



gipsa-lab



PROGRAMME
DE RECHERCHE
RISQUES

Sujet de thèse de doctorat

Spécialité : Automatique-Productique (Ecole Doctorale EEATS de l'UGA)

Apprentissage informé par la physique pour l'assimilation de données DAS (Distributed Acoustic Sensing) de dynamiques distribuées dans des domaines complexes

Directeurs de thèse :

Didier Georges (Professeur à Grenoble INP – Université Grenoble Alpes), didier.georges@grenoble-inp.fr

Anne-Françoise Yao (Professeure à l'Université Clermont Auvergne, Laboratoire de Mathématiques Blaise Pascal (LMBP)), anne.yao@uca.fr

Cécile Cornou (Directrice de Recherche IRD, ISTerre), cecile.cornou@univ-grenoble-alpes.fr

Profil et compétences recherchés :

- Profil automatique ou mathématiques appliquées, avec un goût pour les modèles physiques et les méthodes numériques
- Analyse des équations aux dérivées partielles, approche variationnelle, estimation bayésienne, machine Learning (PINN, apprentissage supervisé)
- Programmation Python/PyTorch
- Autonomie, curiosité et capacité d'adaptation
- Qualité rédactionnelle

Niveau : Grade de master français ou équivalent étranger en Mathématiques Appliquées ou Automatique

Financement et déroulement de la thèse : contrat doctoral de trois ans, financé par l'ANR dans le cadre de la Chaire « Données-Modèles-Décision » du Projet Ciblé COCHAIR du PEPR Risques (IRiMa) (<https://www.pepr-risques.fr/fr>). La thèse se déroulera essentiellement au sein du laboratoire GIPSA-lab. Des séjours de courte durée seront également prévues au sein des laboratoires LMBP et ISTerre.

Résumé : Cette thèse est consacrée à l'assimilation de données DAS (Distributed Acoustic Sensing) basée sur l'utilisation de la fibre optique déployée pour l'Internet afin de réaliser l'estimation d'état ou de paramètres de dynamiques spatio-temporelles complexes en milieu urbain dans le contexte de la gestion d'une crise. On s'intéressera tout particulièrement à l'estimation de dynamique de groupes d'individus. Grâce à la fibre optique aujourd'hui largement déployée au milieu urbain, il est possible de détecter des signaux de contraintes de déformation de manière distribuée. L'introduction du DAS incite cependant à repenser l'algorithmique d'assimilation de données. On cherchera à développer et évaluer des approches d'apprentissage basé sur la physique (PINN) en établissant des liens avec les approches traditionnelles de l'assimilation de données.

Contexte : On s'intéresse à la problématique de l'observation de phénomènes distribués en temps et en espace régis par des équations aux dérivées partielles hyperboliques non linéaires. Cette famille d'équations permet de modéliser un grand nombre de phénomènes de transport intervenant dans de nombreuses dynamiques importantes dans le contexte de la gestion des risques ou des crises (dynamique de foules ou de trafic routier dans un contexte d'évacuation, écoulements de surface dans le cadre d'inondations, glissements de terrain et avalanches, transport de matières dangereuses ...). Ces dynamiques interviennent souvent dans des domaines complexes comme des zones urbanisées caractérisées par la présence d'obstacles introduisant une forte hétérogénéité des paramètres et la présence de conditions aux limites internes. Par ailleurs, les techniques DAS (Distributed Acoustic Sensor) à base de fibre optique connaissent un essor remarquable en raison de leur capacité à détecter des signaux de contraintes de déformation tout au long de la fibre, en se basant sur la diffusion de Rayleigh. Le DAS permet ainsi de mesurer les vibrations du sol induites par des événements sismiques, par le déplacement d'individus (Zhou et al., 2024) ou de véhicules (Liu et al., 2020), ou encore par des écoulements de fluides (Belli et al., 2022). Même si l'application visée concerne en priorité la dynamique de personnes, les résultats de la thèse pourront potentiellement s'appliquer à d'autres problématiques comme l'estimation du trafic routier ou de dynamiques de mouvements du sol.

Objectifs de la thèse : L'objectif de la thèse est, d'une part, d'étudier la capacité des approches d'apprentissage basées sur la physique (Raissi et al., 2019), (Niaki et al., 2021), (Tanh et al., 2023) (avec des réseaux de neurones éventuellement profonds ou avec des fonctions de base radiales (Roman-Ferber et al., 2024)) à résoudre des problèmes multi-échelles d'observation de paramètres et d'état dans le contexte de la gestion des crises, et plus particulièrement, pour l'observation et la prédiction des flux d'individus en utilisant des données distribuées de type DAS, dans des domaines complexes. La notion de capteurs distribués incite à repenser la manière d'effectuer l'assimilation de données qui repose traditionnellement sur l'utilisation de mesures ponctuelles. D'autre part, il s'agira de donner un cadre théorique aux approches d'apprentissage basées sur la physique pour l'assimilation de données, notamment en cherchant à évaluer l'impact de l'apprentissage par transfert et établir des liens théoriques avec les approches variationnelle et bayésienne.

Méthodologie : Pour atteindre ces objectifs, la thèse suivra les principales étapes suivantes :

- Analyse approfondie de la littérature consacrée à l'utilisation du DAS, à l'assimilation de données, aux approches PINN et aux systèmes régis par des équations aux dérivées partielles hyperboliques caractérisant la dynamique de groupes d'individus.
- Analyse de la donnée DAS et modélisation de l'opérateur de mesures DAS en vue de l'intégration de cette donnée dans un schéma d'assimilation de données pour la collecte d'informations sur le mouvement d'individus.
- Formalisation, développement et analyse de modèles mathématiques et d'algorithmes avancés d'estimation d'état et de paramètres de systèmes distribués spatio-temporellement, avec prise en compte de la nature spécifique des informations DAS collectées, notamment en matière d'incertitudes et de bruits de mesure.



- Validation des méthodologies proposées à l'aide de simulations complètes sous Python/PyTorch impliquant des scénarios simplifiés en 2D et la prise en compte de données DAS réelles.

Résultats attendus : à l'issue de la thèse, plusieurs stratégies d'assimilation de données basées sur l'approche PINN auront été formalisées, analysées et validées sur un problème d'estimation en 2D d'une dynamique de groupes d'individus, sur la base de données DAS réelles. La publication régulière des résultats fait partie des attendus forts de la thèse.

Références :

Belli, G., Walter, F., McArdell, B., Gheri, D., & Marchetti, E. (2022). Infrasonic and seismic analysis of debris-flow events at Illgraben (Switzerland): Relating signal features to flow parameters and to the seismo-acoustic source mechanism. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*

Didier Georges, Sylvain Leirens, Roman Lopez-Ferber. A RBF-FD physics-informed machine learning approach to air pollution source estimation. *CCA 2024 - 3rd Control Conference Africa*, Sep 2024, Balaclava, Mauritius. [\(cea-04718674\)](#)

H. Liu, J. Ma, T. Xu, W. Yan, L. Ma, X. Zhang, Vehicle detection and classification using distributed fiber optic acoustic sensing, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 69 (2) (2020), pp. 1363-1374

S. A. Niaki, E. Haghighat, X. Li, T. Campbell, and R. Vaziri, Physics-Informed Neural Network for Modelling the Thermo-Chemical Process in Composite-Tool Systems During Manufacture, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 384, 2021 arXiv preprint arXiv:2011.13511 (2020) <https://arxiv.org/pdf/2011.13511.pdf>

M. Raissi, P. Perdikaris, and G.E. Karniadakis, Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations, *Journal of Computational Physics*, Volume 378, 1 February 2019, Pages 686-707

Kejun Tang, Xiaoliang Wan, Chao Yang, DAS-PINNs: A deep adaptive sampling method for solving high-dimensional partial differential equations, *Journal of Computational Physics*, Volume 476, 2023,

<https://arxiv.org/abs/2112.14038...>

Yuhan Zhou, Justin K.W. Yeoh, Yunyue Elita Li, Wawan Solihin, Large scale indoor occupant tracking using distributed acoustic sensing and machine learning, *Building and Environment*, Volume 247, 1 January 2024, 111005