

## Perspectives et avancées récentes en apprentissage pour la résolution numérique d'équations aux dérivées partielles

Rémy HOSSEINKHAN, CMAP, École Polytechnique - Palaiseau

La simulation de systèmes physiques complexes s'appuie sur la résolution d'équations aux dérivées partielles (EDP) dont la complexité et le coût computationnel deviennent critiques face aux défis de la haute dimensionnalité et de la dynamique multi-échelle. Si l'analyse numérique classique fournit des cadres robustes, l'apprentissage automatique émerge comme un paradigme puissant pour lever ces verrous. Ces approches visent à accroître l'efficacité des calculs tout en garantissant la préservation des structures physiques fondamentales.

Ce minisymposium propose d'explorer le contenu de ces avancées récentes à travers plusieurs axes complémentaires. Celui-ci abordera tout d'abord l'hybridation entre méthodes numériques et méthodes d'apprentissage, en montrant comment enrichir des espaces d'approximation d'éléments finis continus par des réseaux informés par la physique (PINN) pour allier rapidité d'inférence et quantification d'erreurs. Les discussions se porteront ensuite sur l'application de l'apprentissage profond à la mécanique des fluides, exposant l'usage de méthodes convolutives pour inverser des filtres numériques (T-LES) afin de reconstruire fidèlement les fluctuations thermiques à petite échelle. Le symposium examinera les développements en théorie cinétique des gaz, axés sur l'apprentissage de la  $\beta$ -fermeture pour les systèmes à 5 moments [1]. Cette méthode définit une approximation explicite de la fermeture d'entropie maximale préservant l'hyperbolicité du système de lois de bilan. Par l'incorporation d'une régularisation paramétrée, cette approche hybride garantit la validité physique des solutions et permet d'atténuer les sous-chocs structurels pour des régimes de non-équilibre. Enfin, le panel s'achèvera par une étude des méthodes d'optimisation pour les PINN par gradient naturel. Adoptant une perspective de méthodes à noyaux, ces travaux apportent des preuves théoriques et empiriques sur les mécanismes de fonctionnement du gradient naturel, dans la continuité de l'approche définie dans [2].

Portée par une dynamique scientifique très active, cette session donne exclusivement la parole à de jeunes chercheurs (doctorants et post-doctorants). À l'occasion de cette édition 2026 du CANUM, l'objectif est de réunir la communauté autour de ces approches et de susciter une réflexion commune quant à la fiabilité et l'avenir des méthodes d'apprentissage dans le paysage de l'analyse numérique.

Les oratrices et orateurs pressentis sont :

- Frédérique Lecourtier, Inria, Université de Strasbourg, CNRS, ICube : Enrichissement des espaces d'approximation éléments finis de Lagrange continus par des réseaux de neurones.
- Yanis Zatout, LISN, Université Paris-Saclay / PROMES-CNRS : Reconstruction de la température et du flux de chaleur à partir de simulations des grandes échelles thermiques par apprentissage profond.
- Rémy Hosseinkhan, CMAP, École Polytechnique : Apprentissage de la  $\beta$ -fermeture pour le système à 5 moments en théorie cinétique des gaz.
- Nilo Schwencke, Inria Ockham, ENS Lyon : Une approche par méthodes à noyaux pour l'analyse du processus d'apprentissage des PINN.

[1] R. P. Schaerer, M. Torrilhon. *On singular closures for the 5-moment system in kinetic gas theory*. Communications in Computational Physics, **17(2)**, 371–400, 2015.

[2] N. Schwencke, C. Furtlehner. *ANaGRAM : A natural gradient relative to adapted model for efficient PINNs learning*. In *The Thirteenth International Conference on Learning Representations*, 2025. ICLR 2025.