



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

**FACULTÉ DES SCIENCES**  
Département des sciences  
de la Terre



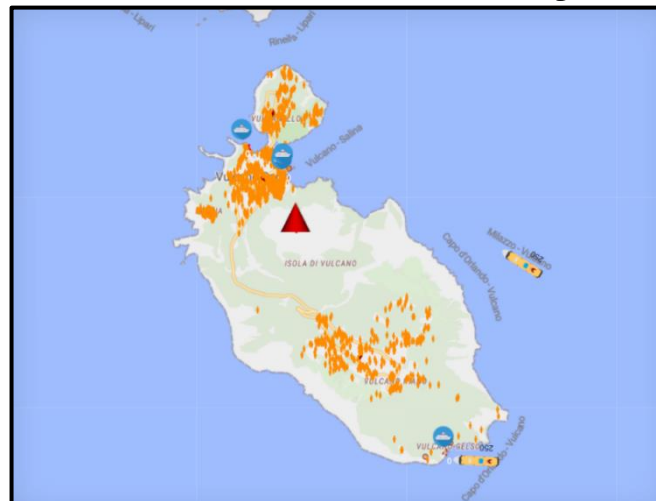
# Master in Earth Sciences

Orientation: *Geological Risks*

By

RAMÍREZ HUERTA Angie Stephania

## From volcanic risk assessment to short-term management for volcanic crises: the example of Vulcano Island, Italy



Under the supervision of:

Prof BONADONNA Costanza

Dr. BIASS Sébastien

Dr. FRISCHKNECHT Corine

---

Supervisor signature

Université de Genève  
11/06/2024

---

Co-supervisor signature

---

Co-supervisor signature

# ABSTRACT

---

Volcanic eruptions are among the most complex and dangerous natural hazards. Given the increasing in the last decades of the global population, which raises the number of exposed individuals to natural phenomena, risk studies and the implementation of risk reduction strategies have become essential to protect people and property from the disturbing impacts of eruption, among others. Both long-term and short-term risk assessments are crucial when talking about Disaster Risk Reduction (DRR). Risk assessment provides information about the potential impacts of hazardous event, while evacuation plans aim to ensure the safe and efficient evacuation of people. This study aims to contribute to DRR actions by conducting a multi-hazard risk assessment and creating simulations of evacuation process in Vulcano Island, Italy.

The multi-hazard risk assessment involved the impacts from tephra fallout and Volcanic Ballistic Projectiles (VBP) on the road network, using the ADVISE methodology proposed by Bonadonna et al. (2021), following the semi-quantitative approach. To facilitate adequate comparisons and ensure homogeneity in the expected effects, this study proposes a four-level scale to assign comparable scores to the hazards, separating impacts into physical and functional to better relate to the vulnerability dimension of the analysed element. The results include three maps, with the VBP risk map indicating higher risk than tephra fallout map, due to almost 80% of the roads were classified with the highest hazard level, meaning energies > 2750. The multi-hazard risk map highlights the road connection to Lenita and the first ~300 metros of the road from Piano to Gelso with the highest risk level. It is worthy to pay attention to these roads, since they are the unique alternative to connect the Lentia and Gelso areas with the rest of the island. Overall, the road towards Gelso deserves special alertness given its connection to the southernmost port on the island, that turns to be the safest one.

To support the short-term decisions, we use the Agent-Based Model (ABM) created by Bonadonna et al. (2022) to generate three different scenarios of evacuation. The first one, the Drill Scenario, was developed with the aim of validate the model, using the data collected in the drill evacuation performed on April 9, 2022, by the Department of Civil Protection. To this end, we added to new agents (*car* and *buses*) to replicate the exercise. As result, our simulation was 15 minutes faster than the drill (65 minutes vs 80 minutes). Many assumptions were made given the impossibility to monitor all the factors influencing the decisions of the participants during the drill day. Despite this, the model demonstrates to provide useful insights in evacuation dynamics close to real-life expectations. Therefore, once validate the model, we developed new two additional scenarios to assess the evacuation of about 1400 people in a mixed context (on foot, by car and by bus). Scenario 1 contemplates the evacuation of all inhabitants using only Porto Gelso, and Scenario 2 simulates a process utilizing both ports, Porto Gelso and Porto Levante. We obtained that the best alternative for Vulcano Island is to use two ports (Scenario 2) rather than using only one port (Scenario 1) with a difference of 90 minutes (349 minutes vs 259 minutes). After a sensibility analysis was evident that the walking speed is the most important factor, highlighting the needed of account to other alternatives such as cars and buses, and overall to try to ensure elderly people, children, and individuals with reduced mobility will not be evacuated by foot.

**Keywords:** *multi-hazard risk assessment, tephra fallout, VBP, ABM, evacuation model, Vulcano Island.*

# RESUME

---

Les éruptions volcaniques comptent parmi les aléas naturels les plus complexes et dangereux. Étant donné l'augmentation de la population mondiale au cours des dernières décennies, qui accroît le nombre de personnes exposées aux phénomènes naturels, les études de risque et la mise en œuvre de stratégies de réduction des risques sont devenues essentielles pour protéger les personnes et les biens contre les impacts perturbateurs des éruptions, entre autres. Les évaluations des risques à long terme et à court terme sont cruciales en matière de réduction des risques de catastrophe (RRC). L'évaluation des risques fournit des informations sur les impacts potentiels d'un événement dangereux, tandis que les plans d'évacuation visent à assurer l'évacuation sûre et efficace des personnes. Cette étude vise à contribuer aux actions de RRC en menant une évaluation des risques multi-aléas et en créant des simulations de processus d'évacuation sur l'île de Vulcano, en Italie.

L'évaluation des risques multi-aléas a porté sur les impacts des retombées de téphra et des projectiles balistiques volcaniques (PBV) sur le réseau routier, en utilisant la méthodologie ADVISE proposée par Bonadonna et al. (2021), suivant une approche semi-quantitative. Pour faciliter les comparaisons adéquates et assurer l'homogénéité des effets attendus, cette étude propose une échelle à quatre niveaux pour attribuer des scores comparables aux aléas, en séparant les impacts physiques et fonctionnels pour mieux relier la dimension de vulnérabilité de l'élément analysé. Les résultats comprennent trois cartes, la carte des risques de PBV indiquant un risque plus élevé que celle des retombées de téphra, car près de 80 % des routes ont été classées au niveau de risque le plus élevé, signifiant des énergies > 2750. La carte des risques multi-aléas met en évidence la connexion routière vers Lentia et les premiers ~300 mètres de la route de Piano à Gelso avec le niveau de risque le plus élevé. Il est important de prêter attention à ces routes, car elles sont la seule alternative pour connecter les zones de Lentia et de Gelso au reste de l'île. Dans l'ensemble, la route vers Gelso mérite une vigilance particulière en raison de sa connexion au port le plus au sud de l'île, qui se révèle être le plus sûr.

Pour soutenir les décisions à court terme, nous utilisons l'*Agent-Based Model* (ABM) créé par Bonadonna et al. (2022) pour générer trois scénarios d'évacuation différents. Le premier, le scénario de simulation, a été développé dans le but de valider le modèle, en utilisant les données collectées lors de l'exercice d'évacuation réalisé le 9 avril 2022 par le Département de la Protection Civile. À cette fin, nous avons ajouté de nouveaux agents (voitures et bus) pour répliquer l'exercice. En conséquence, notre simulation a été 15 minutes plus rapide que l'exercice (65 minutes contre 80 minutes). De nombreuses hypothèses ont été formulées en raison de l'impossibilité de surveiller tous les facteurs influençant les décisions des participants le jour de l'exercice. Malgré cela, le modèle montre qu'il peut fournir des informations utiles sur la dynamique de l'évacuation proches des attentes de la vie réelle. Une fois le modèle validé, nous avons développé deux nouveaux scénarios supplémentaires pour évaluer l'évacuation d'environ 1400 personnes dans un contexte mixte (à pied, en voiture et en bus). Le scénario 1 envisage l'évacuation de tous les habitants en utilisant uniquement Porto Gelso, tandis que le scénario 2 simule un processus utilisant les deux ports, Porto Gelso et Porto Levante. Nous avons constaté que la meilleure alternative pour l'île de Vulcano est d'utiliser deux ports (scénario 2) plutôt que d'utiliser un seul port (scénario 1) avec une différence de 90 minutes (349 minutes contre 259 minutes). Après une analyse de sensibilité, il est évident que la vitesse de marche est le facteur le plus important, soulignant la nécessité de tenir compte d'autres alternatives telles que les voitures et les bus, et surtout de s'assurer que les personnes âgées, les enfants et les personnes à mobilité réduite ne soient pas évacuées à pied.

**Mots-clés :** évaluation des risques multi-aléas, téphra, PBV, ABM, modèle d'évacuation, île de Vulcano