

Bulletin n°5 du 16 au 30 septembre 2019

ISSN : 2680-1205

Bulletin de l'activité sismo-volcanique à Mayotte

Préambule

Evolution au cours des derniers quinze jours :

Pas d'évolution notable, activité sismique principale toujours concentrée à 5-15 km de Petite-Terre, à des profondeurs de 19-50 km. Une sismicité plus faible en nombre et en énergie (faible magnitude comprise entre 1 et 3), est également toujours enregistrée proche de Petite-Terre à environ 5 km à l'est (à des profondeurs de 20-50 km) voire sous Petite Terre. Cette sismicité était déjà visible sur les données des sismomètres fond de mer depuis février 2019.

Les déplacements de surface mesurés depuis le début de la crise par les stations GPS de Mayotte indiquent : a) un déplacement d'ensemble des stations GPS de Mayotte vers l'est d'env. 17 à 20 cm ; b) un affaissement (subsidence) d'env. 8 à 15 cm selon leur localisation sur l'île. Un ralentissement des déplacements est observé depuis avril-mai 2019 ainsi qu'une stabilisation de la subsidence depuis 1,5 mois sur certaines stations notamment sur celles de Petite Terre.

Événement en cours : éruption sous-marine en cours en date du 31 juillet 2019, à 50-60 km à l'Est de Mayotte avec sismicité et déformations associées.

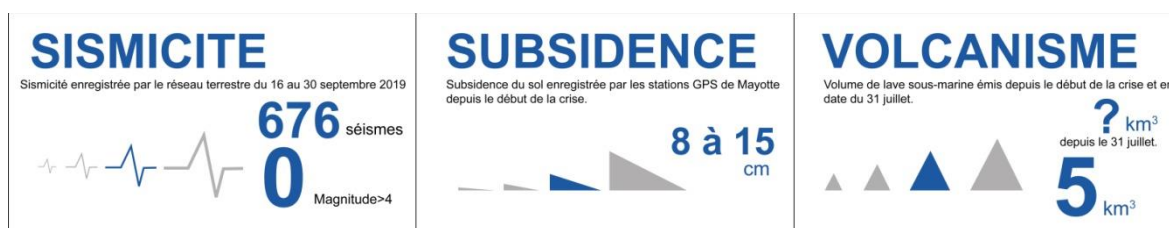
Il est fondamental de reporter tout séisme ressenti au BCSF-RENASS sur le site : <http://www.franceseisme.fr/>

Nouveau site éruptif sous-marin à l'Est de Mayotte découvert lors des campagnes océanographiques (IFREMER Mayobs-1-2-3-4) réalisées entre le 2 mai et le 30 juillet 2019.

Edifice principal : latitude : $-12^{\circ}54'$; longitude : $45^{\circ}43'$; hauteur : au moins 800 m (en date du 31 juillet 2019) ; profondeur à la base du site éruptif : -3500 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.

Ce réseau est opéré par l'IPGP avec l'appui du BRGM Mayotte. Le REVOSIMA bénéficie du soutien de l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (OVPF-IPGP), de l'IFREMER, du CNRS-INSU et du BRGM. Les données de ce réseau sont produites par un large consortium de partenaires scientifiques (voir liste en fin de bulletin) financés par l'Etat.

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 est publié 2 fois par mois et 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 du REVOSIMA. Les données sismiques sont distribuées par l'IPGP (Centre de données) et par les Services Nationaux d'Observations du CNRS-INSU. Les données GPS sont distribuées par l'Institut Géographique National (IGN). 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.

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 néphéline et de téphrite, 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 ($\leq 12\ 000$ 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 150000 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 il y a moins de 7000 ans (Zinke *et al.*, 2003 ; 2005). 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 ride orientée NO-SE (Feuillet *et al.*, en révision).

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.*, en révision). Ces séismes forment deux essaims avec des épicentres regroupés en mer, entre 5 et 15 km à l'est de Petite-Terre pour l'essai sismique principal, et à 25 km à l'est de Petite-Terre pour le secondaire, à des profondeurs comprises entre 25 et 50 km dont les localisations ont pu être affinées grâce aux relocalisations effectuées lors des campagnes en mer (MD220-MAYOBS-1, MD221-MAYOBS-2, MD222-MAYOBS-3, MD223-MAYOBS-4). La majorité de ces séismes est de faible magnitude, mais plusieurs événements de magnitude modérée (max. $M_w 5,9$ le 15 mai 2018) ont été fortement ressentis par la population et leur succession a endommagé certaines constructions (rapport BCSF-RéNaSS juillet 2018). Depuis juillet 2018 et la fin de la première phase intense de l'éruption, le nombre de séismes a

diminué mais une sismicité continue persiste, fluctuante mais qui a pu générer jusqu'à plusieurs séismes de magnitudes proches de M4 ressentis par mois. Du 16 au 30 septembre 2019, la sismicité est restée similaire (nombre et localisation) à celle enregistrée lors de la période du 1 au 15 septembre 2019, les magnitudes n'ont pas dépassées 3,6.

3. Les déplacements de surface mesurés depuis le début de la crise par les stations GPS de Mayotte indiquent : a) un déplacement d'ensemble des stations GPS de Mayotte vers l'est d'env. 17 à 20 cm ; b) un affaissement (subsidence) d'env. 8 à 15 cm selon leur localisation sur l'île. Un ralentissement des déplacements est observé depuis avril-mai 2019. Sur les 45 derniers jours, l'affaissement (subsidence) semble même s'être stabilisé sur certaines stations, ce paramètre sera à suivre et à confirmer dans le futur. Les premières modélisations simples, utilisant une source unique isotrope localisée en un point, montrent que ces déplacements 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). Pour les 3 derniers mois, le meilleur modèle simple (modèle à une source, milieu isotrope et élastique) pouvant rendre compte de ces déplacements serait une source en déflation localisée entre 30 et 80 km à l'est Mayotte et à une profondeur comprise entre 15 et 35 km à 95% de probabilité. Des modèles plus complexes en cours d'évaluation suggèrent que plusieurs sources de pression, de géométrie et volume variable, localisées à différentes profondeurs, pourraient également expliquer les déformations observées sur les périodes d'observations. Quelques soient les modèles, ceci suggère que des transferts de fluides magmatiques en profondeur se poursuivent en même temps que continue l'émission de lave sous-marine à environ 50 km à l'est de Mayotte selon les dernières observations des campagnes océanographiques en date du 31 juillet 2019.

4. Du 2 au 18 mai 2019, une campagne océanographique (MD220-MAYOBS-1) sur le 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'environ 820 m de hauteur sur le plancher océanique situé à 3500m de profondeur d'eau. Les campagnes (MD221-MAYOBS-2 - 10-17 juin 2019 ; MD222-MAYOBS-3 - 13-14 juillet 2019 ; et MD223-MAYOBS-4 - 19-31 juillet 2019) ont mis en évidence de nouvelles coulées de lave, au sud et à l'ouest du nouveau site éruptif, laissant supposer la présence de plusieurs sorties de lave dans la région du nouveau site éruptif. Des panaches acoustiques (700 à 1000 m de haut ; dont la nature hydrothermale et/ou magmatique reste à préciser) ont été détectés dans la colonne d'eau au-dessus de la nouvelle coulée de lave de juin-juillet 2019, ainsi qu'au-dessus de la structure volcanique ancienne située à l'aplomb de la zone de l'essai sismique principal (5-15 km à l'est de Petite-Terre).

5. En l'état actuel des connaissances, le nouveau site éruptif a produit au moins 5 km³ de lave depuis le début de son édification. Sur une période de 11 mois (de juillet 2018 - début des déformations de surface enregistrées à Mayotte - à juin 2019), le flux éruptif de lave est au minimum d'environ 150-200 m³/s. Les points de sorties distants ont produit environ 0,2 km³ de lave en 28 jours (18 mai-17 juin 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 80 m³/s. Entre le 17 juin et le 30 juillet 2019 le flux éruptif est estimé également de l'ordre de 80 m³/s (0,3 km³). Ces volumes et flux éruptifs sont exceptionnels et sont, malgré les incertitudes, parmi les plus élevés observés depuis l'éruption du Laki (Islande) en 1783.

6. Des dégagements gazeux importants d'origine magmatique (majoritairement CO₂) et de faible température sont connus depuis de nombreuses années (au moins depuis 1998) sur la plage de l'aéroport (sud Petite-Terre). Une campagne de mesure des émissions de gaz par le sol et d'échantillonnage des fluides a eu lieu du 7 au 14 septembre 2019. Les analyses in-situ ont permis de vérifier la composition des émissions signalées par la population (pour plus de détails voir le bulletin N° 4 du REVOSIMA : www.ipgp.fr/revosima).

7. Six stations électromagnétiques Magnéto-Télluriques ont été déployées sur Petite-Terre (deux stations) et dans son lagon (quatre stations) en mai 2019 afin de cartographier la structure électrique de l'île. Le traitement préliminaire des données a permis de mettre en évidence un conducteur électrique en surface (<1km) très probablement associé à une zone d'altération hydrothermale. Il a également permis de mettre

en évidence un conducteur à grande profondeur (>20km) qui pourrait s'expliquer par la présence d'un réservoir magmatique.

8. Les réseaux de GPS (temps réel) et des sismomètres (à terre – temps réel ; et en mer – relevé mensuellement) ont été renforcés depuis début 2019. 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).

10. Les analyses de l'ensemble des laves draguées lors des campagnes océanographiques MD220-MAYOBS-1, MD221-MAYOBS-2 et MD223-MAYOBS-4, sur le site de l'éruption en cours et sur d'autres sites volcaniques de la ride NO-SE qui s'étend de Mayotte à la zone volcanique sous-marine active, appartiennent à une série magmatique modérément à faiblement alcaline, caractéristique du volcanisme du nord de Mayotte. Elles montrent une variété compositionnelle, depuis les basanites (MAYOBS-4-DR09) jusqu'aux phonolites (MAYOBS-1-DR02, MAYOBS-2-DR07), 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 ($45 < \text{SiO}_2 \text{ pds\%} < 47$), légèrement évoluées (téphrites, $3,6 < \text{MgO pds\%} < 5,3$), avec des valeurs de porosité s'étalant de 14 à 50 %. Leur composition chimique (analyses en roche totale) varie peu, qu'il s'agisse des formations initialement cartographiées en mai 2019 (MAYOBS-1-DR01, MAYOBS-4-DR10 et DR12), ou des coulées émises entre mai et juin 2019 (MAYOBS-2-DR08) et entre juin et juillet 2019 (MAYOBS-4-DR11, à l'exception d'un échantillon plus primitif dont l'origine doit encore être précisée).

9. L'analyse de toutes les données acquises récemment nécessite des travaux approfondis pour améliorer l'évaluation des aléas et des risques induits (sismique, volcanique, tsunami) pour Mayotte. Le programme d'étude sera alors actualisé et renforcé au vu des nouveaux éléments de connaissances apportés par ces analyses.

Sismicité

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 cadre du suivi de l'essaim sismique de Mayotte qu'il a assuré depuis cette date. Désormais, le Réseau de Surveillance Volcanologique Sismologique de Mayotte (REVOSIMA) publiera un bulletin de l'activité 2 fois par mois.

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 se référer au bulletin n° 1 du 23 août 2019 (http://www.ipgp.fr/sites/default/files/190823_1er_bulletin_info_sismo_volcanique_mayotte.pdf)

Entre le 16 et le 30 septembre 2019, le Réseau Volcanologique Sismologique de Mayotte (REVOSIMA) a détecté, avec le réseau de stations terrestres, un total de 676 séismes (voir **Figures 1, 2, 3, 4**) de magnitude $M \geq 1$ entre Mayotte et le nouveau site éruptif à 50 km au sud-est de Mayotte. Au total, 281 séismes ont pu être localisés (voir Figure 4) dont 124 de magnitude M_2 à M_3 .

Ramené à des valeurs moyennes quotidiennes on note, entre le 16 et le 30 septembre, une moyenne de **19** séismes localisables par jour, dont **9** séismes/j de magnitude $\geq M_2$ et seulement **1** séisme/jour de magnitude $\geq M_3$.

- 135 séismes volcano-tectoniques (séisme à haute fréquence) de magnitude $M > 2$ localisés entre 5 et 15 km à l'est de Petite-Terre à une profondeur comprise entre 19 et 50 km (voir Figures 1, 2, 3, 4) dont 11 séismes de magnitude $M \geq 3$ et aucun (0) séisme d'une magnitude $M \geq 4$ (voir Tableaux 1, 2).
- Comme indiqué en fin de bulletin, il est fondamental de reporter tout séisme ressenti au BCSF-RENASS sur le site : <http://www.franceseisme.fr/>
- Le REVOSIMA enregistre toujours des signaux sismiques de type très longue période VLP (très basse fréquence, entre 5 et 100 secondes) similaires notamment à l'évènement enregistré le 11 novembre 2018. Ce sont des signaux sismiques habituellement associés dans la littérature à des résonances et des mouvements de fluide (magmatique ou hydrothermal). Ils restent difficiles à localiser et analyser et font l'objet d'une étude spécifique en cours (A. Laurent, IPGP). Les 84 séismes VLP similaires enregistrés entre février et avril 2019 avaient été localisés à une dizaine de kilomètres à l'Est de Petite Terre dans la zone de l'essai sismique le plus actif (Feuillet et al., Nature, en révision).
- 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 24 et 82 km de profondeur. Cela est confirmé après les relevés réguliers des OBS, notamment lors du relevé effectué lors de la campagne MD222-Mayobs3.

Période du : 16 au 30 septembre 2019 (15 jours)	
Sismicité enregistrée par le réseau terrestre et validée et localisée, excluant les détections automatiques	
(en gris les chiffres pour la période du 1 au 15 septembre détectés selon le même protocole)	
Classe de magnitude	Nombre de Séismes VT
$M < 1,0$	0 (1)
$M 1,0$ à $M 2,0$	146 (112)
$M 2,0$ à $M 3,0$	124 (146)
$M 3,0$ à $M 4,0$	11 (11)
$M 4,0$ à $M 5,0$	0 (0)
$M 5,0$ à $M 6,0$	0 (0)
$M 1,0$ - $M 6,0$	281 (270)
$M \geq 2,0$	135 (157)

Tableau 1 : Répartition des séismes volcano-tectoniques (VT) enregistrés par le réseau terrestre par classe de magnitude du 16 au 30 septembre 2019.

Total séismes $\geq M 3,5$	Dont $M \geq 4,0$	Dont $M \geq 4,5$	Dont $M \geq 5,0$	Dont $M \geq 5,5$
1999	551	149	32	2

Tableau 2 : Comptage des séismes localisés de magnitude $M > 3,5$ du 10 mai 2018 au 30 septembre 2019 par classe de magnitude (base de données BRGM et REVOSIMA).

- Si l'activité sismique reste globalement stable sur les dernières semaines (**Figures 1, 2, 3**), elle est néanmoins importante, et témoigne d'une activité volcanique toujours intense. 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 5,0, voire plus, sont toujours possibles comme le montre les séismes de magnitude M5 du 15 juin et M4,9 du 30 août dernier
- A noter que plusieurs séismes « proches » de très faible à faible magnitude (1,3-2,5) sont toujours enregistrés entre l'essaim sismique principal et Petite-Terre, voire même sous Petite Terre (**Figure 4**). Le traitement des données OBS montre que ces séismes de faible magnitude sont présents depuis le début des enregistrements OBS.

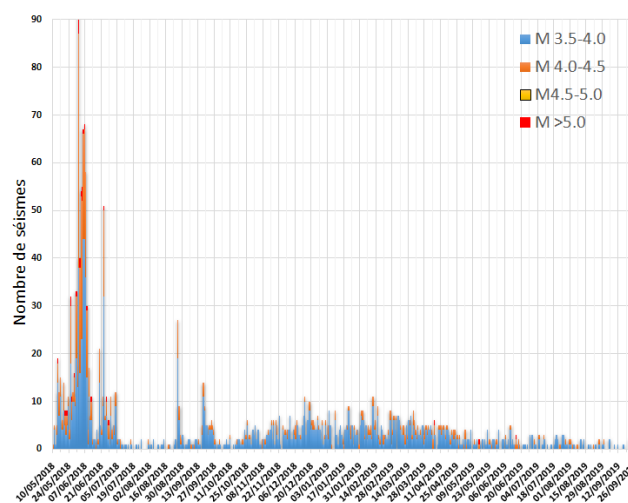


Figure 1 : Comptage par jour et magnitude de l'activité sismique depuis le 10 mai 2018 (Bertil et al., 2019) (© OVPF-IPGP et BRGM / REVOSIMA).

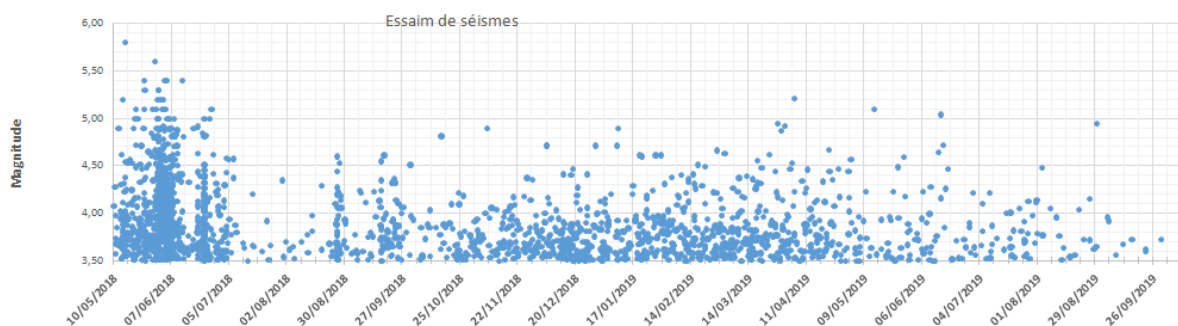


Figure 2 : Suivi de l'activité sismique en cours : magnitude des séismes en fonction du temps depuis le 10 mai 2018 (Bertil et al., 2019) (© OVPF-IPGP et BRGM / REVOSIMA).

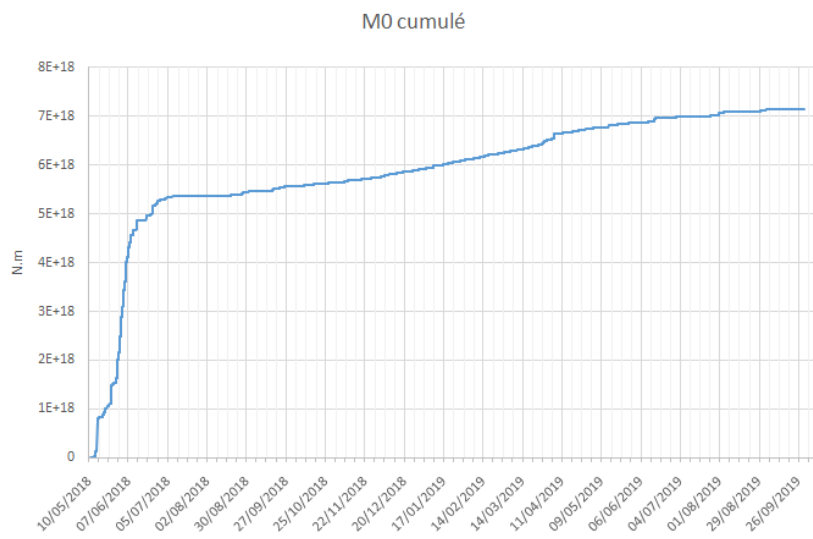


Figure 3 : Moment sismique cumulé en Newton-mètre (représentant le cumul de l'énergie dissipée par l'ensemble des séismes) depuis le début de l'activité sismique en cours le 10 mai 2018 (Bertil et al., 2019) (© OVPF-IPGP et BRGM / REVOSIMA).

Localisation

Il n'y a pas eu d'évolution spatiale notable de la localisation de la sismicité entre le 16 et le 30 septembre 2019 par rapport au bulletin précédent.

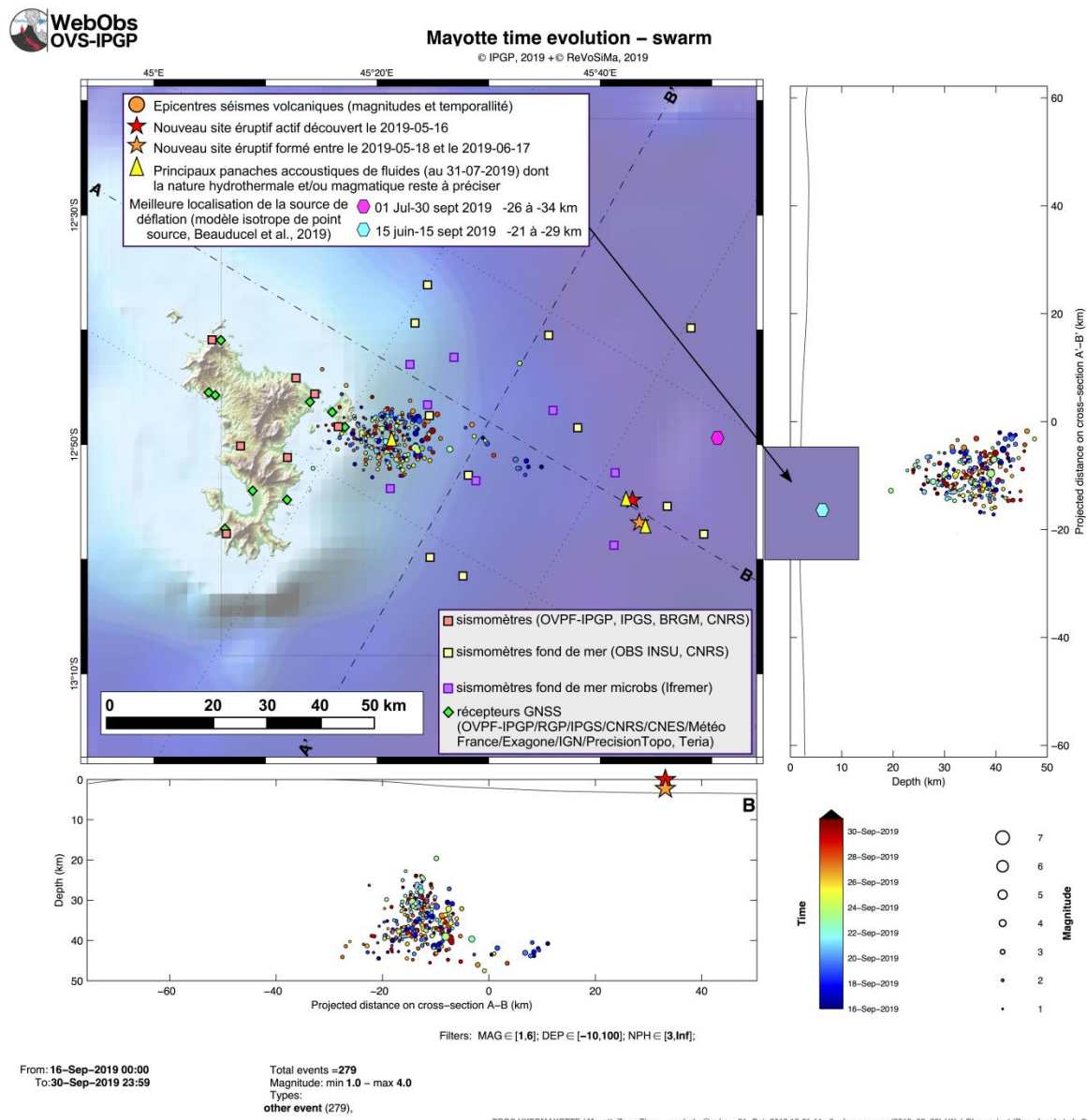


Figure 4 : Carte de localisation des épicentres (± 5 km) des séismes volcano-tectoniques avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RéNaSS, IPGS) entre le 16 et le 30 septembre 2019 (15 jours) (échelle temporelle de couleur) et coupes transversales et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (précision variant entre +5km et +15km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles). La localisation approximative des panaches acoustiques identifiés pendant les campagnes océanographiques IFREMER (MD220-Mayobs-1, MD221-Mayobs-2, MD222-Mayobs-3, MD223-Mayobs-4) et dont la nature hydrothermale et/ou magmatique reste à préciser, est indiquée par des triangles jaunes, l'étoile rouge indique le site éruptif nouvellement identifié le 16 mai 2019, et l'étoile orange le deuxième site éruptif identifié le 17 juin 2019. La position des meilleurs modèles de source en déflation (dégonflement) issues des modélisations (modèle isotrope point source) sur des périodes de temps choisies est indiquée par des polygones de couleur (rose : 2019-07-01/2019-09-30 ; bleu : 2019-06-15/2019-09-15) avec la profondeur en km associée. Les stations sismiques du réseau terrestre, les sismomètres fond de mer (OBS) et les stations de positionnement par satellite GPS sont indiquées par des symboles (voir légende) (© OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RéNaSS, IPGS / REVOSIMA).

Déformation

Sont considérés 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@ (station KAWE, PORO et MTSA) installées sur l'île de Mayotte, et distribuées par le RGP de l'Institut Géographique National (IGN),
- les nouvelles stations installées à Mayotte et à Grande Glorieuse dans le cadre du nouveau réseau de surveillance financé par l'Etat,
- la station DSUA (Madagascar) installée par le LACy (Université de La Réunion) dans le cadre du projet INTERREG-5 Océan Indien 2014-2020 « ReNovRisk Cyclones et Changement Climatique », financé par l'Europe, la Région Réunion et l'Etat.

Les mesures de déformation indiquent depuis le mois de juillet 2018 (*Lemoine et al., en révision ; Feuillet et al., en révision*) un déplacement d'ensemble de l'île vers l'est et un affaissement (**Figures 5 et 6**). En cumulé depuis le début de la crise ces déplacements horizontaux sont d'environ 17 à 20 cm, et l'affaissement (subsidence) d'environ 8 à 15 cm suivant les sites (**Figure 5**). A noter que depuis les mois d'avril-mai 2019 un ralentissement des déplacements est observé. *Sur les 45 derniers jours, l'affaissement (subsidence) semble même s'être stabilisé sur certaines stations, ce paramètre sera à suivre et à confirmer dans le futur (Figure 6)*. Des calculs automatiques et journaliers ont été mis en place à l'IPGP (via les logiciels GipsyX et Webobs) afin de suivre ces déplacements, et modéliser une source de déformation en temps-réel. Les caractéristiques de la source (localisation, profondeur et variation de volume), ajustant au mieux les observations sur une période de temps considérée, sont modélisées par un point source isotrope en profondeur (modèle simple à mettre en œuvre). Les couleurs correspondent à la probabilité d'existence de la source dans l'espace (vue de dessus et en profils ; **Figure 7**).

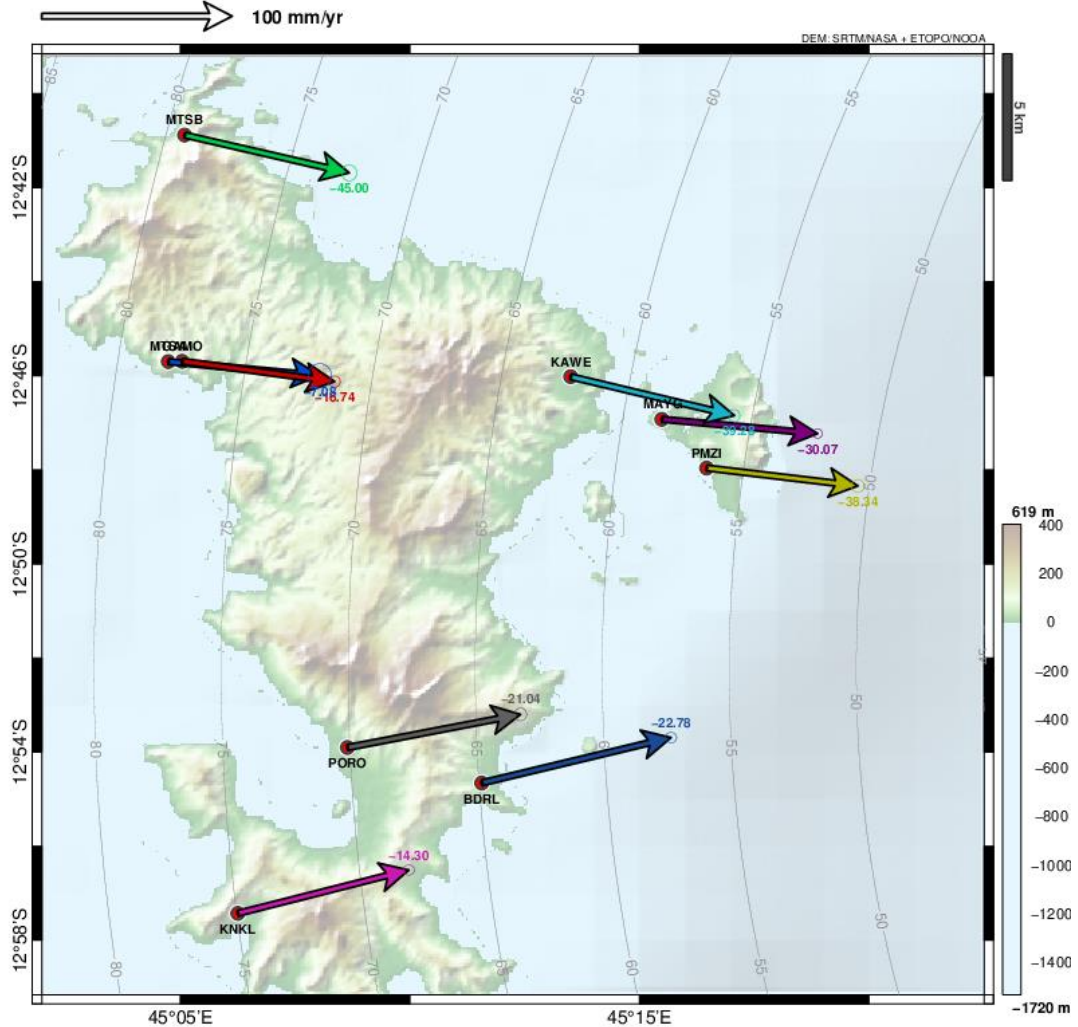
Ainsi pour les 3 derniers mois, le meilleur modèle simple (modèle à une source, milieu isotrope et élastique) pouvant rendre compte de ces déplacements serait une source en déflation localisée entre 30 et 80 km à l'est Mayotte et à une profondeur comprise entre 15 et 35 km à 95% de probabilité (**Figure 7**). Comparativement au début de la crise, et si l'on considère une source unique celle-ci semble être de plus en plus superficielle depuis début juillet avec des volumes impliquées plus faibles ($< -100 \text{ m}^3/\text{s}$; **Figure 8**). S'agissant d'une source en déflation, ces profondeurs de plus en plus superficielles ne traduisent pas une migration de source mais pourraient être liées à l'effet de la fermeture d'un conduit (se faisant progressivement depuis le bas vers le haut).

Des modèles plus complexes, en cours d'évaluation, suggèrent que plusieurs sources de pression (en déflation et en inflation), de géométrie et de volume variable, localisées à différentes profondeurs, pourraient également expliquer les déformations observées sur différentes périodes de temps. Néanmoins la source dominante reste une source en déflation. Quelques soient les modèles, ces déformations confirment que des transferts de fluides magmatiques se poursuivent toujours en profondeur, et qu'en l'état de l'art actuel ces fluides semblent circuler entre 20 et 60 km de profondeur sans que l'on puisse élaborer de scénarios plus affinés sur l'évolution à terme de cette activité.



GNSS Mayotte GipsyX – Velocity vectors (3 months)

© OVPF/IPGP/ReVoSiMa, 2019 + © RGP/IPGS/INSU/CNES/MeteoFrance/Exagone/PrecisionTopo, 2019



Referential: ITRF08
 E +0 mm/yr
 N +0 mm/yr
 U +0 mm/yr

Mean velocity (ITRF08):
 East = +105.23 mm/yr
 North = +14.62 mm/yr
 Up = -26.32 mm/yr

Velocity ref. vector fixed):
 East = +21.20 mm/yr
 North = +14.40 mm/yr
 Up = +0.00 mm/yr

PROC.GIPSYX/MAYOTTE: VECTORS_03m - webobs@saba - 01-Oct-2019 09:15:05 +0 - gnss.m (2019-09-09) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2019)

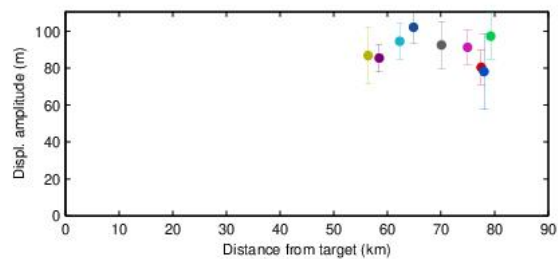


Figure 5 : Déplacements du sol enregistrés sur les stations GPS de Mayotte au cours des 3 derniers mois du 01-07-2019 au 30-09-2019. Les déplacements horizontaux sont représentés sous forme vectorielle et les déplacements verticaux sont indiqués par les valeurs chiffrées en couleur. Post-traitement de ces données réalisé par l'IPGP (©OVPF-IPGP / REVOSIMA).

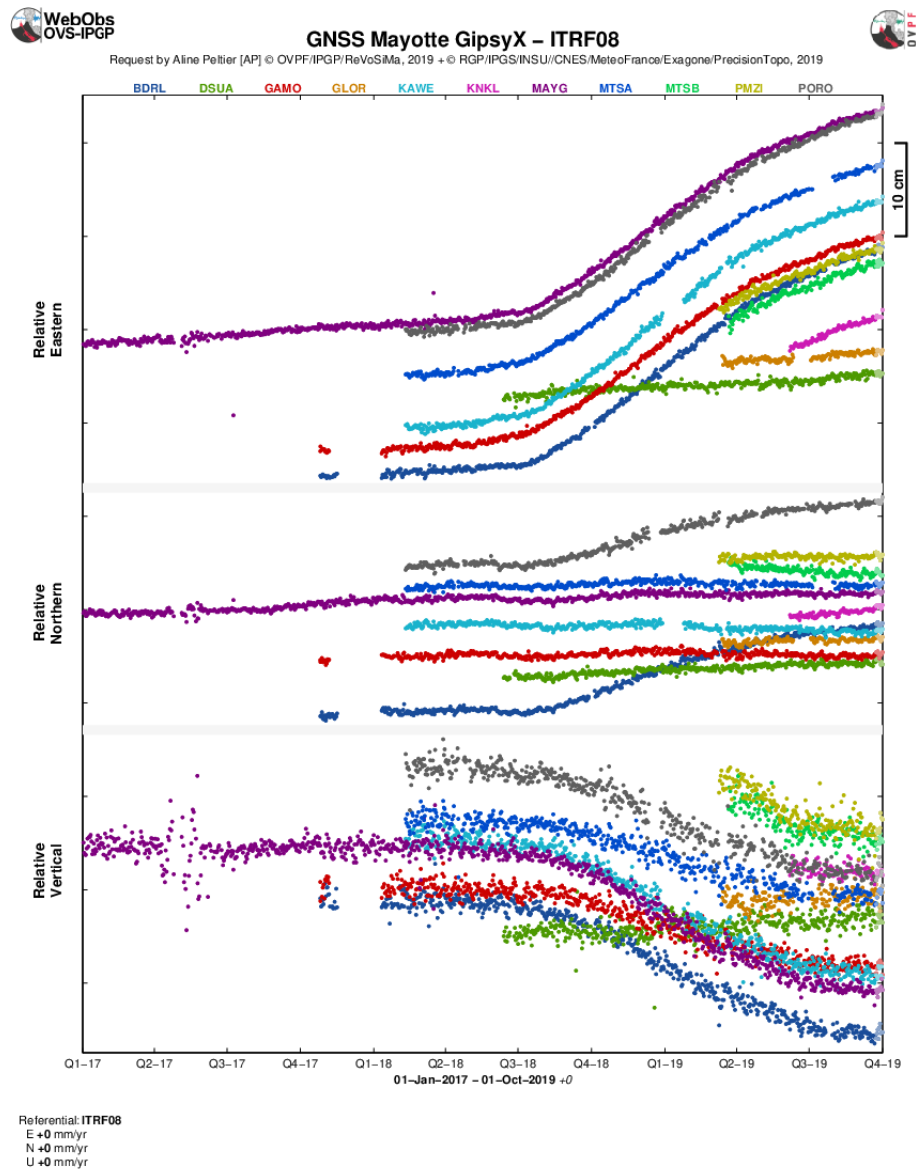
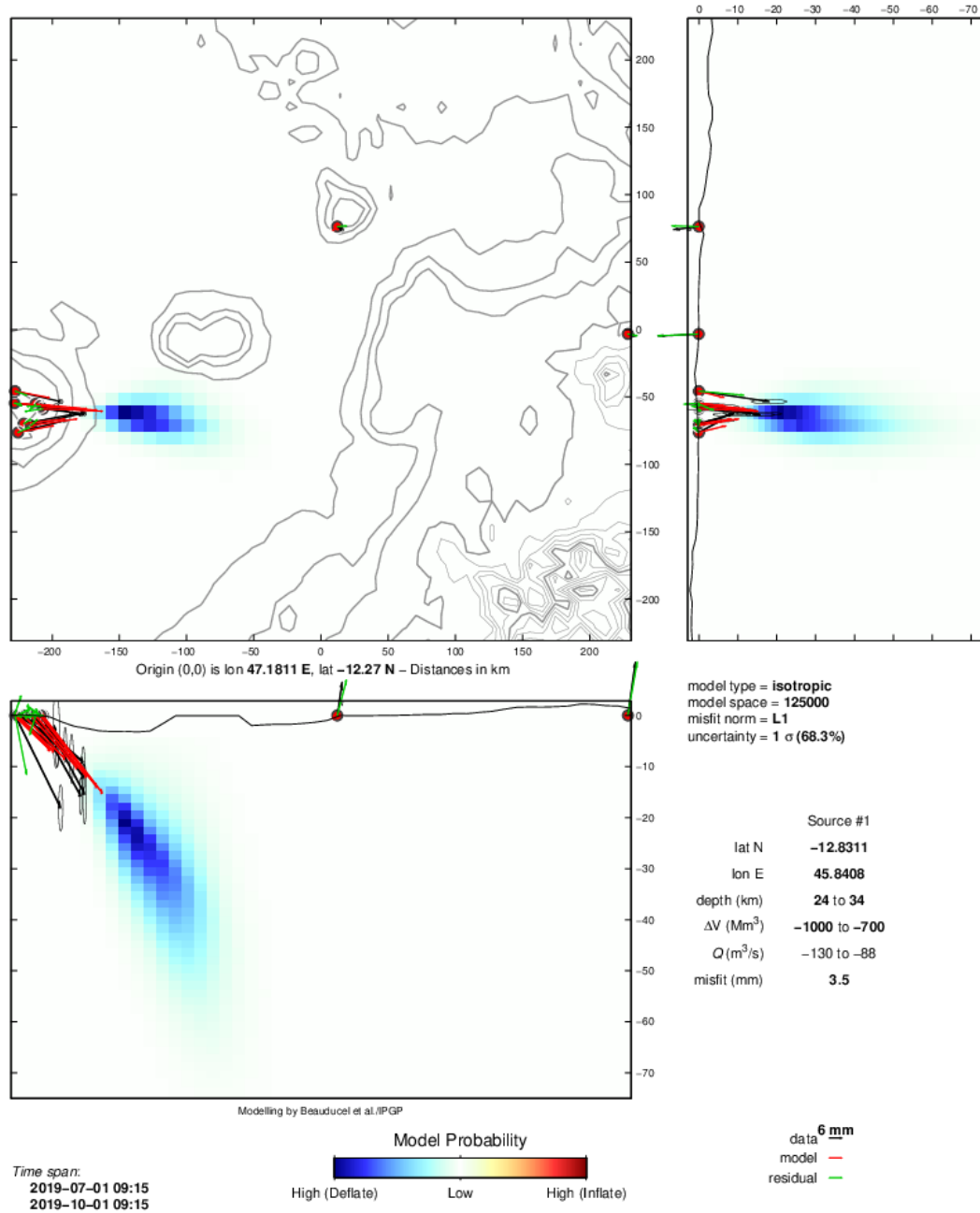


Figure 6 : Déplacements (en cm) enregistrés sur 9 stations GPS localisés à Mayotte (BDRL, GAMO, KAWA, KNKL, MAYG, MTSA, MTSB, PMZI, PORO), 1 station à Grande Glorieuse (GLOR) et 1 station au nord de Madagascar à Diego Suarez (DSUA) sur les composantes est (en haut), nord (au milieu) et vertical (en bas) entre avril 2018 et le 30 septembre 2019, et pour la station MAYG avec des données datant de janvier 2017 pour visualiser une longue série temporelle anté-crise. Post-traitement de ces données réalisé par l'IPGP (©OVPF-IPGP / REVOSIMA).



GNSS Mayotte GipsyX – Source modelling (3 months)
 © OVPF/IPGP/ReVoSiMa, 2019 + © RGP/IPGS/INSU//CNES/MeteoFrance/Exagone/PrecisionTopo, 2019



PROC.GIPSYXMAYOTTE / MODELING_03m - weboba@saba - 01-Oct-2019 09:15:05 +0 - gnss.m (2019-09-09) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2019)

Figure 7 : Localisation de la source modélisée (meilleur modèle issu d'une modélisation de type isotrope point source) potentiellement à l'origine des déplacements enregistrés, au cours de la période : 1 juillet - 30 septembre 2019, sur les stations GPS de Mayotte, Grande Glorieuse et DSUA (Madagascar). Les vecteurs en noirs représentent les données observées, les vecteurs en rouge représentent les données modélisées, et les vecteurs en vert représentent les résidus du signal qui n'ont pas pu être modélisés. L'échelle de couleur donne la probabilité en % de la localisation d'une source en déflation (dégradé de couleurs froides, bleus) ou en inflation (dégradé de couleurs chaudes, jaune-rouge) en latitude-longitude et en profondeur selon une représentation cartographique et en coupes verticales orientées est-ouest et nord-sud. Le modèle permet d'estimer la variation de volume de la source, en millions de m³ (Mm³) et son incertitude, qui explique au mieux les signaux enregistrés. En faisant l'hypothèse que cette variation de volume traduit des transferts de magma dans la lithosphère, le modèle permet d'avoir une estimation préliminaire du flux en m³/s de magma associé à la déflation. Modélisations réalisées par F. Beauducel (IPGP/IRD) et OVPF-IPGP (©REVOSIMA).

GNSS Mayotte: Source best model timeline (3 months)

© OVPF/IPGP/ReVoSiMa, 2019 + © RGP/IPGS/INSU/CNES/MeteoFrance/Exagone/PrecisionTopo, 2019

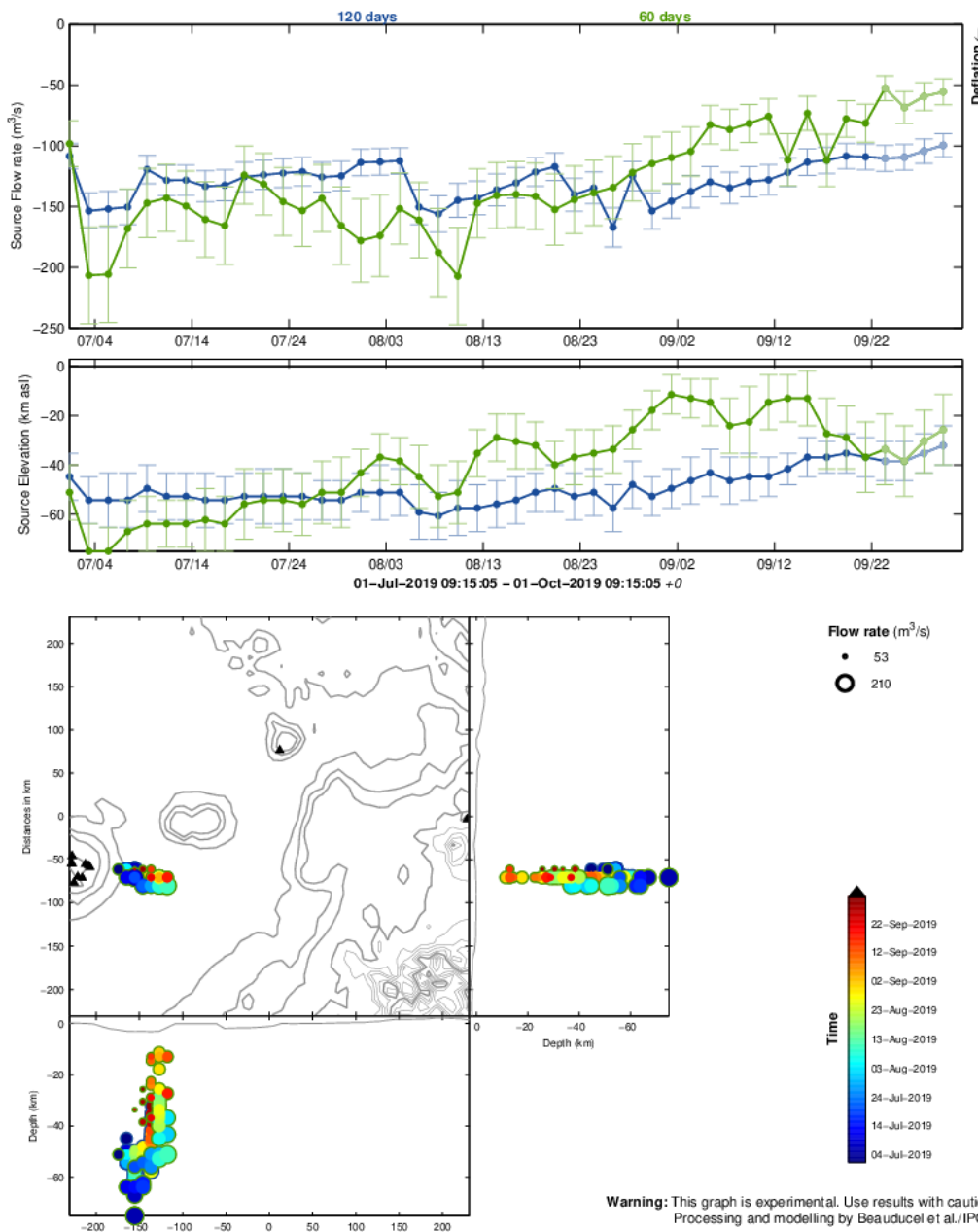


Figure 8 : Évolution spatio-temporelle du meilleur modèle de la source des déformations sur les trois derniers mois. Attention ce graphique ne prend pas en considération les incertitudes du modèle. Chaque point du graphe correspond au résultat d'une modélisation de la source prédominante calculée à partir des données GPS sur une période intégrée de 60 jours (vert) ou 120 jours (bleu). Le graphe supérieur indique le débit magmatique estimé (en mètres cube par seconde). Le graphe intermédiaire indique la profondeur de la source (en km sous le niveau de la mer). Le graphe inférieur représente les projections horizontale (vue du dessus) et verticale (vues du sud et de l'est) des sources, la taille de chaque marqueur correspondant au débit magmatique ("Flow rate"), et la couleur à la date la plus récente des données utilisées pour chaque modèle (bleu foncé = 1 juillet 2019, rouge foncé = 30 septembre 2019). Les barres d'erreur indiquent l'écart de l'incertitude sur les paramètres à 68% de probabilité. Modélisations réalisées par F. Beauducel (IPGP/IRD) et OVPF-IPGP (©REVOSIMA).

Géochimie des fluides

• A Terre :

Une campagne de mesure des émissions de gaz par le sol et d'échantillonnage des fluides a eu lieu du 7 au 14 septembre 2019. Le secteur principal d'émissions de gaz riches en CO₂ est celui dit de « La plage de l'aéroport » au nord-est de l'aéroport et proche de l'usine de désalinisation (**Figure 9**). Ces points vont être re-échantillonnés régulièrement lors des prochaines missions pour un suivi régulier de leur évolution temporelle. Pour plus de détails voir les bulletins N° 1 et N° 4 du REVOSIMA (www.ipgp.fr/revosima).

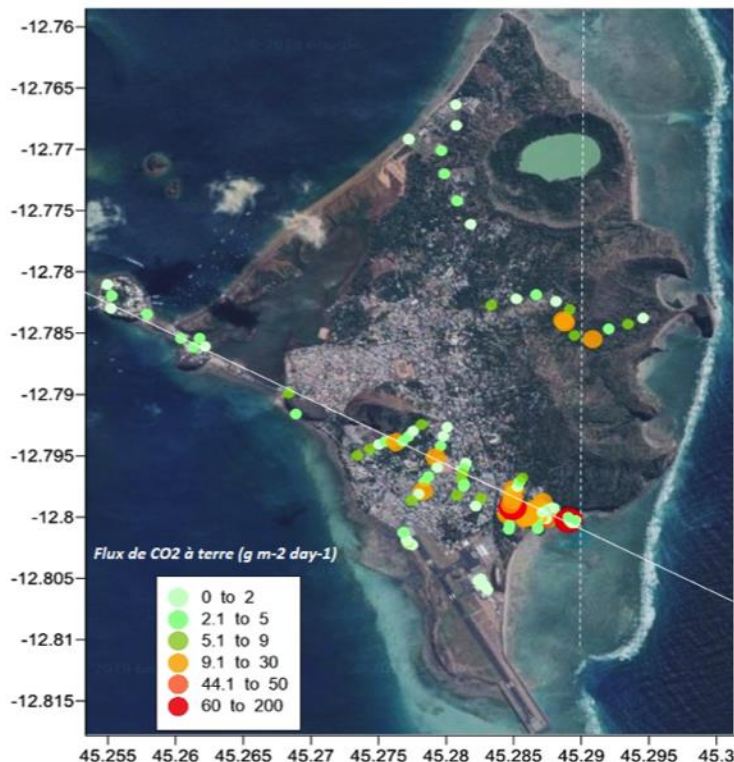


Figure 9 : Distribution spatiale des émissions de CO₂ par le sol (méthode de la chambre d'accumulation). On remarquera la présence d'émissions d'intensité modérée sur l'alignement SE-NO des cônes basaltiques. Note : l'échelle d'intensité (jusqu'à 2 ordres de grandeur plus élevée) sur le platier ne correspond pas à celle à Terre. (Données Di Muro et collaborateurs, © OVPF-IPGP / REVOSIMA).

On remarquera que les flux les plus élevés à terre restent modestes et qu'ils sont jusqu'à 2 ordres de grandeur plus faibles que ceux mesurés sur le platier de la plage de l'aéroport. Les nouveaux sites de mesures identifiés, suite aux inondations générées par les grandes marées le 1^{er} septembre, au nord-est et juxtaposant la piste de l'aéroport, montrent des flux de CO₂ parmi les plus faibles (points verts, **Figure 9**) sur Petite-Terre.

Le CO₂ 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 CO₂ et du Rn par exemple dans les points bas et les zones non ventilées.

• En mer :

Les analyses physico-chimiques des panaches de fluides détectés lors des campagnes océanographiques MAYOBS1-4 sont en cours à l'IFREMER. Des résultats détaillés seront communiqués ultérieurement et seront comparés conjointement avec les données sur la composition des gaz émis sur Petite-Terre.

Pétrologie et géochimie des laves sous-marines :

Les analyses pétrologiques et géochimiques préliminaires, réalisées de juillet à septembre 2019, concernent des laves draguées lors des campagnes océanographiques MD220-MAYOBS-1, MD221-MAYOBS-2 et MD223-MAYOBS-4, sur le site de l'éruption en cours et sur d'autres sites volcaniques de la ride NO-SE qui s'étend de Mayotte à la zone volcanique sous-marine active. Ces échantillons sont comparés aux produits éruptifs subaériens du volcanisme récent de Petite-Terre (Di Muro et al., 2019). L'ensemble des laves analysées appartient à une série magmatique modérément à faiblement alcaline, caractéristique du volcanisme du nord de Mayotte (**Figure 10**). Ils montrent une variété compositionnelle, depuis les basanites (MAYOBS-4-DR09) jusqu'aux phonolites (MAYOBS-1-DR02, MAYOBS-2-DR07), 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 ($45 < \text{SiO}_2 \text{ pds\%} < 47$, **Figure 10**), légèrement évoluées (téphrites, $3,6 < \text{MgO pds\%} < 5,3$), avec des valeurs de porosité s'étalant de 14 à 50 %. Leur composition chimique (analyses en roche totale) varie peu, qu'il s'agisse des formations initialement cartographiées en mai 2019 (MAYOBS-1-DR01, MAYOBS-4-DR10 et DR12), ou des coulées émises entre mai et juin 2019 (MAYOBS-2-DR08) et entre juin et juillet 2019 (MAYOBS-4-DR11, à l'exception d'un échantillon plus primitif dont l'origine doit encore être précisée). Pour plus d'information voir le bulletin N° 4 du REVOSIMA (www.ipgp.fr/revosima).

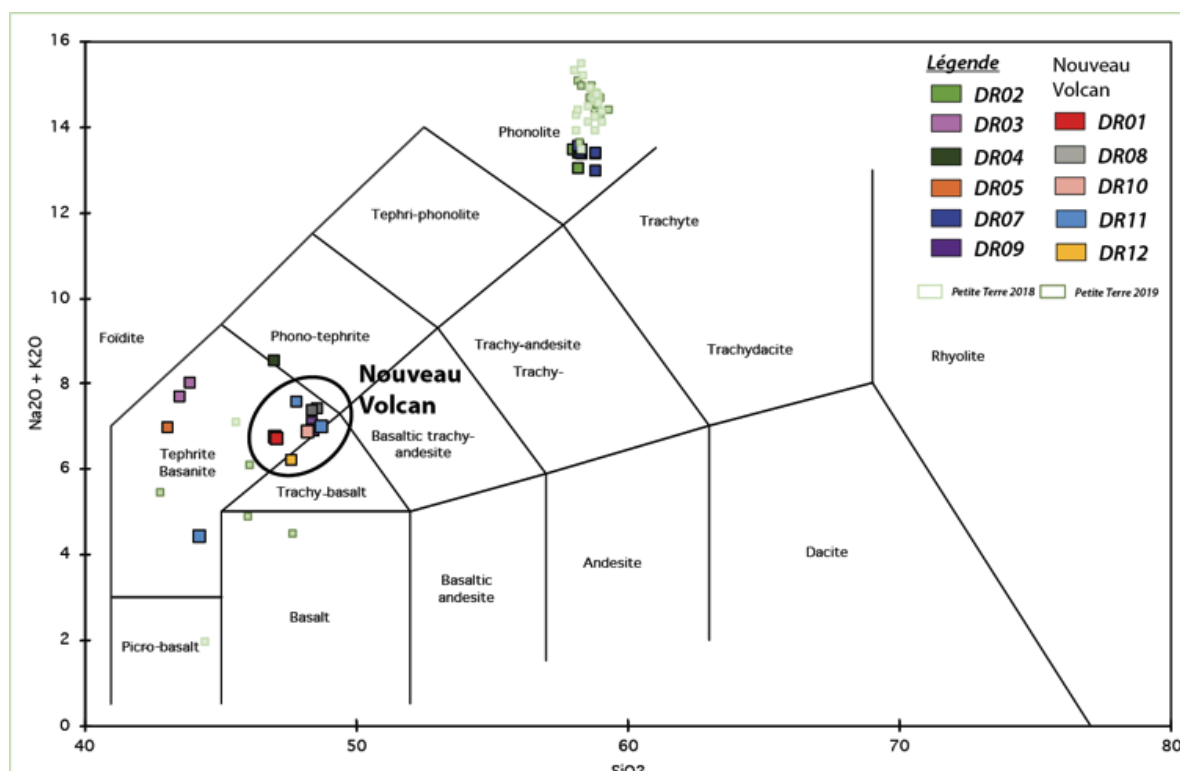


Figure 10 : Diagramme de classification des laves (somme des alcalins versus la teneur en silice). (Données Bachèlery, Berthod, Gurioli, Di Muro, Besson, Michon, Famin et collaborateurs, © REVOSIMA).

Campagne de mesures magnéto-telluriques à terre à Mayotte :

Les 2 stations électromagnétiques Magnéto-Télluriques déployées sur Grande Terre et Petite-Terre afin d'identifier d'éventuelles variations de conductivité électrique associées à des remontées de fluides continuent d'acquérir des données. L'intérêt de ce type de mesure réside dans la forte sensibilité de la conductivité électrique des roches à la présence de fluides. Le traitement préliminaire des données a permis de mettre en évidence un conducteur électrique en surface (<1km) très probablement associé à une zone d'altération hydrothermale. Il a également permis de mettre en évidence un conducteur à grande profondeur (>20km) qui pourrait s'expliquer par la présence d'une chambre magmatique. Dans le cadre du REVOSIMA, une installation temporaire de stations magnéto-telluriques marines (collaboration P. Tarits, UBO-UBS, Brest) couplée avec les déploiements d'OBS est à l'étude pour une implémentation très prochaine sur plusieurs mois.

Datation (géochronologie) d'une coulée de lave sous-marine récente

La province volcanique sous-marine proche de l'île de Mayotte représente un enjeu majeur dans la compréhension de l'aléa lié à la crise éruptive actuelle. Des échantillons provenant de coulées de lave émises dans la zone de l'essai sismique actif, à environ 15 km au sud-est de Petite-Terre, ont été récupérés en juin 2019 par une drague à roche lors de la campagne Mayobs2. Leur apparence très vitreuse, fraîche, et donc quasiment sans altération a fait suspecter un âge récent. Il a donc été décidé de procéder le plus rapidement possible à leur datation au sein du Laboratoire Magmas et Volcans de l'Université Clermont Auvergne grâce à la méthode du déséquilibre radioactif des isotopes ^{226}Ra -(^{222}Rn)- ^{210}Pb - ^{210}Po , mesurés par spectrométrie alpha et spectrométrie gamma. L'intérêt de cette méthode géochimique réside dans le fait que ces isotopes sont très fortement fractionnés au cours des processus magmatiques, en particulier le dégazage. Des éléments chimiques sont fractionnés lorsque il existe une différence de comportement entre différents isotopes d'un même élément chimique lors d'un processus physique ou chimique donné, si bien que ce processus puisse engendrer un enrichissement ou un appauvrissement d'un isotope par rapport à l'autre et que le ou les rapports isotopiques puissent varier au cours du processus. Par exemple, le dégazage continu de ^{210}Po et ^{222}Rn – totalement gazeux à la température du magma – va se traduire par un fort déficit en ^{210}Po par rapport à ^{210}Pb dans les laves (Rubin et al., 1994) et un rapport d'activités ($^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$) inférieur à 1 (Gauthier et Condomines, 1999). A contrario, si une phase magmatique accumule, en profondeur dans les réservoirs et la plomberie magmatique une phase vapeur enrichie en polonium et en radon, les laves exprimées en surface présentent des rapports ($^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$) et ($^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$) supérieurs à 1 (Condomines et al., 2010 ; Sigmarsson et al., 2015). En outre, de par leurs propriétés radioactives, ces isotopes peuvent être utilisés comme des chronomètres naturels permettant de dater l'âge du fractionnement sur une échelle de temps égale à 5-6 fois la période du nucléide fils, en fonction de la précision analytique qui peut être obtenue. Ainsi, ^{210}Po ayant une période de 138 jours, un déséquilibre ^{210}Po - ^{210}Pb attestera d'un fractionnement plus récent que $6 \times 138 \text{ j} = 828 \text{ j} = 2,3 \text{ an}$.

L'analyse du premier l'échantillon qui provient de la drague DR07 (voir pour plus de détails le bulletin REVOSIMA N° 4, www.ipgp.fr/revosima) est de composition phonolitique (composition alcaline sous-saturée en silice), révèle les rapports de (dés)équilibres suivants : ($^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$) = 1.03 ± 0.04 (2σ) et ($^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$) = 1.21 ± 0.05 (2σ), tels que mesurés en septembre 2019. Si le couple ^{210}Pb - ^{226}Ra est en équilibre radioactif aux incertitudes de mesures près, la phonolite DR07 présente un déséquilibre ^{210}Po - ^{210}Pb significatif, ce qui implique nécessairement que ce système isotopique était ouvert jusqu'il y a moins de 2,3 ans. De surcroît, l'absence de déficit en ^{210}Pb par rapport à ^{226}Ra démontre que le déséquilibre ^{210}Po - ^{210}Pb n'est pas dû à une perte en ^{210}Pb mais bien à un excès de ^{210}Po .

A ce stade, deux hypothèses peuvent être proposées : i) soit l'enrichissement est lié à un processus post-éruptif, par exemple par interaction entre l'hydrosphère marine et la roche ; ii) soit il est lié à un processus magmatique syn-éruptif. La première hypothèse impliquerait la présence d'un fluide contaminant très riche en polonium, fluide qui n'a jamais été mis en évidence par la recherche jusqu'à présent. L'hypothèse retenue à ce jour est donc celle d'une fertilisation d'un magma de type phonolitique (DR07) par des gaz magmatiques issus d'un magma plus mafique (i.e. moins évolué chimiquement) injecté en profondeur, à l'instar de ce qui a été observé lors de l'éruption de l'Eyjafjallajökull en Islande en 2010 (Sigmarsson et al., 2015).

Le processus ne peut pas, en l'état, être modélisé à partir d'une seule analyse sur un seul échantillon. Néanmoins, si le fractionnement est bien lié à un transfert de gaz entre réservoirs magmatiques, cela implique que ce processus a eu lieu il y a moins de 2,3 ans et donc, qu'une éruption phonolitique a eu lieu dans la zone du fer à cheval depuis 2017. La mise en perspective de ces nouvelles données géochimiques et géochronologiques avec les relevés bathymétriques pose néanmoins questionnement puisque la morphologie et la topographie du fond marin dans cette zone ne semble pas avoir significativement changé depuis 2014.

De nombreuses analyses restent à réaliser, à interpréter et à intégrer dans le corpus actuel de connaissance sur le volcanisme à Mayotte. S'il reste toujours de nombreuses questions scientifiques en suspens et des

incertitudes intrinsèques à la compréhension des systèmes géologiques complexes, ces nouvelles données viennent combler petit à petit les lacunes de connaissances que nous avons sur la nature, l'ampleur, la dynamique et la chronologie de l'activité de la province volcanique de Mayotte dont une très large proportion a été mise en place en milieu sous-marin difficilement accessible.

Glossaire :

Fractionnement : Comportement différent des deux éléments chimiques, ou de deux isotopes d'un même élément, lors d'un processus physique ou chimique. Cette différence de comportement conduit à avoir des concentrations différentes de ces deux éléments dans le milieu final par rapport à leur concentration initiale dans le milieu d'origine.

Fertilisation : Apport de certains éléments chimiques au milieu fertilisé.

Magma mafique / phonolite : L'évolution de la composition chimique des magmas va permettre de passer de magma dits primitifs, dont la composition est liée à leur formation dans le manteau terrestre, à des magmas plus siliceux et moins magnésiens, dits évolués. Les phonolites comptent parmi ces magmas évolués, alors que les magmas mafiques montrent un faible degré d'évolution.

Phénoménologie

- **A Terre :**

Plusieurs campagnes de mesures, d'échantillonnages et d'observations ont été réalisées fin 2018 et en 2019 sur le terrain à Mayotte, à Grande-Terre et à Petite-Terre, dans le cadre des projets financés par l'AO de l'INSU Tellus Mayotte. Les résultats de ces missions sont en cours d'analyse. Ils permettront de mieux comprendre le contexte et la dynamique de la tectonique, ainsi que la mise en place et le dynamisme du volcanisme de Mayotte et leurs interactions. Ces données permettront de mieux analyser et suivre l'éruption en cours à Mayotte et son activité sismique en les intégrant dans leur contexte géologique. Ces connaissances sont fondamentales afin d'élaborer des scénarios plausibles d'évolution de cette éruption et de ces conséquences potentielles.

- **En mer :**

La dernière campagne Mayobs-5 (SHOM navire Beautemps-Beaupré du 21 août 2019 a permis d'acquérir de nouvelles données bathymétriques sur le site du volcan actif, la zone de l'essaim sismique actif proche de Petite-Terre ainsi que sur une bande entre ces deux zones. Les données sont en cours de traitement afin de réaliser des différences entre les levés bathymétriques successifs des campagnes IFREMER Mayobs2 et 4 et Mayobs5 du SHOM (Beautemps-Beaupré). Ces analyses permettront de quantifier d'éventuels changements de topographie engendrés par une éventuelle poursuite de l'émission de lave sur les sites actifs et de déceler d'éventuels changements de topographie sur d'autres zones.

En l'état actuel des connaissances, le nouveau site éruptif a produit au moins 5 km³ de lave depuis le début de son édification. Sur une période de 11 mois (de juillet 2018 - début des déformations de surface enregistrées à Mayotte - à juin 2019), le flux éruptif de lave est d'environ 150-200 m³/s. Les points de sorties distants ont produit environ 0,2 km³ de lave en 28 jours (18 mai-17 juin 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 80 m³/s. La nouvelle coulée identifiée à l'ouest du nouveau site éruptif (0,3 km³) s'est mise en place avec un flux approximatif de 80 m³/s sur 44 jours (entre le 17 juin et le 30 juillet 2019), voire plus. Après près d'un an d'éruption, ces flux éruptifs restent élevés. Ces **volumes et flux éruptifs sont exceptionnels et sont, compte tenu des incertitudes, globalement les plus élevés observés depuis l'éruption du Laki (Islande) en 1783** dont le flux moyen éruptif avait été estimé à 694 m³/s sur 245 jours d'éruption (*Thordarson et Self, 1993*). Les flux éruptifs seront mis à jour en fonction des nouvelles données de campagnes et seront intégrés au modèle conceptuel de l'éruption et comparés aux flux de transfert de magma issus des modélisations du champ de déformation et aux autres données de surveillance.

Pour en savoir plus sur l'activité sismo-volcanique à Mayotte, retrouvez les dernières informations sur :

- Le site de l'IPGP dédié : <http://www.ipgp.fr/fr/decouverte-de-naissance-dun-nouveau-volcan-marin-a-lest-de-mayotte>
<http://www.ipgp.fr/fr/essaim-simique-a-lest-de-mayotte-mai-juin-2018> Contacter le BRGM : <http://www.brgm.fr/content/contact>
- Direction Risques et Prévention / Unité Risques sismique et volcanique
Direction des Actions Territoriales / Direction régionale de Mayotte
Contacter le BRGM : <http://www.brgm.fr/content/contact>
- Le site du BRGM : http://www.brgm.fr/content/essaim-seismes-mayotte-faq-scientifique?pk_campaign=twitter&pk_kwd=2018-06_seismes-mayotte-faq
- Le site de l'IFREMER : <https://www.ifremer.fr/Espace-Presse/Communique-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-RéNaSS) : <http://www.franceseisme.fr/>
- Le site du Réseau national de surveillance sismologique RENASS : <https://renass.unistra.fr/>
- Le site de GEOSCOPE : <http://geoscope.ipgp.fr/index.php/fr/actualites/actualite-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 : <http://www.franceseisme.fr/>

Retrouvez ce bulletin sur le site web : www.ipgp.fr/revosima

Ce bulletin est produit par le consortium du REVOSIMA, financé par l'Etat :

IPGP et Université de Paris, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RéNaSS, IPGS et Université de Strasbourg, IGN, ENS, SHOM, TAAF, Météo France, CNES, Université Grenoble Alpes et ISTERre, Université Clermont Auvergne et OPGC, Université de La Réunion, Université Paul Sabatier, Toulouse et GET-OMP, IRD 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 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, IPGS et Université de Strasbourg, Université Grenoble Alpes et ISTERre, Université Paul Sabatier, Toulouse et GET-OMP, Université Clermont Auvergne 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.

Références citées dans le bulletin :

- Audru et al. (2006), BATHYMAY : Underwater structure of Mayotte Island revealed by multibeam bathymetry / 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
- Bertil et al. (2019), MAYEQSwarm2019 : BRGM earthquake catalogue for the Earthquake Swarm located East of Mayotte. 2018 May 10th - 2019 May 15th, [https://doi.org/10.18144/rmg1-ts50](https://doi.org/10.18144/rmg1-ts50Briole 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
- Condomines et al. (2010), A simple model of ²²²Rn accumulation leading to ²¹⁰Pb excesses in volcanic rocks *EPSL*, doi : 10.1016/j.epsl.2010.02.048
- 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
- Feuillet et al., Birth of a large volcano offshore Mayotte through lithosphere-scale rifting, papier en révision, *Nature*, Juin 2019

- Gauthier and Condomines (1999), ^{210}Pb – ^{226}Ra radioactive disequilibria in recent lavas and radon degassing: inferences on the magma chamber dynamics at Stromboli and Merapi volcanoes, *EPSL*, doi :10.1016/S0012-821X(99)00195-8
- Lemoine et al., The volcano-tectonic crisis of 2018 East of Mayotte, Comoros Island, papier soumis à *Geophys. J. Int.*, Feb 2019
- 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), Melillite-bearing lavas in Mayotte (France): An insight into the mantle source below the Comores. *Lithos*, Elsevier, 2014, 208-209, 281-297
- Rubin et al. (1994), ^{210}Po – ^{210}Pb dating of recent volcanic eruptions on the sea floor, *Nature*, doi : 10.1038/368841a0
- Sanjuan et al. (2008), Estimation du potentiel géothermique de Mayotte : Phase 2^e 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.
- Sigmarsson et al. (2015), *EPSL*, doi : 10.1016/j.epsl.2015.06.054
- Thordarson, Th, Self, S. (1993), The Laki (Skaftar Fires) and Grimsvötn eruptions in 1793-1785. *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.
- 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](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

Le comité du REVOSIMA,
le 8 octobre 2019.