

## Offre de stage (M1/M2)

# Classification automatique des patterns de déformation d'un édifice volcanique.

**Lieu :** Institut de l'information géographique et forestière (IGN), Saint Mandé (94), France.

**Direction du stage :** Alexandre Hippert-Ferrer (alexandre.hippert-ferrer@ign.fr) et Delphine Smittarello (delphine.smittarello@ecgs.lu).

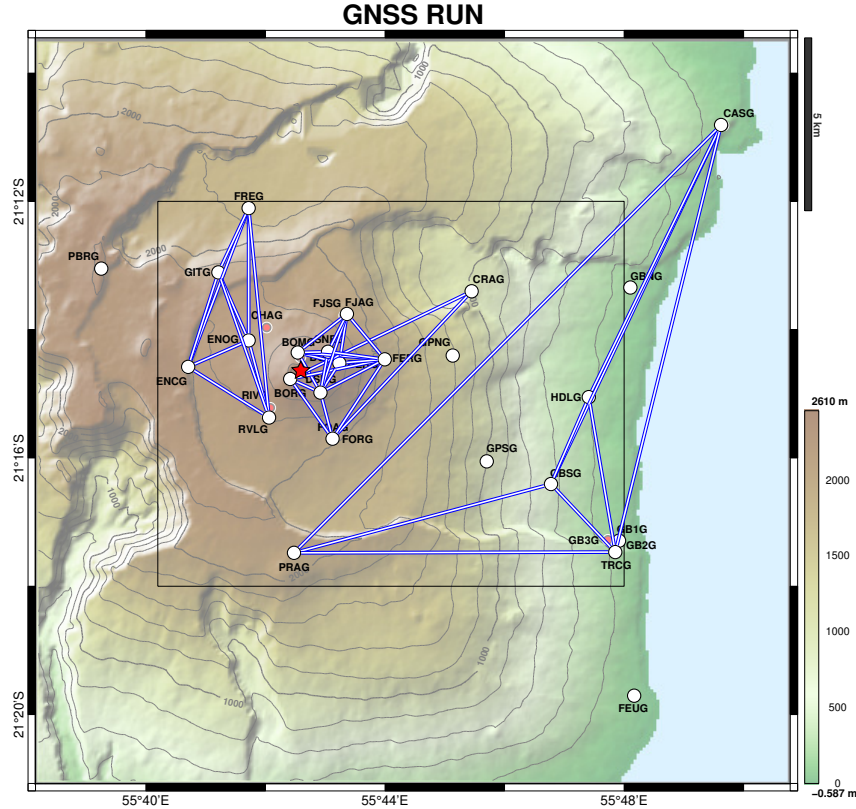


Figure 1: Graphe appris à partir de la méthode développée dans [Hippert-Ferrer et al., 2022]. Chaque nœud représente un capteur GNSS et chaque arête une corrélation entre deux capteurs. Trois sous-graphes apparaissent avec des capteurs connectés entre eux. Ces groupes correspondent en réalité à trois patterns de déformations lors d'éruptions volcaniques entre 2014 et 2017. Le but sera d'utiliser ce type de graphe pour classer les patterns de déformation du sol. @WEBOS/IPGP.

## Présentation générale

Les sources de déformation sont nombreuses sur les volcans actifs (pressurisation/dépressurisation de réservoirs magmatiques ou hydrothermaux, migration de fluides, etc.). L'enregistrement de ces déformations du sol a largement progressé depuis les années 1990 avec l'installation de réseaux denses de GNSS (Global Navigation Satellite System) permanents et depuis les années 2000 avec le développement des mesures InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) permettant de constituer de larges bases de données incluant des séries temporelles longues et continues [Staudacher and Peltier, 2016, Dumont et al., 2022]. L'intelligence artificielle, notamment des méthodes de classification supervisée ou auto-supervisée, fournit aujourd'hui des outils pour explorer/exploiter de façon systématique ces séries.

## Objectifs du stage

L’objectif premier du stage est d’identifier des récurrences dans les patterns de déformation et de réaliser une classification automatique décrivant ces patterns. Le second objectif consiste ensuite à interpréter cette classification en terme d’activation des différentes sources au cours du temps. Il s’agit aussi d’explorer l’intérêt de certaines méthodes de classification pour produire des outils d’analyse opérationnels des déformation du sol.

L’analyse portera en premier lieu sur les séries temporelles GNSS du Piton de la Fournaise et pourra être étendue aux données InSAR. Ces séries temporelles sont soit fournies par l’OVPF<sup>1</sup> (GNSS) ou calculées à l’ECGS (InSAR).

Concernant la classification des données, le travail s’organisera en deux temps. Tout d’abord, il s’agira d’appliquer une méthode récente développée dans [Hippert-Ferrer et al., 2022] permettant d’apprendre la topologie d’un graphe, où chaque nœud représente un récepteur GNSS et chaque arête une corrélation entre deux récepteurs (voire Figure 1). L’intérêt de cette méthode est de construire un graphe dont la structure est creuse (*sparse graph*) et composée de plusieurs sous-graphes connectés entre eux. L’objectif sera alors d’obtenir de multiples graphes correspondant à des périodes temporelles successives. Ensuite, le travail consistera à utiliser ces graphes en entrée d’un algorithme de classification supervisée pour identifier des patterns de déformation. Plusieurs méthodes seront explorées, comme les *k*-plus proches voisins ou la méthode *Minimum distance to Riemannian mean* [Barachant et al., 2011], cette dernière utilisant en entrée la matrice de covariance temporelle des données.

## Informations complémentaires

**Pré-requis** : Le stage requiert un réel intérêt et une curiosité pour les sciences de la Terre (géologie et/ou volcanologie en particulier). De solides compétences en statistiques et apprentissage sont attendues. Un bon niveau en calcul scientifique avec Python (scipy, scikit-learn, numpy) est également requis. Une expérience avec pymanopt (bibliothèque pour l’optimisation basée sur la géométrie riemannienne) serait un plus.

**Structure d’accueil** : Laboratoire LaSTIG, IGN, 73 avenue de Paris, 94165 Saint-Mandé, France. Le ou la candidat(e) sera amené(e) à travailler au sein de l’équipe Strudel, spécialisée dans l’étude des structures spatio-temporelles pour l’analyse des territoires. Pour plus d’information, voir : <https://www.umr-lastig.fr/strudel/>. Des déplacements ou de courts séjours à l’ECGS à Walferdange, Luxembourg, seront possibles.

**Gratification** : 600,60 euros/mois (net).

**Durée du stage** : 5 à 6 mois.

---

<sup>1</sup>Voir la page de l’OPVF : <https://www.ipgp.fr/fr/ovpf/observatoire-volcanologique-piton-de-fournaise>.

# References

- [Barachant et al., 2011] Barachant, A., Bonnet, S., Congedo, M., and Jutten, C. (2011). Multiclass brain–computer interface classification by Riemannian geometry. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(4):920–928.
- [Dumont et al., 2022] Dumont, Q., Cayol, V., Froger, J.-L., and Peltier, A. (2022). 22 years of satellite imagery reveal a major destabilization structure at Piton de la Fournaise. *Nature Communications*, 13(1):1–11.
- [Hippert-Ferrer et al., 2022] Hippert-Ferrer, A., Bouchard, F., Mian, A., Vayer, T., and Breloy, A. (2022). Learning graphical factor models with Riemannian optimization.
- [Staudacher and Peltier, 2016] Staudacher, T. and Peltier, A. (2016). Ground deformation at piton de la fournaise, a review from 20 years of GNSS monitoring. In *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean*, pages 251–269. Springer.