

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

RAPPORT INTERMÉDIAIRE DE STAGE MASTER

---

# **Développement d'un outil d'analyse automatique de longues séries temporelles de mouvements du sol et de détection d'anomalies : application à des produits issues de données satellitaires Sentinel-1 et Sentinel 2**

---

ETUDIANT :  
PAMBOU MOUBOGHA EDDY  
ANNÉE SCOLAIRE 2020-2021

ENCADRANT :  
JEAN-PHILIPPE MALET

# Chapitre 1

## Introduction

Les glissements de terrain apparaissent lorsqu'une masse de terre descend sur un plan de glissement, provoqués par les activités anthropiques ou des phénomènes climatiques, géologiques ou géomorphologiques. Ces déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou rapides (quelques centaines de mètres par jour).

Ces mouvements peuvent être à l'origine de catastrophes naturelles causant des pertes humaines et des dommages importants sur les infrastructures. Au plan mondial, les mouvements de terrain causent chaque année la mort de 800 à 1000 personnes. En France, ce risque concerne environ 7000 communes et présente, pour un tiers d'entre elles, un niveau de gravité fort.

Bien que la détection de ces phénomènes soit difficile, il est possible de surveiller les mouvements du sol dans les zones sensibles en utilisant les techniques de télédétection. L'interférométrie radar et l'imagerie optique sont deux techniques de télédétection qui permettent de mesurer les mouvements du sol. L'interférométrie radar permet de mesurer la déformation du sol dans la ligne de visée du satellite avec une précision millimétrique en calculant la différence de phase entre deux acquisitions. Cependant, cette technique n'est pas adaptée pour mesurer les déplacements rapides. De plus, la déformation mesurée est une projection du vecteur déformation sur la ligne de visée du satellite, ne facilitant pas ainsi son interprétation. Contrairement à l'imagerie radar, l'imagerie optique permet de mesurer les déplacements rapides et est sensible aux composantes Nord-Sud et Est-Ouest de la déformation.

Il existe plusieurs algorithmes de corrélation d'images. Des chercheurs de l'EOST travaillant au sein de l'équipe déformation active ont récemment proposé une nouvelle version de MPIC-OPT, un workflow permettant de calculer des champs de déplacement en utilisant la corrélation d'images. Cette nouvelle approche utilise la décomposition en composantes indépendantes (ICA) pour débruiter les déplacements bruts. Cependant, cette méthode statistique nécessite des heuristiques pour identifier les sources contribuant aux signaux d'intérêt. Actuellement, cette étape n'est pas automatique, elle est réalisée en utilisant les connaissances géologiques de la zone d'étude.

Pour pallier aux limites du workflow actuel, ce stage propose d'automatiser la détection des glissements de terrain en utilisant l'apprentissage non supervisée. Comme l'imagerie radar et l'imagerie optique sont deux approches complémentaires, il propose également de développer une méthode pour fusionner les déplacements calculés à partir des données des deux techniques.

## Chapitre 2

# Présentation de l'organisme d'accueil

L'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) est une école d'ingénieurs en géophysique créé en 1935 par Edmond Rothé. Comme son nom l'indique l'EOST est également un observatoire. L'objectif premier de l'UMS830 est de faciliter l'observation pérenne des phénomènes naturels et de rendre accessible les données recueillies à la communauté scientifique. Ses tâches d'observation entrent dans le cadre des Services Nationaux d'Observation (SNO) labellisés par l'Institut National des Sciences de l'Univers du CNRS. Au total, l'EOST est impliqué dans dix services d'observation dont il est pilote au plan national ou partenaire actif. Ils concernent le domaine "Terre solide" et le domaine "Surfaces et interfaces continentales".

Ce stage s'effectue au sein du pôle Recherche dans l'équipe Déformation Active. Les travaux de l'équipe portent sur la déformation lithosphérique, le fonctionnement des failles sismiques et la déformation de sub-surface. Elle est fédérée autour de plusieurs disciplines, telles que la géodésie, la tectonique active, la géomorphologie et la paléosismologie. Elle appuie fortement sa recherche sur les données acquises par les observatoires de l'EOST gérés par ses membres et sur des chantiers régionaux, principalement situés en Méditerranée et en Afrique.

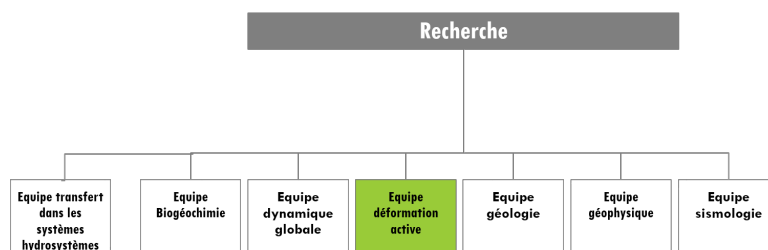


FIGURE 2.1 – Organigramme simplifié du pôle Recherche de l'EOST.

# Chapitre 3

## Missions

Ce stage est centré sur deux objectifs principaux. Le premier consiste à développer une approche pour détecter automatiquement les glissements de terrain sur les données satellitaires en utilisant une technique d'apprentissage non-supervisée. Le second vise à proposer une méthode permettant d'obtenir un champ de déplacements regroupant à la fois les déplacements calculés à partir des données de l'imagerie radar et ceux calculés à partir des données de l'imagerie optique. Les méthodes développées doivent être testées sur les données des satellites Sentinel-1 et Sentinel-2 acquises dans les Alpes.

### 3.1. Tâches réalisées

De façon générale, un glissement de terrain se traduit par une série temporelle de déplacements cumulés croissante ou décroissante. Un glissement pouvant être active ou endormi, on peut observer une composante cyclique qui vient s'ajouter à cette tendance.

Ma première idée a donc été d'utiliser un test statistique qui permet détecter la présence d'une tendance dans une série temporelle. Il existe plusieurs tests statistiques pour y parvenir, le plus utilisé étant le test de dickey fuller augmenté. Mon choix s'est porté sur ce dernier. Les données n'étant pas échantillonnées régulièrement, il faut les rééchantillonner avant d'appliquer le test. Mais le rééchantillonnage conduit à une perte importante du signal de départ, compliquant ainsi l'interprétation des résultats du test.

Ma deuxième idée a été d'utiliser le test statistique de Fischer qui permet tester la significativité des coefficients d'une régression linéaire. Ce choix est motivé par le fait que certains déplacements sont bruités. Ce bruit peut se traduire par des oscillations de grandes amplitudes qui influencent les résultats de la régression. Cette méthode a donné des résultats convaincants lorsqu'une tendance linéaire est claire mais elle est moins robuste en présence du bruit. Par exemple, elle n'est pas efficace pour détecter les séries temporelles stables (déplacements nuls).

Ma troisième approche est une approche que j'ai trouvée dans la bibliographie. Elle consiste à ne sélectionner que les séries temporelles qui montrent des déplacements importants. Avec cette méthode, il faut estimer la vitesse moyenne de chaque déplacement par régression linéaire sur chaque composante du mouvement. Les vitesses moyennes estimées permettent ensuite de calculer la norme du vecteur vitesse. Finalement, un déplacement est considéré comme important si sa vitesse moyenne est supérieure à un certain seuil, ce seuil étant proportionnel à l'écart-type des vitesses.

En combinant le test statistique de Fischer et le filtrage des vitesses en utilisant l'écart-type, j'ai considérablement réduit le nombre de pixels sans intérêt. Après cette phase de filtrage, j'ai effectué le clustering des séries temporelles restantes à l'aide d'une méthode de clustering par densité. Contrairement à une méthode de clustering comme les k-means, les méthodes de clustering par densité ne nécessitent pas un nombre prédéfini de classes et sont plus adaptées pour détecter des clusters de forme non convexe. Les deux algorithmes de clustering par densité les plus connus sont DBSCAN et

HDBSCAN. J'ai choisi d'utiliser HDBSCAN car il donne de meilleurs résultats lorsque les clusters ont des tailles significativement différentes.

Puisque les séries temporelles sont géoréférencées, il est possible de visualiser les résultats du clustering sur Google Earth. Les premiers tests réalisés sur la zone Aiguilles montrent que je parviens à détecter le glissement de terrain de la Valette. Cependant cette zone comporte des glissements plus petits que ma méthode ne parvient pas à détecter (Figures 3.1, 3.2).

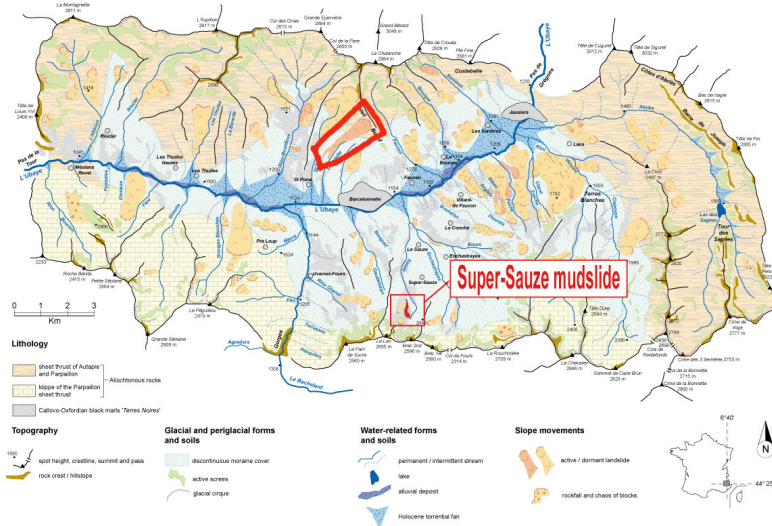


FIGURE 3.1 – Carte géologique des glissements de la zone d'Aiguilles. Au centre, dans le polygone en rouge, le glissement dormant de la Valette.

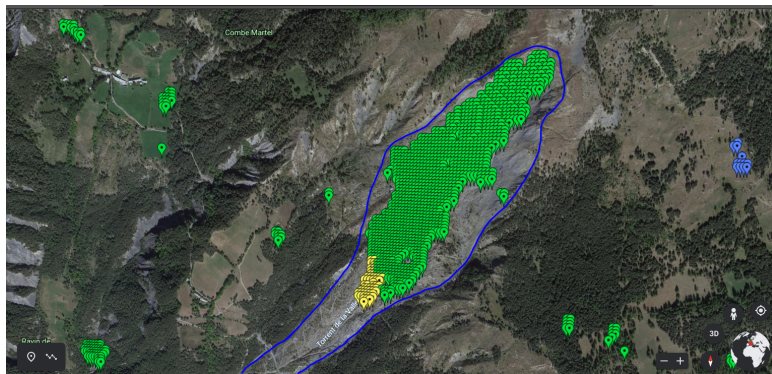


FIGURE 3.2 – Résultat du clustering temporel à l'aide de HDBSCAN visualisés dans Google Earth. Les marqueurs de même couleur représentent les pixels appartenant au même cluster. Les marqueurs en vert représentent le glissement de la Valette.

### 3.2. Tâches à accomplir

1. Améliorer le workflow de filtrage des pixels sans intérêt pour pouvoir détecter les petits glissements de terrain ;
2. Trouver une méthode pour quantifier la répartition spatiale des séries clusterisées afin de se passer de Google Earth ;
3. Appliquer la décomposition en composantes indépendantes pour débruiter les signaux ;
4. Fusionner le champ de déplacements de l'interférométrie radar et de l'imagerie optique ;
5. Paralléliser les traitements.