



ÉCOLE DOCTORALE

SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

ed560.stepup@u-paris.fr

Titre du sujet : Tsunamis potentiels générés dans une zone sismo-volcanique active : l'exemple de Mayotte depuis la géologie jusqu'à la simulation numérique

Directeur (trice) : **LE FRIANT Anne, DR, lefriant@ipgp.fr**

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) : **MANGENEY Anne, KOMOROWSKI Jean-Christophe**

Equipe d'accueil : **IPGP- Equipe des Systèmes Volcaniques et Equipe de Sismologie – UMR7154**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

Depuis mai 2018, l'île de Mayotte connaît une activité sismique importante liée à une activité volcanique sous-marine qui aurait débuté à 50 km des côtes de l'île (*Feuillet et al.*, 2021). Le site éruptif découvert en 2019 a révélé la mise en place d'un nouvel édifice sous-marin, créé en moins d'un an, d'au moins 800 m de hauteur sur le plancher océanique et situé à 3500 m de profondeur. Les émissions de lave ont continué jusqu'en janvier 2021 associées à des panaches éruptifs. En outre, de nombreux panaches de fluides riches en CO₂ magmatique liquide ont été découverts chaque année depuis 2019 dans la zone volcanique dite du Fer à Cheval à 10 km de Mayotte (*Mastin*, 2023). Cette crise est suivie par le REVOSIMA (Réseau de Surveillance Volcanologique et Sismologique de Mayotte) mis en place par l'Etat en 2019. Depuis 2019, des travaux ont été réalisés pour élaborer des cartes de hauteurs d'eau estimant l'impact des tsunamis liés à différents scénarios de glissements de terrain associés à cette crise sismo-volcanique (*Poulain et al.*, 2022). Elles ont été construites sur la base de modèles numériques simulant les glissements de terrain sous-marins à partir des données acquises au début de la crise en 2019-2020. Ces simulations ont montré que les hauteurs de vagues sur les côtes de Mayotte étaient très hétérogènes et étroitement dépendantes du scénario envisagé, de la bathymétrie et du récif corallien.

Cette thèse a pour ambition de quantifier les aléas liés aux tsunamis dans un contexte sismo-volcanique actif et de changement climatique en menant un travail collaboratif aux interfaces entre géologie, géophysique, modélisation numérique et géographie, en intégrant l'ensemble des données et des connaissances acquises depuis le début de la crise et en travaillant avec les codes numériques les plus avancés. Un des livrables du travail sera de quantifier les zones à risques et les zones protégées suite à des tsunamis générés par des instabilités gravitaires potentielles au large de Mayotte.

Le premier point clé de l'évaluation du risque de tsunami est l'identification de la source tsunamigène correspondant aux scénarios les plus probables et les plus dommageables. Les observations faites par le REVOSIMA ont montré une évolution de l'activité sismo-volcanique depuis 2020 et les scénarios d'instabilités doivent donc être réajustés. En particulier, la localisation de la sismicité et le développement constant de panaches d'émission de CO₂ magmatique liquide découverts au cours des campagnes océanographiques successives dans la zone dite du « Fer à cheval » (située plus proche des côtes de Petite Terre que le nouveau volcan), nous amène à envisager de nouveaux scénarios non simulés jusqu'ici. Au cours de cette thèse, nous utiliserons des jeux de données uniques et denses collectés dans le cadre du REVOSIMA pour mener des travaux géologiques et affiner la compréhension de la chaîne volcanique reconnue au large de Mayotte. Les scénarios d'instabilité des pentes et des nombreux cônes et édifices volcaniques reconnus au large de Mayotte seront reconsidérés à la lumière de ces nouvelles connaissances. Nous focaliserons notre attention sur la zone entourant le Fer à cheval où de nombreux cônes volcaniques ont été construits lors des éruptions précédentes le long des fissures éruptives liées à la chaîne volcanique à l'est de Mayotte, y compris dans les quelques derniers milliers d'années. En particulier, un regain d'activité volcanique sur les pentes situées plus proches de l'île pourrait déclencher des instabilités sous-marines et/ou un effondrement d'une caldeira dans le cas d'une éruption explosive émettant un grand volume de magma (comme cela s'est produit récemment au volcan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai) déclenchant des tsunamis. Nous souhaitons investiguer ces nouveaux scénarios et en particulier ceux liés à des caldeiras d'effondrement dans le cadre de scénario hypothétique d'une nouvelle activité éruptive à proximité de Mayotte. Pour compléter

le travail, les données sismiques collectées pour la surveillance des séismes depuis 2018, à partir de stations terrestres et en mer, pourraient permettre d'identifier la signature sismique d'éventuels glissements de terrain. En termes de scénarios, nous tenterons également de compléter notre travail avec des scénarios en champs plus lointains (glissement de terrain plus éloignés). Afin de simuler numériquement les instabilités gravitaires envisagées, nous devrons reconstruire les topographies, les cônes volcaniques et modifier les modèles numériques de terrain. Nous utiliserons le code digdem développé par Marc Peruzzetto pour réaliser ce travail. Cette étape de reconstruction des cônes volcaniques et des structures de glissements est toujours une étape délicate pour intégrer au mieux les données géologiques et finaliser les scénarios. Nous travaillerons dans un premier temps sur des MNT à 50 m avant de travailler avec des MNT à plus haute résolution. Un travail de lissage sera parfois nécessaire pour éviter les artéfacts numériques.

Nous utiliserons un modèle multicouches non hydrostatique décrivant la dynamique du glissement, sur une bathymétrie complexe (Hysea) pour modéliser les tsunamis générés par une déstabilisation au niveau du Fer à Cheval. Ce travail pourra se faire grâce à nos collaborations depuis de nombreuses années avec les mathématiciens. Les méthodes mathématiques et numériques innovantes (Delgado-Sanchez et al., 2020) qui seront utilisées dans le modèle de tsunami généré par les glissements de terrain pour inclure les systèmes de coordonnées appropriés ont été développées et testées dans des configurations simples par notre groupe multidisciplinaire (géophysique/mathématiques) impliquant des collaborateurs internationaux. Nous mettrons en œuvre ces méthodes dans le modèle multicouche HySEA, qui représente l'un des codes numériques les plus avancés pour les vagues de tsunami générées par les glissements de terrain (Macias et al., 2020). La prise en compte des vitesses simulées de l'eau permettra d'élaborer des cartes d'aléas. Dans les travaux menés précédemment, nous avons en effet montré que même si les hauteurs d'eau à terre et notamment sur la piste de l'aéroport n'étaient pas très importantes (1m), l'aléa pouvait être fort dans la zone considérée (Poulain et al., 2022). Nous réaliserons des tests de sensibilité en faisant varier différents paramètres (volumes, géométrie de la source, profondeur de la source, loi de friction...).

Il est important de préciser que ce travail se fera au sein d'une équipe pluri-disciplinaire rassemblée dans le projet ROM (Risques telluriques OutreMer) financé par le PEPR IRIMA qui a débuté il y a quelques mois. Un des objectifs du projet est de construire une chaîne d'outils de pointe liée à l'aléa tsunami en contexte sismo-volcanique et tectonique, capable de fournir des estimations d'endommagement et des documents adaptés à la gestion intégrée du risque de tsunami (avant, pendant, après l'événement) utiles pour la planification et l'aménagement des territoires, ainsi que pour le développement d'actions de sensibilisation aux risques. Cette thèse contribuera à ce projet et se fera au sein d'une équipe rassemblant des scientifiques travaillant en sciences de la terre, géophysique, géologie, géotechnique, mathématique, modélisation numérique et sciences humaines et sociales. Les travaux réalisés pendant la thèse serviront directement d'entrée à d'autres travaux (menés par des géographes) focalisés sur les vulnérabilités territoriales et humaines pour accompagner la décision. L'étudiante/étudiant en thèse sera intégré dans ce travail co-construit dans une logique d'intégration et de couplage de modèles de risque et de prévention. Par exemple, des données haute résolution pour représenter finement le bâti, les infrastructures, les enjeux stratégiques et la bathymétrie côtière en prenant en compte les dégâts créés par le cyclone Chido seront collectées afin de réaliser des simulations très précises de l'impact des tsunamis sur les côtes de Mayotte, sur la base des scénarios cités précédemment. Différentes options de politique publique et d'aménagement du territoire à Mayotte pourraient par exemple être testées, et leurs conséquences simulées, sur la base des scénarii que nous aurons élaborés. Une attention particulière sera apportée aux cartes et à la représentation graphique des résultats qui seront présentés au REVOSIMA et aux autorités impliquées dans le projet.

- Delgado-Sánchez, J. M., Bouchut, F., Fernández-Nieto, E. D., Mangeney, A., and Narbona-Reina, G. (2020). A two-layer shallow flow model with two axes of integration, well-balanced discretization and application to submarine avalanches. *J. Comput. Phys.*, 406, article no. 109186.
- Feuillet, N., Jorry, S.J., Crawford, W.C., Deplus, C., Thinon, I., et al., 2021. Birth of a large volcanic edifice offshore Mayotte via lithosphere-scale dyke intrusion. *Nature Geoscience*, 14, 787 - 795.
- Macías, J., Castro, M. J., Ortega, S., and González-Vida, J. M. (2020). Performance assessment of Tsunami-HySEA model for NTHMP tsunami currents benchmarking. *Field cases. Ocean Model.*, 152, article no. 101645.
- Mastin, M. 2023. Fluid and gas emissions in a submarine eruption context offshore Mayotte Island : geochemical impact on the water column. *Sciences de la Terre. Université de Bretagne occidentale - Brest. Français. NNT : 2023BRES0049 HAL Id: tel-04394229 <https://theses.hal.science/tel-04394229v1>*
- Poulain, P. Le Friant, Pedreros, R., Mangeney, A., Filippini, A., et al., 2022. Numerical simulation of submarine landslides and generated tsunamis : application to the on-going Mayotte seismo-volcanic crisis. *Comptes Rendus Géoscience*, 354, S2.