

# Réseaux de neurones à convolution informés par la physique : application à la convection turbulente

Continuation en thèse possible

## Responsables du stage

Noms : Anne Sergent (MCF HDR) / Didier Lucor (DR CNRS)  
 Labo. : LISN CNRS – Campus universitaire bât 507 - 91405 Orsay  
 E-mail : anne.sergent@lisn.upsaclay.fr

**Mots-clés** Apprentissage automatique, réseaux de neurones profonds, convection naturelle, turbulence.

**Contexte** La convection de Rayleigh-Bénard s'établit dans une cavité sous l'effet d'une différence de température imposée aux parois horizontales, la paroi du bas étant chauffée. L'écoulement résultant est caractérisé par la superposition de panaches à petite échelle, vecteurs de la chaleur, et d'un écoulement turbulent remplissant la cavité. Depuis de nombreuses années, nous simulons par simulation numérique directe (DNS) ce phénomène physique. Le passage à des simulations massivement parallèles nous permet maintenant de modéliser des jumeaux numériques des expérimentations. Cependant, ces calculs sont très lourds et même si la description spatio-temporelle de l'écoulement peut être très fine, il est difficile d'approcher statistiquement toutes les échelles de l'écoulement, de stocker l'intégralité des champs calculés, ou de rejouer facilement les séquences. C'est pourquoi nous cherchons à construire des modèles réduits de ces écoulements, notamment par apprentissage automatique [LAS+22].

**Objectifs du stage et méthodologie** Nous cherchons ici à tirer partie des capacités d'apprentissage automatique des réseaux de neurones pour réduire la complexité des données à sauvegarder, inférer des quantités cachées ou identifier des zones d'intérêt (par ex. [Cai+2021, FPSS19]). En particulier, on s'intéresse aux images d'ombroscopie, facilement obtenues expérimentalement, mais aussi numériquement, et qui contiennent une information 3D. A partir de réseaux à convolution, on utilisera des auto-encodeurs destinés à inférer les champs 2D/3D de température ou de vitesse. Une attention particulière sera portée sur la construction de la base de données d'entrée, de façon à assurer la robustesse du réseau. La base de données DNS est déjà existante [Bel+2021]. Les développements seront réalisés sous TensorFlow sur une carte du cluster GPU du cluster du laboratoire.

**Compétences recherchées** Sciences des données, apprentissage automatique, statistiques/probabilités, méthodes numériques/algorithmique, mécanique des fluides, programmation (e.g. Python, TensorFlow)

**Collaboration / financement** projet THERMAL financé par l'agence nationale de la recherche ANR (avec F. Chillà et J. Salort du Lab. de Physique, ENS Lyon) - *financement de thèse ANR*.

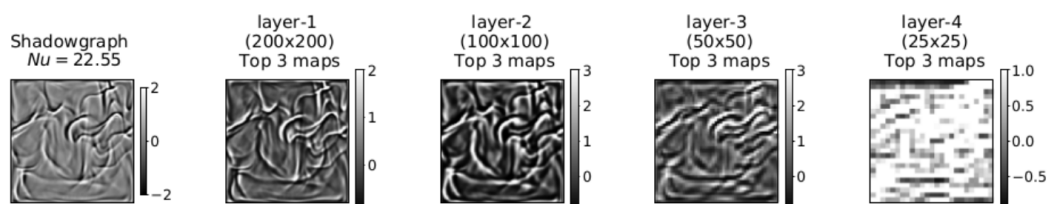


FIGURE 1 – Exemple de cartes d'activation obtenues à partir d'une image d'ombroscopie d'écoulement de Rayleigh Bénard.

[Bel+2021] Belkadi, M., Sergent, A. Fraigneau, F. and Podvin, B. On the role of roughness valleys in turbulent Rayleigh-Bénard convection. *J. Fluid Mech.* 923, A6, 2021.

[Cai+2021] A. Cai, Z. Wang, F. Fuest, Y.-J. Jeon, C. Gray and G. E. Karniadakis. Flow over an espresso cup : inferring 3-D velocity and pressure fields from tomographic background oriented Schlieren via physics-informed neural networks. *J. Fluid Mech.* 915, A102, 2021.

[FPSS19] E. Fonda, A. Pandey, J. Schumacher, K.R. Sreenivasan, Deep learning in turbulent convection networks, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (18) 8667-8672, 2019.

[LAS+22] D Lucor, A Agrawal, A Sergent, Simple computational strategies for more effective physics- informed neural networks modeling of turbulent natural convection. *J. Comp. Phys.* 456, hal-03159996, p. 111022, 2022.