

## Sujet de Stage Master/Ingénieur en Géochimie Marine

### **Titre:**

Traçage isotopique de l'impact du volcanisme sous-marin sur le cycle biogéochimique du Fer dans la colonne d'eau: étude de cas du volcan sous-marin Fani Maoré au large de Mayotte

**Tuteur:** Olivier Rouxel

**Affiliation:** Equipe CYBER (CYcles Biogéochimiques Et Ressources aux interfaces océaniques)  
UMR Geo-Ocean

### **Lieu du stage:**

Ifremer, Centre de Brest  
Technopole Brest Iroise  
29280 Plouzané - France

### **Résumé:**

Suite à la crise sismique qui a touché l'île de Mayotte (ouest de l'océan Indien) depuis début 2018, un événement magmatique à l'échelle de la lithosphère a entraîné la formation d'un nouvel édifice volcanique en haute mer (~2500 m), Fani Maoré, à environ 50 km à l'est de l'île. Il s'agit de la plus grande éruption sous-marine jamais documentée et offre une opportunité unique de mieux comprendre l'impact global du volcanisme sous-marin sur les cycles biogéochimiques des océans. L'objectif principal du projet de recherche proposé est d'identifier les sources et quantifier les processus impliqués dans la distribution du fer le long de la colonne d'eau impactée par l'activité volcanique sous-marine. Nous proposons d'étudier la composition isotopique du fer des fractions dissoutes et particulaires, couplée à l'étude des concentrations en Fe, Mn, P, Al et des données océanographiques déjà disponibles. Un bilan de masse isotopique sera réalisé afin de discuter des différentes contributions magmatiques vs hydrothermales impliquées dans les anomalies géochimiques détectées dans le panache en fonction de la distance aux sources magmatiques.

### **Problématique**

Le volcanisme sous-marin représente environ 85 % du volcanisme terrestre mondial (White et al., 2015) et joue un rôle essentiel dans l'échange de chaleur et d'espèces chimiques entre l'eau de mer et la croûte océanique. Il est notamment responsable du transfert des éléments volatils et constitue ainsi le principal mécanisme responsable de la libération du carbone stocké en profondeur vers la surface au cours des temps géologiques (Baker et al., 2012). Les rares études des signatures géochimiques de la colonne d'eau des éruptions sous-marines ont montré des différences assez marquées d'un site à l'autre mais présentent généralement des augmentations de gaz volatils magmatiques ( $^3\text{He}$ ,  $\text{CO}_2$ ), des enrichissements en  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  et  $\text{H}_2\text{S}$ , des diminutions de pH par ajout de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  et d'acidité minérale ( $\text{H}^+$ ), et les rejets de métaux (e.g. Fe, Mn) (Resing et al., 2007; Buck et al., 2018). Les panaches éruptifs sous-marins peuvent aussi transporter des particules avec des vitesses de sédimentation lentes sur de grandes échelles spatiales et ainsi fournir des nutriments essentiels (Fe, P) affectant la productivité biologique de surface (Santana-Casiano et al., 2013; Lee et al., 2018).

Cependant, nous ne comprenons pas clairement comment une éruption sous-marine interagit avec la colonne d'eau sus-jacente. Cette compréhension est également biaisée par le fait que nous ne disposons que d'observations limitées de la structure du panache éruptif

sous-marin et du transport des produits volcaniques dans l'océan par ces panaches. De même, comprendre l'impact du volcanisme sous-marin au cycle du Fe, élément considéré comme bio-limitant dans les océans (Martin and Fitzwater, 1988), nécessite une bonne compréhension des processus mis en jeu dans sa solubilisation et son export.

Suite à la crise sismique qui a touché l'île de Mayotte (ouest de l'océan Indien) depuis début 2018, un événement magmatique à l'échelle de la lithosphère a entraîné la formation d'un nouveau volcan en haute mer (~2500 m), Fani Maoré, à environ 50 km à l'est de l'île (Berthod et al., 2021; Feuillet et al., 2021). Il s'agit d'un édifice volcanique de 820 m de haut et d'environ 5 km<sup>3</sup> formé par le drainage d'une chambre magmatique localisée à plus de 55 km de profondeur. Il s'agit de la plus grande éruption sous-marine jamais documentée et offre une opportunité unique de mieux comprendre l'initiation des interactions eau-roche et les flux géochimiques dans les océans profonds. Les études que nous avons menées depuis 2018 sur le panache éruptif dans la colonne d'eau ont montré une variabilité spatiale et temporelle de la chimie de la colonne d'eau au-dessus du volcan, notamment au niveau des gaz dissous, des concentrations de métaux traces et des paramètres physico-chimiques (Mastin et al., 2023).

### **Objectif du projet**

L'objectif principal du projet de recherche proposé est d'identifier les sources et quantifier les processus impliqués dans la distribution du fer le long de la colonne d'eau impactée par l'activité volcanique sous-marine découverte au large de Mayotte (Mastin et al., 2023). Il s'agit en particulier de tester l'hypothèse que les fortes concentrations de Fe total soluble supérieures à 500 nM mesurées dans la colonne d'eau proviendraient de l'apport de Fe<sup>2+</sup> dissous issu des interactions eau-roche en condition hydrothermale, plutôt que de l'éjection de cendres volcaniques (pyroclastes) lors de la mise en place des laves en fond de mer. Pour tester cette hypothèse, nous proposons d'étudier la composition isotopique du Fe des fractions dissoutes, particulaires, et total dissolvables couplée à l'étude des concentrations en Fe, Mn, P, Al et des données océanographiques déjà disponibles.

Au cours des dernières années, les analyses isotopiques du fer dans l'eau de mer sont devenues un outil innovant pour diagnostiquer les sources de fer dans l'océan et retracer les processus biogéochimiques (Conway and John, 2014; Chever et al., 2015; Fitzsimmons and Conway, 2023) (Rouxel and Auro, 2010; Abadie et al., 2017; Rouxel et al., 2018). Dans ce projet, la systématique des isotopes du Fe sera étudiée sur un ensemble de profils hydrographiques réalisés autour du volcan Fani Maore lors de la campagne Geo-Flamme (DOI 10.17600/18001297) en avril-mai 2021. L'analyse conjointe des compositions isotopiques du Fe sur la phase dissoute, particulaire et total dissolvable permettra de discuter des effets de changement de spéciation physique (dissous/particulaires), et chimique (Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>) et des contributions magmatiques vs. hydrothermales impliquées dans les anomalies chimiques de Fe détectées dans le panache. Les signatures géochimiques des échantillons d'eau de mer (ex  $\delta^{56}\text{Fe}$ , Fe/Mn) seront aussi comparées à celles des sources hydrothermales identifiées sur le volcan lors de la campagne Geo-Flamme (Rouxel O et al., 2023) et des autres volcans sous-marins étudiés dans d'autres contextes géologiques (Rouxel et al., 2018). Enfin, ces données obtenues à différentes profondeurs et distance du volcan permettront d'établir un bilan de masse isotopique sur l'export du Fe dans l'océan. Cette étude apportera ainsi de nouvelle connaissance dans la contribution du volcanisme sous-marin au cycle du Fe océanique.

## Méthodologie

Ce projet impliquera un travail analytique important utilisant le MC-ICPMS Neptune au sein du PSO de Brest (<https://en.pso-brest.org/>) et des expérimentations en laboratoire ultra-traces (salle blanche) pour séparer le Fe des échantillons d'eau de mer récoltées lors de la campagne Geo-Flamme. La méthodologie suivra les protocoles déjà établis au laboratoire (Rouxel and Auro, 2010; Chever et al., 2015) avec la mise en oeuvre de la technique du double spike pour assurer la correction du biais de masse instrumental (Lacan et al., 2008).

## Profil du candidat recherché

Formation de niveau master ou ingénieur en géochimie, océanographie chimique et chimie analytique (master en géosciences, master en océanographie, école d'ingénieur avec option master en sciences de l'environnement). Une expérience avec les techniques de chromatographie, de géochimie isotopique et de spectrométrie de masse serait un plus.

## Référence

- Abadie, C., Lacan, F., Radic, A., Pradoux, C., Poitrasson, F., 2017. Iron isotopes reveal distinct dissolved iron sources and pathways in the intermediate versus deep Southern Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(5): 858-863.
- Baker, E.T., Chadwick, W.W., Cowen, J.P., Dziak, R.P., Rubin, K.H., Fornari, D.J., 2012. Hydrothermal Discharge During Submarine Eruptions: The Importance of Detection, Response, and New Technology. *Oceanography*, 25(1): 128-141.
- Berthod, C., Médard, E., Bachèlery, P., Gurioli, L., Di Muro, A., Peltier, A., Komorowski, J.-C., Benbakkar, M., Devidal, J.-L., Langlade, J., Besson, P., Boudon, G., Rose-Koga, E., Deplus, C., Le Friant, A., Bickert, M., Nowak, S., Thinon, I., Burckel, P., Hidalgo, S., Kaliwoda, M., Jorry, S.J., Fouquet, Y., Feuillet, N., 2021. The 2018-ongoing Mayotte submarine eruption: Magma migration imaged by petrological monitoring. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 571: 117085.
- Buck, N.J., Resing, J.A., Baker, E.T., Lupton, J.E., 2018. Chemical Fluxes From a Recently Erupted Shallow Submarine Volcano on the Mariana Arc. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 19(5): 1660-1673.
- Chever, F., Rouxel, O., Croot, P.L., Ponzevera, E., Wuttig, K., Auro, M., 2015. Total dissolvable and dissolved iron isotopes in the water column of the Peru upwelling regime. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 162: 66–82.
- Conway, T.M., John, S.G., 2014. Quantification of dissolved iron sources to the North Atlantic Ocean. *Nature*, 511(7508): 212-216.
- Feuillet, N., Jorry, S., Crawford, W.C., Deplus, C., Thinon, I., Jacques, E., Saurel, J.M., Lemoine, A., Paquet, F., Satriano, C., Aiken, C., Foix, O., Kowalski, P., Laurent, A., Rinnert, E., Cathalot, C., Donval, J.-P., Guyader, V., Gaillot, A., Scalabrin, C., Moreira, M., Peltier, A., Beauducel, F., Grandin, R., Ballu, V., Daniel, R., Pelleau, P., Gomez, J., Besançon, S., Geli, L., Bernard, P., Bachelery, P., Fouquet, Y., Bertil, D., Lemarchand, A., Van der Woerd, J., 2021. Birth of a large volcanic edifice offshore Mayotte via lithosphere-scale dyke intrusion. *Nature Geoscience*, 14(10): 787-795.
- Fitzsimmons, J.N., Conway, T.M., 2023. Novel Insights into Marine Iron Biogeochemistry from Iron Isotopes. *Annual Review of Marine Science*, 15: 383-406.

- Lacan, F., Radic, A., Jeandel, C., Poitrasson, F., Sarthou, G., Pradoux, C., Freydier, R., 2008. Measurement of the isotopic composition of dissolved iron in the open ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 35(24).
- Lee, C.-T.A., Jiang, H., Ronay, E., Minisini, D., Stiles, J., Neal, M., 2018. Volcanic ash as a driver of enhanced organic carbon burial in the Cretaceous. *Scientific Reports*, 8(1): 4197.
- Martin, J.H., Fitzwater, S.E., 1988. Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic. *Nature*, 331(6154): 341-343.
- Mastin, M., Cathalot, C., Fandino, O., Giunta, T., Donval, J.-P., Guyader, V., Germain, Y., Scalabrin, C., Dehez, S., Jouenne, S., Gaucher, E.C., Rouxel, O., Rinnert, E., 2023. Strong geochemical anomalies following active submarine eruption offshore Mayotte. *Chem. Geol.*, 640: 121739.
- Resing, J.A., Lebon, G., Baker, E.T., Lupton, J.E., Embley, R.W., Massoth, G.J., Chadwick, W.W., De Ronde, C.E.J., 2007. Venting of acid-sulfate fluids in a high-sulfidation setting at NW rota-1 submarine volcano on the mariana arc. *Economic Geology*, 102(6): 1047-1061.
- Rouxel O, Giunta T, Cathalot C, Mastin M, Manoux M, Jaudon P, Guyader V, Donval J.P, Germain Y, Mazéas F, Rinnert E, 2023. Geochemical and iron isotopic study of low-temperature hydrothermal fluids and deposits at Mayotte submarine volcanic system. *Goldschmidt Conference: Paper 20199*.
- Rouxel, O., Toner, B., Germain, Y., Glazer, B., 2018. Geochemical and iron isotopic insights into hydrothermal iron oxyhydroxide deposit formation at Loihi Seamount. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 220: 449-482.
- Rouxel, O.J., Auro, M., 2010. Iron Isotope Variations in Coastal Seawater Determined by Multicollector ICP-MS. *Geostand. Geoanal. Res.*, 34(2): 135-144.
- Santana-Casiano, J.M., González-Dávila, M., Fraile-Nuez, E., de Armas, D., González, A.G., Domínguez-Yanes, J.F., Escáñez, J., 2013. The natural ocean acidification and fertilization event caused by the submarine eruption of El Hierro. *Sci Rep*, 3: 1140.
- White, J.D.L., Schipper, C.I., Kano, K., 2015. Chapter 31 - Submarine Explosive Eruptions. In: Sigurdsson, H. (Ed.), *The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition)*. Academic Press, Amsterdam, pp. 553-569.