

Titre : Assimilation de données géodésiques pour une gestion en temps réel des risques naturels

Labo :

- 1) Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance, Université Savoie Mont-Blanc, Annecy, France
- 2) Institut des Sciences de la Terre, Université Savoie Mont-Blanc, Le Bourget du Lac, France.

Encadrantes : Mme Virginie Pinel, virginie.pinel@univ-smb.fr (04 79 75 86 51), Mme Yajing Yan, yajing.yan@univ-smb.fr (04 50 09 65 36),

Financement: Université Savoie Mont-Blanc, ANR in Artificial Intelligence (**co-financement déjà acquis**)

Profil du candidat : Le candidat doit avoir de bonne compétence en mathématique/statistique ou traitement du signal ou géophysique.

Description du sujet :

Cette thèse est proposée dans le contexte de la disponibilité croissante et régulière de la quantité de données de télédétection et pour répondre au besoin de la prédiction opérationnelle des risques naturels. Elle a pour objectif majeur d'améliorer l'intégration des observations géodésiques satellitaires et des modèles mécaniques dynamiques de transport de magma, ce qui répond à un enjeu crucial actuellement en volcanologie. Dans une perspective de gestion du risque volcanique, il est essentiel de pouvoir savoir, à l'avance, si du magma qui a commencé à se propager depuis un réservoir va atteindre la surface, à quel endroit et à quel moment. La phase de propagation est généralement rapide de quelques heures à quelques mois, mais elle induit de la sismicité et des signaux de déformation. Ces signaux sont enregistrés par les capteurs continus (GNSS) et les données Interférométrie SAR (InSAR) dont la fréquence temporelle et le délai d'utilisation se sont fortement améliorés ces dernières années. Nous disposons, par ailleurs, de modèles dynamiques de propagation d'intrusions magmatiques permettant de calculer, en fonction des paramètres physiques de la croûte terrestre, des propriétés du magma et de l'état de contrainte local, la trajectoire suivie par le magma et sa vitesse de propagation (Pinel et al. 2017). L'assimilation de données, une méthode qui combine un modèle dynamique et les observations au présent et dans le passé en s'appuyant sur la statistique des erreurs et qui permet de prédire l'état futur du système observé, est donc un outil approprié qui répond au besoin de pouvoir prédire la position et le moment d'une éruption en volcanologie.

Parmi de nombreuses méthodes d'assimilation de données, le filtre de particules se distingue des autres par sa grande capacité à traiter des modèles non linéaires et des statistiques d'erreur non gaussiennes (van Leeuwen P.J, 2009, van Leeuwen PJ, 2010). Le filtre de particules est basé sur une représentation de la densité de probabilité du modèle dynamique par un ensemble discret d'états du modèle (nommé les particules) et repose sur le théorème de Bayes, donc sans se soucier de la distribution des erreurs de modèle (différente de la plupart des autres méthodes d'assimilation de données qui supposent une distribution gaussienne des erreurs). L'évolution de la densité de probabilité du modèle est réalisée par la propagation de toutes les particules (états du modèle) dans le temps suivant l'équation du modèle (la physique). Lorsque les observations du système sont disponibles, les contributions relatives des particules sont modifiées de sorte que l'information disponible dans les observations est intégrée dans l'essaim de particules. Le filtre de particules ne corrige pas directement les valeurs des particules, mais leurs contributions relatives, ceci est très important pour estimer les trajectoires de propagation des intrusions magmatiques. Le

filtre de particules est donc l'outil approprié dans le contexte spécifique actuel d'estimation de la position d'une éruption volcanique

Dans cette thèse, nous développerons une stratégie efficace d'assimilation de données en utilisant le filtre de particule permettant d'utiliser en temps réel les données géodésiques de déformation pour prédire la localisation et le timing des bouches éruptives induites par la propagation d'intrusions magmatiques, avec une application au Piton de la Fournaise. Par ailleurs, des approches basées sur l'apprentissage automatique seront également étudiées, afin de prédire la localisation et le timing des bouches éruptives en s'appuyant uniquement sur les séries temporelles de mesures de déplacement. Les résultats seront comparés à ceux obtenus par le filtre de particule afin d'évaluer la capacité prédictive des méthodes basées uniquement sur les données. Enfin, on considère également à injecter l'information a priori apportée par les modèles physiques dans les approches d'apprentissage automatique pour améliorer la performance de ces dernières.

Cette thèse s'appuiera sur le travail de thèse de Mary Grace Bato qui avait, pour la première fois, appliqué avec succès les techniques de l'assimilation de données séquentielle (le filtre de Kalman d'ensemble) à la volcanologie en s'intéressant à la pressurisation et à la rupture des réservoirs magmatiques (Bato et al, 2017, Bato et al. 2018). Elle bénéficiera également des résultats obtenus dans le cadre de l'ANR franco-allemande MagmaPropagator (ANR-18-CE92-0037, 2019-2022). De plus, le projet CNES MagmaTrack (2022 - 2024) sera à disposition pour environner la thèse (financer des missions, conférences, etc.) .

Références :

- M. G. Bato, V. Pinel, Y. Yan, Assimilation of Deformation Data for Eruption Forecasting: Potentiality Assessment Based on Synthetic Cases, *Front. Earth Sci.*, doi:10.3389/feart.2017.00048, 2017.
- M. G. Bato, V. Pinel, Y. Yan, F. Jouanne, J. Vandemeulebrouck, Possible deep connection between volcanic systems evidenced by sequential assimilation of geodetic data, *Scientific Reports*, doi : 10.1038/s41598-018-29811-x, 2018.
- V. Pinel, A. Carrara, F. Maccaferri, E. Rivalta, F. Corbi, A two-step model for dynamical dyke propagation in two-dimensions: Application to the July 2001 Etna eruption, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 10.1002/2016JB013630, 2017.
- Gaddes, M. E., Hooper, A., Bagnardi, M. (2019), Using machine learning to automatically detect volcanic unrest in a time series of interferograms, *Journal of Geophysical Research : Solid Earth* , 124(11), 12304–12322.
- van Leeuwen P.J., Review Particle Filtering in Geophysical System, *Mathematical Advances in Data Assimilation*, 2009, pp. 4089-4114.
- van Leeuwen P.J. Nonlinear data assimilation in geosciences : an extremely efficient particle filter, 2010, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 136, pp. 1991-1999.
- S. Arridge, P. Maass, O. Öktem and C.B. Schönlieb, (2019), Solving inverse problems using data-driven models, *Acta Numerica*, pp.1-174. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962492919000059>
- M. Titos, A. Bueno, L. Garcia, M.C. Benitez and J. Ibanez, (2019), Detection and classification of continuous volcano-seismic signals with recurrent neural networks, *IEEE Transactions on Geosciences & Remote Sensing*, 57(4), pp.1936-1948.
- Z. Zhang and Y. Lin, (2020), Data-driven seismic waveform inversion: a study on the robustness and generalization, *IEEE Transactions on Geosciences & Remote Sensing*, 58(10), pp.6900-6913.