

Master of Science internship

Non-cartesian deep learning for realistic earthquake modelling

Stage de Master 2

Apprentissage profond non cartésien pour la modélisation réaliste des séismes

Subject [EN]

Deep learning based surrogate models of physical systems have reached impressive fidelity in recent years, mostly due to high quality training data. However, they still lack the flexibility of traditional numerical solvers, for instance to accommodate non-cartesian domains. This project focuses on earthquake modelling in realistic 3D settings. Neural Operators were shown to be accurate surrogate models for 3D seismic wave propagation in propagation domains with a flat surface. [1, 2]. In parallel, several Neural Operator architectures have been proposed to handle irregular grids (e.g., GAOT [3]) but they have never been applied to earthquake data. In this project, we extend geometry-aware Neural Operators to 3D earthquake propagation with various topography. This will allow refined estimation of seismic hazard in regions with complex topography (basins, hills, peaks).

Sujet [FR]

Les modèles de substitution basés sur l'apprentissage profond pour les systèmes physiques ont atteint une fidélité impressionnante ces dernières années, principalement grâce à des données d'entraînement de haute qualité. Toutefois, ils manquent encore de la flexibilité des solveurs numériques traditionnels, par exemple pour prendre en compte des domaines non cartésiens. Ce projet se concentre sur la modélisation des séismes dans des configurations 3D réalistes. Les Neural Operators ont montré qu'ils pouvaient servir de modèles de substitution précis pour la propagation d'ondes sismiques en 3D dans des domaines de propagation à surface plane [1, 2]. En parallèle, plusieurs architectures de Neural Operators ont été proposées pour traiter des grilles irrégulières (par exemple GAOT [3]), mais elles n'ont jamais été appliquées à des données sismiques. Dans ce projet, nous étendons les Neural Operators sensibles à la géométrie à la propagation sismique 3D avec différentes topographies. Cela permettra une estimation plus fine de l'aléa sismique dans des régions à topographie complexe (bassins, collines, sommets).

Internship principal tasks [EN]

The tasks involve:

- defining realistic parametrizations of the Earth surface
- running numerical seismic wave simulations in 3D domains with chosen topography, using the HPC code [SEM3D](#), to create a large dataset
- adapting Neural Operators to the non-cartesian 3D grids (e.g., GAOT) and train the model on the generated dataset

Tâches principales du stage [FR]

Les tâches comprennent :

- définir des paramétrisations réalistes de la surface terrestre
- exécuter des simulations numériques de propagation d'ondes sismiques dans des domaines 3D avec une topographie choisie, en utilisant le code HPC [SEM3D](#), afin de créer un large jeu de données
- adapter les Neural Operators à des grilles 3D non cartésiennes (par exemple GAOT) et entraîner le modèle sur le jeu de données généré

Requirements [EN]

We welcome students with the following background and skills. Also consider applying if you do not fulfill all conditions.

- Master student in Computer Science, Data Science, HPC, or related field
- Familiarity with cluster computing (parallel computing, slurm)
- Proficient with python and pytorch
- Interest for physical problems

Profil cherché [FR]

Nous recherchons des étudiant(e)s ayant le profil et les compétences suivants. N'hésitez pas à postuler même si vous ne remplissez pas toutes les conditions.

- Étudiant(e) en Master en informatique, science des données, calcul haute performance (HPC) ou domaine connexe
- Familiarité avec le calcul sur cluster (calcul parallèle, slurm)
- Maîtrise de Python et PyTorch
- Intérêt pour les problèmes de physique

Supervision/Encadrement

Dr. Fanny Lehmann, ETH Zurich, fanny.lehmann@ai.ethz.ch

Dr. Filippo Gatti, Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, ENS Paris-Saclay, Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay UMR 9026 filippo.gatti@centralesupelec.fr

References

- [1] Fanny Lehmann, Filippo Gatti, Michaël Bertin, and Didier Clouteau. 3D elastic wave propagation with a Factorized Fourier Neural Operator (F-FNO). *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 420:116718, February 2024.
- [2] Fanny Lehmann, Filippo Gatti, and Didier Clouteau. Multiple-input Fourier Neural Operator (MIFNO) for source-dependent 3D elastodynamics. *Journal of Computational Physics*, 527:113813, April 2025.

- [3] Shizheng Wen, Arsh Kumbhat, Levi Lingsch, Sepehr Mousavi, Yizhou Zhao, Praveen Chandrashekar, and Siddhartha Mishra. Geometry Aware Operator Transformer as an Efficient and Accurate Neural Surrogate for PDEs on Arbitrary Domains, May 2025.