

Sujet de thèse : Assimilation de données géodésiques (GNSS et InSAR) pour la prédiction de la localisation et du timing des bouches éruptives induites par la propagation d'intrusions magmatiques.

Laboratoires : Institut des Sciences de la Terre (ISTerre), Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance (LISTIC), Université Savoie Mont-Blanc, France.

Contact : 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)

Profil du candidat : Le candidat devra avoir des bonnes connaissances et des compétences solides en mathématique/statistique et en géophysique. Des connaissances en volcanologie ou en programmation sont appréciées.

Descriptions :

Cette thèse a pour objectif majeur d'améliorer l'intégration des observations géodésiques satellitaires et des modèles mécaniques dynamique 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 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 particule se distingue des autres par son adaptation aux modèles non linéaires et son utilisation de statistiques des erreurs non gaussiennes (van Leeuwen P.J, 2009, van Leeuwen P.J, 2010). Le filtre de particule repose sur une représentation de la densité de probabilité du modèle dynamique par un ensemble discret des états du modèle (appelé particules) et s'appuie sur le théorème de Bayes donc sans a priori sur la distribution des erreurs du modèle (ce qui est différent de la plupart des méthodes d'assimilation qui font l'hypothèse d'une distribution Gaussienne des erreurs). L'évolution de la densité de probabilité du modèle est réalisée à travers la propagation de toutes les particules (états du modèle) au cours du temps suivant l'équation (la physique) du modèle. Quand les observations du système sont disponibles, les contributions des particules sont modifiées de sorte que l'information présente dans les observations est intégrée dans l'essaim des particules. Plus précisément, les particules loin de la distribution des observations contribuent de moins en moins et celles qui sont proches des observations contribuent de plus en plus. De ce fait, certaines particules sont abandonnées au bout d'un moment et le nombre de particules diminue au cours du temps jusqu'au moment où leur nombre n'est plus suffisant pour représenter correctement la densité de probabilité du modèle. Pour remédier à ce problème, un ré-échantillonnage est indispensable pour garantir la représentativité des particules. De nombreuses méthodes de ré-échantillonnage, ré-échantillonnage d'importance séquentiel, ré-échantillonnage probabiliste, ré-échantillonnage résiduel, ré-échantillonnage stochastique universel, Monte Carlo Metropolis-Hastings, etc., ont été proposées dans la littérature, avec chacune des avantages et des inconvénients. L'idée fondamentale de ce ré-échantillonnage

consiste à multiplier de manière directe ou indirecte les particules dont la contribution est importante afin de pousser l'essaim de particules vers les observations tout en conservant le nombre total de particules.

Le filtre de particule ne corrigeant pas directement les particules, mais la contribution relative de chaque particule, cette méthode apparaît particulièrement adaptée pour estimer les trajectoires des intrusions magmatiques. Chaque particule représentant une trajectoire potentielle du magma, la correction de la valeur d'une particule (démarche classique en assimilation de données avec les autres méthodes), équivaudrait à une correction d'une trajectoire de propagation, et ceci n'aurait pas de sens physique. Le filtre de particule constitue donc l'outil approprié pour prédire la position d'une éruption.

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. Ce travail s'appuiera sur le travail de thèse de Mary Grace Bato qui avait, sous notre direction et 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). Il bénéficiera des résultats obtenus dans le cadre du projet TOSCA AssimSAR. Il se fera également dans le cadre de l'ANR franco-allemande MagmaPropagator (**ANR-18-CE92-0037**, 2019-2022) avec une application au Piton de la Fournaise.

Références sélectionnées :

Bato M.-G., Pinel V., Yan Y., Jouanne F., Vandemeulebrouck J., "Possible deep connection between volcanic systems evidenced by sequential assimilation of geodetic d", Scientific Reports, Nature Publishing Group, 2018, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29811-x>

Bato M.-G., Pinel V., Yan Y., "Assimilation of Deformation Data for Eruption Forecasting: Potentiality Assessment Based on Syntheti", Frontiers in Earth Science, Frontiers Media, 2017, pp.doi: 10.3389/feart.2017.00048

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.

Pinel V., Carrara A., Maccaferri F., Rivalta E., Corbi F., A two-step model for dynamical dike propagation in two dimensions: Application to the July 2001 Etna eruption, 2017, Journal of Geophysical Research, vol. 122, doi:10.1002/2016JB013630.