagne d'une formation aux enjeux du développement de codes industriels (COCAGNE), allant de pair avec les notions d'informatique scientifique et de calcul haute performance. Enfin ce projet impliquera une familiarisation progressive avec la branche mathématique de la réduction de modèle pour la résolution accélérée d'équations aux dérivées partielles.

Profil recherché

3ème année d'école d'ingénieur, Master 2 avec une formation solide en analyse numérique et calcul scientifique et un intérêt fort pour le développement informatique (Python/C++). Une compétence en neutronique serait un plus. Ce stage ouvrant une thèse sur le sujet, un souhait de poursuivre en doctorat est requis.

Administratif

Le stage se déroulera au sein du département PERICLES de la R&D d'EDF.
Localisation : EDF Lab Paris-Saclay, 7 Boulevard Gaspard Monge – 91120 Palaiseau.
Début prévisionnel du stage : 1er semestre 2027
Durée : 6 mois

Encadrants EDF et contacts :

Angélique PONÇOT : angelique.poncot@edf.fr
Antonin SAINTE-MARIE : antonin.sainte-marie@edf.fr

Références

[1] **P. Behne, J. Vermaak, J. Ragusa** (2023). Parametric Model-Order Reduction for Radiation Transport Simulations Based on an Affine Decomposition of the Operators. *Nuclear Science and Engineering*
[2] **C. Zhang, G. Chen** (2018). Fast solution of neutron transport SP_3 equation by reduced basis finite element method. *Annals of Nuclear Energy*, **120**, 707–714.
[3] **Calloo, A. *et al*** (2017). COCAGNE: EDF new neutronic core code for ANDROMÈDE calculation chain.
[4] **Y. Conjungo Taumhas, G. Dusson, V. Ehrlacher, T. Lelièvre, F. Madiot** (2024). Reduced basis method for non-symmetric eigenvalue problems: application to the multigroup neutron diffusion equations. *ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis*, **58**(5), 1959–1987.
[5] **A. Hébert** (2024). Applied Reactor Physics, 3rd ed.
[6] **A. Quarteroni, A. Manzoni, F. Negri** (Eds.), Reduced Basis Methods for Partial Differential Equations, Springer International Publishing, 2016.
[7] **P. Benner, S. Gugercin, and K. Willcox.** A survey of projection-based model reduction methods for parametric dynamical systems. SIAM review, 57(4):483–531