

Thèse CIFRE 3 ans :

Apprentissage informé par la physique pour la résolution d'EDP : application à la sécurité incendie

Référence : MB/THEDP/DMSI

Date de démarrage souhaitée : 01/04/2025

Localisation : Trappes - Bassin de St Quentin-en-Yvelines (78)

Le LNE :

Leader dans l'univers de la mesure et des références, jouissant d'une forte notoriété en France et à l'international, le LNE soutient l'innovation industrielle et se positionne comme un acteur important pour une économie plus compétitive et une société plus sûre.

Au carrefour de la science et de l'industrie depuis sa création en 1901, le LNE offre son expertise à l'ensemble des acteurs économiques impliqués dans la qualité et la sécurité des produits.

Pilote de la métrologie française, notre recherche est au cœur de notre mission de service public et constitue un facteur fondamental au soutien de la compétitivité des entreprises.

Nous avons à cœur de répondre aux exigences des industriels et du monde académique, pour des mesures toujours plus justes, effectuées dans des conditions de plus en plus extrêmes ou sur des sujets innovants tels que les véhicules autonomes, les nanotechnologies ou la fabrication additive.

Contexte et objectifs de la thèse :

Les systèmes de désenfumage sont essentiels pour ralentir la propagation du feu et protéger le public des fumées toxiques en évacuant la fumée dès les premiers instants d'un incendie. Leur conformité est évaluée par des organismes agréés, tels que le LNE, qui jugent leur capacité à atteindre des objectifs de sécurité préalablement définis, notamment en matière de protection des personnes (température, flux radiatif des fumées). Ces études reposent sur la simulation de scénarios d'incendie grâce au logiciel Fire Dynamics Simulator (FDS), qui résout des équations complexes (Navier-Stokes).

Cependant, ces simulations nécessitent des calculs distribués longs, pouvant durer plusieurs semaines, ce qui limite le nombre de scénarios pouvant être considérés. L'objectif de la thèse est de développer des méthodes de simulation plus rapides pour optimiser la conception des systèmes de désenfumage, réduisant ainsi les risques pour le public. Par ailleurs, l'optimisation des ressources de calcul et la réduction des temps de simulation s'inscrivent dans une démarche de développement durable, en limitant la consommation énergétique liée aux calculs intensifs. D'autres cas d'applications sont envisagés dans le domaine de l'imagerie médicale.

Méthodes

Les développements récents dans l'IA offrent plusieurs pistes :

En deep learning, des réseaux de neurones profonds peuvent être entraînés pour tenir compte des informations données par les équations physiques (Raissi et al. 2019).

D'autres méthodes sont également proposées, parmi lesquelles les approches dites à « noyau ». L'utilisation de méthodes à noyaux pour la résolution d'équations aux dérivées partielles linéaires

est discutée dans la littérature depuis plusieurs décennies (see, e.g., Franke & Schaback 1998). Cela offre l'avantage important d'une quantification d'incertitude naturelle grâce à l'interprétation bayésienne mais, d'autre part, également l'inconvénient d'un temps de calcul potentiellement important. De nombreuses approches existent pour faciliter le passage à l'échelle des méthodes à noyaux.

La résolution d'équations aux dérivées partielles non-linéaires par méthode à noyau n'a été envisagée que récemment (Tronarp et al. 2021, Chen et al. 2021). Contrairement au cas linéaire, il n'existe pas de méthode standard pour quantifier l'incertitude de ce type de prédiction. Le choix du noyau est un problème rarement soulevé par la littérature à notre connaissance.

Cette thèse vise à développer des modèles statistiques intégrant des lois physiques, centrés sur les réseaux de neurones et les méthodes à noyaux. Elle explore la quantification d'incertitudes et le passage à l'échelle sur des cas concrets. Les processus gaussiens profonds seront également étudiés pour leurs applications bayésiennes.

Résultats attendus :

Des développements méthodologiques et des contributions sur la compréhension des modèles à information physique sont attendus :

- L'utilité de ce nouveau type de techniques doit encore être démontrée (McGreivy & Hakim 2024).
- Plusieurs limitations des techniques proposées dans la littérature doivent être abordées. En particulier, les techniques proposées devront être applicables à grande échelle, sur des cas réalistes, en simulation incendie ou dans le domaine médical.

Profil :

Vous êtes diplômé d'un BAC+5 en statistiques ou en machine Learning.

Des compétences en programmation, mathématiques appliquées et statistiques sont essentielles.

Vous présentez une aptitude à travailler en équipe, une curiosité scientifique ainsi qu'une bonne capacité de synthèse.

Pour candidater, envoyez votre CV, LM et relevés de notes à sebastien.petit@lne.fr, xujia.zhu@l2s.centralesupelec.fr, emmanuel.vazquez@l2s.centralesupelec.fr et recrut@lne.fr en rappelant en objet du mail la référence de l'offre (MB/THEDP/DMSI).

Références :

*Chen, Y., Hosseini, B., Owhadi, H. & Stuart, A. M. (2021), 'Solving and learning nonlinear PDEs with Gaussian processes', *Journal of Computational Physics* 447, 110668.*

*Franke, C. & Schaback, R. (1998), 'Solving partial differential equations by collocation using radial basis functions', *Applied Mathematics and Computation* 93(1), 73-82.*

*Marmin, S. & Filippone, M. (2022), 'Deep Gaussian Processes for Calibration of Computer Models (with Discussion)', *Bayesian Analysis* 17(4), 1301 - 1350.*

*McGreivy, N. & Hakim, A. (2024), 'Weak baselines and reporting biases lead to overoptimism in machine learning for fluid-related partial differential equations', *Nature Machine Intelligence*, pp. 1-14.*

*Raissi, M., Perdikaris, P. & Karniadakis, G. E. (2019), 'Physics-informed neural networks : A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations', *Journal of Computational physics* 378, 686-707.*

*Tronarp, F., Särkkä, S. & Hennig, P. (2021), 'Bayesian ODE solvers : the maximum a posteriori estimate', *Statistics and Computing* 31(3), 23.*