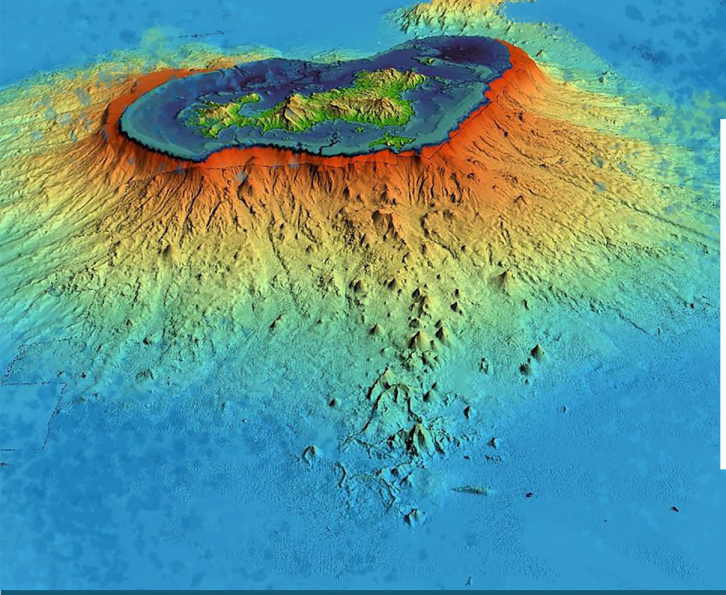


Bulletin mensuel

Mars 2025

ISSN 2680 – 1205

Bulletin de l'activité sismo-volcanique à Mayotte

Évolution au cours du dernier mois

- Entre le 1er et le 31 mars 2025, 326 séismes Volcano-Tectoniques (VT ; séismes dont la gamme de fréquence est la plus large, de 2Hz à 40Hz), 108 séismes Longue Période (LP ; basse fréquence, entre 0,5 et 5 Hz) et 6 séismes Très Longue Période (VLP ; très basse fréquence, entre 5 et 100 secondes) ont été détectés par le REVOSIMA. L'activité sismique principale est toujours concentrée à 5-15 km à l'est de Petite-Terre, à des profondeurs de 20-50 km.

- Depuis fin 2020, aucune déformation significative n'est enregistrée.

Évènement en cours : activité sismique en cours entre 5 et 50 km à l'Est de Mayotte et émissions de fluides sur la zone du Fer à Cheval. L'éruption de Fani Maore ne présente plus d'évolution avérée depuis MAYOBS17 (18/01/2021), les dernières preuves d'éruption active ayant été observées directement lors de la campagne MAYOBS15 le 22/10/2020. De plus, les différentiels bathymétriques réalisés entre les données de la campagne MAYOBS17 (17-01- au 06-02-2021) et celle de la campagne MAYOBS15 ont montré qu'il y avait en effet eu en plusieurs sites une addition de volume attribuée à une nouvelle émission de lave entre octobre 2020 et le 18 janvier 2021. Sur la base de l'arrêt soudain de signaux impulsionnels détectés par le réseau d'hydrophones, la fin de l'éruption pourrait dater du 04/12/2020 (*Lavayssière et al, 2024*).
Aucune hypothèse n'est pour l'instant écartée quant à l'évolution de la situation (arrêt définitif, reprise de l'activité éruptive sur le même site, reprise de l'activité éruptive sur un autre site), compte tenu de l'activité sismique persistante et d'émissions de fluides (dioxyde de carbone liquide d'origine magmatique) localisées dans la zone du Fer à Cheval, qui étaient toujours présentes lors de la dernière campagne en mer MAYOBS30 réalisée en septembre-octobre 2024.

Fani Maoré : latitude : -12,9108712° ; longitude : 45,7118940° ; hauteur : 817 (± 10) m (données issues de mesures acoustiques réalisées en 2019 et 2020 par le REVOSIMA) ; profondeur à la base du site éruptif : -3404 (± 43) m
Volume de magma érupté en date d'octobre 2021 : environ 6,55 km^3
Fer à Cheval : latitude : -12,823248° ; longitude : 45,384717° ; profondeur : env. -1500 m

Global Volcanism Report Smithsonian Institution, catalogue des volcans du monde : Mayotte : numéro 233005 ; https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=233005)

Veille scientifique renforcée

Ce bulletin représente une synthèse des observations, mesures, et conclusions préliminaires sur l'activité sismo-volcanique enregistrée par le Réseau de surveillance Volcanologique et Sismologique de Mayotte (REVOSIMA) qui s'appuie sur les données des stations de mesures à terre.

L'IPGP et le BRGM assurent la coordination et le pilotage du REVOSIMA. La surveillance opérationnelle de l'activité sismo-volcanique est réalisée par l'IPGP (OVPF) en co-responsabilité avec le BRGM et en étroite association avec l'IFREMER et le CNRS. Le REVOSIMA est soutenu par un consortium scientifique avec l'ITES (Institut Terre et Environnement de Strasbourg) et le RENASS-BCSF, l'IRD, l'IGN, l'ENS, l'Université de Paris, l'Université de la Réunion, l'Université Clermont Auvergne, LMV et l'OPGC, l'Université de Strasbourg, l'Université Grenoble Alpes et ISTerre, l'Université de La Rochelle, l'Université de Bretagne Occidentale, l'Université Paul Sabatier, Toulouse et le GET-OMP, GéoAzur, le CNES, Météo France, le SHOM, les TAAF, et collaborateurs. Les données de ce réseau sont produites par ce consortium de partenaires scientifiques financés par l'État.

Depuis le début de la crise en mai 2018, l'État adapte en continu, les mesures de surveillance et de prévention pour faire face à ce phénomène géologique exceptionnel qui impacte la population mahoraise et plus largement cette partie de l'océan indien.

Ce bulletin mensuel est distribué publiquement. Les informations dans ce bulletin sont à usage d'information, de pédagogie et de surveillance. Elles ne peuvent pas être utilisées à des fins de publications de recherche sans y faire référence explicitement et sans autorisation du comité de suivi de la surveillance du REVOSIMA. Les données sismiques sont distribuées par l'IPGP (Centre de données : http://datacenter.ipgp.fr/ et http://volobsis.ipgp.fr/data.php) et par les Services Nationaux d'Observations du CNRS-INSU. Les données GPS sont distribuées par l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN : http://mayotte.gnss.fr/donnees). Les données acquises lors des campagnes océanographiques seront distribuées par l'IFREMER, les autres données géologiques et géochimiques seront diffusées par le REVOSIMA et ses partenaires.

Un bulletin automatique préliminaire d'activité du REVOSIMA, relatif aux activités de la veille, validé par un.e analyste, est publié depuis le 17 mars 2020 quotidiennement. Il est accessible directement sur ce lien :
http://volcano.ipgp.fr/mayotte/Bulletin_quotidien/bulletin.html

Résumé détaillé

1. L'île volcanique de Mayotte est l'une des quatre îles de l'archipel volcanique des Comores, située dans le Canal du Mozambique entre Madagascar et l'Afrique. Depuis environ 20 millions d'années, le volcanisme sur Mayotte a produit une grande diversité de reliefs et de produits volcaniques. Les lithologies observées sont des empilements de coulées de basaltes, de néphélinites et de téphrites, des dômes phonolitiques et des dépôts pyroclastiques (*Nehlig et al., 2013*). Les laves ont une composition chimique fortement alcaline pauvre en silice au sud (environ 10 Ma) et modérément sous-saturée en silice au nord (environ 4 Ma ; *Debeuf, 2004, Pelleter et al., 2014*). L'activité volcanique s'est poursuivie au Quaternaire récent (≤12 000 ans) comme le montrent les morphologies volcaniques peu érodées au nord-est de Mayotte et sur Petite-Terre. Des éruptions explosives au nord-est de Mayotte et sur Petite-Terre ont produit de nombreux cônes de scories présents autour de Mamoudzou (Grande-Terre) et de Dzaoudzi, Labattoir, Pamandzi (Petite-Terre), et les maars (formés lors de l'interaction explosive entre l'eau de mer et le magma) et tuff-cones de Kavani et de Kawéni (Grande-Terre) et de Moya, La Vigie et Ndziani (Petite-Terre). Les dépôts pyroclastiques à cendres et ponces d'origine phréatomagmatique recouvrent des basaltes vacuolaires datés à 150 000 ans B.P. (*Debeuf, 2004*). La présence de niveaux de cendres volcaniques dans les sédiments datés du lagon, indiquerait que la dernière activité volcanique et explosive à terre aurait eu lieu avant 7305 ± 65 Cal BP (*Zinke et al., 2003 ; 2005) et probablement* entre 4000 et 6000 ans (*Zinke et al., 2000*). De nombreux cônes sous-marins sont présents également sur la pente insulaire de Mayotte (*Audru et al., 2006*) et tout particulièrement le long d'une chaine volcanique orientée NO-SE (*Feuillet et al., 2021*).

2. L'archipel des Comores se situe dans une région sismique considérée comme modérée. Depuis mai 2018, la situation volcano-tectonique a évolué. Une activité sismique affecte l'île de Mayotte depuis le début du mois de mai 2018 (*Lemoine et al., 2020*). Ces séismes forment deux essaims avec des épicentres regroupés en mer, entre 5 et 15 km à l'est de Petite-Terre pour l'essaim sismique proximal (le plus proche de Petite-Terre, nommé précédemment essaim principal), et à 25 km à l'est de Petite-Terre pour l'essaim sismique distal (le plus éloigné de Petite-Terre et qui s'étend le long de l'alignement de cônes volcaniques jusqu'au site éruptif, nommé précédemment essaim secondaire), à des profondeurs comprises majoritairement entre 25 et 50 km. La majorité de ces séismes est de faible magnitude, mais plusieurs évènements de magnitude modérée (max. M_w5.9 le 15 mai 2018) ont été fortement ressentis par la population et leur succession a endommagé certaines constructions (*rapport BCSF-RENASS juillet 2018*). **Depuis juillet 2018, le nombre de séismes a diminué mais une sismicité continue persiste. Celle-ci fluctue mais peut toujours générer des séismes de magnitudes proches de M4 ressentis à terre ; le dernier datant du 27 août 2024 (M4.9). Du 1er au 31 mars 2025, 326 séismes Volcano-Tectoniques (VT), 108 séismes Longue Période (LP) et 6 séismes Très Longue Période (VLP) ont été détectés par le REVOSIMA.**
La majorité des séismes LP a eu lieu lors d'essaims de quelques dizaines de minutes, et souvent associé à des signaux VLP. Ces signaux LP et VLP sont habituellement associés dans la littérature à des résonances et des mouvements de fluide (magmatique ou hydrothermal).

3. Les déplacements de surface mesurés entre le 1er juillet 2018 et fin 2020 par les stations GPS de Mayotte ont indiqué : a) un déplacement d'ensemble des stations GPS de Mayotte vers l'est d'env. 21 à 25 cm ; b) un affaissement (subsidence) d'environ 10 à 19 cm selon leur localisation sur l'île. Un ralentissement des déplacements a été observé en avril-mai 2019. **Depuis fin 2020 il n'y a plus de cohérence dans les signaux de déformation qui sont devenus trop faibles et ne sortent pas du bruit, il n'y a plus de signaux interprétables.** Les premières modélisations simples, utilisant une source unique isotrope localisée en un point, montrent que les déplacements des premiers mois de la crise pourraient être induits par la déflation d'un réservoir magmatique profond à l'est de Mayotte (note *Briole et al., 2018 ; bulletins mensuels 2018 OVPF/IPGP ; Peltier et al., 2022*). Aux données à terre, se rajoutent les données des capteurs de pression A-0-A qui sont installées sur le fond océanique sur le site de la Couronne et sur le site de référence localisé au nord des sites actifs (nord-est de Petite-Terre sur la pente de Mayotte). L'analyse préliminaire des différences de pression mesurées par les deux capteurs sous-marins de pression A-0-A lors de la mission MD246-MAYOBS30(16 septembre au 10 octobre 2024) suggère :

1) qu'il n'y a pas eu de déformation lente significative entre les deux sites distants d'environ 9,5 km (résidu < ~0.5 cm/an),
2) et qu'il n'y a pas eu de déformation transitoire pouvant correspondre à une activité de pulse magmatique ou de déformation tectonique, relative entre les deux sites. Si une déformation existe dans la zone, celle-ci affecte les deux sites de la même manière.

4. Du 02 au 18 mai 2019, une campagne océanographique (MD220-MAYOBS1 ; *Feuillet, 2019*) sur le N/O Marion Dufresne a permis la découverte d'un nouveau site éruptif sous-marin à 50 km à l'est de Mayotte qui a formé un édifice d'au moins 800 m de hauteur sur le plancher océanique situé à 3500 m de profondeur d'eau. Les campagnes suivantes (MD221-MAYOBS2 - 10-17 juin 2019 ; MD222-MAYOBS3 - 13-14 juillet 2019 ; et MD223-MAYOBS4 - 19-31 juillet 2019 ; Levés Mayotte du SHOM sur le BHO Beautemps-Beaupré, SHOM-MAYOBS5 - 20-21 août 2019 ; MAYOBS13-2 4-11 mai 2020 ; MAYOBS15 - 1-26 octobre 2020 ; MAYOBS17 - 17-21 janvier 2021 ; *Rinnert et al., 2019*) ont mis en évidence de nouvelles coulées de lave, au sud, à l'ouest et au nord-ouest du nouveau site éruptif, laissant supposer la présence de plusieurs points de sortie de lave dans la région du nouveau site éruptif. Depuis le mois d'août 2019, les nouvelles coulées de lave ont uniquement été observées à environ 6 km au nord-ouest du sommet du nouveau volcan par différentiel bathymétrique. Cette zone a été échantillonnée *in situ* pour la première fois lors de la campagne MAYOBS15 (*Rinnert et al., 2020*), en octobre 2020, et les premières images de lave incandescente sur une coulée active au nord-ouest du sommet du volcan ont été prises avec le SCAMPI (caméra tractée près du fond). La signature éruptive et magmatique des signaux géochimiques au niveau des nouvelles coulées de l'édifice volcanique se manifeste par des concentrations élevées en méthane (CH_4) dissous, dioxyde de carbone (CO_2), dihydrogène (H_2), et des anomalies marquées en turbidité et Manganèse Total Dissolvable (TdMn). Lors des campagnes de surveillance MAYOBS18 (du 09 au 13 avril 2021 ; *Rinnert et al., 2021a*) et MAYOBS19 (du 27 mai au 01 juin 2021 ; *Rinnert et al., 2021b*), aucune évolution morphologique majeure n'a été mise en évidence dans la zone des coulées au nord-ouest du nouveau volcan. **Lors des quatre dernières campagnes sur site, MAYOBS21 (13 septembre au 4 octobre 2021 ; *Rinnert et al., 2021c*), MAYOBS23 (9 au 22 juillet 2022 ; *Jorry et al., 2022*), MD242-MAYOBS25 (11 au 28 septembre 2023 ; *Thinon et Lebas, 2023*) et MAYOBS30 (16 septembre au 10 octobre 2024 ; *Komorowski et Paquet, 2024*), à nouveau, aucune nouvelle coulée de lave n'a été mise en évidence via le sondeur multifaisceaux coque.**

5. La structure volcanique du Fer à Cheval, située à l'aplomb de l'essaim sismique proximal (le plus proche de Petite-Terre, nommé précédemment essaim principal ; 5-15 km à l'Est de Petite-Terre), est une structure préexistante à l'éruption sous-marine de Fani Maoré, dont l'âge de la mise en place reste à déterminer. Cette structure fait partie de la chaîne volcanique sous-marine orientale de Mayotte qui est constituée d'un grand nombre d'édifices volcaniques, actuellement d'âge inconnu, qui se sont formés à la suite de nombreuses éruptions qui témoignent d'une activité volcanique passée intense et de styles éruptifs diversifiés. Cette chaîne s'étend d'ouest en est sur une distance d'environ 50 km, depuis les anciens volcans de Petite-Terre jusqu'au site du nouveau volcan actif. Des panaches acoustiques associés à des anomalies géochimiques ont été détectés dans la colonne d'eau au-dessus de cette structure du Fer à Cheval (FAC). La hauteur des panaches acoustiques peut atteindre 1000 m et ils sont visibles jusqu'à 500 m de la surface de la mer. La chronologie de l'observation par acoustique des sites actifs d'émission de fluides sur la zone du Fer à Cheval suit le schéma suivant : sites A0 et B0 depuis mai 2019, site C0 depuis août 2019, sites D0 et E0 depuis mai 2020, sites C1 et F0 actifs depuis octobre 2020 en simultané à une expansion vers le nord-ouest des sites A0 et B0 (observation des nouveaux sites B1, A1 et A2), sites G0, D1, C2+C3 et C4 entre janvier et mai 2021, site H0 observé le 10 juillet 2021. Le site actif I0 a été observé le 20 septembre 2021 lors de la couverture acoustique de surveillance du Fer à Cheval pendant la campagne MAYOBS21(*Rinnert et al., 2021c*) ainsi que les sites D2 et C5 en analyse à terre post-campagne. Le site J0, situé au sud à l'extérieur du Fer à Cheval a été identifié au cours de la campagne MD239-MAYOBS23 (*Jorry et al., 2022*) le 10 juillet 2022. L'analyse détaillée post-campagne des données acoustiques colonne d'eau acquises pendant MAYOBS23 révèle l'observation de deux nouveaux sites en plus du site J0 : I1 à environ 240 m au sud-ouest du site I0 et D3 sur le flanc intérieur est. **Enfin un nouveau site actif d'émission nommé K0 a été observé, à proximité du site H, dans le prolongement du flanc ouest du Fer à Cheval lors de la dernière campagne en mer MD242-MAYOBS25 (*Thinon et Lebas, 2023*) pour un total de 23 sites identifiés à la fin de la campagne MAYOBS25 (septembre 2023). L'analyse préliminaire des données acquises lors de MD2426-MAYOBS30 a permis d'identifier sans ambiguïté la continuité de l'activité d'émission de fluides de 17 sites déjà observés pendant les campagnes antérieures à savoir A0, A1, A2, B0, B1, C0, C1, C2+C3, C5, D0, D1, E0, G0, H0,**

I1, J0. Aucun nouveau panache excentré hors du FAC n'a pu être identifié. Une plongée SCAMPI dans le Fer à Cheval a confirmé qu'il y a toujours de nombreux amas d'hydrate de CO_2, certains de taille métrique, dans la zone B du Fer à Cheval et des sites avec des fontaines actives de gouttelettes de CO_2 liquide. Une analyse plus fine est en cours. L'évolution de la zone C, constituée de six sites actifs (C0 à C5), est plus significative. **Les panaches acoustiques de la zone C augmentent en intensité et en étendue, à l'exception du panache acoustique du site C4.** L'activité des panaches acoustiques de sites excentrés (E0, H0 et J0) ou situé au centre (G0) du Fer à Cheval est au moins stable ou en augmentation. Pendant la campagne MAYOBS30, les panaches acoustiques associés à 5 sites actifs de faible intensité n'ont pas été observés (analyse préliminaire). Ces sites, plus récents, sont localisés sur le flanc intérieur NE et Est (sites D2 et D3, zone D, et site F0), sur la partie nord (site I0, zone I) et sur un dôme de phonolite au NO (site K0) du Fer à Cheval. **L'activité de ces sites reste à déterminer à partir d'une analyse plus approfondie : soit le signal est trop faible pour être détecté ou inexistant soit l'activité des sites adjacents s'est intensifiée rendant leur discrimination spatiale difficile.** Comme par le passé, dans certaines conditions (courants faibles, marée à l'étale, mortes eaux et faibles coefficients de marée), certains panaches acoustiques les plus actifs atteignent une **profondeur minimale de 350 m sous la surface de la mer (soit parfois plus de 1000 m de hauteur depuis le fond marin)**. Le sommet du panache acoustique du site actif **B0 a pu être détecté à une immersion de 250 m** de la surface à partir de données du monofaisceau EK80-38 kHz pendant la plongée SCAMPI n°04. Ces observations en temps réel sont similaires à celles réalisées lors de MAYOBS25.

Les panaches acoustiques et géochimiques restent donc fortement actifs dans la zone du Fer à Cheval. Les signatures géochimiques sont également très marquées mais suggèrent des sources ou des processus différents de ceux de la zone du nouveau volcan**. Les fluides émis en fond de mer et collectés lors des campagnes MAYOBS la campagne GEOFLAMME sont composés majoritairement de dioxyde de carbone CO_2 (99,0 ± 0,3 $\%_{vol}$), avec une faible contribution de méthane CH_4 (0,8 ± 0,2 $\%_{vol}$) et de dihydrogène H_2 (10 à 1000 ppm_{vol}) (*Mastin et al., 2023, Cathalot et al., in review, Heumann et al., in review*). La signature isotopique du carbone stable (^{13}C) montre que le CO_2 est d'origine mantellique et suggère que le CH_4 est quant à lui d'origine abiotique, bien qu'une contribution mixte biogénique/thermogénique (i.e. issue d'une transformation de matière organique) ne puisse être complètement exclue. L'hélium et sa signature isotopique ($^3He/^4He$) mesurés sur les panaches indiquent une source mantellique, confirmant l'origine magmatique profonde des fluides, obtenue avec les isotopes stables du carbone. Les signatures élémentaires et isotopiques des différents gaz constituant les fluides émis au niveau du Fer à Cheval sont similaires aux gaz émis à terre au niveau de Petite-Terre.** La poursuite des analyses des panaches en mer permettra d'observer l'évolution spatiale et temporelle du processus en cours.

Les mesures des propriétés physico-chimiques de la colonne d'eau entre 0 et 1250 m de profondeur sont suivies depuis le 17 septembre 2021 par un planeur autonome sous-marin également appelé glider. Entre le 1er le 31 mars 2025, le SeaExplorer a été déployé sur l'intégralité de la zone du Fer à Cheval. Il a effectué 84 multi-yos représentant plus de 370 heures d'acquisition de données dans la tranche d'eau de 800 à 1250 m d'immersion. Les anomalies acoustiques et de concentrations en gaz dissous (CH_4 et CO_2) sont du même ordre de grandeur que celles précédemment acquises dans la série long-terme. Les localisations de ces anomalies sont corrélables avec les sites d'émission de fluides connus.

6. En l'état actuel des connaissances, l'éruption a produit un volume estimé d'environ 6,55 km^3 de lave depuis le début de son édification (sans correction de la vésicularité très variable des laves émises). Selon les différents modèles et interprétations proposées à ce jour, l'éruption aurait pu débuter le 18 juin 2018 (modèle de *Cesca et al., 2020*), voire le 3 juillet 2018 (modèle de *Lemoine et al., 2020*). Sur une période de 10 mois (de juillet 2018 - début des déformations de surface enregistrées à Mayotte – au 18 mai 2019), le flux éruptif minimum moyen de lave a été d'environ 172-181 m^3/s sur une durée maximale de 320 à 336 jours. Depuis la découverte de l'édifice volcanique, quatre nouveaux points de sortie distants ont été identifiés et ont produit : 1) au sud environ 0,2 km^3 de lave en 30 jours (19 mai-17 juin 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 77m^3/s ; 2) à l'ouest environ 0,3 km^3 de lave en 43 jours (entre le 18 juin et le 30 juillet 2019) pour un flux minimum moyen de 81 m^3/s ; 3) au nord-ouest environ 0,08 km^3 de lave en 21 jours (entre le 31 juillet et le 20 août 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 44 m^3/s ; 4) au nord-ouest environ 0,8 km^3 de lave en

265 jours (entre le 21 août 2019 et le 11 mai 2020) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 35 m^3/s ; 5) au nord-ouest entre 0,1 à 0,2 km^3 de lave en 153 jours (entre le 11 mai et le 11 octobre 2020) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 11 m^3/s.
Lors des dernières campagnes, MAYOBS21 (13 septembre au 4 octobre 2021, *Rinnert et al., 2021c*), MAYOBS23 (9 au 22 juillet 2022 ; *Jorry et al., 2022*), MAYOBS25 (*Thinon et al., 2023*) et MAYOBS30 (*Komorowski et Paquet, 2024*), à nouveau, la présence de nouvelles coulées de lave n'a pas été mise en évidence. Depuis début 2021, l'éruption est probablement arrêtée mais aucune hypothèse n'est pour l'instant écartée quant à l'évolution de la situation à venir (arrêt définitif, reprise de l'activité éruptive sur le même site, reprise de l'activité éruptive sur un autre site), compte tenu de l'activité sismique persistante et d'émissions de fluides localisées sur le Fer à Cheval. Les volumes et flux éruptifs, notamment au début de la crise, ont été exceptionnels et ont été, malgré les incertitudes, parmi les plus élevés observés sur un volcan effusif depuis l'éruption du Laki (Islande) en 1783.

7. Des dégagements terrestres gazeux importants d'origine hydrothermale (majoritairement CO_2) et de faible température sont connus depuis de nombreuses années (au moins depuis 1998) sur l'estran de la plage de l'aéroport (sud Petite-Terre) et au sein du Lac Dziani. Depuis novembre 2020, une station de suivi en continu des émissions de CO_2 par le sol a été installée par l'OVPF/IPGP à proximité de la plage de l'aéroport. **Depuis l'installation de la station, une diminution progressive et ensuite une stabilisation des émissions de CO_2 par le sol (et de leur composition isotopique) est mesurée**. La composition chimique des gaz hydrothermaux riches en CO_2 (bullages) collectés dans le point de contrôle avec la série temporelle la plus longue (C1 - estran de l'aéroport) indique une tendance à la diminution progressive de l'apport des fluides profonds mantelliques depuis avril 2019. Cette diminution s'accompagne d'une baisse continue des températures d'équilibre des fluides au sein du système hydrothermal (environ 50°C). **La chimie du Dziani Dzaha montre une diminution régulière du pH entre novembre 2020 et décembre 2022 puis une stabilisation jusqu'à la dernière mission de juin 2024. Le $\delta^{13}C_{DIC}$ montre une chute brutale entre novembre 2020 et septembre 2021, une stabilisation jusqu'à fin 2022 et une baisse progressive depuis.**

8. Les réseaux de GPS (temps réel) et des sismomètres (à terre : temps réel ; et en mer : relevés tous les 3 à 4 mois) ont été renforcés depuis début 2019.

9. Les scientifiques restent mobilisés pour analyser et interpréter la multitude de données acquises au cours des derniers mois à terre et en mer. Compte tenu de l'absence d'observation de volcanisme historique et du peu de connaissance sur le fonctionnement de la ride NO-SE, de plus de 50 km de long, qui s'étend de Mayotte à la zone volcanique sous-marine active, une incertitude significative existe quant à l'évolution de cette éruption (migration de magma, durée et évolution de l'éruption en cours, nouveaux points de sortie de lave) et de l'activité associée (sismicité, déformation, dégazage).

Suite à des carottages, des données ont été acquises proche des côtes de l'île de Mayotte lors de la campagne MAYOBS19 (du 27 mai au 01 juin 2021 ; *Rinnert et al., 2021b*). Leur analyse va fournir de nouvelles informations sur le volcanisme historique de Mayotte en reconstruisant la chronologie et la succession des évènements volcaniques ayant eu lieu dans la région. Ces données permettront également de connaitre la stabilité de la pente sédimentaire est de Mayotte.

10. Les résultats des analyses de l'ensemble des laves échantillonnées par dragues à roches lors des campagnes océanographiques MD220-MAYOBS1, MD221-MAYOBS2 et MD223-MAYOBS4, MAYOSB15, MD234-MAYOBS21, MD239-MAYOBS23 (*Rinnert et al., 2019*) sur le site de l'éruption de Fani Maoré et sur d'autres sites volcaniques de la ride NO-SE qui s'étend de Mayotte à la zone volcanique sous-marine active, indiquent leur appartenance à une série magmatique d'alcalinité faible à modérée, caractéristique du volcanisme du nord de Mayotte. Elles montrent une variété compositionnelle, depuis les basanites (MAYOBS4-DR09) jusqu'aux phonolites (MAYOBS1-DR02, MAYOBS2-DR07, MAYOBS15-DR13, MAYOBS15-DR16, MAYOBS15-DR17), déjà connue dans les échantillons subaériens de Petite-Terre. Les produits échantillonnés par dragages sur le site volcanique actif correspondent majoritairement à des laves basiques (45< SiO_2 pds%<47), légèrement évoluées (basanites, 3,6<MgO pds%<5,3), avec des valeurs de porosité s'étalant de 14 à 50 % (*Berthod et al., 2021a, 2021b, 2022*). Leur composition chimique (analyses en roche totale) varie peu, qu'il s'agisse des formations initialement cartographiées en mai 2019 (MAYOBS1-DR01, MAYOBS4-DR10 et DR12), ou des coulées émises entre mai et juin 2019 (MAYOBS2-DR08), entre

juin et juillet 2019 (MAYOBS4-DR11), ainsi qu'entre août 2019 et octobre 2020 (MAYOBS15-DR14, DR15, DR18). Les dragages effectués dans la zone du Fer à Cheval et de la Couronne révèlent une production magmatique ancienne de composition variée, à dominante phonolitique mais avec aussi une composante basanitique, et un style éruptif à dominante explosive ayant produit la construction des nombreux cônes volcaniques sous-marins. **Les analyses en géochimie de roche totale des coulées de lave draguées à proximité du Fer à Cheval (DR36, DR37, DR38) lors de la campagne MD242-MAYOBS25 montrent des compositions de phonolites peu évoluées typiques de la majorité des phonolites échantillonnées dans la zone du Fer à Cheval. Les analyses en géochimie de roche totale des roches collectées lors de la campagne MAYOBS30 dans la zone du Fer à Cheval ou à proximité sont caractéristiques d'éruptions explosives mais aussi effusives ayant produit des compositions de phonolites évoluées ainsi que des phonolites classiques non évoluées, et au moins trois sites ayant produit des magmas basanitiques. Certains échantillons semblent avoir un âge récent mais d'autres sont plus anciens car recouverts d'une fine pellicule d'oxydes de manganèse. Les datations de ces roches sont en cours.**

11. La province volcanique sous-marine proche de l'ile de Mayotte représente un enjeu majeur dans la compréhension de l'aléa lié à la crise éruptive actuelle. L'analyse d'un échantillon de lave phonolitique très peu ou pas altérée et d'apparence très récente, qui provient de la drague MAYOBS2-DR07 prélevée dans la zone de l'essaim sismique proximal actif, à environ 15 km au sud-est de Petite-Terre (voir pour plus de détails le bulletin REVOSIMA N° 4) révèle les rapports de (dés)équilibres radioactifs suivants : équilibre ^{210}Po-^{210}Pb avec un rapport (Po/Pb) de 0,99 +/- 0,03, indifférenciable de 1 et un équilibre ^{210}Pb et ^{226}Ra avec là aussi, un rapport (Pb/Ra) de 0,99 +/- 0,03, indifférenciable de la valeur d'équilibre, selon les dernières analyses (octobre 2020). Si (au conditionnel) ces trois isotopes ^{210}Po, ^{210}Pb, ^{226}Ra ont été fractionnés au cours de l'évolution superficielle du magma (cristallisation et dégazage), alors ce fractionnement est plus vieux que 2,3 ans (d'après la période de 138 jours de ^{210}Po) et même plus vieux que 132 ans (d'après la période de 22 ans de ^{210}Pb). Des datations par la mesure du ^{230}Th sont donc nécessaires afin de tester s'il existe un déséquilibre ^{226}Ra-^{230}Th, ce qui permettrait - en cas de déséquilibre - de confirmer qu'il s'agit bien d'un magma récent de moins de quelques milliers d'années. Pour l'instant, l'âge de cette coulée reste inconnu. Une nouvelle datation sera aussi effectuée sur une ancienne coulée similaire et juxtaposant la coulée MAYOBS2-DR07 et qui a été échantillonnée lors de la campagne MAYOBS15 (DR13). Des datations sont en cours sur les produits explosifs anciens de la zone du Fer à Cheval échantillonnés dans les dragues MAYOBS15-DR16 et MAYOBS15-DR17, et celles des campagnes MAYOBS21 et MAYOBS23. Malgré les nombreuses questions scientifiques en suspens et des incertitudes intrinsèques à la compréhension des systèmes géologiques complexes, ces nouvelles données viendront combler petit à petit les lacunes de connaissance sur la nature, l'ampleur, la dynamique et la chronologie de l'activité de la province volcanique de Mayotte dont une très large partie a été mise en place en milieu sous-marin difficilement accessible.

12. L'analyse de toutes les données acquises depuis le début de l'activité sismo-volcanique en mai 2018 et en cours d'acquisition nécessite des travaux approfondis pour améliorer l'évaluation des aléas et des risques induits (sismique, volcanique, tsunami) pour Mayotte. Le programme d'étude est actualisé et renforcé au vu des nouveaux éléments de connaissances apportés par ces analyses.

Sismicité Régionale

Mayotte et l'archipel volcanique des Comores se situent dans une zone de sismicité modérée dans une région entre l'Est de l'Afrique et Madagascar marquée par la présence de différentes plaques tectoniques, dont les plaques Somalie et Lwandle. La caractérisation de la frontière entre ces deux plaques est encore l'objet de travaux, mais il a été proposé que l'archipel des Comores, où le volcanisme récent et la sismicité sont distribués (*Bertil et al., 2021 ; Thinon et al., 2022*), délimite une frontière de plaque immature entre les plaques Somalie et Lwandle (*Famin et al., 2020*). L'activité sismique de l'archipel reste encore peu connue car faiblement détectée par les réseaux sismiques existants. Des séismes régionaux peuvent être fortement ressentis à Mayotte (séismes de 2011, 2020 de magnitude 5.0) ou provoquer des dommages légers au bâti (séisme de 1993 et séisme historique de 1936 avec des intensités VI).
Le suivi mis en place par le REVOSIMA pour surveiller la zone d'essaims sismiques liés à l'activité sismo-volcanique autour de Fani Maoré, permet également de détecter des séismes hors de cette zone d'activité, qu'ils soient locaux ou régionaux (jusqu'à des magnitudes 2.5 pour les séismes les plus proches) et donc d'améliorer la connaissance de l'activité sismique autour de Mayotte.

Au cours du mois de mars 2025, 20 séismes régionaux ont pu être localisés (Figure 1). Le plus fort, le 27 mars, au Nord de la Ride de Davie, à 467 km à l'Ouest de Mayotte, avait une magnitude Ml=4.3.
11 séismes ont été détectés à moins de 150 km de Mamoudzou. Aucun n'est susceptible d'avoir été ressenti par la population mahoraise. Parmi eux, le séisme le plus fort, de magnitude Ml=2.5, a eu lieu le 28 mars en mer, au Nord de Mayotte, à 70 km de Mamoudzou, au voisinage des Jumelles (édifices sous-marins).

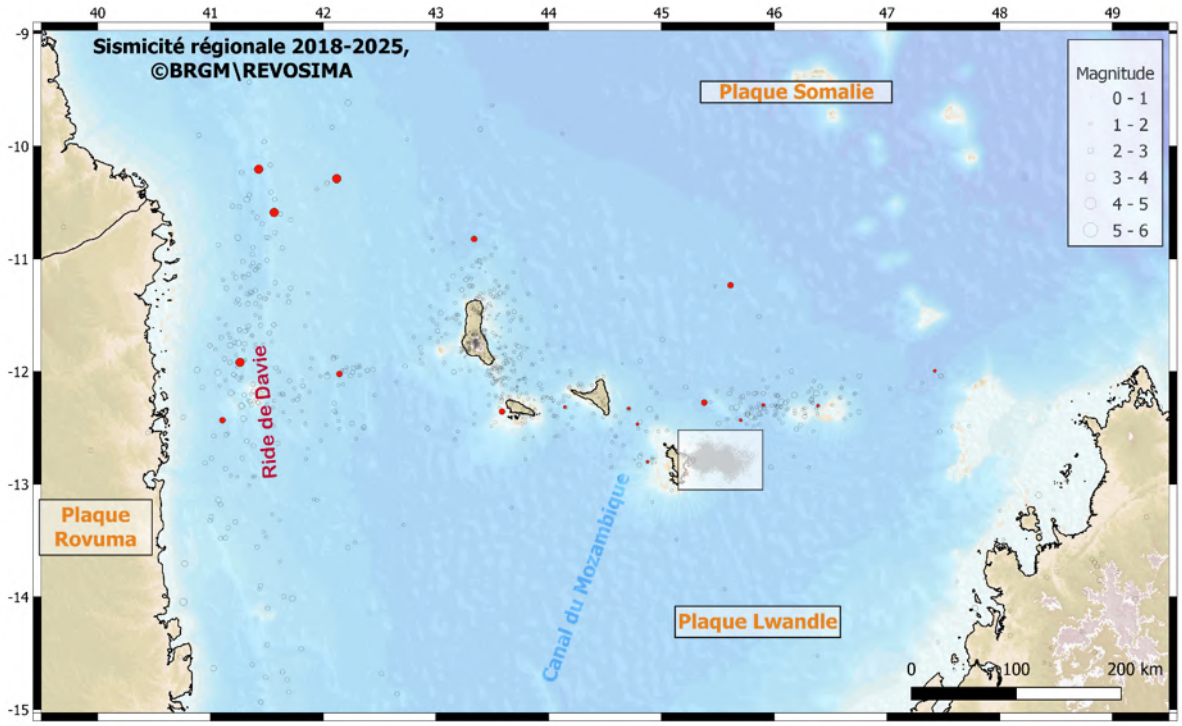


Figure 1: Sismicité régionale enregistrée depuis 2018 (modifié d'après Bertil et al., 2021). Les séismes de mars 2025 sont représentés en rouge. Le fond de carte est construit à partir des données topographiques et bathymétriques de Gebco 2022 (www.gebco.net). Le trait de côte et les frontières administratives sont extraits de https://gadm.org/ . Le carré blanc encadre les essaims sismiques surveillés depuis 2018. Se référer aux Figures 2 et 3 de ce bulletin pour la distribution de cette sismicité.

Sismicité locale

Depuis le 16 mai 2018, un point de situation sur l'activité sismique était publié par le BRGM (*https://www.brgm.fr/content/essaim-seismes-mayotte-points-situation*) dans le cadre du suivi de l'essaim sismique de Mayotte qu'il a assuré depuis cette date et jusqu'à la création du Réseau de surveillance Volcanologique et Sismologique de Mayotte (REVOSIMA). Le REVOSIMA a publié un bulletin bi-mensuel de l'activité entre août 2019 et février 2020. Dans le cadre du renforcement du suivi de l'activité sismo-volcanique et afin de proposer une information plus fréquente, le REVOSIMA publie depuis le 17 mars 2020, un bulletin automatique préliminaire de l'activité enregistrée la veille, sur un format court, issu de l'examen d'une analyste du REVOSIMA *:* *http://volcano.ipgp.fr/mayotte/Bulletin_quotidien/bulletin.html*. Ce bulletin quotidien est complété par un bulletin détaillé qui passe désormais à une fréquence mensuelle à partir de mars 2020.

L'analyse de la sismicité se base sur les données issues d'un réseau de stations à terre réparties dans la région de Mayotte dont les données sont analysées tous les jours et d'un parc de capteurs en mer (OBS : Ocean Bottom Seismometer) qui sont relevés après plusieurs semaines d'installation et dont les données sont accessibles en différé. Les données des stations à terre et des OBS sont fournies par l'ensemble des partenaires impliqués dans le suivi de la crise. Pour plus de précisions sur l'analyse de la sismicité, voir le bulletin n° 1 (https://www.ipgp.fr/fr/revosima/actualites-reseau)

Avec le recrutement de nouveaux personnels en 2020 dans le cadre de la pérennisation du REVOSIMA, des ressources humaines supplémentaires sont désormais dédiées au dépouillement sismique, ce qui a permis d'abaisser la magnitude minimale des séismes identifiés (magnitude de complétude). Il est désormais possible de mieux identifier les séismes de plus petites magnitudes < M1,5.
Jusqu'au 28 février 2021, le RENASS (Réseau national de surveillance sismologique) et le REVOSIMA utilisaient deux méthodes complémentaires et différentes pour détecter la sismicité observée à Mayotte. Le RENASS se basait sur des algorithmes de détection en temps réel, qui permettent une localisation automatique et rapide des évènements, mais qui nécessitent que les données arrivent en temps réel et que la magnitude des évènements soit suffisamment élevée pour avoir du signal sur toutes les stations de mesure. Les évènements détectés automatiquement étaient ensuite validés par les analystes du RENASS. Le REVOSIMA complétait ces détections par un examen manuel minutieux quotidien de l'ensemble des données. Cela permettait de détecter des évènements de plus petite magnitude seulement visibles sur les stations les plus proches des évènements et qui ne sont pas détectés automatiquement, mais aussi de travailler sur des données arrivées en temps différé. En contrepartie, toute cette information n'était rapportée que le lendemain dans le bulletin quotidien, après l'examen complet des données de la veille. En cas de séisme ressenti par la population, les données étaient analysées dès que possible par le REVOSIMA. L'ensemble des détections du RENASS était comptabilisé dans les détections du REVOSIMA qui établit et maintient un catalogue le plus complet possible. Ce catalogue est affiné et complété par les résultats des analyses des données des OBS (sismomètres de fond de mer) qui sont relevés lors des campagnes MAYOBS (https://campagnes.flotteoceanographique.fr/series/291/; *Rinnert et al., 2019* ; *Saurel et al., 2022*). Les localisations de la sismicité volcanique et tectonique enregistrées par le REVOSIMA en temps réel sont disponibles sur : https://renass.unistra.fr/fr/zones/mayotte/ et sur le bulletin quotidien du REVOSIMA.

Depuis le 1er mars 2021, un nouvel algorithme de détection et de localisation en temps-réel de la sismicité est en place au REVOSIMA et remplace les algorithmes précédemment utilisés par le RENASS (*Retailleau et al., 2022a ; 2022b*). Les localisations affichées par le RENASS sont donc désormais uniquement issues du REVOSIMA. Ce nouvel algorithme permet une localisation automatique plus fiable avant leur validation par les analystes. Il est également plus sensible et permet donc de localiser une plus grande proportion de la sismicité comptabilisée par le REVOSIMA. Les cartes de localisation affichent donc dorénavant plus d'évènements. Enfin, ce nouvel algorithme permet également la localisation d'une partie de la sismicité LP (basse fréquence), qui n'avait pas été localisée jusqu'alors. Tous les évènements détectés automatiquement restent validés par les analystes du REVOSIMA.
Ce nouvel algorithme se base sur une méthode d'intelligence artificielle à base de réseau de neurones reconnaissant les deux principales ondes d'un séisme (onde P et onde S). De plus, cet algorithme est associé

à un nouveau modèle de vitesse élaboré à partir de la sismicité enregistrée par les stations à terre et les OBS depuis mars 2019 (*Lavayssière et al., 2022*). Ces améliorations sont le résultat des travaux effectués en 2020 par deux chercheuses en contrats post-doctoraux financés par le REVOSIMA.

Entre le 1er et le 31 mars 2025, le Réseau de surveillance Volcanologique et Sismologique de Mayotte (REVOSIMA) a détecté, avec le réseau de stations terrestres, un total de 326 séismes Volcano-Tectoniques (VT ; séismes dont la gamme de fréquence est la plus large, de 2Hz à 40Hz), 108 séismes Longue Période (LP ; basse fréquence, entre 0,5 et 5 Hz) et 6 séismes Très Longue Période (VLP ; très basse fréquence, entre 5 et 100 secondes) localisés entre Mayotte et le volcan Fani Maoré à 50 km au sud-est de Mayotte (Figures 2, 3, 4, 5, 6 et 7, et Tableaux 1 et 2). A noter que l'installation d'une nouvelle station sur l'îlot de Mbouzi et un dépouillement plus fin de ses données à partir de mars 2023 a entraîné une augmentation du nombre de séismes détectés non liée à une augmentation de l'activité. De même, trois nouvelles stations ont été installées sur les îlots Handrema, Amiri et Mbouini en novembre 2024. Cela a aussi mené à une augmentation qui n'est pas liée à une évolution de l'activité mais à la détection d'événements de plus faible magnitude qui n'étaient pas identifiés auparavant. Ces installations permettent une meilleure détection et localisation des séismes.

Après une lente décroissance d'avril 2020 à début 2022, la sismicité s'est stabilisée avec des fluctuations dans la détection manuelle des séismes de faible magnitude dépendantes entre autres de la sensibilité propre à chaque opérateur et de la variabilité du bruit sur les stations, notamment pendant la journée. Les derniers séismes de plus forte magnitude (énergie), dont le dernier ressenti s'est produit le 27 août 2024 (M 4.9), ont eu lieu majoritairement dans l'essaim distal ou entre les deux essaims (l'essaim distal est le plus éloigné de Petite-Terre et s'étend le long de l'alignement de cônes volcaniques jusqu'au site de Fani Maoré ; Figure 2).

- **Sur le dernier mois, 108 séismes LP ont été enregistrés.** La majorité des séismes LP ont lieu lors d'essaims de quelques dizaines de minutes, parfois de manière répétée dans une journée ou sur quelques jours, et sont souvent associés à des signaux VLP (*Retailleau et al., 2022b*). **Pour le mois de mars 2025, 6 VLP ont été enregistrés**.
  Les séismes LP et VLP sont des signaux sismiques habituellement associés dans la littérature à des résonances et des mouvements de fluides (magmatique ou hydrothermal). Les signaux LP sont localisés à une dizaine de kilomètres à l'est de Petite-Terre dans la zone de l'essaim sismique le plus actif entre 25 et 40 km de profondeur, au même endroit que ceux localisés depuis février 2020. Des travaux sont en cours pour mieux comprendre ces signaux. La profondeur des VLP enregistrés entre février et avril 2019 a été estimée entre 30 et 40 km (*Feuillet et al., 2021*). Cependant, ils restent difficiles à localiser et analyser et font l'objet d'une étude spécifique en cours (*Thèse de doctorat d'A. Laurent, IPGP*).

Au total, 132 séismes ont pu être localisés manuellement (117 VT et 15 LP ; Figures 2 et 3), dont 22 VT de magnitude M2 à M3 et 1 VT de magnitude supérieure à M3. Ces séismes sont majoritairement localisés entre 0 et 30 km à l'est de Petite-Terre (Figures 2, 3, 4, 5, 6 et 7, Tableaux 1 et 2). Ce nombre de séismes localisables est relativement stable depuis fin 2022.

- **Ramené à des valeurs moyennes quotidiennes on note, entre le 1er et le 31 mars 2025, une moyenne de 4 séismes localisables par jour.**

Période du : 1er au 31 mars 2025 Sismicité volcano-tectonique (VT) enregistrée par le réseau terrestre et validée et localisée, excluant les détections automatiques non validées (entre parenthèse les chiffres pour la période du 1 au 28 février 2025 détectés selon le même protocole)	
Classe de magnitude	**Nombre de Séismes**
M < 1	35 (40)
M1 à M2	59 (63)
M2 à M3	22 (12)
M3 à M4	1 (2)
M4 à M5	0 (0)
M5 à M6	0 (0)
M1-M6	82 (77)
M>= 2	23 (14)

Tableau 1 : Répartition des séismes volcano-tectoniques (VT) et tectoniques (hors essaims) enregistrés, validés et localisés par le réseau terrestre par classe de magnitude du 1er au 31 mars 2025.

Total séismes >=3.5	Dont M >= 4.0	Dont M >= 4.5	Dont M >= 5.0	Dont M >= 5.5
2067	570	154	36	2

Tableau 2 : Comptage des séismes volcano-tectoniques (VT) et tectoniques (hors essaims) localisés de magnitude M>3,5 du 10 mai 2018 au 31 mars 2025 par classe de magnitude (base de données BRGM et REVOSIMA).

- De manière générale, malgré une contrainte sur les profondeurs et localisations qui sont moins bonnes à partir des seules données à terre, **les hypocentres des séismes volcano-tectoniques se situent entre 20 et 50 km de profondeur**. Cela est confirmé après les relevés réguliers des OBS.

- **Si l'activité sismique est plus faible que celle enregistrée au début de la crise, elle reste néanmoins importante.** A noter que pour de nombreuses éruptions une diminution de l'énergie sismique dissipée est observée malgré la poursuite de la propagation du magma à faible profondeur et son émission en surface. Ceci témoigne d'un milieu déjà fragilisé et fracturé moins sismogène. L'activité sismique fluctue pendant une éruption et une recrudescence de l'activité sismique est toujours possible. Ainsi des magnitudes proches de 5, voire plus, sont toujours possibles comme le montre le dernier en date, celui du 10 novembre 2020 (M 5.3).

- A noter que plusieurs séismes « proches » de très faible à faible magnitude (M1-M2,5) sont toujours enregistrés entre l'essaim sismique proximal et Petite-Terre, voire même sous Petite-Terre. Le traitement des données OBS qui sont relevés lors des campagnes OBS (https://campagnes.flotteoceanographique.fr/series/291/; *Rinnert et al., 2019*) montre que ces séismes de faible magnitude sont présents depuis le début des enregistrements OBS.

Localisation

Il n'y a pas eu d'évolution spatiale notable de la localisation de la sismicité entre le 1er et le 31 mars 2025 par rapport au bulletin précédent (voir **Figures 2 et 3)**.

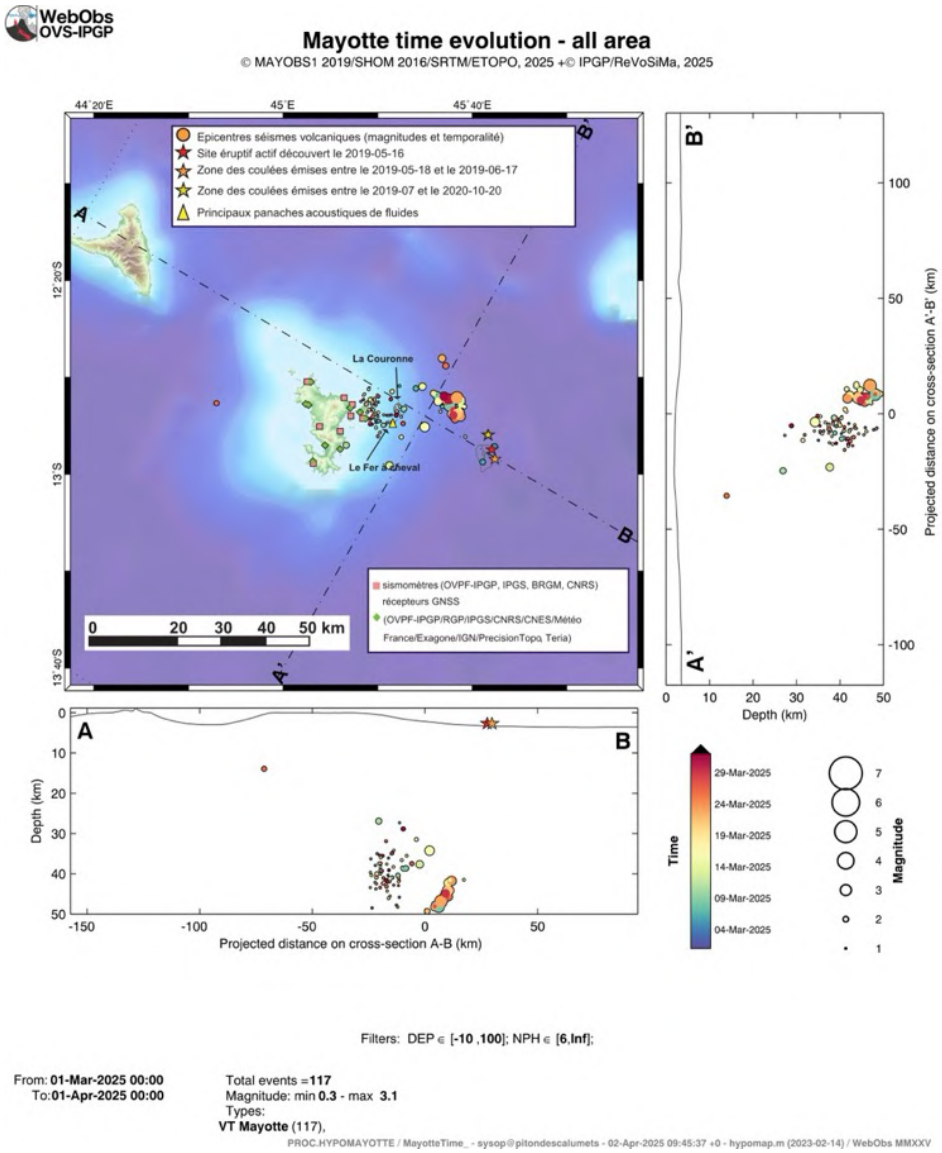


Figure 2 : Carte des épicentres (± 5 km) des séismes volcano-tectoniques (VT) localisés avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-CNRS-BRGM-BCSF-RENASS-ITES) en mars 2025 (échelle temporelle de couleur). Sont aussi représentées les projections des hypocentres des séismes le long de coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (la précision varie entre +-5 km et +-15 km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles) et de la date (échelle temporelle de couleur). La localisation approximative des panaches acoustiques identifiés pendant les campagnes océanographiques est indiquée par des triangles jaunes, l'étoile rouge indique le site éruptif identifié le 16 mai 2019, l'étoile orange la zone des coulées émises entre le 18/05/2019 et le 17/06/2019 et l'étoile jaune la zone des coulées émises entre juillet 2019 et le 04/12/2020. Les structures volcaniques de la zone dites de « La Couronne » et du « Fer à Cheval » sont indiquées en grisé tout comme les coulées de lave de Fani Maoré. Les stations sismiques du réseau terrestre et les stations de positionnement par satellite GPS sont indiquées par des symboles (voir légende) (©OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RENASS, ITES / REVOSIMA).

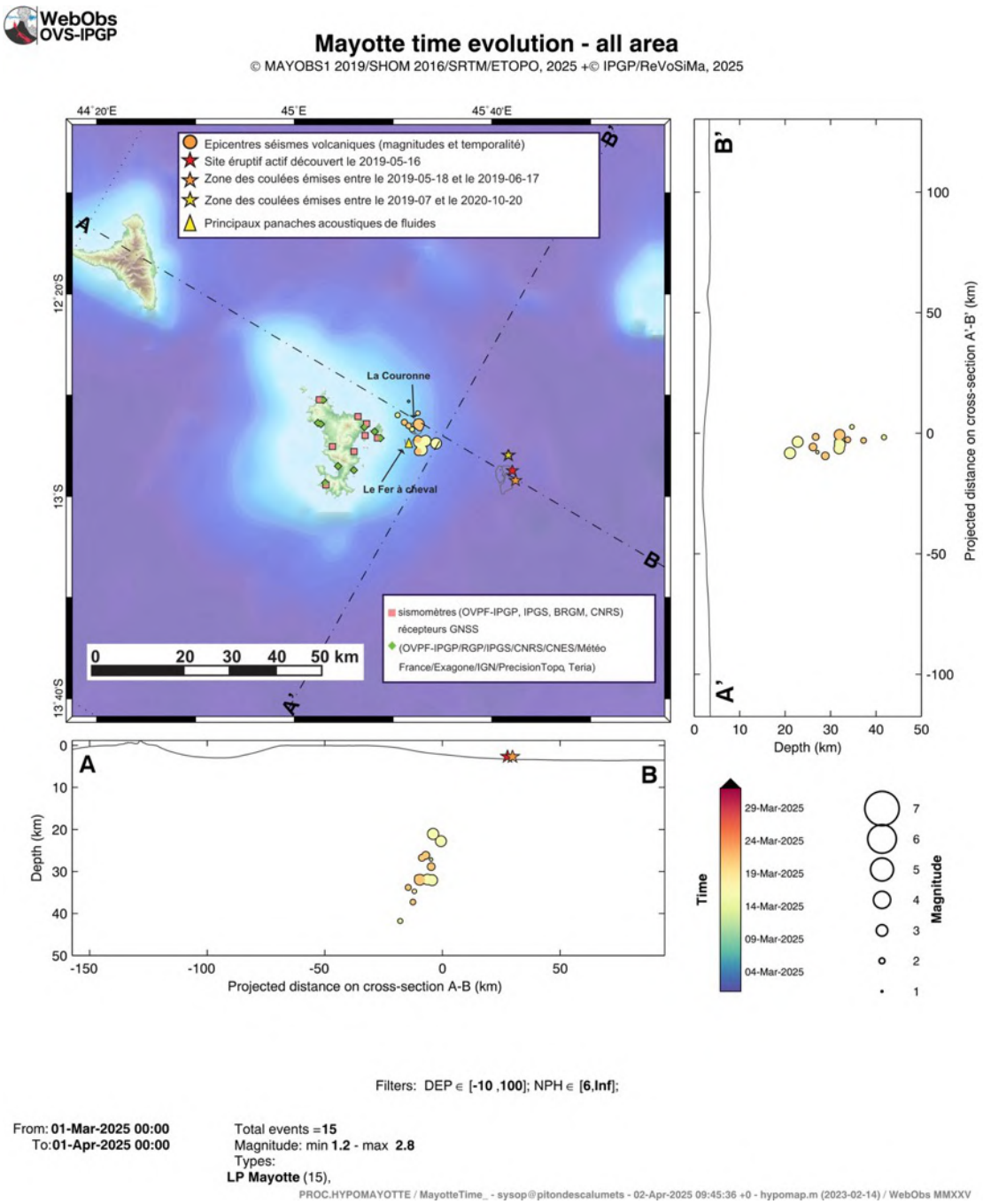


Figure 3 : Carte des épicentres (± 5 km) des séismes longue période (LP) localisés avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-CNRS-BRGM-BCSF-RENASS-ITES) en mars 2025 (échelle temporelle de couleur). Sont aussi représentées les projections des hypocentres des séismes le long de coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (la précision varie entre +-5 km et +-15 km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles) et de la date (échelle temporelle de couleur). La localisation approximative des panaches acoustiques identifiés pendant les campagnes océanographiques est indiquée par des triangles jaunes, l'étoile rouge indique le site éruptif identifié le 16 mai 2019, l'étoile orange la zone des coulées émises entre le 18/05/2019 et le 17/06/2019 et l'étoile jaune la zone des coulées émises entre juillet 2019 et le 04/12/2020. Les structures volcaniques de la zone dites de « La Couronne » et du « Fer à Cheval » sont indiquées en grisé tout comme les coulées de lave de Fani Maoré. Les stations sismiques du réseau terrestre et les stations de positionnement par satellite GPS sont indiquées par des symboles (voir légende) (©OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RENASS, ITES / REVOSIMA).

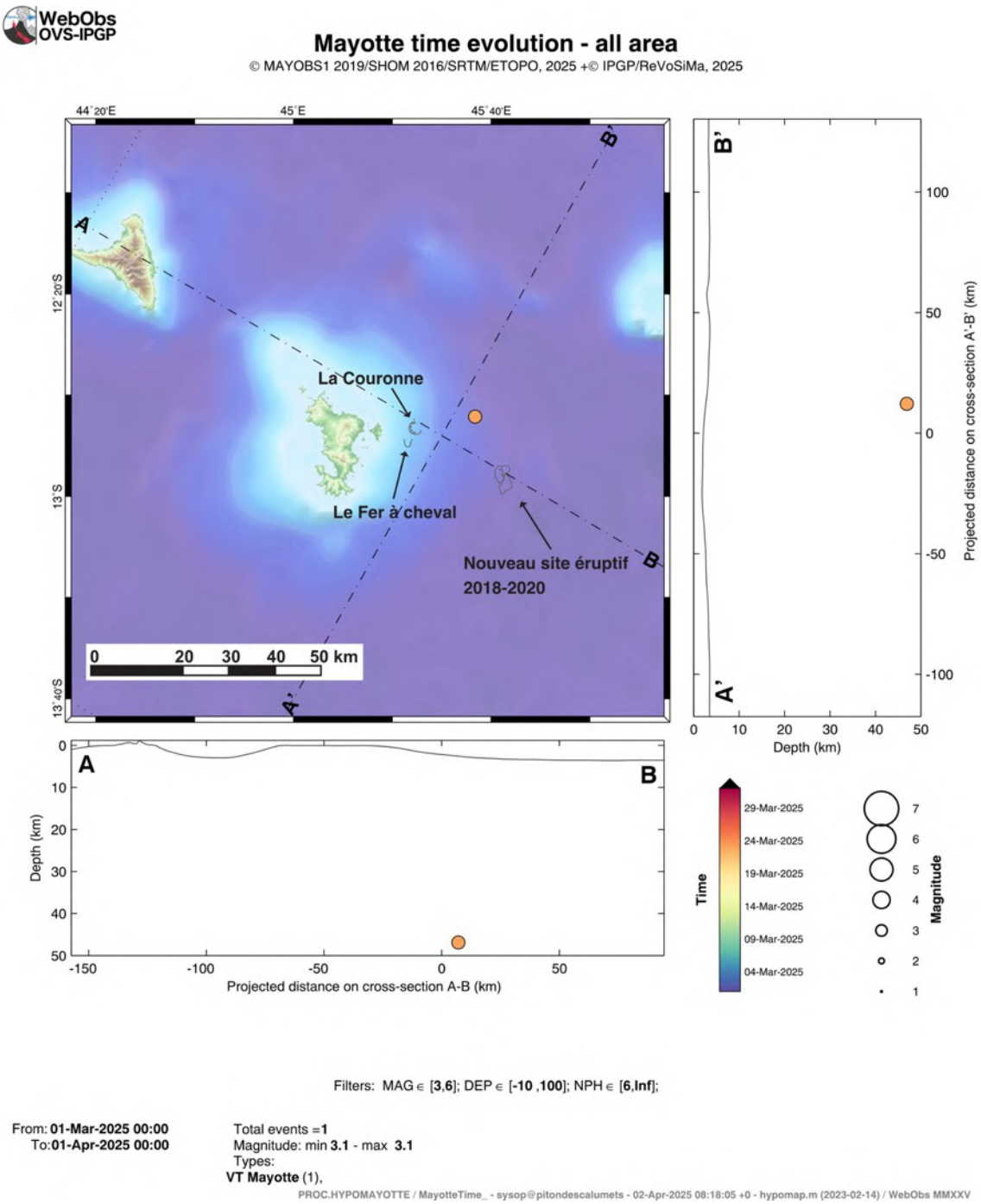


Figure 4 : Carte de localisation des épicentres (± 5 km) des séismes de magnitude M ≥ 3 en mars 2025 enregistrés avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RENASS-ITES). Sont aussi représentées les projections des hypocentres des séismes le long de coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (la précision varie entre +-5 km et +-15 km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles) et de la date (échelle temporelle de couleur). La localisation approximative des panaches acoustiques identifiés pendant les campagnes océanographiques est indiquée par des triangles jaunes, l'étoile rouge indique le site éruptif identifié le 16 mai 2019, l'étoile orange la zone des coulées émises entre le 18/05/2019 et le 17/06/2019 et l'étoile jaune la zone des coulées émises entre juillet 2019 et le 04/12/2020. Les structures volcaniques de la zone dites de « La Couronne » et du « Fer à Cheval » sont indiquées en grisé tout comme les coulées de lave de Fani Maoré (©OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RENASS, ITES / REVOSIMA).

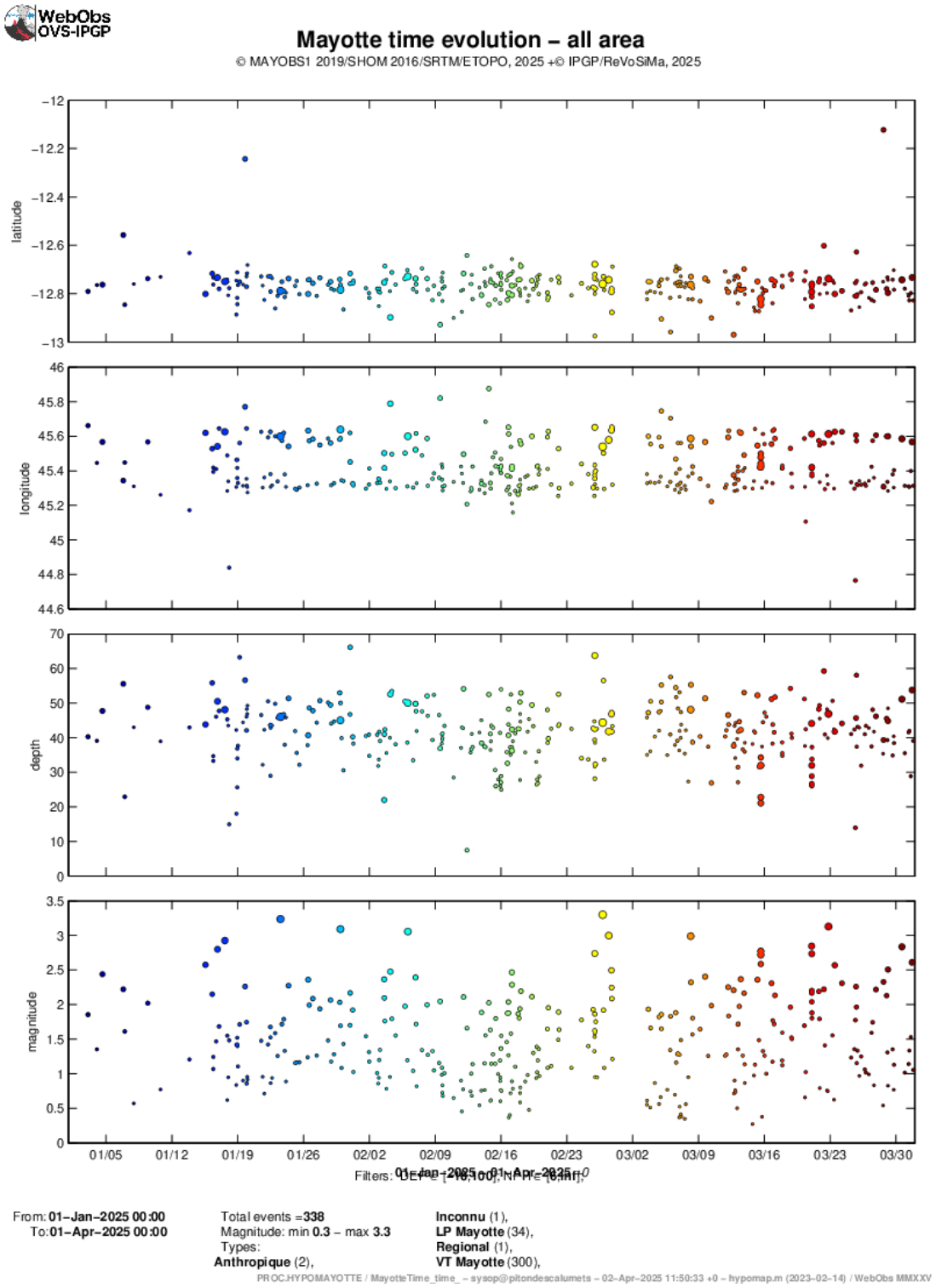


Figure 5 : Variation temporelle (échelle de couleur) des principaux paramètres (latitude, longitude, profondeur et magnitude) de la sismicité enregistrée et localisée par le REVOSIMA avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-CNRS-BRGM-BCSF-RENASS-ITES) entre le 1er janvier et le 31 mars 2025 (3 mois) (© OVPF- IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RENASS, ITES / REVOSIMA).

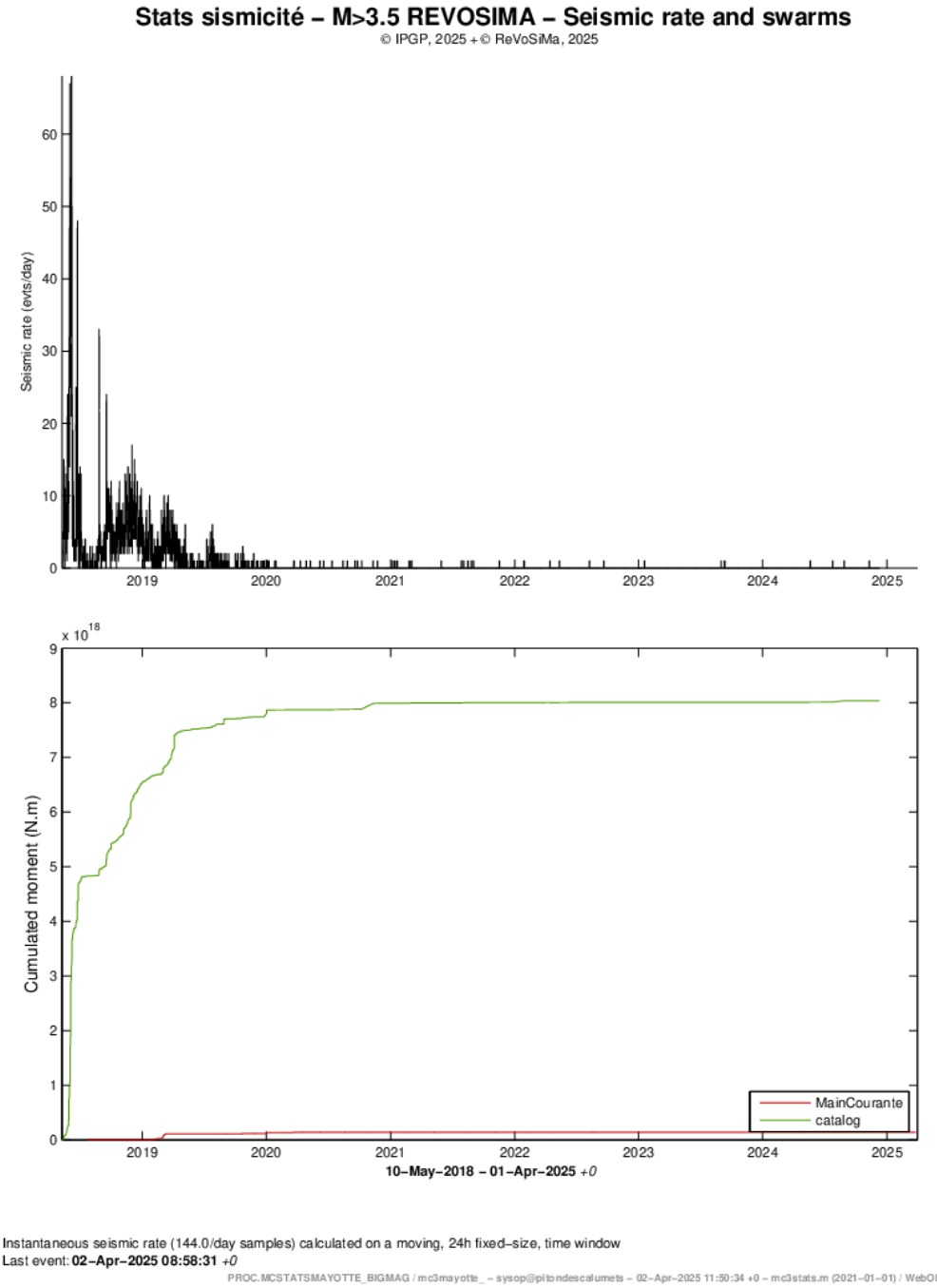


Figure 6 : En haut : Évolution temporelle du taux instantané de la sismicité volcano-tectonique (VT ; M > 3.5) calculé sur une fenêtre de 24h glissante toutes les 10 minutes depuis le 10 mai 2018. En bas : Évolution temporelle du moment sismique cumulé, en N.m (représentant le cumul de l'énergie dissipée par l'ensemble des séismes) sur la même période. Sur la courbe verte, le moment sismique est calculé suivant la formule de Hanks et Kanamori (1978) à partir de la magnitude locale calculée pour les séismes localisés par le RENASS. Sur la courbe rouge, le moment sismique est calculé suivant la formule de Dorel et Feuillard (1980) à partir de la magnitude de durée estimée à partir des saisies des opérateurs de l'astreinte REVOSIMA (© OVPF-IPGP et REVOSIMA).

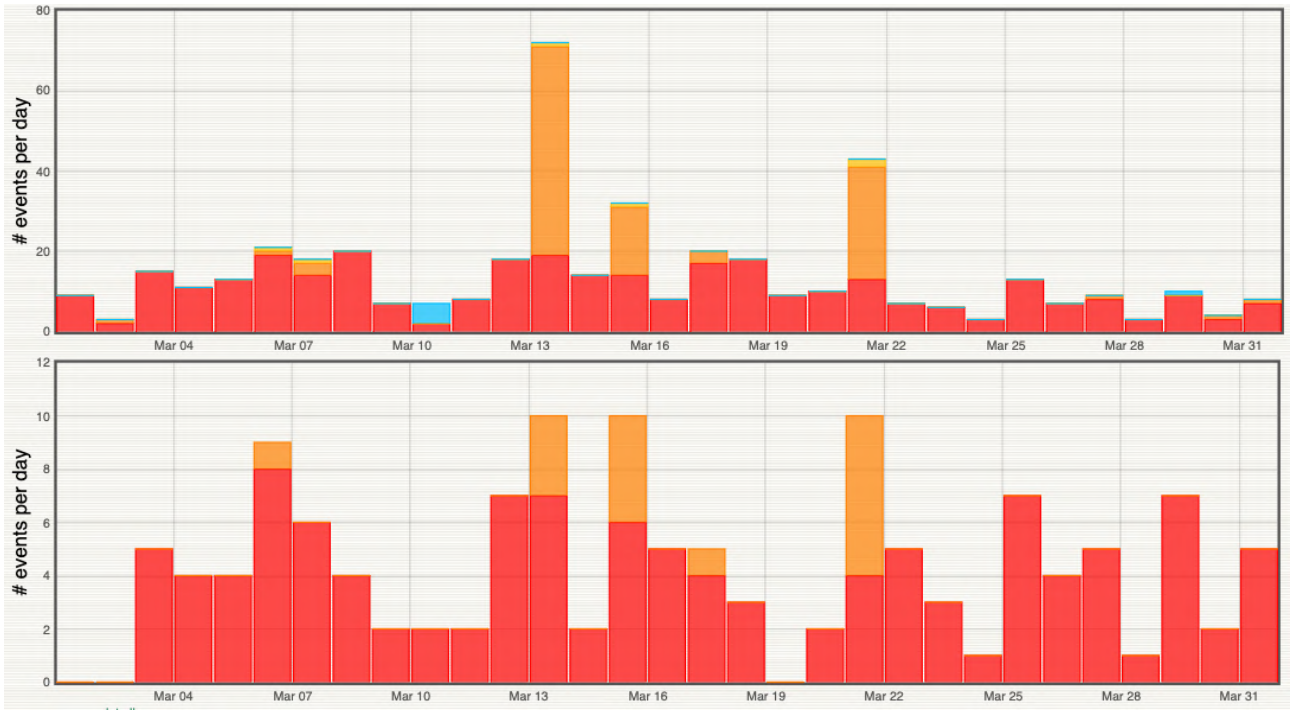


Figure 7 : Histogramme représentant le nombre de séismes par jour détectés (en haut) et localisés (en bas) en mars 2025 par le réseau sismologique du REVOSIMA. En rouge les séismes volcano-tectoniques, en orange les séismes longues périodes, en jaune les séismes très longues périodes, en bleu les ondes sonores liées aux orages (© OVPF-IPGP et REVOSIMA).

Déformation

A terre

Sont considérées dans ce bulletin :
- les données des stations GPS du Centre National d'Etudes Spatiales (station MAYG), EXAGONE via le réseau TERIA (stations BDRL et GAMO) et de Precision Topo via le réseau Lel@ (stations KAWE – remplacée en 2025 par KAW2, PORO et MTSA) installées sur l'île de Mayotte, et distribuées par le RGP de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN),
- les stations installées à Mayotte et à Grande Glorieuse dans le cadre du réseau de surveillance financé par l'Etat.

Les mesures de déformation indiquent entre juillet 2018 et fin 2020 (*Lemoine et al., 2020 ; Feuillet et al., 2021 ; Peltier et al., 2022*) un déplacement d'ensemble de l'île vers l'est et un affaissement (**Figures 8 et 9**). En cumulé entre le 1er juillet 2018 et fin 2020 ces déplacements horizontaux sont d'environ 21 à 25 cm vers l'est, et l'affaissement (subsidence) d'environ 10 à 19 cm suivant les sites (**Figure 9**). A noter que vers avril-mai 2019, un premier ralentissement des déplacements a été observé. Début 2020 les déplacements ont de nouveau ralenti et depuis mars 2020 la subsidence est devenue négligeable sur certaines stations GPS (tels que MTSA, MTSB, PORO, **Figures 9 et 10**). Enfin depuis fin 2020 il n'y a plus de cohérence dans les signaux de déformation qui sont devenus trop faibles et ne sortent pas du bruit, il n'y a plus de signaux interprétables.

Compte tenu des faibles déplacements actuels, les données sont de plus en plus influencées par des effets de charges de surface induites par l'hydrologie et la dynamique atmosphérique à grande échelle. La modélisation des déformations horizontales et verticales sur la période 2002-2018, basée sur les données mensuelles issues de la mission gravimétrique GRACE (calcul IGN *; Chanard et al., 2018*) montrent des fluctuations de l'ordre de 2 mm en horizontal et de l'ordre de 1 cm en vertical pic à pic sur des périodes de 12, 6 et 3 mois). Par conséquent, les fluctuations des déplacements actuels sur ces échelles de temps doivent être interprétées avec prudence.

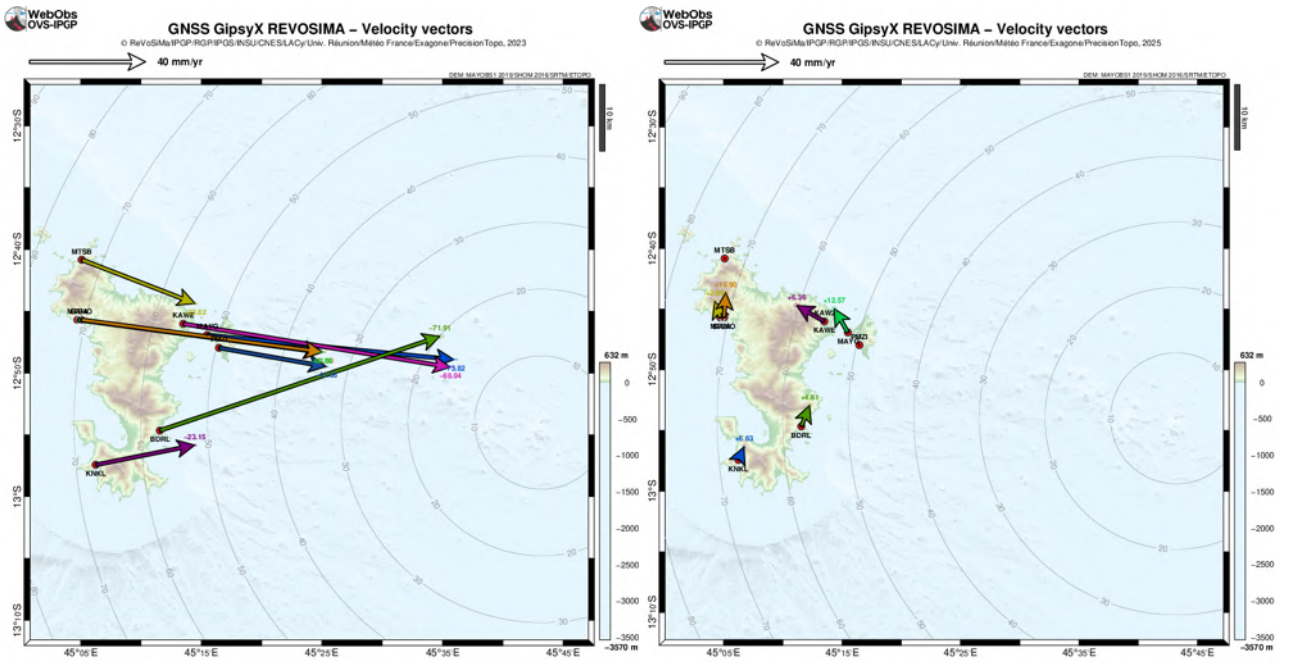


Figure 8 : Déplacements du sol enregistrés sur les stations GPS de Mayotte entre le 1er juillet 2018 et fin 2020 (à gauche) et sur les derniers douze mois (à droite). Les déplacements horizontaux sont représentés sous forme vectorielle et les déplacements verticaux sont indiqués par les valeurs chiffrées en couleur. Post-traitement de ces données réalisé par l'IPGP (©OVPF-IPGP / REVOSIMA).

Des calculs automatiques et journaliers ont été mis en place à l'IPGP (via les logiciels GipsyX et Webobs ; *Beauducel et al., 2010 ; 2020*) afin de suivre ces déplacements et de modéliser une source de déformation en temps-réel (*Beauducel et al., 2014* ; *2020 ; Peltier et al., 2022*). Les caractéristiques d'une source unique (localisation, profondeur et variation de volume), ajustant au mieux les observations sur une période de temps considérée, sont modélisées par un point source de pression isotrope en profondeur, dans un milieu homogène et élastique. Ces modèles simples restent les plus adaptés actuellement, compte-tenu des limitations engendrées par la géométrie actuelle du réseau de mesures géodésiques (*bulletins mensuels REVOSIMA 2019 et 2020*). Mais le faible taux de déformation actuel ne permet plus de modéliser de manière suffisamment fiable une source de déflation associée à un débit.

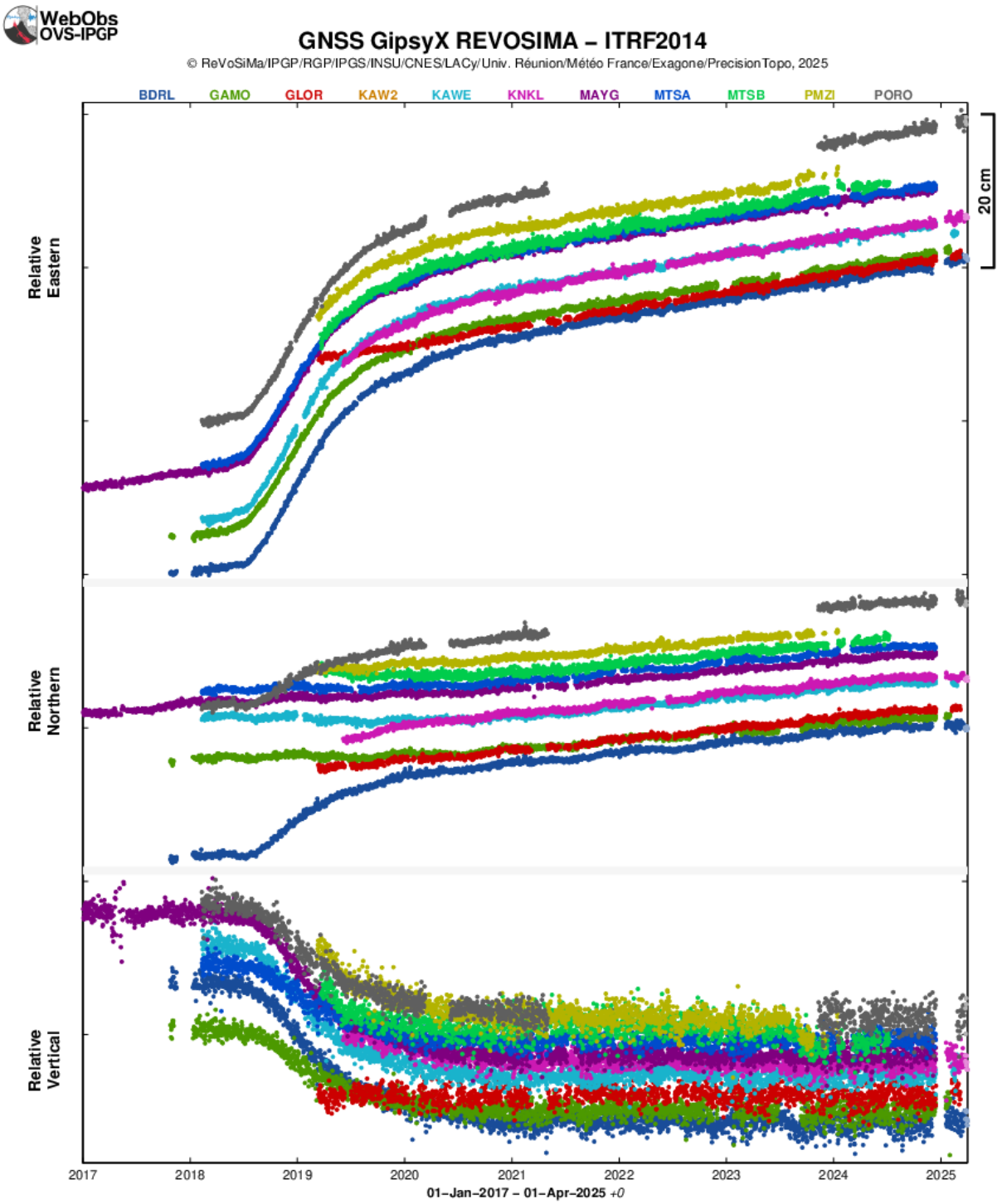


Figure 9 : Déplacements (en cm) enregistrés sur les stations GPS localisées à Mayotte (BDRL, GAMO, KAWE-remplacé en 2025 par KAW2, KNKL, MAYG, MTSA, MTSB, PMZI, PORO) et la station GLOR localisée à Grande Glorieuse sur les composantes est (en haut), nord (au milieu) et vertical (en bas) entre le 1er janvier 2017 et 31 mars 2025 pour visualiser une longue série temporelle ante crise. Post-traitement de ces données réalisé par l'IPGP (©OVPF-IPGP / REVOSIMA). ***Suite au passage du cyclone Chido sur Mayotte le 14 décembre 2024, deux stations (MAYG et MTSA) ont été détruites, alors que les stations KNKL, KAWE, PORO, GAMO et BRDL ont subi des coupures électriques et/ou de transmission. En février 2025, une maintenance de la monumentation ainsi qu'un changement d'antenne à la station KAWE ont conduit à la création d'une nouvelle station, KAW2 en remplacement de KAWE.***

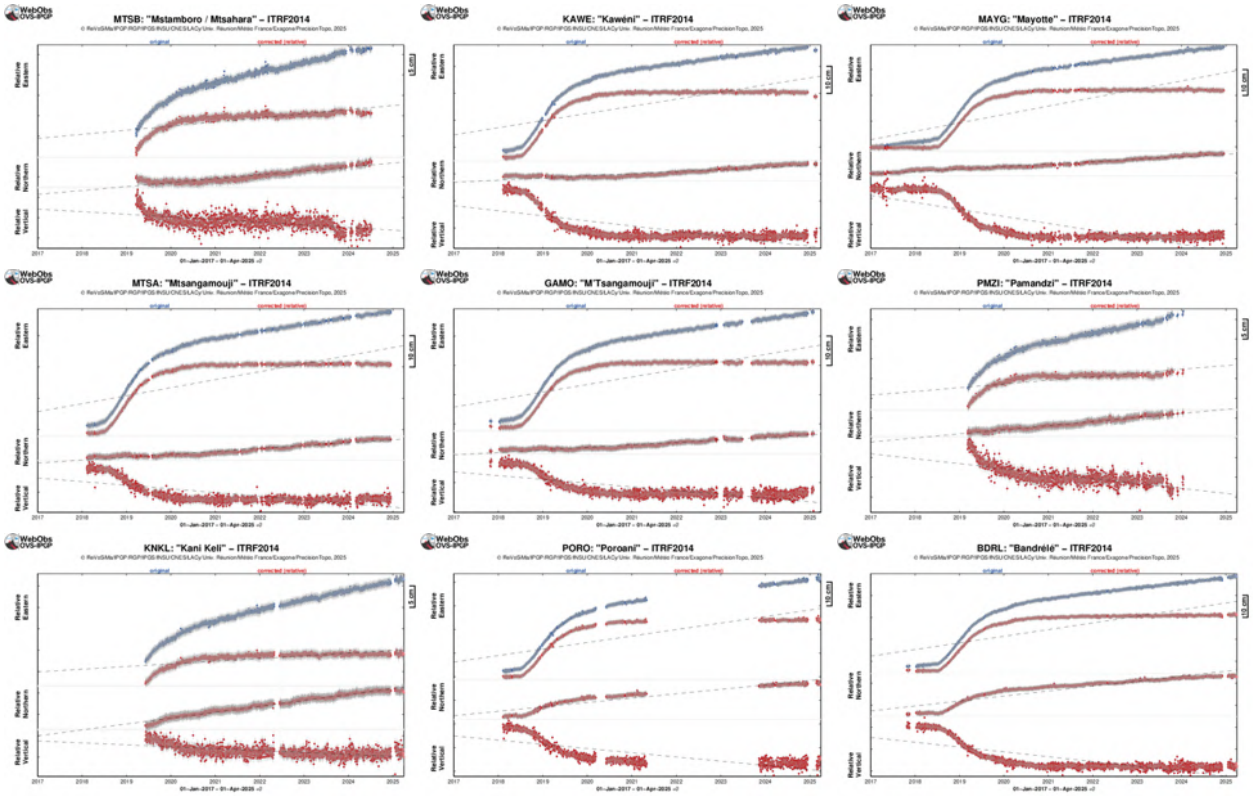


Figure 10 : Déplacements (en cm) enregistrés sur les stations GPS localisées à Mayotte (MTSB, KAWE, MAYG, MTSA, GAMO, PMZI, KNKL, PORO, BDRL) entre le 1er janvier 2017 et le 31 mars 2025 pour visualiser une longue série temporelle ante crise. En bleu les données brutes, en rouge les données corrigées du mouvement de la plaque. Les stations sont présentées dans un ordre géographique ; du nord au sud (de haut en base à et d'ouest en est (de gauche à droite). Post-traitement de ces données réalisé par l'IPGP (©OVPF-IPGP / REVOSIMA). ***Suite au passage du cyclone Chido sur Mayotte le 14 décembre 2024, deux stations (MAYG et MTSA) ont été détruites, alors que les stations KNKL, KAWE, PORO, GAMO et BRDL ont subi des coupures électriques et/ou de transmission. En février 2025, une maintenance de la monumentation ainsi qu'un changement d'antenne à la station KAWE ont conduit à la création d'une nouvelle station, KAW2 en remplacement de KAWE.***

En mer

Aux données à terre, se rajoutent les données des capteurs de pression A-0-A qui sont installées sur le fond océanique sur le site de la Couronne et sur le site de référence localisé au nord des sites actifs (nord-est de Petite-Terre sur la pente de Mayotte).

L'analyse préliminaire des différences de pression mesurées par les deux capteurs de pression A-0-A lors de la mission MD246-MAYOBS30 (16 septembre au 10 octobre 2024) suggère :
1) qu'il n'y a pas eu de déformation lente significative entre les deux sites distants d'environ 9,5 km (résidu < ~0.5 cm/an),
2) et qu'il n'y a pas eu de déformation transitoire pouvant correspondre à une activité de pulse magmatique ou de déformation tectonique, relative entre les deux sites. Si une déformation existe dans la zone, celle-ci affecte les deux sites de la même manière.

Géochimie des fluides

A terre

Les secteurs principaux d'émissions de gaz hydrothermaux riches en CO_2 sont i) celui dit de « La plage de l'aéroport » au nord-est de l'aéroport de Petite Terre et proche de l'usine de désalinisation et ii) les zones de bullages au sein du lac Dziani. Pour plus de détails, voir les bulletins N° 1 et N° 4 du REVOSIMA (www.ipgp.fr/revosima).
Le CO_2 est un gaz incolore et inodore. Ces émissions pourraient avoir des flux conduisant à des concentrations élevées localement, en fonction du flux et des forçages météorologiques locaux (hygrométrie, température, vitesse et direction du vent) et de la topographie qui occasionne à terre l'accumulation du CO_2 et du Rn par exemple dans les points bas et les zones non ventilées.
L'analyse des zones de bullage a montré de faibles, mais significatives, variations de la composition chimique des émissions gazeuses par rapport aux valeurs historiques de référence (données BRGM 2005-2008). Ces variations pourraient être en lien avec l'évolution des flux de magma qui alimentent l'activité de l'éruption sous-marine. La cartographie des émissions de gaz par le sol a mis en évidence des flux qui augmentent de l'ouest (Dzaoudzi) à l'est (plage de l'aéroport) de Petite Terre.

Depuis novembre 2020, une station de suivi en continu des émissions de CO_2 par le sol a été installée par l'OVPF/IPGP à proximité de la plage de l'aéroport (station UDMN, **Figure 11**). En effet, parmi les espèces gazeuses, le CO_2 est exsolu des magmas à des profondeurs correspondant à celles du manteau et est ainsi connu pour fournir des indices fondamentaux sur les processus magmatiques profonds (Piton de la Fournaise : *Di Muro et al., 2016 ; Boudoire et al., 2017, 2018 ; Etna : Liuzzo et al., 2013 ; El Hierro : Perez et al., 2012*).

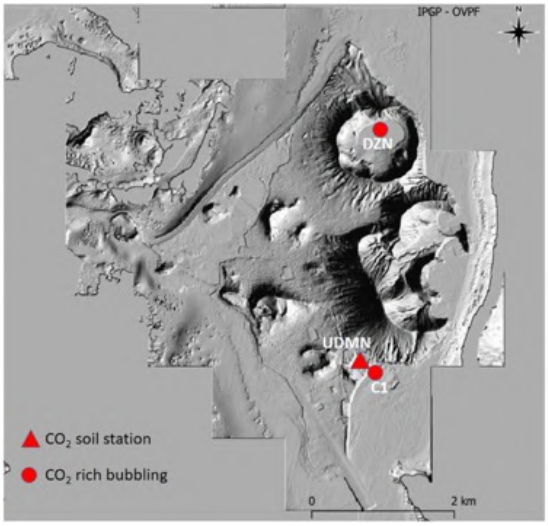


Figure 11 : Sites surveillés du réseau géochimique de Mayotte. Les variations du flux de CO_2 dans le sol sont étroitement liées aux processus magmatiques profonds qui peuvent avoir lieu au niveau du manteau (Di Muro et al., 2016 ; Liuzzo et al., 2021). La composition chimique et isotopique des bullages de gaz est potentiellement influencée par des processus se produisant dans le système hydrothermal crustal (©OVPF-IPGP / REVOSIMA).

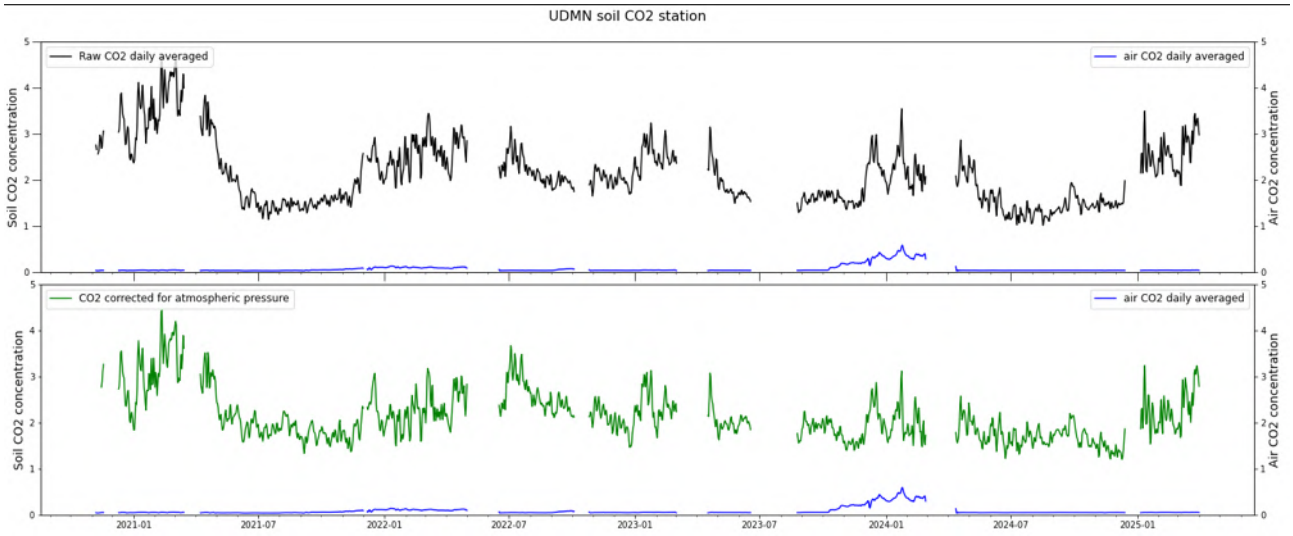


Figure 12 : Concentration en CO_2 dans le sol à la station permanente UDMN. Comparaison entre les données brutes (noir) et les données corrigées de l'influence de la pression atmosphérique (vert). Bleu : concentration du CO_2 dans l'air (1 m au-dessus du sol). Les variations de concentrations dans l'air sont liées à l'activité biogénique (©OVPF-IPGP / REVOSIMA).

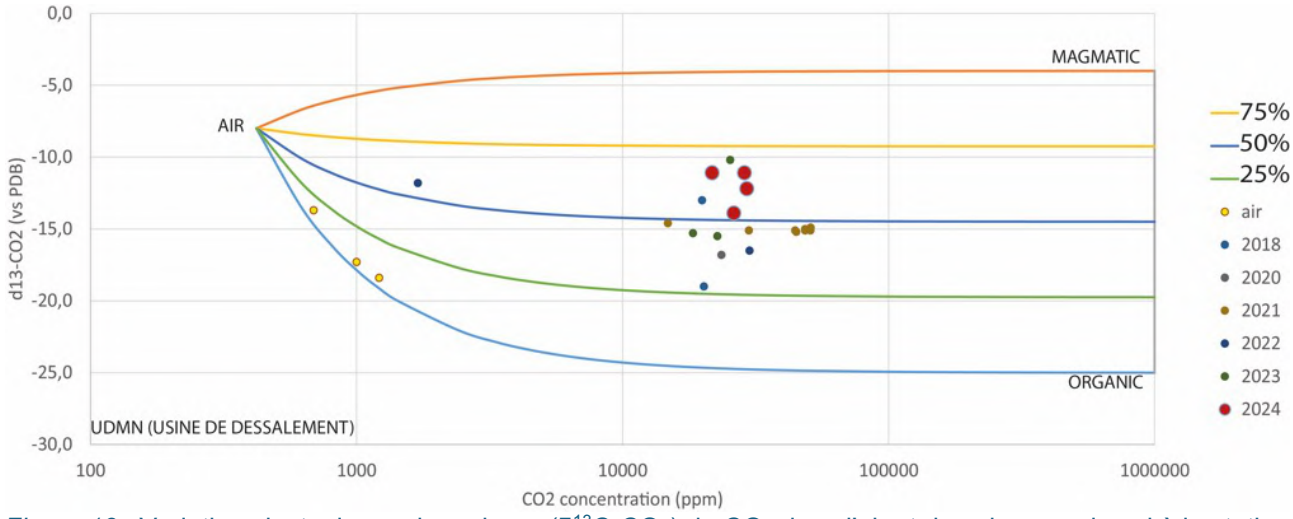


Figure 13 : Variations isotopiques du carbone ($\delta^{13}C$-CO_2) du CO_2 dans l'air et dans les gaz du sol à la station UDMN. La composition du pôle magmatique est fixée à -4.0 per mil (signature des bullages du site C1 – estran de l'aéroport).

Un échantillonnage de gaz récurrent est effectué (i) à partir des gaz du sol à la station de CO_2 UDMN pour l'analyse des isotopes du carbone ($\delta^{13}C$) du CO_2 et (ii) à partir des bullages de gaz hydrothermaux à l'aéroport (site C1, **Figure 11**) et dans le lac Dziani (site DZN, **Figure 11**) pour les gaz nobles (en particulier rapport isotopes hélium : $^3He/^4He$), les isotopes carbone ($\delta^{13}C$) du CO_2 et les températures d'équilibre CO_2/CH_4. Des augmentations de $^3He/^4He$ ont souvent été observées sur des volcans actifs étroitement liés aux remontées de magma profond (*Rizzo et al., 2015, 2016 ; Sano et al., 2015*).

Les apports de magma profond sont susceptibles d'entraîner une augmentation de la concentration de CO_2 dans le sol et une signature isotopique moins négative. **Les mesures isotopiques effectuées depuis novembre 2023 montrent une augmentation de la fraction magmatique et se situent près de la limite supérieure de la composition des fluides émis par ce site (Figure 13).**

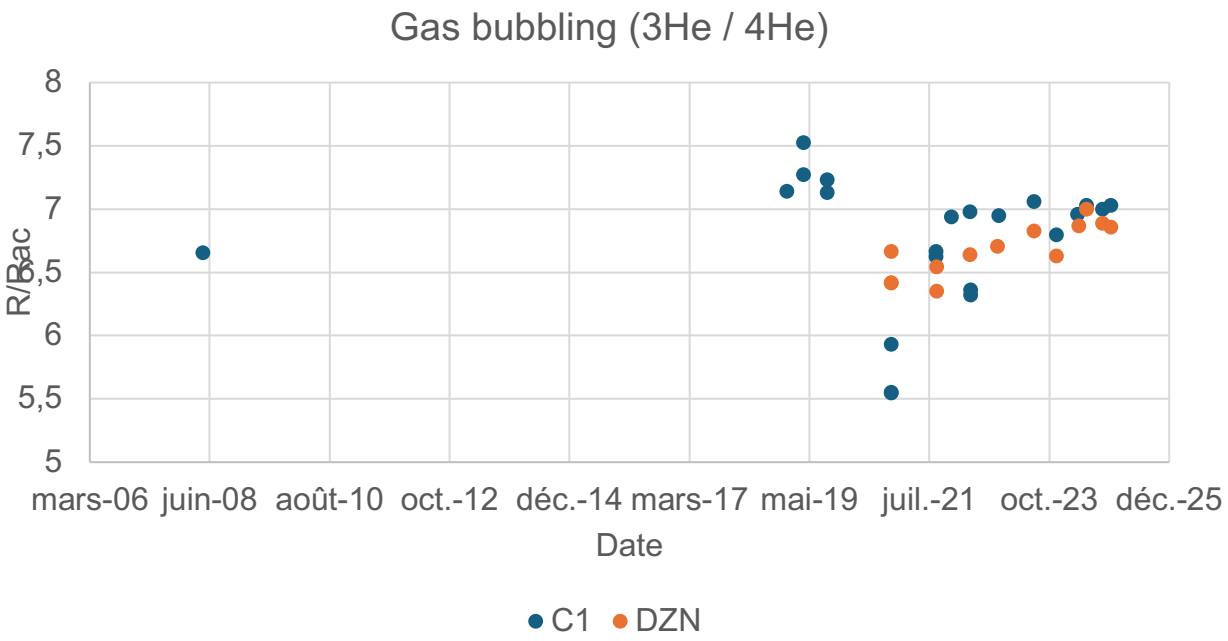


Figure 14 : Analyses isotopiques (gaz rares) des bullages aux points de contrôle C1 (estran de l'aéroport) et DZN (Lac Dziani). Une augmentation du R/Rac (rapport isotopique de l'He normalisé à celui de l'atmosphère) est liée à une augmentation de la contribution des fluides profonds remontant du manteau. Erreur moyenne sur chaque analyse : 0.05 unité.

La contribution d'He mantellique a diminué de 86-82% en 2018-2019 à 81-63% en 2020-2024.

Le rapport He/Ar* (possible indicateur de profondeur/pression de la source du dégazage) a été peu variable entre 2018-2019 (1.41-1.25) et il est devenu plus variable entre 2020-2024 (3.77-0.71).

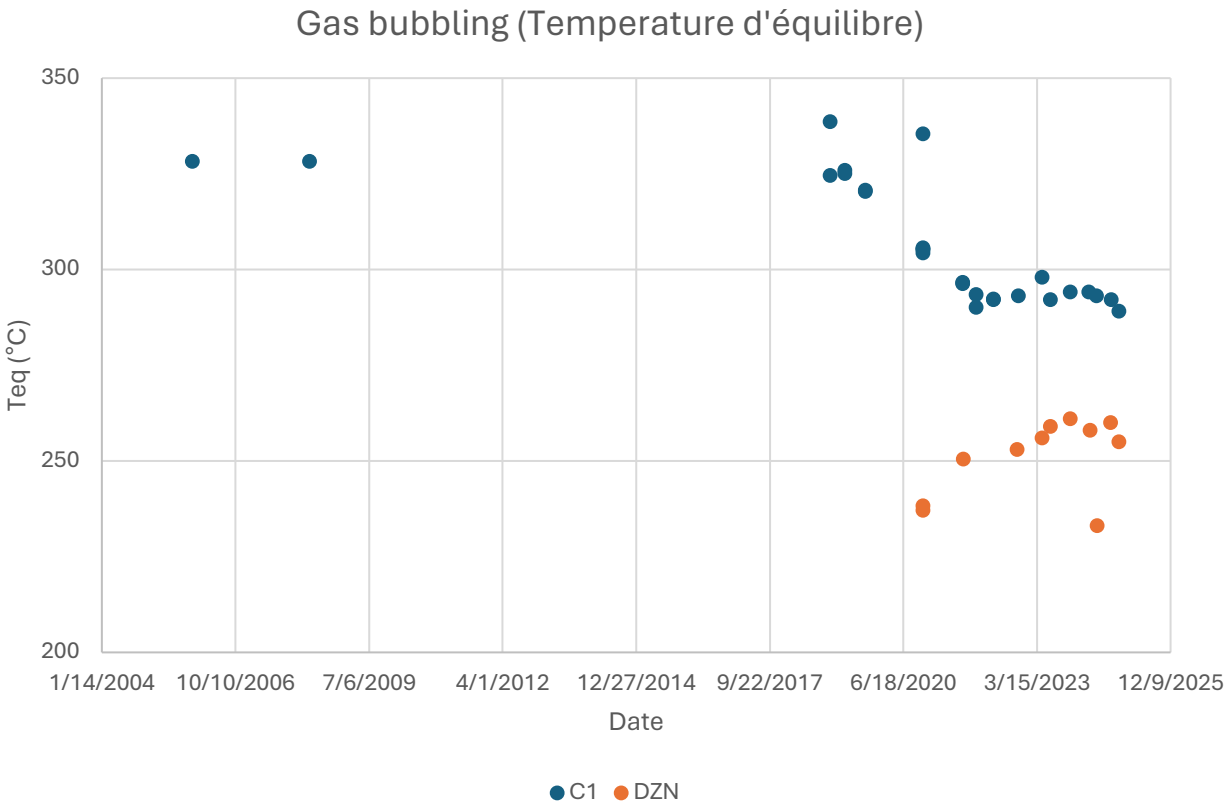


Figure 15 : Température d'équilibre des fluides au sein du système hydrothermal. La température d'équilibre entre le CO_2 et le CH_4 dans le système hydrothermal est estimée à l'aide de l'équation de Giggenbach 1992.

Une tendance à la baisse progressive de la température d'équilibre d'environ 50°C est observée depuis 2019 sur le site C1. Le site DZN enregistre des températures d'équilibre 65-45°C plus faibles par rapport au site C1. Depuis avril 2022, on observe une stabilisation de la température d'équilibre sur le site C1.

Le Dziani Dzaha est traversé par des sorties de gaz (*Milesi et al., 2020*) et présente une composition chimique et biologique très contrastée par rapport aux systèmes aquatiques connus à ce jour (*Leboulanger et al., 2017*). D'après les études menées entre 2010 et 2018, avant l'éruption du Fani Maore, il était caractérisé par une extrême abondance de cyanobactéries lui conférant sa couleur verte permanente (*Leboulanger et al., 2017*) ; une concentration en carbone inorganique dissous (CID) très élevée (160 mM, soit près de 100 fois celle de l'eau de mer), une composition isotopique ($\delta^{13}C_{DIC}$) anormalement positive de +12,5‰ (*Cadeau et al., 2020*), et un pH élevé (9,2 en moyenne, *Sarazin et al., 2021*). Ces caractéristiques rares le rendaient très sensible à toute augmentation de bullage de CO_2 magmatique dans ses eaux. En novembre 2020, un mouvement ascendant (ou panache) d'eau localisé dans la zone de bullage centre-est du lac a été observé pour la première fois, suivi à partir de septembre 2021 par l'observation d'une augmentation du bullage associé. L'analyse des eaux montre une diminution progressive du pH de 9,1 en novembre 2020 à 8,0 en novembre 2022 puis une constance relative jusqu'à la dernière mission en juin 2024 (**Figure 16**).
Le $\delta^{13}C_{DIC}$ montre une baisse brutale de 12,5‰ à 9,8‰ entre novembre 2020 et septembre 2021, une stabilisation relative autour de 9,7‰ jusqu'en novembre 2022 puis une nouvelle baisse jusqu'à la mission de juin 2024 où la valeur atteint 8,9‰ (**Figure 16**).

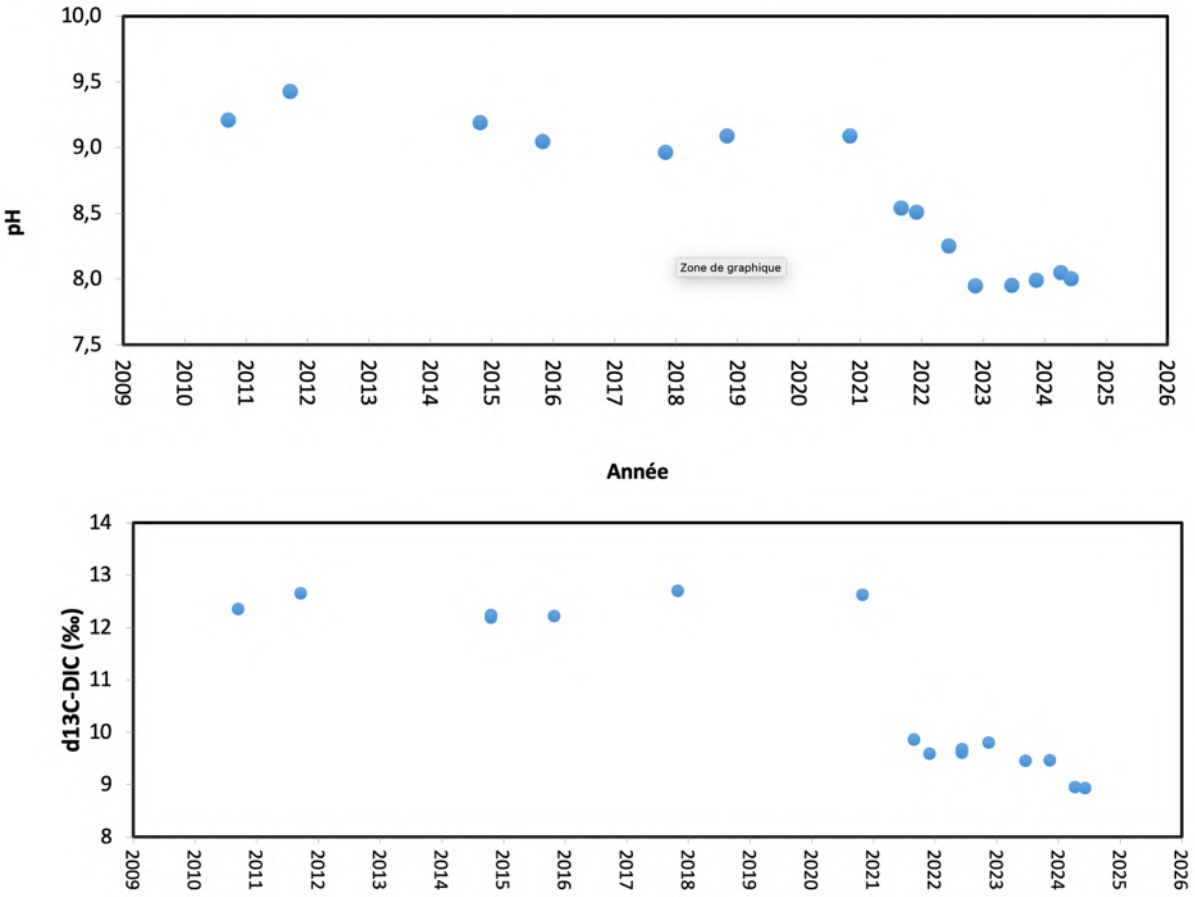


Figure 16 : Évolution temporelle du pH et du $\delta^{13}C_{DIC}$ des eaux du Dziani Dzaha. Données antérieures à 2015 issues de Sarazin et al., (2021) et Cadeau et al., (2020). Données de 2016 à 2021 issues de Cadeau et al., (2022). Données de 2022 et 2024 non publiées.

Depuis l'installation de la station de suivi en continu UDMN en novembre 2020, une diminution progressive et ensuite une stabilisation des flux de CO_2 par le sol est mesurée.
L'évolution cyclique annuelle des émissions de CO_2 par le sol est principalement contrôlée par l'évolution saisonnière des paramètres environnementaux. Les baisses de pression associées au cyclone Chido et à la tempête Dikeledi ont produit une augmentation soudaine des flux de CO_2 par le sol.

Depuis novembre 2023, la composition isotopique du carbone mesurée dans les fluides de la station UDMN indique une augmentation de la fraction magmatique dans les gaz qui diffusent par le sol, dans des proportions comparables à celles mesurées dans le même secteur au début de l'activité éruptive en décembre 2018.

Les concentrations en CO_2 détectées dans l'air (courbe bleue sur la Figure 12) ainsi que leur composition isotopique sont par contre contrôlées par la variabilité de l'apport biogénique.

La composition chimique des gaz hydrothermaux riches en CO_2 (bullages) collectés dans le point de contrôle avec la série temporelle la plus longue (C1 - estran de l'aéroport) indique une tendance à la diminution progressive de l'apport des fluides profonds mantelliques entre 2018 et 2021 et ensuite une stabilisation sur un niveau intermédiaire depuis 2022. Cette évolution s'accompagne d'une baisse et ensuite une stabilisation des températures d'équilibre des fluides au sein du système hydrothermal (diminution d'environ 50°C).

Malgré une faible tendance à l'augmentation depuis 2023, la contribution en fluides profonds mantelliques est moins variable pour le point de contrôle DZN au sein du Dziani Dzaha par rapport au site de contrôle de l'estran de l'aéroport. Les deux sites (DNZ et C1) présentent des proportions très proches en fluides d'origine mantellique. Les températures d'équilibre apparentes calculées pour le système hydrothermal qui alimente les bullages du Dziani Dzaha sont plus faibles par rapport au site de contrôle de l'estran de l'aéroport. Ceci, par contre, pourrait en partie résulter de la conversion partielle CO_2-CH_4 au sein du système lacustre.

Depuis novembre 2020, le pH du Dziani Dzaha a diminué drastiquement de 9,2 à 8,0, valeur autour de laquelle il est resté relativement stable jusqu'à la date de la dernière mission en juin 2024. On observe aussi une diminution de la composition isotopique du carbone inorganique dissous dans le lac ($\delta^{13}C_{DIC}$) découplée du pH : elle se fait en deux temps, le premier en 2021 qui correspond à la plus grande variation (de +12,5 à +9,8‰) et le second de 9,6 à 8,9 ‰ entre novembre 2022 et juin 2024.

En mer

Des panaches acoustiques associés à des anomalies géochimiques ont été détectés dans la colonne d'eau au-dessus de cette structure du Fer à Cheval, dont la hauteur peut atteindre 1000 m et qui sont visibles jusqu'à 500 m de la surface de la mer.
Au total sur 23 sites actifs en date de septembre 2023 (campagne MAYOBS25), 17 sites actifs étaient identifiés dans la zone du Fer à Cheval en date du 06/10/2024 lors de la campagne MAYOBS30, avec 5 sites actifs à l'extérieur de la structure : un au nord-ouest, deux au nord, un à l'est et un au sud du Fer à Cheval (Figure 17). L'analyse fine en cours permettra de déterminer si 5 des sites non observés pour l'instant sont inactifs ou simplement s'ils sont difficiles à identifier.
La chronologie de l'observation par acoustique des sites actifs d'émission de fluides sur la zone du Fer à Cheval suit le schéma suivant : sites A0 et B0 depuis mai 2019, site C0 depuis août 2019, sites D0 et E0 depuis mai 2020, sites C1 et F0 actifs depuis octobre 2020 en simultané à une expansion vers le nord-ouest des sites A0 et B0 (observation des nouveaux sites B1, A1 et A2), sites G0, D1, C2+C3 et C4 entre janvier et mai 2021, site H0 observé le 10 juillet 2021. Le site actif I0 a été observé le 20 septembre 2021 lors de la couverture acoustique de surveillance du Fer à Cheval pendant la campagne MAYOBS21 (*Rinnert et al., 2021*) ainsi que les sites D2 et C5 en analyse à terre post-campagne. Le site actif I0 a été observé le 20 septembre 2021 lors de la couverture acoustique de surveillance du Fer à Cheval pendant la campagne MAYOBS21(*Rinnert et al., 2021c*) ainsi que les sites D2 et C5 en analyse à terre post-campagne. Le site J0, situé au sud à l'extérieur du Fer à Cheval a été identifié au cours de la campagne MD239-MAYOBS23 (*Jorry et al., 2022*) le 10 juillet 2022. L'analyse détaillée post-campagne des données acoustiques colonne d'eau acquises pendant MAYOBS23 révèle l'observation de deux nouveaux sites en plus du site J0 : I1 à environ 240 m au sud-ouest du site I0 et D3 sur le flanc intérieur est. **Enfin un nouveau site actif d'émission nommé K0 a été observé dans le prolongement du flanc ouest du Fer à Cheval lors de la dernière campagne en mer MD242-MAYOBS25 (*Thinon et Lebas, 2023*). L'analyse préliminaire des données acquises lors de MD2426-MAYOBS30 (*Komorowski, Paquet et al., 2024*) a permis d'identifier sans ambiguïté la continuité de l'activité d'émission de fluides de 17 sites déjà observés pendant les campagnes antérieures à savoir A0, A1, A2, B0, B1, C0, C1, C2+C3, C5, D0, D1, E0, G0, H0, I1, J0. Aucun nouveau panache excentré hors du FAC n'a pu être identifié.**

Une plongée SCAMPI dans le Fer à Cheval a confirmé qu'il y a toujours de nombreux amas d'hydrate de CO_2, certains de taille métrique, dans la zone B du Fer à Cheval et des sites avec des fontaines actives de gouttelettes de CO_2 liquide. Une analyse plus fine est en cours.

L'évolution de la zone C, constituée de six sites actifs (C0 à C5), est plus significative. **Les panaches acoustiques de la zone C augmentent en intensité et en étendue, à l'exception du panache acoustique du site C4. L'activité des panaches acoustiques de sites excentrés (E0, H0 et J0) ou situé au centre (G0) du Fer à Cheval est au moins stable ou en augmentation.** Pendant la campagne MAYOBS30, les panaches acoustiques associés à 5 sites actifs de faible intensité n'ont pas été observés (analyse préliminaire). Ces sites, plus récents, sont localisés sur le flanc intérieur NE et Est (sites D2 et D3, zone D, et

site F0), sur la partie nord (site I0, zone I) et sur un dôme de phonolite au NO (site K0) du Fer à Cheval. **L'activité de ces sites reste à déterminer à partir d'une analyse plus approfondie : soit le signal est trop faible pour être détecté ou inexistant soit l'activité des sites adjacents s'est intensifiée rendant leur discrimination spatiale difficile.**

En absence de plongées AUV, il n'a pas été possible de suivre l'évolution détaillée du nombre des points d'émission pour les sites habituellement observés à partir des données acoustiques acquises avec l'AUV. Le dénombrement des points d'émission, en particulier pour les sites E0, G0, H0, I0, I1 et J0, était un indicateur robuste de l'évolution interannuelle du niveau d'activité et de l'emprise spatiale pour chaque site.

Comme par le passé, les équipes des Quarts Scientifiques, qui observent en temps réel les données des sondeurs, acquises dans certaines conditions (courants faibles, marée à l'étale, mortes eaux et faibles coefficients de marée), ont remarqué que certains panaches acoustiques les plus actifs atteignent une **profondeur minimale de 350 m sous la surface de la mer** (**soit parfois plus de 1000 m de hauteur depuis le fond marin)**. Le sommet du panache acoustique du site actif **B0 a pu être détecté à une immersion de 250 m de la surface** à partir de données du monofaisceau EK80-38 kHz pendant la plongée SCAMPI n°04. Ces observations en temps réel, sont similaires à celles réalisées lors de MAYOBS25**. Ces hauteurs sont à confirmer et à analyser en termes d'augmentation ou non de flux (dans la mesure du possible).**

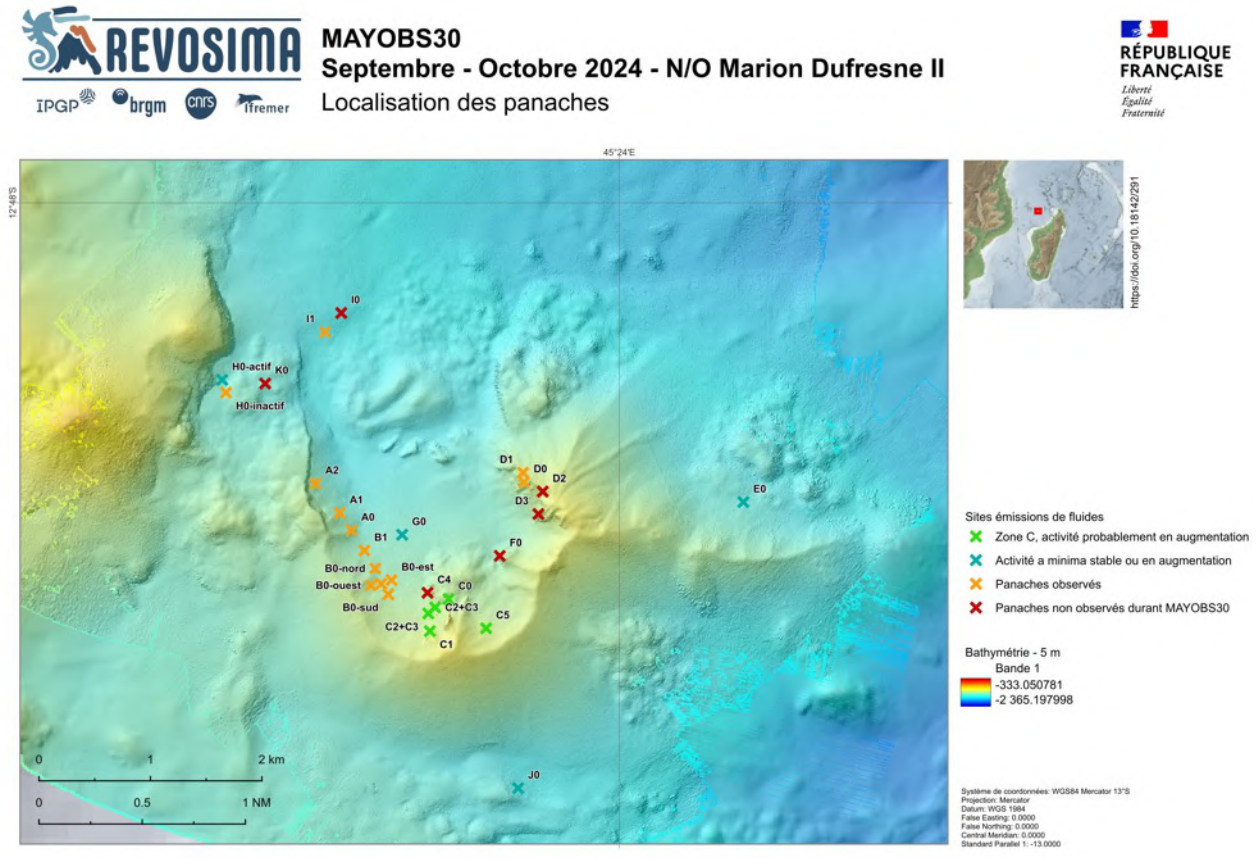


Figure 17 : Localisation des sites actifs d'émission de fluides fond de mer dans le périmètre élargi du Fer à Cheval identifiés pendant la campagne MAYOBS30 sur la base d'une analyse préliminaire à bord (@Scalabrin, 2023- https://doi.org/10.12770/070818f6-6520-49e4-bafd-9d4d0609bf7d). (©REVOSIMA).

Les panaches acoustiques et géochimiques restent donc fortement actifs dans la zone du Fer à Cheval. **Les fluides émis en fond de mer et collectés lors de la campagne GEOFLAMME (*Mastin et al., 2023*) sont composés majoritairement de dioxyde de carbone CO_2 (99,0 ± 0,3 $\%_{vol}$), avec une faible contribution**

de méthane CH_4 (0,8 ± 0,2 $‰_{vol}$) et de dihydrogène H_2 (10 à 1000 ppm_{vol}). La signature isotopique du carbone stable (^{13}C) montre que le CO_2 est d'origine mantellique et suggère que le CH_4 est quant à lui d'origine abiotique, bien qu'une contribution mixte biogénique/thermogénique (i.e. issu d'une transformation de matière organique) ne puisse être complètement exclue. L'hélium et sa signature isotopique ($^3He/^4He$) mesurés sur les panaches indiquent une source mantellique, confirmant l'origine magmatique profonde des fluides, obtenue avec les isotopes stables du carbone. Les signatures élémentaires et isotopiques des différents gaz constituant les fluides émis au niveau du Fer à Cheval sont similaires aux gaz émis à terre au niveau de Petite-Terre.

Comme par le passé, lors de la campagne MAYOBS30 de nombreuses mesures et prélèvements ont été réalisés avec la CTD-Rosette. La poursuite des analyses des panaches en mer et de la colonne d'eau permettra d'observer l'évolution spatiale et temporelle du processus en cours.

Mesures des propriétés physico-chimiques de la colonne d'eau entre 0 et 1250 m de profondeur par planeur sous-marin autonome

En vertu d'un contrat conclu entre l'Ifremer et la société Alseamar, filiale du groupe Alcen (www.alseamar-alcen.com), un drone sous-marin autonome de type planeur SeaExplorer est mobilisé en mer au large de Mayotte, à 10-15 km des côtes Est. Il est en opération à Mayotte depuis le 17 septembre 2021 dans l'objectif de renforcer le réseau d'observation en mer du REVOSIMA.

Le glider SeaExplorer - dont une version pouvant atteindre 1250 m de profondeur a été développée spécifiquement pour l'utilisation à Mayotte par le Revosima - se déplace silencieusement dans la colonne d'eau par des changements de flottabilité. Tout au long de sa trajectoire, il acquiert des paramètres physiques, chimiques et acoustiques de la colonne d'eau.

Pour le suivi des émissions de fluides magmatiques dans la zone de Mayotte, la navigation du glider a été choisie de façon à optimiser l'acquisition de données en profondeur, au plus proche des sources d'émission, là où les signaux sont les plus marqués. A intervalle de temps régulier (généralement toutes les 8h environ), le planeur plonge à une profondeur de 1250 m (immersion maximale), pendant une durée d'environ 5 h en parcourant une distance de 5 à 6 km. Cette phase correspond à une traversée où le planeur navigue en dent de scie pour réaliser des profils verticaux entre 800 et 1250 m. Pour atteindre cette profondeur et ensuite rejoindre la surface, le planeur traverse la colonne d'eau, tout en continuant son acquisition. Environ 3h sont nécessaires au planeur pour monter et descendre à 1250 m (2 x 1h30), et le temps passé en surface pour la communication ne dépasse généralement pas 20 min.

Le glider déployé à Mayotte est équipé de capteurs miniaturisés, permettant de mesurer à haute-résolution spatiale et temporelle, et de façon quasi-continue, les concentrations en gaz dissous (CH_4, CO_2, O_2), les propriétés physiques (température, salinité, courant) et acoustiques dans l'eau. Des algorithmes spécifiques de traitement de données ont été développés par Alseamar, en collaboration avec les chercheurs du Revosima, pour la plupart adaptés de méthodes publiées et répondants aux standards internationaux. Les données sont transférées à terre à chaque remontée en surface. Elles sont traitées, contrôlées et transmises à l'Ifremer par Alseamar tous les jours. L'Ifremer assure l'expertise sur ces données et informe régulièrement le REVOSIMA. A chaque maintenance du planeur (1 journée tous les 21 jours environ), les capteurs sont nettoyés, les batteries rechargées et l'intégralité du jeu de données téléchargée. Une nouvelle analyse plus détaillée des données est réalisée après chaque période sur la base du jeu de données complet. Un catalogue exhaustif de l'ensemble des traversées effectuées par le planeur est produit et mis à disposition du REVOSIMA.

Les valeurs des concentrations en CH_4 et CO_2, enregistrées par le glider, sont obtenues à partir des coefficients de calibration d'usine fournis par les fabricants des capteurs. Pour le CH_4, elles ne correspondent pas exactement aux valeurs absolues de référence, mais fournissent des mesures qualitatives et relatives des anomalies et de leur évolution au-dessus de 1250 m. Par ailleurs, les valeurs mesurées par le glider sont

également comparées et calibrées tous les ans avec les valeurs de référence obtenues par la CTD-rosette lors de plongées couplées pendant les campagnes océanographiques annuelles MAYOBS Les anomalies acoustiques sont déduites des mesures du courantomètre acoustique à effet Doppler (capteur ADCP - Nortek) qui équipe le glider déployé à Mayotte. Elles sont obtenues en considérant l'intensité du signal d'écho (indice de rétrodiffusion acoustique, nommé BI, backscatter index) renvoyé vers le capteur par les cibles (bulles, gouttes ou gouttelettes, plancton, sédiment…), sur une distance verticale d'environ 15 m sous le planeur.

Les mesures effectuées par le SeaExplorer depuis le 17 septembre 2021 ont permis d'identifier et de suivre tous les sites d'émissions de fluide et de panaches acoustiques reconnus par les campagnes MAYOBS du REVOSIMA dans la zone du Fer à Cheval (**Figure 17**). Les résultats indiquent que des fluides sont régulièrement détectés entre 900 et 1250 m de profondeur, attestant de l'activité toujours en cours dans la zone du Fer à Cheval en cohérence avec les observations faite pendant les campagnes océanographiques et notamment lors de la campagne MAYOBS33 pendant laquelle des observations visuelles avec la caméra tractée au fond SCAMPI ont pu être faites (*Komorowski, Paquet et al., 2024 ; Revosima bulletin simplifié novembre 2024*). Des variations temporelles de concentrations en gaz dissous dans la colonne d'eau peuvent être observées mais doivent être interprétées avec prudence. L'analyse des résultats indique que la variabilité enregistrée est liée à l'activité des sites actifs mais aussi liée à des forçages externes comme les courants.

A l'heure actuelle, les données acquises par le planeur n'apportent pas d'indices probants de la présence de nouveaux sites majeurs d'émission de fluides en dehors de ceux déjà connus de la zone du Fer à Cheval, dans les limites des résolutions et des possibilités du planeur. Cela n'exclut pas la présence possible de panaches nouvellement apparus depuis la précédente campagne océanographique et qui seraient hors d'atteinte des capacités du planeur (concentrations faibles et inférieures aux limites de détection des capteurs, panaches remontant peu dans la colonne d'eau, panaches confondus avec ceux déjà existants).

Entre le 1er et le 31 mars 2025, le SeaExplorer a été déployé sur l'intégralité de la zone du Fer à Cheval. Il a effectué 84 multi-yos représentant plus de 375 km parcourus et 370 heures d'acquisition de données dans la tranche d'eau de 800 à 1250 m d'immersion. Les anomalies acoustiques et de concentrations en gaz dissous (CH_4 et CO_2) sont du même ordre de grandeur que celles précédemment acquises dans la série long-terme. Les localisations de ces anomalies sont corrélables avec les sites d'émission de fluides connus.

Magnétotellurique

La méthode magnétotellurique ou MT (*Vozoff, 1972*) permet d'investiguer la structure géo-électrique du sous-sol par l'étude des relations entre le champ électrique et le champ magnétique naturel terrestre, au travers de la propriété physique de résistivité électrique, de centaines de mètres à plusieurs centaines de kilomètres. Elle est couramment utilisée pour détecter des zones conductrices en profondeur (caprock de réservoir géothermique, aquifères, systèmes hydrothermaux, minerais, systèmes magmatiques...). Dans le cadre du suivi volcanique de Mayotte, la qualité du signal dépend de l'activité solaire et des conditions de bruits anthropiques.

Trois stations magnétotelluriques permanentes sont installées à Mayotte à proximité de la plage de Moya, du Mont Combani et sur le terrain de l'Aéroport de Dzaoudzi. Ces stations enregistrent le champ électromagnétique naturel à l'aide de sondes magnétiques à induction et de dipôles électriques à une fréquence d'échantillonnage de 128 Hz (**Figure 18**). La qualité des sondages et des données dépend essentiellement des deux paramètres suivants : i) la qualité du contact au niveau des électrodes, qui est liée à l'humidité du sol donc impactée par le climat local, l'exposition des sols au soleil, la perméabilité du milieu d'implantation, ii) le niveau de bruit électromagnétique ambiant des sites.

Les données sont traitées quotidiennement sur des séries temporelles d'une longueur de 2 jours. Des chroniques temporelles de résistivité apparentes et de phases sont obtenues sur le mois. Un sondage MT mensuel est réalisé par calcul sur l'intégralité des données (résistivité apparente et phase en fonction de la fréquence) et un modèle de résistivité en fonction de la profondeur est calculé pour chaque site (par inversion 1D).

En raison du passage du cyclone Chido et des perturbations de télétransmission, les données des stations Aéroport et Combani sont en actuellement cours de récupération. La station de Moya est in opérationnelle et nécessitera une remise en état. Nous sommes dans l'impossibilité de produire le bulletin MT de mars 2025.

Note Technique :

Un sondage MT est calculé mensuellement à partir des données MT du réseau. Celui-ci est constitué de deux tenseurs représentant des propriétés physiques du milieu investigué, au travers des relations entre les deux composantes du champ électrique (x ou NS et y ou EW) et du champ magnétique (x ou NS et y ou EW) :

• Le tenseur de résistivité apparente, qui représente pour chaque période une moyenne géométrique de la résistivité électrique du milieu sous la station depuis la surface jusqu'à une profondeur limite (cette profondeur augmente quand la fréquence diminue). De faibles valeurs indiquent des milieux conducteurs.

• Le tenseur de phase, qui exprime le retard généré par le milieu investigué, entre chaque composante de champ magnétique et électrique. Lorsque l'onde rencontre un milieu conducteur, un décalage de phase est observé.

Pour chaque site de mesure, sont donc estimées 4 composantes de résistivité apparente (ρ_{xy}, ρ_{yx}, ρ_{xx}, ρ_{yy}) et 4 composantes de phase (φ_{xy} , φ_{yx}, φ_{xx}, φ_{yy}) qui constituent ensemble un sondage magnétotellurique. Au vu de la multitude et de la complexité des observables MT, est également calculé un sondage simplifié, où la géologie est ramenée à un milieu 1D, tabulaire (succession de couches de résistivités différentes) : le déterminant du tenseur d'impédance magnétotellurique fournit ainsi une composante résistivité apparente ρ_{det} et une phase φ_{det}.. Pour chaque sondage, un modèle de résistivité 1D est proposé.

Phénoménologie

En mer

Sur la zone de l'édifice volcanique et en l'état actuel des connaissances, l'ensemble des données bathymétriques acquises lors des différentes campagnes MAYOBS (*Rinnert et al., 2019*) montrent que l'éruption a produit, en date de fin octobre 2021, un volume estimé d'environ 6,55 km^3 de lave (sous réserve de calculs plus précis) depuis le début de son édification (sans correction de la vésicularité très variable des laves émises). Selon les différents modèles et interprétations proposées à ce jour, l'éruption aurait pu débuter le 18 juin 2018 (modèle de *Cesca et al., 2020*), voire le 3 juillet 2018 (modèle de *Lemoine et al., 2020*). Sur une période de 10 mois (de juillet 2018 - début des déformations de surface enregistrées à Mayotte – au 18 mai 2019), le flux éruptif minimum moyen de lave a été d'environ 172-181 m^3/s sur une durée maximale de 320 à 336 jours. Depuis la découverte de l'édifice volcanique, quatre nouveaux points de sortie distants ont été identifiés et ont produit : 1) au sud environ 0,2 km^3 de lave en 30 jours (19 mai-17 juin 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 77m^3/s ; 2) à l'ouest environ 0,3 km^3 de lave en 43 jours (entre le 18 juin et le 30 juillet 2019) pour un flux minimum moyen de 81 m^3/s ; 3) au nord environ 0,08 km^3 de lave en 21 jours (entre le 31 juillet et le 20 août 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 44 m^3/s. ; 4) au nord-ouest environ 0,8 km^3 de lave en 265 jours maximum (entre le 21 août 2019 et le 11 mai 2020) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 35 m^3/s ; 5) au nord-ouest entre 0,1 à 0,2 km^3 de lave en 153 jours (entre le 11 mai et le 11 octobre 2020) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 11 m^3/s. La campagne MAYOBS17 (*Thinon et al., 2021*) a montré que de nouvelles émissions de lave ont eu lieu sur le site au nord-ouest entre fin octobre 2020 et le 18 janvier 2021. La campagne de surveillance MAYOBS18 (du 09 au 13 avril 2021 ; *Rinnert et al., 2021a*) n'a pas mis en évidence la présence de nouvelles coulées de lave dans la zone nord-ouest. **Lors des quatre dernières campagnes sur site, MAYOBS21 (13 septembre au 4 octobre 2021 ; *Rinnert et al., 2021c*), MAYOBS23 (9 au 22 juillet 2022 ; *Jorry et al., 2022*), MAYOBS25 (11 au 28 septembre 2023 ; *Thinon et Lebas, 2023*) et MAYOBS30 (16 septembre au 10 octobre 2024 ; *Komorowski, Paquet et al, 2024*), à nouveau, aucune nouvelle coulée de lave n'a été mise en évidence dans le secteur de Fani Maoré. Depuis début 2021, l'éruption est probablement arrêtée mais aucune hypothèse n'est pour l'instant écartée quant à l'évolution de la situation à venir (arrêt définitif, reprise de l'activité éruptive sur le même site, reprise de l'activité éruptive sur un autre site), compte tenu de l'activité sismique persistante et d'émissions de fluides localisées dans la zone du Fer à Cheval.**
Les volumes et flux éruptifs, notamment au début de la crise, ont été exceptionnels et ont été, compte tenu des incertitudes, globalement les plus élevés observés sur un volcan effusif depuis l'éruption du Laki (Islande) en 1783 CE dont le flux moyen éruptif avait été estimé à 694 m^3/s sur 245 jours d'éruption (*Thordarson et Self, 1993*).

Afin de mieux caractériser la bathymétrie à proximité de la côte et pour palier à l'absence de données bathymétriques proche des côtes, des données ultra-côtières ont été acquises lors des campagnes MAYOBS18 (du 09 au 13 avril 2021 ; *Rinnert et al., 2021a*) et MAYOBS19 (du 27 mai au 01 juin 2021 ; *Rinnert et al., 2021b*) complétant ainsi une partie de la cartographie du tombant récifal de Petite-Terre entre la passe de Longoni et la zone nord-est de Petite-Terre. **Lors de la dernière campagne MAYOBS30 (du 16 septembre au 10 octobre 2024 ; *Komorowski, Paquet et al., 2024*), aucune modification majeure dans la morphologie et la topographie du fond marin n'a été détectée à la résolution du système d'acquisition du sondeur multifaisceaux coque au niveau de la côte de Mayotte.**

Géologie

Les six dragages de la campagne MAYOBS21 (13 septembre au 4 octobre 2021 ; *Rinnert et al., 2021c*) ont permis d'échantillonner avec succès quatre petits édifices pyroclastiques anciens dans la zone du Fer à Cheval, de la Couronne et de la chaine volcanique à l'Est du Fer à Cheval, formés par l'activité volcanique explosive, ainsi que deux coulées de lave distales des premières phases d'activité du nouveau volcan. **Des prélèvements géologiques par drague à roche ont également été réalisés lors de la campagne MD246-MAYOBS30 (16 septembre au 10 octobre 2024 ; *Komorowski et Paquet et al., 2024*) sur 8 sites. Sur tous ces sites du matériel pyroclastique sur des cônes volcaniques anciens issus d'une activité sous-marine explosive a été prélevé, principalement dans la zone du Fer à Cheval.** Les analyses en géochimie de roche totale des roches collectées lors de la campagne MAYOBS30 dans la zone du Fer à Cheval ou à proximité sont caractéristiques d'éruptions explosives mais aussi effusives ayant produit des compositions de phonolites évoluées ainsi que des phonolites classiques non évoluées. Au moins trois sites ont produit des magma basanitiques. Certains échantillons semblent avoir un âge récent mais d'autres sont plus anciens car recouverts d'une fine pellicule d'oxydes de manganèse **(Figure 18)**. **Des enclaves probablement d'origine mantellique et/ou crustale ont été retrouvées dans certains fragments de ces dragues ainsi qu'un riche assemblage de roches volcaniques formant le substratum volcanique ancien de la zone qui ont été arrachés par la remontée du magma qui ont donné naissance aux cônes pyroclastiques.** Ces fragments accidentaux ("lithiques") ont une grande importance dans la reconstruction du passé éruptif de la zone du Fer à Cheval recouverte par les produits volcaniques récents. **Lors de la campagne MAYOBS30 (*Komorowski, Paquet et al, 2024*) nous avons réussi à échantillonner deux cônes pyroclastiques situés à environ 700 m et 2000 m à l'est de l'île de Petite Terre. Ces cônes se situent dans l'alignement Petite Terre – Fer à Cheval et constituent la première évidence de volcanisme sur la Chaîne volcanique orientale sous-marine de Mayotte à l'Est du récif.** Très peu de matériel a pu être remonté par ces deux dragues. Cependant, les fragments récoltés sont des brèches contenant des fragments anguleux de scories oxydées dans une matrice carbonatée, recouvertes d'une croûte d'oxydes de manganèse. **Ces échantillons indiquent un volcanisme explosif basanitique très ancien sur cette partie de la Chaîne sous-marine. Enfin, une falaise d'environ 200 mètres de hauteur localisée au nord-est du Fer à Cheval a pu être échantillonnée sous un dôme pyroclastique déjà échantillonné.** Cette drague nous a permis de remonter 100 kg de scories indurées et de bombes armées basanitiques recouvertes d'une croûte d'oxydes de manganèse. **Ces échantillons témoignent donc d'un épisode volcanique explosif ancien important dans la zone du Fer à Cheval. Quelques pyroclastes phonolitiques du dôme sus-jacent ont également été collectés.** Plusieurs datations K-Ar vont être entreprises sur ces échantillons dans le cadre de la thèse de M. Frey (Université Paris Saclay et IPGP).

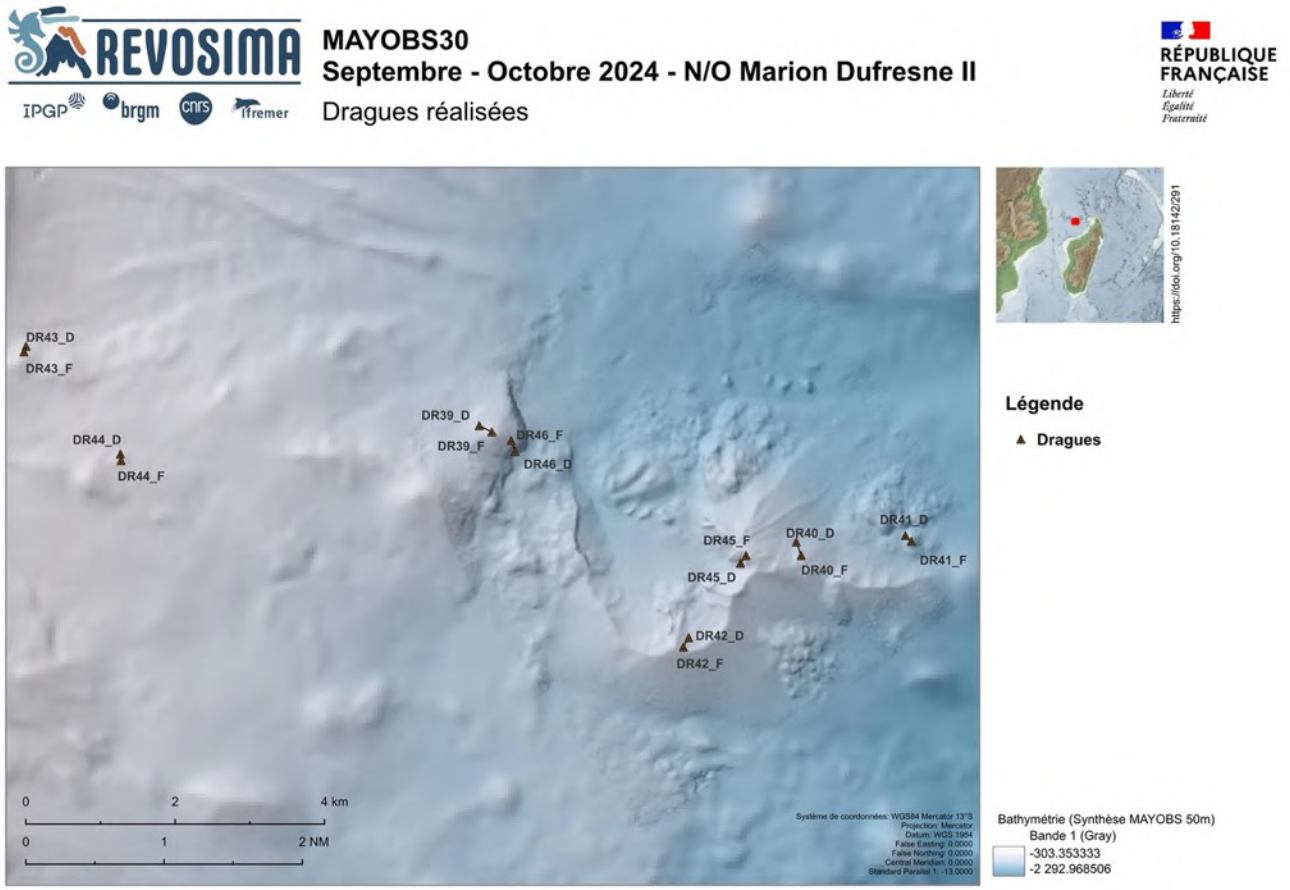


Figure 18 : Localisation des trois dragues obtenues lors de la campagne MD246-MAYOSB30 (© REVOSIMA).

Tous ces échantillons ont une importance significative car ils permettront de :

- Mieux contraindre l'origine, la teneur en gaz, la composition chimique et le dynamisme éruptif de la zone du Fer à Cheval, une région qui a été la plus active de la chaîne volcanique et qui a produit une grande diversité de dynamismes éruptifs caractérisés par la prédominance d'éruptions explosives, à partir d'une multitude de petits édifices, ayant émis des magmas phonolitiques, riches en gaz, qui ont séjourné et évolué pendant des périodes longues dans la lithosphère, mais qui sont remontés rapidement en surface, ainsi que par l'émission de magmas basanitiques similaires à ceux éruptés sur le nouveau volcan;

- Compléter la compréhension du fonctionnement des systèmes magmatiques de la chaîne volcanique sous-marine orientale de Mayotte et notamment les liens entre les zones de production et de stockage magmatique de la région du Fer à Cheval et de la Couronne avec celles ayant été impliquées dans la formation du nouveau volcan Fani Maoré.

Le CSS du REVOSIMA,
Le 9 avril 2025

Références

Audru et al. (2006), BATHYMAY : Underwater structure of Mayotte Island revealed by multibeambathymetry / Bathymay : la structure sous-marine de Mayotte révélée par l'imagerie multifaisceaux. Comptes Rendus Geosciences. 338. 1240-1249. 10.1016/j.crte.2006.07.010

Beauducel et al. (2010), Recent advances in the Lesser Antilles observatories Part 2: WebObs - an integrated web-based system for monitoring and networks management, Paper presented at the European Geophysical Union General Assembly, Vienna, May 2010

Beauducel et al. (2014), Real-time source deformation modeling through GNSS permanent stations at Merapi volcano (Indonesia), AGU Fall Meeting, December 2014, San Francisco, poster V412B-4800

Beauducel, F. et al. (2020), WebObs: The volcano observatories missing link between research and real-time monitoring, Front. Earth Sci. | doi: 10.3389/feart.2020.00048

Berthod, C. Médard, E., Bachèlery, B., 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., Fouquet, Y., Feuillet, N. (2021a), The 2018-ongoing Mayotte submarine eruption: magma migration imaged by petrological monitoring. Earth Planetary Science Letters, 57, 117085, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117085

Berthod, C., Médard, E., Di Muro, A. , Hassen Ali, T., Gurioli, L., Chauvel, C. , Komorowski, J-C. , Bachèlery, P. , Peltier, A. ,Benbakkar, M., Devidal, J-L. , Besson, P., Le Friant, A. , Deplus, C., Nowak, S. , Thinon, I. , Burckel, P., Hidalgo, S. , Feuillet, N. , Jorry, S. , Fouquet, Y. (2021b), Mantle xenolith-bearing phonolites and basanites feed the active volcanic ridge of Mayotte (Comoros archipelago, SW Indian Ocean), Contributions to Mineralogy and Petrology, 176:75, https://doi.org/10.1007/s00410-021-01833-1

Berthod, C., Komorowski, J.-C., Gurioli, L., Médard, E., Besson, P., Bachèlery, P., Verdurme, P., Chevrel, O., Di Muro, A., Devidal, J.-L. , Nowak, S., Thinon, I., Burckel, P, Hidalgo, S., Deplus, C, S., Réaud, Y., Fouchard, S., Bickert, M., Le Friant, A., Feuillet, N., S., Fouquet, Y., E., Cathalot, C., Lebas, E. (2022), Temporal magmatic evolution of the Fani Maoré submarine eruption 50km East offshore Mayotte revealed by in situ submarine sampling and petrological monitoring, Comptes Rendus. Géoscience, Tome 354, no. S2, pp. 195-223; DOI : 10.5802/crgeos.155

Bertil et al. (2019), MAYEQSwarm2019 : BRGM earthquake catalogue for the EarthquakeSwarm located East of Mayotte.2018 May 10th - 2019 May 15th, https://doi.org/10.18144/rmg1-ts50

Bertil, D., Mercury, N., Doubre, C., Lemoine, A., & Van der Woerd, J. (2021), The unexpected Mayotte 2018–2020 seismic sequence: a reappraisal of the regional seismicity of the Comoros. Comptes Rendus. Géoscience, 353(S1), 1-25

Boudoire, G., Di Muro, A., Liuzzo, M., Ferrazzini, V., Peltier, A., Gurrieri, S., Michon, L., Giudice, G., Kowalski, P. and Boissier, P. (2017), New perspectives on volcano monitoring in a tropical environment: continuous measurements of soil CO2 flux at Piton de la Fournaise (La Réunion Island, France). Geophysical Research Letters, 44, doi:10.1002/2017GL074237

Boudoire, G., Finizola, A., Di Muro, A., Peltier, A., Liuzzo, M., Grassa, F., Delcher, E., Brunet, C., Boissier, P., Chaput, M., Ferrazzini, V. and Gurrieri, S. (2018), Small-scale spatial variability of soil CO2 flux : implication for monitoring strategy. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 366, 13-26

Briole et al. (2008), note de synthèse http://volcano.iterre.fr/mayotte-seismo-volcanic-crisis

Bulletin du BCSF de juillet 2018 : http://www.franceseisme.fr/donnees/Note_macro-BCSF-RENASS-Mayotte-13-07-2018.pdf

Bulletins mensuels OVPF/IPGP : www.ipgp.fr/fr/dernieres-actualites/344

Cadeau, P., Jézéquel, D., Leboulanger, C., Fouilland, E., Le Floc'h, E., Chaduteau, C., Milesi, V., Guélard, J., Sarazin, G., Katz, A., d'Amore, S., Bernard, C., Ader, M. (2020), Carbon isotope evidence for large methane emissions to the Proterozoic atmosphere. Sci. Rep. 10, 18186. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75100-x

Cadeau, P., Jézéquel, D., Groleau, A., Di Muro, A., Ader, M. (2022), Impact of the seismo-volcanic crisis offshore Mayotte on the Dziani Dzaha Lake. Comptes Rendus Géoscience, 1-18. doi : 10.5802/crgeos.172

Cathalot, C., Rinnert, E., Scalabrin, C., Fandino, O., Giunta, T., Ondreas, H., ... & Feuillet, N., Large CO2 seeps and hydrates field in the Indian Ocean (Mayotte Island). Under Review at Nature Portfolio.

Cesca, S. et al. (2020), Drainage of a deep magma reservoir near Mayotte inferred from seismicity and deformation. Nature Geoscience, 13(1), 87-93.

Chanard, K. et al. (2018), Toward a global horizontaland vertical elastic load deformation model derived from GRACE and GNSS station position time series. Journal of Geophysical Research: Solid Earth,123, 3225–3237.https://doi.org/10.1002/2017JB015245

Debeuf (2004), Étude de l'évolution volcano-structurale et magmatique de Mayotte, Archipel des Comores, océan Indien : approches structurale, pétrographique, géochimique et géochronologique. Thèse de doctorat soutenu à l'université de la Réunion

Di Muro et al. (2019), rapport interne, OVPF-IPGP du 04-04-2019

Di Muro, A., Métrich, N., Allard, P., Aiuppa, A., Burton, M., Galle, B. and Staudacher, T. (2016), Magma degassing at Piton de la Fournaise volcano. In Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean (pp. 203-222). Springer, Berlin, Heidelberg

Dorel, J., Feuillard, M. (1980), Note sur la crise sismo-volcanique à la Soufrière de La Guadeloupe 1975–1977, Bull. Volcano., 43(2), 419-430

Famin, V., Michon, L., & Bourhane, A. (2020), The Comoros archipelago: a right-lateral transform boundary between the Somalia and Lwandle plates. Tectonophysics, 789, 228539

Feuillet, N. et al., Birth of a large volcano offshore Mayotte through lithosphere-scale rifting, Nature Geosciences, August 2021, https://doi.org/10.1038/s41561-021-00809-x

Feuillet, N. (2019), MAYOBS1 cruise, RV Marion Dufresne, https://doi.org/10.17600/18001217

Hanks, T. C., Kanamori, H. (1979), A moment magnitude scale, Journal of Geophysical Research, 84, 5, 2348 - 2350, 9B0059,

Doi :10.1029/JB084iB05p02348

Heumann, A., Margirier, F., Rinnert, E., Lherminier, P., Scalabrin, C., Geli, L., Pasqueron de Fommervault, O., and Beguery, L.: 30 months dataset of glider physico-chemical data off Mayotte Island near the Fani Maoré volcano, Earth Syst. Sci. Data Discuss. [preprint], https://doi.org/10.5194/essd-2024-377, in review, 2024.

Jorry, S., Paquet, F., Lebas, E. (2022), MAYOBS23 cruise, RV Marion Dufresne, https://doi.org/10.17600/18002494

Komorowski, J-C, Paquet, F. (2024), MAYOBS23 cruise, RV Marion Dufresne, https://doi.org/10.17600/18003592

Lavayssière, A., Crawford, W. C., Saurel, J. M., Satriano, C., Feuillet, N., Jacques, E., & Komorowski, J. C. (2022), A new 1D velocity model,and absolute locations image the Mayotte seismo-volcanic region. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 421, 107440, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107440

Lavayssière, A., Bazin, S., & Royer, J. Y. (2024). Hydroacoustic Monitoring of Mayotte Submarine Volcano during Its Eruptive Phase. Geosciences, 14(6), 170.

Lebas, E. (2022), MAYOBS22 cruise, RV OSIRIS II, https://doi.org/10.17600/18003293

Lebas, E., Besançon, S. (2023), MAYOBS24 cruise, RV OSIRIS II, https://doi.org/10.17600/18003294

Leboulanger, C., Agogué, H., Bernard, C., Bouvy, M., Carré, C., Cellamare, M., Duval, C., Fouilland, E., Got, P., Intertaglia, L., Lavergne, C., Le Floc'h, E., Roques, C., Sarazin, G. (2017), Microbial Diversity and Cyanobacterial Production in Dziani Dzaha Crater Lake, a Unique Tropical Thalassohaline Environment. PLOS ONE 12, e0168879. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168879

Lemoine et al. (2020), The 2018–2019 seismo-volcanic crisis east of Mayotte, Comoros islands: seismicity and ground deformation markers of an exceptional submarine eruption, Geophys. J. Int., 223(1), 22–44, https://doi.org/10.1093/gji/ggaa273

Liuzzo, M., Gurrieri, S., Giudice, G. and Giuffrida, G. (2013), Ten years of soil CO2 continuous monitoring on Mt. Etna : Exploring the relationship between processes of soil degassing and volcanic activity. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 14(8), pp.2886-2899

Liuzzo, M., Di Muro, A., Rizzo, A.L., Caracausi, A., Grassa, F., Fournier, N., Moreira, M., Shafik, B., Boudoire, G., Coltorti, M., Italiano, F. (2021), Gas geochemistry at Grande Comore and Mayotte volcanic islands (Comoros Archipelago, Indian Ocean). G3, e2021GC009870

Liuzzo, M., Di Muro, A., Rizzo, AL., Grassa, F., Coltorti, M., Ader, M. (2022), The composition of gas emissions at Petite Terre (Mayotte, Comoros): inference on magmatic fingerprints. Comptes Rendus. Géoscience, Online first (2022), pp. 1-24. doi : 10.5802/crgeos.148.

Mastin, M., Cathalot, C., Fandino, O., Giunta, T., Donval, J. P., Guyader, V., ... & Rinnert, E. (2023), Strong geochemical anomalies following active submarine eruption offshore Mayotte. Chemical Geology, 640, 121739.

Milesi, V. P., Debure, M., Marty, N. C. M., Capano, M., Jézéquel, D., Steefel, C., Rouchon, V., Albéric, P., Bard, E., Sarazin, G., Guyot, F., Virgone, A., Gaucher, É. C., and Ader, M. (2020), Early diagenesis of lacustrine carbonates in volcanic settings: the role of Magmatic CO2 (Lake Dziani Dzaha, Mayotte, Indian Ocean). ACS Earth Space Chem., 4, 363–378.

Nehlig et al. (2013), Notice de la carte géologique de Mayotte, BRGM/RP-61803-FR, 135 p., 45 ill., 1 ann., 2013

Pelleter et al. (2014), Melilite-bearing lavas in Mayotte (France): An insight into the mantle source below the Comores. Lithos, Elsevier, 2014, 208-209, 281-297

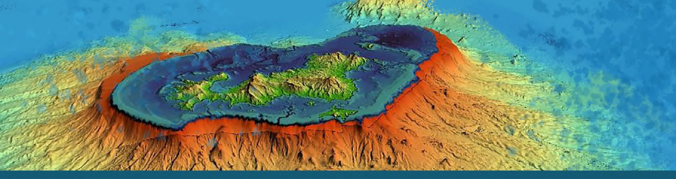
Peltier, A., Saur, S., Ballu, V., Beauducel, F., Briole, P., Chanard, K., Dausse, D., De Chabalier, JB., Grandin, R., Rouffiac, P., Tranchant, YT. et al. (2022), Ground deformation monitoring of the eruption offshore Mayotte. Comptes Rendus. Géoscience, pp. 1-23. https://doi.org/10.5802/crgeos.176

Pérez, N.M., Padilla, G.D., Padrón, E., Hernández, P.A., Melián, G.V., Barrancos, J., Dionis, S., Nolasco, D., Rodríguez, F., Calvo, D. and Hernández, Í. (2012), Precursory diffuse CO2 and H2S emission signatures of the 2011–2012 El Hierro submarine eruption, Canary Islands. Geophysical Research Letters, 39(16)

Retailleau L., Saurel J.-M., Zhu W., Satriano C., Beroza G. C., Issartel S., Boissier P., OVPF Team, OVSM Team (2022a), A wrapper to use a machine-learning-based algorithm for earthquake monitoring, Seismological Research Letter, 93(3), 1673-1682.

Retailleau, L., Saurel, J.M., Laporte, M., Lavayssière, A., Ferrazzini, V., Zhu, W., Beroza, G.C., Satriano, C., Komorowski, J.C. and OVPF Team (2022b). Automatic detection for a comprehensive view of Mayotte seismicity. Comptes Rendus. Géoscience, 354(S2), pp.1-18.

Rinnert, E., Lebas, E., Komorowski, J-C., Paquet, F., Jorry, S., Feuillet, N., Thinon, I., Fouquet, Y. (2019), MAYOBS, https://doi.org/10.18142/291
Rinnert, E., Thinon, I., Feuillet, N. (2020), MD 228 / MAYOBS15 cruise, RV Marion Dufresne, https://doi.org/10.17600/18001745
Rinnert, E., Thinon, I., Lebas, E. (2021a), MAYOBS18 cruise, RV Pourquoi pas ?, https://doi.org/10.17600/18001984
Rinnert, E., Paquet, F., Lebas, E. (2021b), MAYOBS19 cruise, RV Pourquoi pas ?, https://doi.org/10.17600/18001985
Rinnert, E., Thinon, I., Lebas, E. (2021c), MAYOBS21 cruise, RV Marion Dufresne, https://doi.org/10.17600/18001986
Rizzo, A.L., Federico, C., Inguaggiato, S., Sollami, A., Tantillo, M., Vita, F., Bellomo, S., Longo, M., Grassa, F. and Liuzzo, M. (2015), The 2014 effusive eruption at Stromboli volcano (Italy): Inferences from soil CO2 flux and 3He/4He ratio in thermal waters. Geophys. Res. Lett., 42, 2235–2243, doi:10.1002/2014GL062955
Rizzo, A. L., Di Piazza, A., de Moor, J.M., Alvarado, G.E., Avard, G., Carapezza, M.L. and Mora, M.M. (2016), Eruptive activity at Turrialba volcano (Costa Rica): Inferences from 3He/4He in fumarole gases and chemistry of the products ejected during 2014 and 2015. Geochem. Geophys. Geosyst, 17, 4478-4494
Sanjuan et al. (2008), Estimation du potentiel géothermique de Mayotte : Phase 2˘ Etape 2. Investigations géologiques, géochimiques et géophysiques complémentaires et synthèse des résultats, rapport final, BRGM/RP-56802-FR, 82 p., 18 fig., 3 tabl., 6 ann.
Sano, Y., Kagoshima, T., Takahata, N., Nishio, Y., Roulleau, E., Pinti, D.L. and Fischer, T.P. (2015), Ten-year helium anomaly prior to the 2014 Mt Ontake eruption. Scientific reports, 5, 13069
Sarazin, G., Jézéquel, D., Leboulanger, C., Fouilland, E., Le Floc'h, E., Bouvy, M., Gérard, E., Agogué, H., Bernard, C., Hugoni, M., Grossi, V., Troussellier, M., Ader, M. (2021), Geochemistry of an endorheic thalassohaline ecosystem: the Dziani Dzaha crater lake (Mayotte Archipelago, Indian Ocean). Comptes Rendus Géoscience 352, 559–577. https://doi.org/10.5802/crgeos.43
Saurel, J. M., Jacques, E., Aiken, C., Lemoine, A., Retailleau, L., Lavayssière, A., et al. (2022), Mayotte seismic crisis: building knowledge in near real-time by combining land and ocean-bottom seismometers, first results. Geophysical Journal International, 228(2), 1281-1293, https://doi.org/10.1093/gji/ggab392
Shom (2016), MNT Bathymétrique de façade de Mayotte (Projet Homonim). http://dx.doi.org/10.17183/MNT_MAY100m_HOMONIM_WGS84
Sigmarsson et al. (2015), EPSL, doi : 10.1016/j.epsl.2015.06.054
Thinon, I., Rinnert, E., Feuillet, N. (2021), MAYOBS17 cruise, RV Pourquoi pas ?, https://doi.org/10.17600/18001983
Thinon, I., Lemoine, A., Leroy, S., Paquet, F., Berthod, C., Zaragosi, S., et al., (2022), Volcanism and tectonics unveiled in the Comoros Archipelago between Africa and Madagascar. Comptes Rendus. Géoscience, 354(S2), 7-34
Thinon, I., Lebas, E. (2023) MD242 / MAYOBS25 cruise, RV Marion Dufresne, https://doi.org/10.17600/18003404
Thordarson, Th, Self, S. (1993), The Laki (SkaftarFires) and Grimsvötn eruptions in 17983-1785. Bull Volcanol, 55 :233-263
Traineau et al., (2006), Etat des connaissances du potentiel géothermique de Mayotte, BRGM/RP-54700-FR, 81 p., 31 ill., 2 ann.
Vozoff, K. (1972). The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins. Geophysics, 37(1), 98-141.
Zinke, J., Reijmer, J.J.G., Dullo, W.-Ch., Thomassin, B.A. (2000), Paleoenvironmental changes in the lagoon of Mayotte associated with the Holocene transgression. GeoLines 11, Prague, pp.150-153
Zinke et al. (2003), Postglacial flooding history of Mayotte Lagoon (Comoro Archipelago, southwest Indian Ocean). Marine Geology, 194(3–4), 181–196. https://doi.org/10.1016/S0025-˘3227(02)00705-˘3
Zinke et al. (2005), Facies and faunal assemblage changes in response to the Holocene transgression in the Holocene transgression in the Lagoon of Mayotte (Comoro Archipelago, SW Indian Ocean). Facies 50 :391–408 DOI 10.1007/s10347-004-0040-7



Bulletin mensuel

Janvier 2025

Informations

Pour en savoir plus sur l'activité sismo-volcanique à Mayotte, retrouvez les dernières informations sur :
- le site de l'IPGP dédié : www.ipgp.fr/revosima
- doi:10.18715/MAYOTTE.REVOSIMA : http://volobsis.ipgp.fr/revosima/
- Le BRGM - Direction Risques et Prévention, en particulier l'Unité Risques sismique et volcanique
- Le BRGM - Direction des Actions Territoriales, en particulier la Direction régionale de Mayotte
- Le site du BRGM : https://www.brgm.fr/fr/implantation-regionale/mayotte
- Contacter le BRGM : http://www.brgm.fr/content/contact
- le site de l'IFREMER : https://wwz.ifremer.fr/Espace-Presse/Communiques-de-presse/Seismes-a-Mayotte-conclusions-de-la-seconde-campagne-oceanographique
- le site de l'ENS : http://volcano.iterre.fr/mayotte-seismo-volcanic-crisis
- le site du bureau central sismologique français (BCSF-RENASS) : www.franceseisme.fr/
- le site du Réseau national de surveillance sismologique RENASS : https://renass.unistra.fr/fr/zones/
- le site de GEOSCOPE : http://geoscope.ipgp.fr/index.php/fr/actualites/actualites-des-seismes
- le site du NEIC / USGS : https://earthquake.usgs.gov/earthquakes
- la page Mayotte dans le site du Global Volcanism Program, Smithsonian Institution, base de données mondiale du volcanisme : https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=233005
- le site de coordination des observations géodésiques à Mayotte maintenu par l'IGN : http://mayotte.gnss.fr/
- le site de la préfecture de Mayotte : http://www.mayotte.gouv.fr/

Il est fondamental pour la prévention du risque sismique et la progression des connaissances scientifiques que toute personne souhaitant témoigner, qu'elle ait ou non ressenti un séisme, puisse déposer son témoignage sur le site BCSF-RENASS (Bureau Central Sismologique Français) à l'adresse : www.franceseisme.fr

Les localisations de la sismicité volcanique et tectonique enregistrées par le REVOSIMA en temps réel sont disponibles sur : https://renass.unistra.fr/fr/zones/mayotte/ et dans le bulletin quotidien du REVOSIMA.

Retrouvez ce bulletin et toute l'actualité du REVOSIMA sur :
- le site web : www.ipgp.fr/revosima
- la page facebook du REVOSIMA : https://www.facebook.com/ReseauVolcanoSismoMayotte/

Un bulletin automatique préliminaire d'activité du REVOSIMA, relatif aux activités de la veille et validé par un.e analyste, est publié quotidiennement depuis le 17 mars 2020, et accessible directement sur ce lien :
http://volcano.ipgp.fr/mayotte/Bulletin_quotidien/bulletin.html

Ce bulletin est produit par le consortium du REVOSIMA, financé par l'Etat :
Le REVOSIMA (IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS) est soutenu par un consortium scientifique avec l'ITES et le RENASS-BCSF, l'IRD, l'IGN, l'ENS, l'Université de Paris, l'Université de la Réunion, l'Université Clermont Auvergne, LMV et l'OPGC, l'Université de Strasbourg, l'Université Grenoble Alpes et ISTerre, l'Université de La Rochelle, l'Université de Bretagne Occidentale, l'Université Paul Sabatier, Toulouse et le GET-OMP, GéoAzur, le CNES, Météo France, le SHOM, les TAAF, et collaborateurs. Les astreintes de surveillance renforcée du processus sismo-volcanique par le REVOSIMA ont été assurées pendant une phase provisoire depuis le 25 juillet 2019 sur la base de la mobilisation exceptionnelle de personnels scientifiques permanents disponibles, qui proviennent de laboratoires de l'INSU-CNRS et de leurs universités associées (BCSF-RENASS, CNRS, ITES et Université de Strasbourg, Université Grenoble Alpes et ISTerre, Université Paul Sabatier, Toulouse et GET-OMP, Université Clermont Auvergne, LMV et OPGC, BRGM, IPGP et Université de Paris, Université de la Réunion), sous le pilotage de l'IPGP, de l'OVPF-IPGP, et du BRGM Mayotte, et sur la base d'un protocole et d'outils mis en place par l'IPGP, le BCSF-RENASS, l'OVPF-IPGP, et l'IFREMER. Depuis début 2020, les astreintes sont assurées par l'OVPF-IPGP.

Les informations de ce document ne peuvent être utilisées sans y faire explicitement référence.