

## Proposition de thèse

### Modèles parcimonieux pour les incertitudes en tomographie sismique

- **Encadrement:** Directrice: Alexandrine Gesret (Ecole des Mines ParisTech)  
Co-directeur: Olivier Le Maître (CNRS, Ecole Polytechnique)  
Co-encadrant: Pierre Sochala (BRGM)
- **Mots-clés:** Problème inverse, inférence bayésienne, modèle de vitesse, modèles de substitution, chaîne de Markov, machine learning.
- **Sujet:** La tomographie sismique permet d'estimer les vitesses de propagation des ondes sismiques, à partir de mesures de temps de parcours, et ainsi caractériser les propriétés géophysiques du sous-sol. Des travaux récents ont montré l'intérêt d'utiliser des modèles d'approximation statistiques (type polynômes de chaos) pour remplacer le modèle géophysique direct et accélérer ainsi drastiquement la résolution du problème inverse [1]. L'objectif de cette thèse est d'améliorer la résolution bayésienne du problème inverse inhérent à la tomographie. La principale difficulté du problème d'inversion réside dans sa dimension puisque l'on cherche à identifier un champ spatial [2]. Dans ce cas, les méthodes de type Monte-Carlo Markov Chain sont assez limitées compte-tenu du coût calculatoire lié aux nombreuses évaluations du modèle direct (solveur eikonal). Afin de remédier à cette difficulté, nous proposons d'explorer deux approches différentes pour construire des relations efficaces entre le modèle de vitesse et les temps d'arrivée. La première approche consiste à chercher une représentation creuse des temps d'arrivée étant donné un modèle de vitesse de grande dimension [3]. Il s'agira en particulier d'exploiter l'indépendance des observations vis-à-vis des parties du champ qui ne sont pas traversées par les rayons sismiques pour concentrer l'effort dans les zones pouvant être bien résolues. La seconde approche propose de construire un modèle de vitesse ayant un nombre limité de paramètres afin de décroître la taille de l'espace paramétrique d'identification. Nous utiliserons des approches de décomposition modale (type Karhunen-Loève [4]) pondérée par la densité locale des rayons sismiques. Nous traiterons d'abord la situation d'un champ de vitesse avec des variations régulières avant de considérer des cas plus complexes avec hétérogénéités.
- **Candidature:** Master M2 en mathématiques appliquées, statistiques, géophysique  
Envoyer CV et lettre de motivation à [alexandrine.gesret@mines-paristech.fr](mailto:alexandrine.gesret@mines-paristech.fr),  
[olivier.le-maitre@polytechnique.edu](mailto:olivier.le-maitre@polytechnique.edu) et [p.sochala@brgm.fr](mailto:p.sochala@brgm.fr)
- **Financement:** 50% Ecole des Mines et 50% BRGM

## References

- [1] P. Sochala, A. Gesret, and O. Le Maître. Polynomial surrogates for bayesian traveltime tomography. *In preparation*, 2020.
- [2] I. Sraj, O. Le Maître, O. Knio, and I. Hoteit. Coordinate transformation and polynomial chaos for the bayesian inference of a gaussian process with parametrized prior covariance function. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 298:205 – 228, 2016.
- [3] S. S. Chen, D. L. Donoho, and M. A. Saunders. Atomic decomposition by basis pursuit. *SIAM J. Sci. Comp.*, 20:33–61, 1998.
- [4] K. Karhunen. *Über lineare Methoden in der Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Annales Academiae scientiarum Fennicae: Mathematica - Physica. Universitat Helsinki, 1947.

## PhD thesis proposal

### Parsimonious models for uncertainty in seismic tomography

- Advisor: Director: Alexandrine Gesret (Ecole des Mines ParisTech)  
Co-Advisor: Olivier Le Maître (CNRS, Ecole Polytechnique) and Pierre Sochala (BRGM)
- Keywords: Inverse problem, Bayesian inference, velocity model, surrogate models, Markov Chain, machine learning.
- Topic: Seismic tomography consists in the estimation of the wave propagation velocities from observed travel times, therefore characterizing subsurface geophysical properties. Recent works have shown the interest of using surrogate models (such as polynomial chaos) in order to substitute the forward geophysical model and then accelerate the solving of the inference problem [1]. This thesis aims to improve the Bayesian resolution of the tomography inverse problem. The main challenge of the Bayesian inversion is its dimensionality as we need to infer a spatial field [2]. In such a case, the Monte Carlo Markov Chain methods have limitations due to the computational burden related to a large number of direct solver evaluations (eikonal solver). To deal with this difficulty, we propose to explore two different approaches in order to build efficient relations between the velocity model and the arrival times. In the first approach, we propose to seek a sparse representation of the arrival times given a high dimensional velocity model [3]. In particular, we plan to exploit the fact that the travel times depend only on the characteristic of the field along the wave-paths. Therefore, the representation and computational effort should focus on areas where the posterior concentrates. In the second approach, the representation of the velocity model should be parsimonious and minimize the dimensionality of the parameter space. We will rely on modal decomposition (Karhunen–Loève [4]) weighted by the local density of the wave-paths. We shall start with smooth fields before going on with more complex situations involving heterogeneities.
- Application: Master in applied mathematics, statistics, geophysics  
Send a CV and a cover letter at [alexandrine.gesret@mines-paristech.fr](mailto:alexandrine.gesret@mines-paristech.fr),  
[olivier.le-maitre@polytechnique.edu](mailto:olivier.le-maitre@polytechnique.edu) and [p.sochala@brgm.fr](mailto:p.sochala@brgm.fr)
- Funding: 50% Ecole des Mines and 50% BRGM