

# Offre de thèse : Accélération des calculs de CFD par des méthodes de réseaux de neurones informés par la physique

framatome



## 1. Description de l'entité

Framatome est un acteur international majeur de la filière nucléaire reconnu pour ses solutions innovantes et ses technologies à forte valeur ajoutée pour la conception, la construction, la maintenance et le développement du parc nucléaire mondial. L'entreprise conçoit et fabrique des composants, du combustible, des systèmes de contrôle-commande et offre toute une gamme de services destinés aux réacteurs.

Grâce à ses 14 000 collaborateurs à travers le monde, Framatome met chaque jour son expertise au service de ses clients pour leur permettre d'améliorer la sûreté et la performance de leurs centrales nucléaires et de contribuer à atteindre leurs objectifs économiques et sociétaux.

Framatome est détenue par le groupe EDF (75,5 %), Mitsubishi Heavy Industries (MHI - 19,5 %) et Assystem (5 %)

## 2. Description du poste

Pays – France

Régions – Auvergne-Rhône-Alpes

Départements – Rhône (69)

Site – INSA Lyon / FRAMATOME LYON

Déplacements – Occasionnels

Durée du contrat – 3 ans

Métier – TA - ETUDES - CONCEPTION & INGENIERIE - TAD - Conception mécanique

Intitulé du poste –

Contrat – thèse CIFRE

Fourchette de rémunération – Barème

Ecadrement FRAMATOME : Nicolas Goreaud, Cédric Pozzolini

Ecadrement INSA-ICJ : Yves Renard, Elie Bretin, Roland Denis

### 3. Description de la BU

Au sein de Framatome, la Direction Technique et Ingénierie assure le développement, la conception et le suivi des chaudières nucléaires et des équipements associés. Elle propose également aux exploitants des études d'ingénierie de conception, de réalisation et de services. Elle intervient, à ce titre, comme autorité technique en apportant toute son expertise afin d'offrir un haut niveau de sûreté et de performance. Dans ce contexte de nombreux logiciels de calculs par volumes finis modélisant la physique sont utilisés, dont une partie importante pour la mécanique des fluides.

### 4. Description de la mission

L'objectif de cette thèse est d'identifier des **structures de réseaux** de neurones capable de réduire le coût algorithmique de la résolution d'un système CFD en temps long, dans des domaines de résolutions très complexes en dimension 2 ou 3 et tout en garantissant un **contrôle quantitatif** de l'erreur de résolution. Plus précisément, l'idée est que le réseau s'apparente à un schéma numérique capable d'évaluer une approximation des variables du système aux instants  $t$  à partir de la connaissance de ces mêmes variables à l'instant  $t_0$ .

Sachant que la base de données sera relativement réduite à quelques résolutions numériques de ces équations, et comme nous souhaitons ici **garantir un certain nombre propriétés** sur l'approximation numérique obtenue, il nous semble indispensable d'adapter la structure de ces réseaux pour y **incorporer davantage de physique** du problème.

Pour ce faire, l'objectif sera de comprendre **comment injecter** efficacement dans des réseaux classiques, une résolution du système sur un **maillage plus grossier** ainsi qu'une extrapolation linéaire de la solution obtenue en gelant d'un certain nombre de variables dans la résolution du système complet.

### Plan du projet de thèse

**La première année de thèse** se consacrera à

- Etudier dans un premier temps un **cas jouet académique** pour lequel, il s'agira de calculer des solutions numériques permettant **la génération d'une première base de données** sur laquelle les réseaux de neurones seront ultérieurement entraînés.

- Effectuer une première **bibliographie** (voir par exemple les papiers suivants [2, 3, 4]) des différentes techniques de réseaux de neurones pour des problèmes de prédiction dans le cas de modèles CDF. L'objectif sera notamment d'identifier l'approche la plus adaptée à notre problème.

On pourra ici s'inspirer fortement des travaux de thèse de récent Steeven Janny (LIRIS) [1] qui propose par exemple **une approche sur graphe couplée** à une segmentation du maillage permettant ainsi d'identifier plus facilement un **espace latent** (obtenu avec des transformeurs) essentiel pour **prédire efficacement l'évolution** de nos variables.

- Entraîner un réseau sur notre base de données et **comparer les solutions obtenues** avec celles que fournissent une **extrapolation** avec gel des certaines variables ou encore une résolution du système CFD complet mais sur un **maillage plus grossier**.

**L'objectif de la deuxième année de thèse** sera de

- Proposer une **structure du réseau** capable d'inclure **en entrée** du réseau la **solution l'extrapolée** avec le gel de variable ou encore la résolution sur **maillage grossier**. Le point clef sera de comprendre comment adapter les transformeurs pour que les **différents espaces latents** associés à chacune de ces solution puissent arriver à **communiquer et interagir** ensemble.

- **Entraîner** ces nouveaux réseaux et **identifier** l'apport de la solution extrapolée ainsi que celle obtenue avec la résolution sur maillage grossiers dans la **qualité** de la prédiction du réseau.

- Proposer, à partir de l'étude précédente, un **réseau optimal** appliqué à notre cas jouet en se fixant les **hyper-paramètres** du modèle.

**La troisième année de thèse** consistera à

- Utiliser le réseau précédent dans le cas d'un problème où le domaine de résolution est plus complexe et plus réaliste en 3D.

- **Optimiser les paramètres** de réseaux en y incluant une estimation sur le temps nécessaire à la **lecture et sauvegarde** de variables ainsi qu'à l'échange de données nécessaire entre la **résolution du système** et l'application du réseau de neurones entraîné.

#### Complément :

Dans [1], la méthode KKT utilisée fait l'usage d'approximations linéaires afin d'assurer la robustesse des simulations. Quand bien même, ce type d'approche est couramment utilisée en simulation numérique. En simulation numérique, le système d'équations est en majeure partie du temps déjà connu. Il en est donc de même pour ses non-linéarités. L'usage de variétés invariantes spectrales [5] pourrait améliorer la méthode KKT utilisée dans [1]. Les variétés invariantes spectrales permettent également de faire de la réduction de dimension permettant d'obtenir un espace invariant parcimonieux.

#### **Références bibliographiques**

[1] Steeven Janny Identification and Simulation of Physical Systems with Structured Deep Learning and Inductive Knowledge PHD, 2023.

[2] Tobias Pfaff and Meire Fortunato and Alvaro Sanchez-Gonzalez and Peter Battaglia, Learning Mesh-Based Simulation with Graph Networks International Conference on Learning Representations, 2021.

[3] XU HAN and Han Gao and Tobias Pfaff and Jian-Xun Wang and Liping Liu, Predicting Physics in Mesh-reduced Space with Temporal Attention International Conference on Learning Representations, 2022.

[4] Kim Stachenfeld and Drummond Buschman Fielding and Dmitrii Kochkov and Miles Cranmer and Tobias Pfaff and Jonathan Godwin and Can Cui and Shirley Ho and Peter Battaglia and Alvaro Sanchez-Gonzalez, Learned Simulators for Turbulence International, Conference on Learning Representations, 2022.

[5] Axås, J., Cenedese, M. & Haller, G. Fast data-driven model reduction for nonlinear dynamical systems. *Nonlinear Dyn* 111, 7941–7957 (2023).

<https://doi.org/10.1007/s11071-022-08014-0>

## 5. Profil recherché

Pour être admis en doctorat, le candidat doit être titulaire d'un diplôme national de master ou d'un autre diplôme conférant le grade de master 2 (diplôme d'ingénieur, diplôme étranger équivalent...), à l'issue d'un parcours de formation établissant son aptitude à la recherche, et dans le cas présent avec une dominante en analyse numérique et/ ou mécanique.

Vous disposez de compétences en :

- Analyse numérique des équations différentielles / équations aux dérivées partielles,
- Simulation numérique des équations différentielles,
- Programmation informatique pour le calcul scientifique (Python, Scilab, Matlab),

Vous démontrez un goût prononcé pour la modélisation en mécanique des fluides.

Vous êtes à l'aise avec l'Anglais technique.

Ce qui peut être un plus :

- Des connaissances en thermo-hydraulique,
- Des connaissances sur les réseaux de neurones,
- Une première expérience d'utilisation d'un logiciel commercial dynamique des fluides,
- Un attrait particulier pour la filière nucléaire.

Les candidats seront sélectionnés après entretien devant un jury évaluant leur aptitude à la recherche et l'adéquation de leur formation et connaissances avec le sujet de thèse proposé.

## 6. Savoir être

Vous appréciez le travail en équipe.

Vous êtes à l'écoute et force de proposition.

Vous faites preuve de dynamisme et d'autonomie.

## 7. Contacts

Elie Bretin, INSA LYON - ICJ : [elie.bretin@insa-lyon.fr](mailto:elie.bretin@insa-lyon.fr)

Nicolas Goreaud, FRAMATOME DTIPD -LYON : [nicolas.goreaud@framatome.com](mailto:nicolas.goreaud@framatome.com)

Cédric Pozzolini, FRAMATOME SCCE– LYON : [cedric.pozzolini@framatome.com](mailto:cedric.pozzolini@framatome.com)

*Ce poste est-il ouvert aux candidats en situation de handicap ? – Conformément aux engagements pris par Framatome en faveur de l'accueil et de l'intégration des personnes en situation de handicap, cet emploi est ouvert à toutes et à tous sous réserve de l'accord de la médecine du travail.*