



SCIENCE

Dragage de roches volcaniques © BRGM, I Thinin et Mayobs

NAISSANCE DU « BÉBÉ VOLCAN » À MAYOTTE – DU DÉFI SCIENTIFIQUE AU DÉFI DE LA GESTION DES RISQUES

Taillefer N. (BRGM, responsable de l'unité Risques sismiques et volcaniques), **Tronel F.** (BRGM, directeur régional Mayotte), **Lemoine A.** (BRGM, sismologue), **Feuillet N.** (IPGP, responsable du projet CNRS-INSU Tellus MAYOTTE/ SISMAYOTTE), **Chaussidon M.** (IPGP, directeur), **Daniel J.-M.** (Ifremer, directeur du département Ressources physiques et écosystèmes de fond de mer), **Humler E.** (INSU CNRS, directeur du REVOSIMA), le comité REVOSIMA¹

10 mai 2018, la terre tremble à Mayotte. C'est la première secousse ressentie à terre d'un essaim² sismique qui dure depuis plus d'un an. Cet essaim surprend par son ampleur et sa durée. Le déploiement de matériel et les campagnes marines ont permis d'identifier son origine : un nouveau volcan est né au large de Mayotte. Comment la science aide-t-elle les décideurs pour gérer les risques associés ?

MAYOTTE ET L'ARCHIPEL DES COMORES

Mayotte est située dans l'archipel

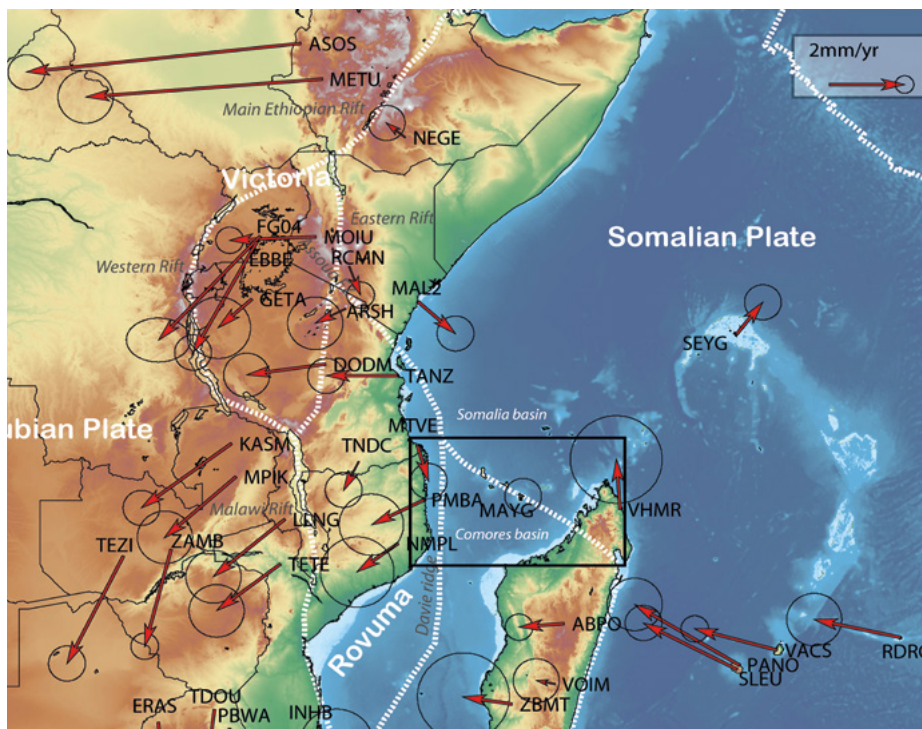
des Comores, dans une zone supposée en limite de différentes plaques tectoniques, à 450 km de la branche orientale du rift est-africain qui passe au large du Mozambique. Cette région est globalement soumise à une dynamique d'extension est-ouest. L'origine volcanique de l'archipel est connue, et l'activité s'étale sur une période allant de 11Ma à aujourd'hui (volcan Karthala). Néanmoins, le volcanisme de Mayotte était considéré comme le plus ancien de l'archipel, les dernières éruptions connues datant de 4 à 7 000 ans dans la zone de Petite-Terre.



Navire Marion-Dufresne © BRGM

¹ Les scientifiques du comité REVOSIMA : A. Peltier, A. Di Muro, A. Le Friant, A. Lemoine, A. Lemarchand, B. Garayt, Ch. Deplus, Cl. Satriano, C. Doubre, D. Bertil, E. Rinert, E. Mitard, E. Humler, E. Jacques, F. Beauducel, F. Tronel, I. Thinin, J.-B. Dechabaliar, J.-Ch. Komorowski, J.-M. Daniel, J.-M. Mompelat, J.-M. Saurel, J. Vergne, J. Van der Woerd, L. Kerleguer, L. Michon, L. Gurioli, M. Chaussidon, M. Grunberg, M. Le Gléau, N. Feuillet, N. Taillefer, O. Parvillers, P. Bachèlery, P. Kowalski, P. Briole, P. Toulhoat, P.-Y. Dupuy, R.I Grandin, S. Jorry, S. Saur, V. Ferrazzini, V. Famin, W. Crawford, Y. Fouquet

² L'activité sismique en cours à Mayotte correspond à un épisode dit « essaim de séismes », qui se traduit par de multiples séismes survenant dans une zone délimitée sur une période de plusieurs jours ou plusieurs semaines. Cet épisode se différencie nettement des phénomènes de type « secousse principale suivie de répliques plus petites » ressentis antérieurement à Mayotte, et régulièrement dans différentes régions en France.



Carte régionale du canal du Mozambique et de l'archipel des Comores, faisant apparaître les limites de plaques tectoniques et les déplacements observés au niveau des stations GPS permanentes en référence à celle de Mayotte (MAYG), © BRGM, d'après Lemoine et al. 2019

L'essai sismique toujours en cours se produit à l'est de Mayotte entre Petite-Terre et la zone éruptive découverte située à 50 km. Dans cette zone le plancher océanique se situe à plus de 3500 m de fond. La bathymétrie y était jusqu'à présent mal connue, de même que la nature de la croûte, océanique ou continentale, qui fait débat.

La naissance d'un volcan sous-marin, relativement proche des côtes, est à la fois un phénomène géologique rare, et un défi pour la gestion des risques. Comment répondre aux questions sur les risques potentiels, dans une zone où les connaissances scientifiques sont parcellaires et l'accès difficile ? Quelles sont les conséquences pour l'île de l'activité



Échantillons de roche provenant des émissions volcaniques du nouveau volcan sous-marin au large de Mayotte © BRGM - F. Tronel

sismique et volcanique récente ?

LA PETITE HISTOIRE D'UNE GRANDE DÉCOUVERTE

Du fait de la sismicité supposée modérée dans la région, peu de stations sismiques permanentes étaient installées sur l'île. Les réseaux internationaux de surveillance ne détectent que les séismes relativement importants (magnitudes supérieures à 4.5). Cependant, grâce à une station accélérométrique du réseau RESIF-RAP installée à Mamoudzou en 2016 et gérée par le BRGM (Bureau de recherche géologique et minière), un suivi sismologique de l'essai a quand même été possible depuis le début. En mai et juin 2018, le réseau d'observation a été renforcé par deux nouvelles stations à Mayotte (collaboration BCSF - Bureau Central de Sismologie Français - et projet Sismos à l'école³), et avec l'intégration des données de trois stations du réseau de surveillance volcanique du Karthala (collaboration IPGP). Malgré cela, le réseau sismique restait insuffisant, et les localisations étaient entachées d'une incertitude de 15-20 km. Le déploiement de sismomètres de fond de mer (OBS) à partir de février 2019, et l'installation de trois nouvelles stations à terre permettent de disposer aujourd'hui de résultats plus précis.

En un an, plusieurs milliers de séismes ont été observés dont plus

de 30 de magnitude supérieure à 5. La magnitude maximale, 5.9, est atteinte dès le 5ème jour de la crise (15 mai) et 87 % de l'énergie est dissipée dans les quarante premiers jours. Les derniers mois sont moins intenses en nombre et densité, mais des magnitudes voisines de 4 sont régulièrement enregistrées.

DES DONNÉES CLEFS POUR L'HYPOTHÈSE VOLCANIQUE

Des stations GPS permanentes sont aussi installées depuis 2014 à Mayotte pour mesurer les déplacements à la surface de l'île. Celle de Dzaoudzi est la plus proche de l'essai. Si pendant les premières semaines aucune évolution anormale sur ce réseau n'a été observée, des déplacements significatifs sont mesurés à partir de juillet 2018, atteignant jusqu'à 20 cm vers l'est et 15 cm vers le bas (données IGN fin octobre 2019).

Ces déformations ne peuvent pas s'expliquer par des déplacements liés à l'activité sismique observée. Rapidement l'hypothèse d'une subsidence⁴ due à la vidange d'un réservoir magmatique est avancée (interprétation de Pierre Briole de l'ENS⁵). Elle est aujourd'hui l'hypothèse privilégiée, et des modèles ont été développés pour interpréter ces résultats, et estimer le volume et la position de cette chambre (Lemoine et al., 2019).



Échantillons de lave issus du nouveau volcan sous-marin au large de Mayotte © BRGM - F. Tronel

Autre phénomène qui a suscité la curiosité de la communauté scientifique, le 11 novembre 2018, un fort et long signal sismique monofréquentiel, très basse fréquence, est observé à plusieurs milliers de kilomètres sur les réseaux sismiques mondiaux. L'origine du signal à proximité de Mayotte est vite confirmée bien qu'aucun séisme fort ou ressenti dans l'île ne puisse être associé à cet événement.

³ Le projet « Sismos à l'école » est un programme éducatif visant à déployer des sismomètres à vocation éducative dans les écoles

⁴ La subsidence est un mouvement vertical vers le bas

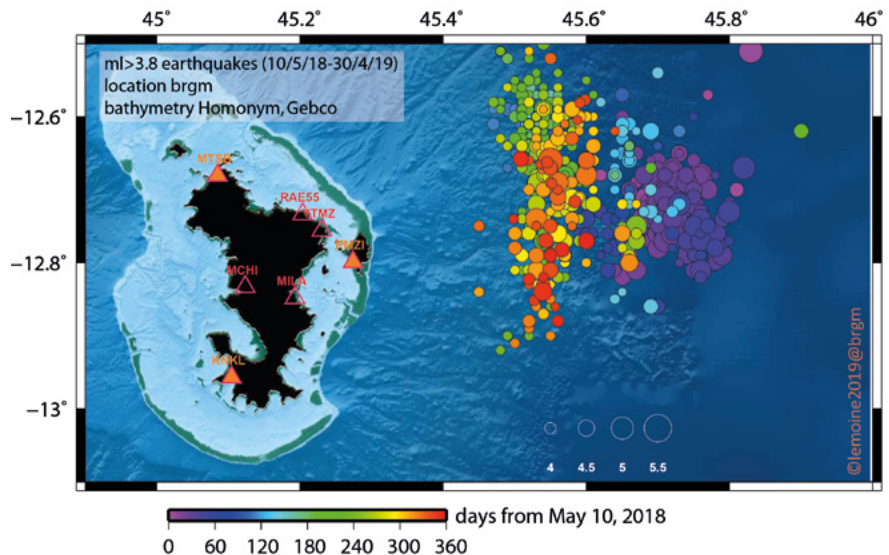
⁵ Voir http://volcano.terre.fr/wp-content/uploads/2018/11/mayotte_note_deformation_GPS_20181126.pdf



Là encore, les hypothèses sur la génération de ce type d'onde sont en faveur d'une activité volcanique.

Au mois de mai 2019, les choses s'accroissent avec le déploiement de missions marines (MAYOBS)⁶. Le Marion-Dufresne est dépêché sur place depuis la Réunion par la Flotte océanique française (FOF) opérée par l'Ifremer, et des équipes scientifiques (IPGP, OPVF, BRGM, Ifremer) embarquent. Elles s'appuient sur de nombreux équipements (rosette pour les prélèvements et l'analyse de la colonne d'eau, sondeur multifaisceaux [bathymétrie et réflectivité], drague, scampi [caméra sous-marine] et AUV [robot sous-marin autonome]). Au total cinq missions MAYOBS sont organisées, et dès la première : un volcan sous-marin d'une taille exceptionnelle est observé ! Cette observation est rendue possible par différents moyens : en comparant la bathymétrie effectuée sur le bateau et les données préexistantes, datant de 2014 ; en analysant des anomalies acoustiques de la colonne d'eau qui révèlent la présence de panaches de fluides.

L'hypothèse de la vidange de la chambre magmatique corrobore bien la formation d'un édifice volcanique. Les missions suivantes permettront de repérer plusieurs zones d'écoulement sur le plancher océanique, et de prélever des roches. Les volumes et débits observés correspondent aux prévisions des modèles déduits des mesures GPS. On parle désormais de ride volcanique qui s'étend de Petite Terre au nouveau volcan à 50km à l'est. La sismicité est localisée principalement entre 5 et 15 km du littoral de Petite Terre et entre 25 à 50 km de profondeur, selon trois zones d'essaims, dont l'activité varie dans le temps. Une attention particulière est portée sur cette zone et son évolution (suivi de la sismicité, bathymétrie fine, prélèvements roches, analyse fluide...).



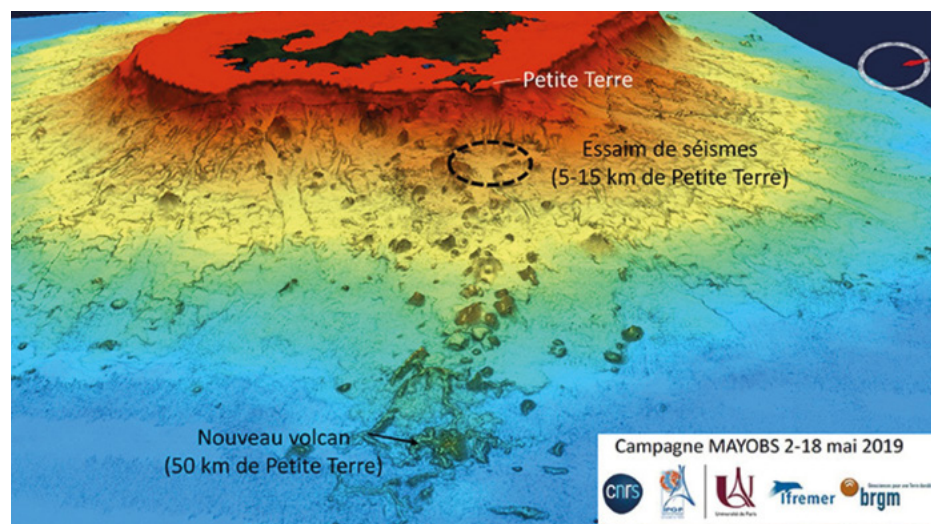
Localisation préliminaire des séismes survenus durant la première année. Les stations sismiques à terre sont représentées par des triangles (les stations en triangles pleins ont été installées en mars 2019 et n'ont pas été utilisées pour les localisations de cette carte). © BRGM A. Lemoine

ENTRE INQUIÉTUDE ET ÉMERVEILLEMENT

Dès les premières secousses, l'inquiétude est vive parmi la population. Les premiers jours, une forme de panique s'empara des habitants à cause de la succession de secousses et la circulation de rumeurs sur ce qui se passe, sur les réseaux sociaux notamment. En effet, les gens ne sont pas habitués à ressentir des séismes à Mayotte, et là, il s'en produit plusieurs par jour ; le stress ajouté à la fatigue rend la situation tendue. Et puis, il y a les interrogations sur la solidité des bâtiments et des écoles. Dans ce contexte, le besoin d'information fiable sur ce qui se passe et les

conséquences possibles est très marqué. (Voir article en bas de page)^{7 8} Par ailleurs, la population avait une très faible conscience du risque sismique avant la crise. Un séisme important avait bien eu lieu en 1993, et avait même causé des dommages aux constructions fragiles, mais la population a doublé depuis. La plupart des gens ont oublié le risque.

Rapidement la préfecture, aidée par le BRGM, met en place un point de situation donnant les informations disponibles deux fois par semaine. Une foire aux questions est également mise en ligne, et les interventions dans les médias sont régulières. Chaque mission donne



Vue vers Mayotte de la ride morphologique possiblement magmatique avec une multitude de structures volcaniques d'âges variables à sa surface. Le nouvel édifice volcanique est indiqué par une flèche © MAYOBS

6 Voir l'article présentant les résultats de la campagne Mayobs 1 : Feuillet et al., Birth of a large volcanic edifice offshore Mayotte through lithosphere-scale rifting, papier en révision, Nature, novembre 2019, et les campagnes Mayobs 2 à 4 : FEUILLET N., JORRY S., THINON I., FOUQUET Y. (2019), MAYOBS, <https://doi.org/10.18142/291>

7 « Séismes à Mayotte: la préfecture active une cellule de crise, la population s'inquiète », France Info, La1ère (avec AFP), le 16 mai 2018. <http://la1ere.francetvinfo.fr/seismes-mayotte-prefecture-active-cellule-crise-population-s-inquiete-589615.html>

8 « À Mayotte, plus de 700 séismes recensés depuis le 10 mai », Brut, <https://youtu.be/ZtvJrzRy9k>

également lieu à un débriefing avec la préfecture et à une conférence de presse. Ce qui est observé n'est vraiment pas banal ! Du point de vue scientifique, la possibilité d'observer un cône volcanique sous-marin en formation, qui plus est de cette taille, est exceptionnelle. Beaucoup de questions attendent néanmoins des réponses : combien de temps cela va-t-il durer ? Quels sont les risques à terre ? À partir de l'automne 2019, un réseau de surveillance dédié est mis en place et prend le relai pour la publication de l'information : le réseau de surveillance volcanique et sismologique de Mayotte (ReVoSiMa). Il a en charge de suivre l'évolution de la situation en réalisant des mesures en continu (sismologie, déformations),



Population mahoraise s'étant réunie à l'extérieur suite à un séisme ressenti⁹, © Facebooklive, Mayotte La 1^{ère}

en rassemblant les résultats d'interprétation des données acquises par les campagnes (analyses des prélèvements de fluides ou de roches), et les interprétations scientifiques (mécanismes, scénarios d'évolution). Ce réseau, codirigé par l'IPGP et le BRGM fonctionne depuis septembre 2019.

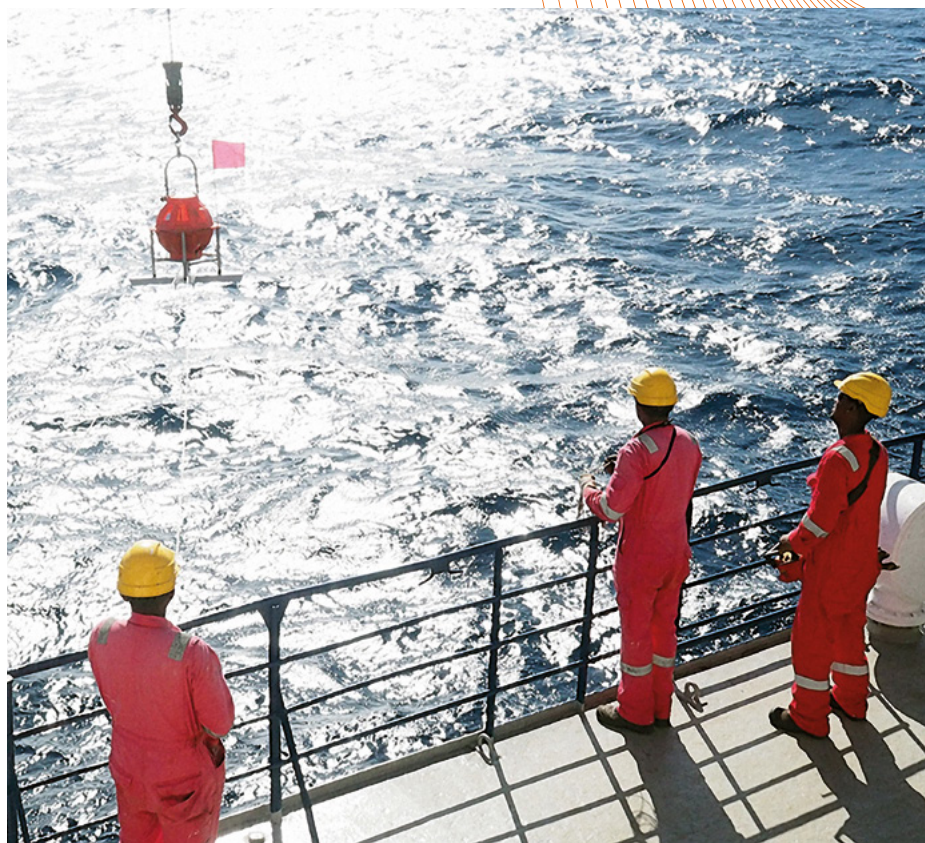
GÉRER LE VOISINAGE D'UN VOLCAN ACTIF

Pour apporter aux pouvoirs publics les connaissances nécessaires à la gestion de la situation, la communauté scientifique transmet ses observations aussi rapidement que possible. Néanmoins, le dépouillement des données acquises et l'élaboration d'hypothèses et de scénarios fiables demandent du temps. Le 15 octobre 2019, un séminaire scientifique¹⁰ est organisé par l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) pour faire le point sur les avancées de la recherche. En parallèle, des outils d'aide à la décision, alimentés par les connaissances en cours d'acquisition, sont développés par le

BRGM. Des scénarios de dommages sismiques, des scénarios d'impacts des tsunamis considérant différents cas de déclenchement, et un outil d'estimation rapide des pertes en cas de secousse sont par exemple développés et mis à disposition des acteurs locaux. Dans le même temps, les travaux scientifiques continuent, dans le cadre du ReVoSiMa, avec le déploiement de capteurs et les traitements des données acquises en mer, l'analyse et les modélisations nécessaires pour mieux comprendre les phénomènes.

Suite à la découverte du nouvel édifice volcanique, des réunions interministérielles sont organisées sous l'égide du cabinet du Premier ministre avec les ministères de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, des Outre-mer, de l'Intérieur et de la Transition écologique et solidaire, afin de prioriser les actions à entreprendre à court terme, attribuer des financements, et planifier des actions à plus long terme.

La poursuite de la surveillance sismologique et volcanique est indispensable à la gestion à moyen terme d'une situation inédite en France. Par ailleurs, les recherches se poursuivent au travers de projets financés par l'Agence nationale de La recherche ou les organismes, et l'organisation de nouvelles campagnes marines par la FOF, pour récolter des données sur la ride volcanique, mais aussi plus largement sur la zone autour de Mayotte. Cela permettra à la fois de mieux comprendre le volcan et son contexte global, et continuera d'alimenter les actions et décisions nécessaire à la cohabitation avec le nouveau volcan.



Sismomètre de fond de mer © BRGM, A. Lemoine

9 A Passamainty, ce sont plusieurs centaines d'administrés qui étaient venus se réfugier au stade. Après avoir échangé avec eux, ils ont regagné leurs domiciles », Facebooklive, Mayotte La 1^{ère}, 16 mai 2018. URL : <https://www.facebook.com/watch/?v=1767353793303650>

10 « Éruption volcanique sous-marine à Mayotte 2018 - 2019 : retour sur 9 mois d'études et de surveillance sismo-volcanique », Conférence, 15 octobre 2019, Paris, IPGP. URL : <http://www.ipgp.fr/fr/evenements/leruption-volcanique-marine-cours-a-mayotte>