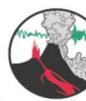


Bulletin n°1 de l'activité sismo-volcanique à Mayotte



Observatoire
volcanologique
du Piton de la Fournaise
INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ISSN 2610-5101

Préambule

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 et en mer.

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 donc produites par un large consortium de partenaires scientifiques et financées par l'Etat.

Depuis le début de l'évènement 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 l'autorisation du comité du REVOSIMA. Les données sismiques et GPS sont distribuées par l'IPGP (volobsis), et par les Services Nationaux d'Observations du CNRS-INSU. 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.

Evolution au cours du dernier mois : Pas d'évolution notable, activité sismique principale toujours concentrée à 5-15 km de Petite-Terre, à des profondeurs de 20-50 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), ainsi que les données des sismomètres fond de mer l'ont montré depuis février 2019.

Évènement en cours : éruption sous-marine en cours, à 50-60 km à l'Est de Mayotte avec sismicité associée.

Nouveau site éruptif sous-marin à l'Est de Mayotte découvert lors de la campagne océanographique (MD220-Mayobs-1) du 2 au 18 mai 2018 (*Global Volcanism Report Smithsonian Institution, volcan numéro 233005 ; <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=233005>*)
latitude: -12°54' ; longitude : 45°43' ; hauteur: au moins 800 m (en date du 31 juillet 2019) ; profondeur à la base du site éruptif : -3500 m)

Veille scientifique renforcée.

SISMICITE

Sismicité enregistrée par le réseau terrestre du 1er au 31 juillet 2019



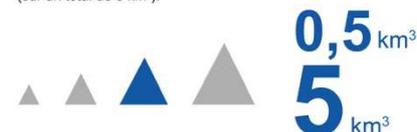
SUBSIDENCE

Subsidence du sol enregistré par les stations GPS de Mayotte depuis le début de la crise.



VOLCANISME

Volume de lave sous-marine émis depuis fin mai env. 0,2 + 0,3 km³ (sur un total de 5 km³).



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, indiqueraient 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., in review).

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. Ces séismes forment deux essaïms avec des épicentres regroupés en mer, entre 5 et 15 km à l'est de Petite-Terre pour l'essaïm 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, le nombre de séismes a légèrement diminué mais une sismicité continue persiste avec plusieurs séismes ($M < 4$) ressentis par mois.

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. 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 pouvant rendre compte de ces déplacements serait une source en déflation localisée à environ 60 km à l'est de Mayotte et à une profondeur entre 45 et 75 km. 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.

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'essaïm 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) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 80 m³/s. Entre le 17 juin et le 30 juillet 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). D'autres sites de dégazages ont également été observés au centre du lac Dziani Dzaha et sur la plage des Badamiers à la pointe nord de Petite-Terre (Traineau et al., 2006). L'étendue des dégagements gazeux sur la plage des Badamiers a été documentée en avril 2019 (Di Muro et al., 2019).

7. 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).

8. 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 Volcanologique Sismologique de Mayotte (ReVoSiMa) publiera un bulletin de l'activité 2 fois par mois. Pour faire le lien avec le dernier point de situation du BRGM le 28 juin, ce premier bulletin couvrira la période du 1^{er} au 31 juillet 2019.

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 en temps réel 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.

Il faut distinguer la sismicité enregistrée et identifiée manuellement et exhaustivement sur les sismogrammes, de la sismicité détectée automatiquement (moins nombreuse), et enfin de la proportion de la sismicité que l'on peut effectivement localiser (latitude et longitude de l'épicentre du séisme, profondeur de l'hypocentre du séisme sous la surface terrestre) et quantifier en termes de magnitude. L'analyse de la sismicité produit donc un catalogue de séismes dont certains seront juste identifiés comme des séismes non localisables (pas assez d'observations permettant leur localisation car magnitude trop faible ou signaux bruités) ; d'autres seront localisés et auront une magnitude calculée, d'abord automatiquement, puis validée manuellement par un opérateur. Les séismes enregistrés sont ainsi plus nombreux que les séismes localisables. A noter que le niveau de détection du réseau de stations dépend du bruit environnant (notamment d'origine humaine pour les stations terrestres). Il est donc variable, ce qui impacte le nombre de séismes détectables. De plus la géométrie du réseau évolue depuis le début de la crise, que ce soit pour les stations à terre ou en mer. Par conséquent, la capacité de détection a évolué et continue d'évoluer en s'améliorant au cours du temps.

L'enregistrement et l'analyse de la sismicité générée par l'éruption sous-marine en cours à l'Est de Mayotte est donc complexe du fait de l'hétérogénéité du réseau (stations à terre, stations en mer). L'analyse rétrospective des données des capteurs en mer (lors de leur récupération et redéploiement) combinées avec celle des stations terrestres se fait par conséquent avec un délai de plusieurs semaines. La sismicité déduite des réseaux continus temps réel à terre est donc affinée avec le traitement en temps différé des données des stations en mer. L'image de la localisation de la sismicité évolue donc au cours du temps, de l'évolution des réseaux comme de l'intégration graduelle des résultats des stations en mer. De plus, outre la géométrie du réseau, différents algorithmes et paramètres de localisation ont été utilisés au cours du temps, pour aller vers toujours plus de précision dans les résultats. Ceci engendre donc également une évolution dans les localisations, les profondeurs, et les précisions des calculs.

La sismicité déclenchée automatiquement, est systématiquement localisée manuellement par le *BCSF-RéNaSS* depuis le mois de juin 2019. Dans les semaines et mois à venir, les localisations des séismes seront améliorées périodiquement à l'aide des données provenant des OBS au fur et à mesure de leur traitement. Lorsque l'on intègre les données des sismomètres fond de mer (OBS) pour la relocalisation des séismes, l'essaim sismique se positionne alors plus loin de Petite-Terre d'environ 10 km à l'Est. Ceci est dû au fait que l'on améliore la géométrie du réseau de stations qui entourent la zone sismogène alors que les stations du réseau terrestre proximal (≤ 50 km) sont situées sur Mayotte à l'ouest de l'essaim.

Entre le 1 et le 31 juillet 2019, le Réseau Volcanologique Sismologique de Mayotte (ReVoSiMa) a détecté, avec le réseau de stations terrestres, un total de 490 séismes volcano-tectoniques (voir [Figure 4](#)) de magnitude $M \geq 1,0$ localisé entre Mayotte et le nouveau site éruptif à 50 km au sud-est de Mayotte. Au total, 479 séismes ont pu être localisés (voir [Figure 4](#)) dont :

- 300 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 20 et 50 km (voir [Figures 1, 2, 3, 4](#)) dont 81 séismes de magnitude $M \geq 3$ et 5 séismes d'une magnitude $M \geq 4$ (voir [Tableaux 1, 2, 3](#)).

Période du : 1 au 31 juillet 2019	
Sismicité enregistrée par le réseau terrestre et validée et localisée (excluant les détections automatiques)	
Classe de magnitude	Nombre de Séismes VT
$M < 1,0$	
M1,0 à M2,0	179
M2,0 à M3,0	214
M3,0 à M4,0	81
M4,0 à M5,0	5
M5,0 à M6,0	0
M1,0-M6,0	479
$M \geq 2,0$	300

Tableau 1 : Répartition des séismes volcano-tectoniques (VT) enregistrés par le réseau terrestre par classe de Magnitude entre le 1 et le 31 juillet 2019.

Date	Heure TU	Heure locale	Longitude	Latitude	Profondeur (km)	Magnitude
01/07/2019	00:38:32	03:38:32	45,67	-12,77	10	4,2
05/07/2019	17:00:05	20:00:05	45,53	-12,71	10	4,0
09/07/2019	04:00:38	07:00:38	45,52	-12,77	10	4,2
25/07/2019	18:53:40	21:53:40	45,73	-12,97	30	4,4
28/07/2019	08:20:44	11:20:44	45,36	-12,80	27	4,0

Tableau 2 : Tableau des séismes localisés de magnitude ≥ 4 .

Total séismes $\geq M3,5$	Dont M $\geq 4,0$	Dont M $\geq 4,5$	Dont M $\geq 5,0$	Dont M $\geq 5,5$
1968	544	147	32	2

Tableau 3 : Comptage des séismes localisés de magnitude $M > 3,5$ du 10 mai 2018 au 31 juillet 2019 par classe de magnitude (base de données BRGM).

- 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 résonnances 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*, in review).
- 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, notamment lors du relevé effectué lors de la campagne MD222-Mayobs3 (voir Figure 4).
- Bien qu'aucun séisme n'ait officiellement été reporté comme ressenti par la population à Mayotte en Juillet sur le site [franceseisme.fr](http://www.franceseisme.fr), diverses sources d'informations confirmées sur les réseaux sociaux indiquent que plusieurs séismes sont toujours ressentis par la population. Comme indiqué en fin de bulletin, il est fondamental de reporter tout séisme ressenti au BCSF-RéNaSS sur le site: <http://www.franceseisme.fr/>

Malgré la diminution de l'énergie sismique dissipée sur les derniers 31 jours (Figure 1, 2, 3), l'activité sismique reste 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 le séisme de magnitude M5 du 15 juin dernier.

A noter que plusieurs séismes « proches » de très faible magnitude (0,9-1,9) ont été enregistrés en juillet 2019 entre l'essai sismique principal et Petite-Terre, le traitement des données OBS montre que ces séismes de faible magnitude sont présents depuis le début des enregistrements OBS. Inversement, plusieurs séismes localisés entre l'essai secondaire et les sites éruptifs, dont 5 séismes de magnitude $> 3,5$ ont été enregistrés en juillet 2019.

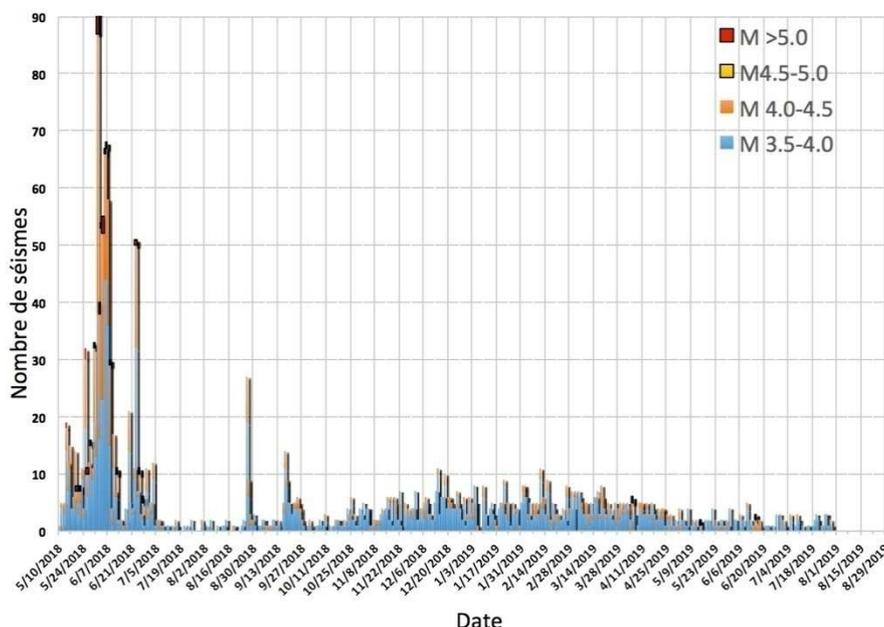


Figure 1 : Comptage par jour et magnitude de l'activité sismique depuis le 10 mai 2018 (© OVPF-IPGP et BRGM).

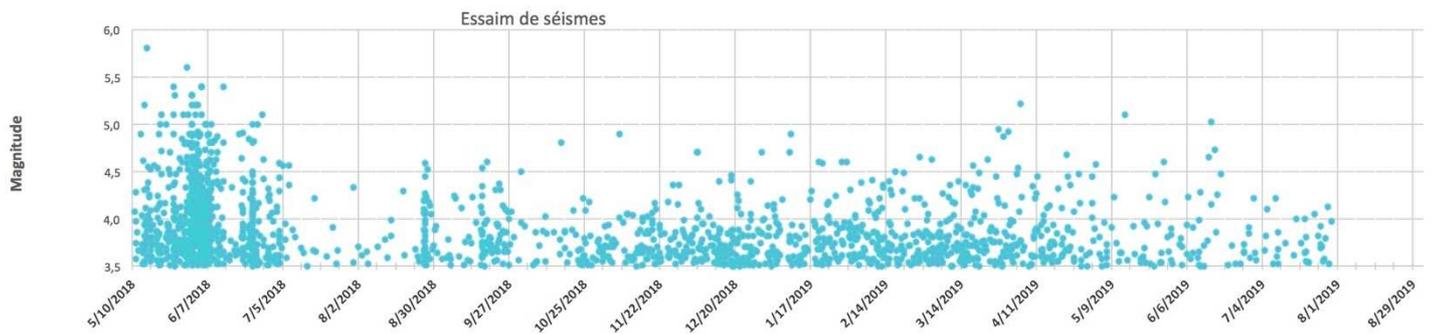


Figure 2 : Suivi de l'activité sismique en cours : magnitude des séismes en fonction du temps depuis le 10 mai 2018 (© OVPF-IPGP et BRGM).

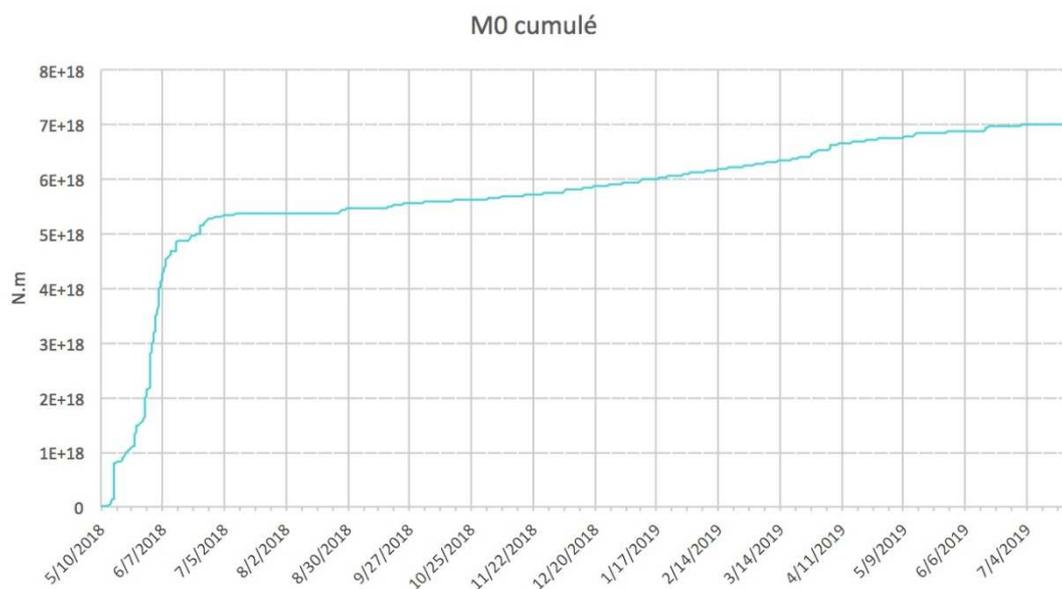


Figure 3 : Moment sismique cumulé en Newton-mètre (représentant le cumul de l'énergie dissipée par l'ensemble des séismes) depuis le début de l'activité sismique en cours le 10 mai 2018 (© OVPF-IPGP et BRGM).

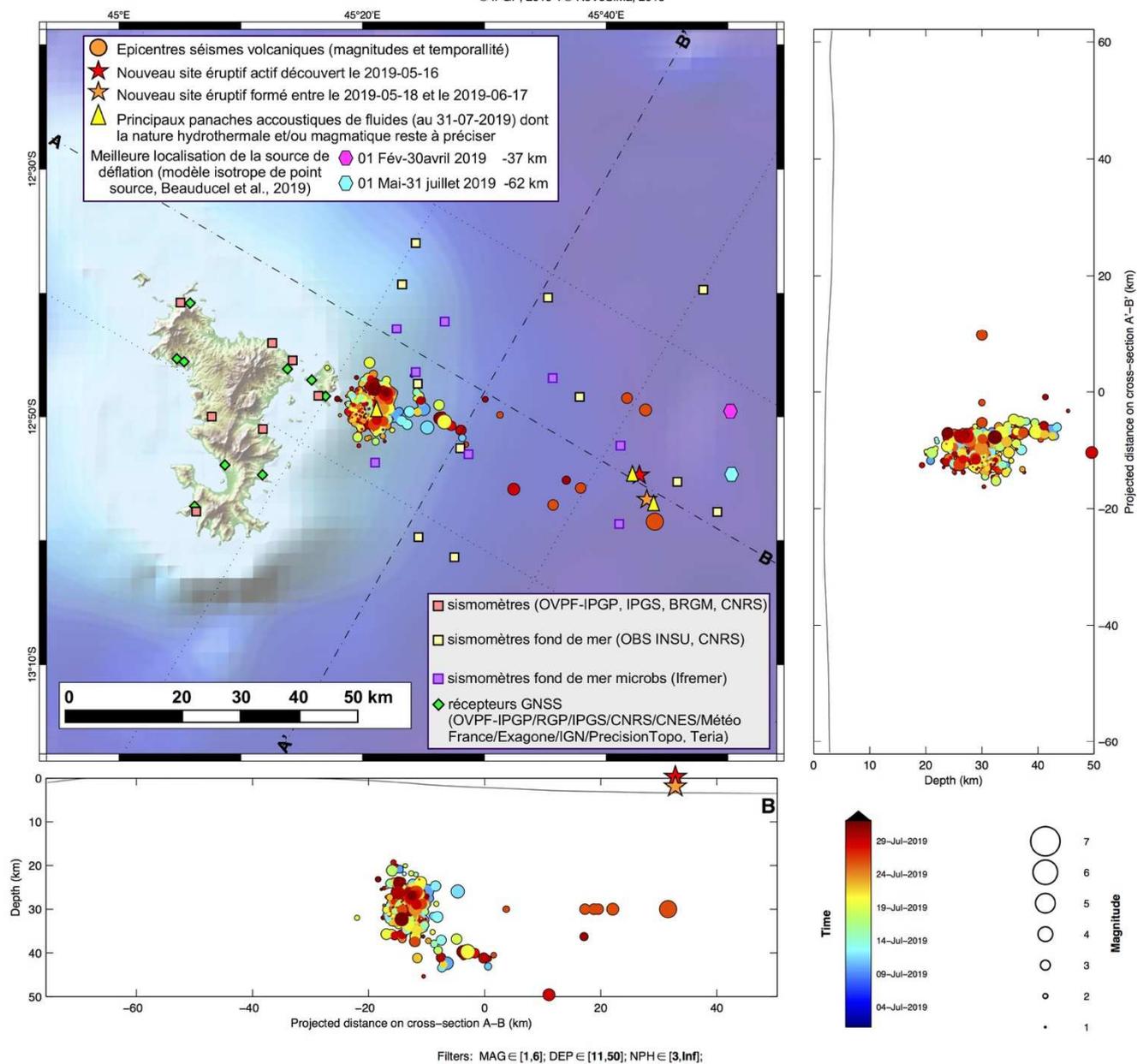
Localisation

Pas d'évolution spatiale de la localisation de la sismicité depuis juin 2019.



Mayotte time evolution – swarm

© IPGP, 2019 + © ReVoSiMa, 2019



From: 01-Jul-2019 00:00
To: 31-Jul-2019 23:59

Total events = 408
Magnitude: min 1.0 – max 4.4
Types:
(408),

PROC.HYPOMAYOTTE / MayotteZoomTime... - webobs@saba - 01-Aug-2019 04:12:19 +0 - hypomap.m (2018-08-02) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2019)

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 1 au 31 juillet 2019 (dernier mois) (échelle temporelle de couleur) et coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (précision variant entre $+5$ km et $+15$ km) 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 : 2019-02-01/2019-04-30 ; bleu : 2019-05-01/2019-07-31) avec la profondeur en km associée. Cette source simple et unique en déflation permet de reproduire l'essentiel des déplacements horizontaux et verticaux enregistrés sur Mayotte depuis juillet 2018 (voir Figure 7). 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).

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 KAWA, 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 6**). A noter que depuis les mois d'avril-mai 2019 un ralentissement des déplacements horizontaux est observé. Sur les trois derniers mois, les déplacements horizontaux sont d'environ 3,5 cm, et l'affaissement (subsidence) d'environ 2-3 cm (**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 pouvant rendre compte de ces déplacements avec une erreur moyenne d'environ 4 mm serait une source en déflation localisée à environ 60 km à l'est de Mayotte et à une profondeur entre 45 et 75 km (**Figure 7**). Ceci suggère que des transferts de fluides magmatiques se poursuivent toujours en profondeur.

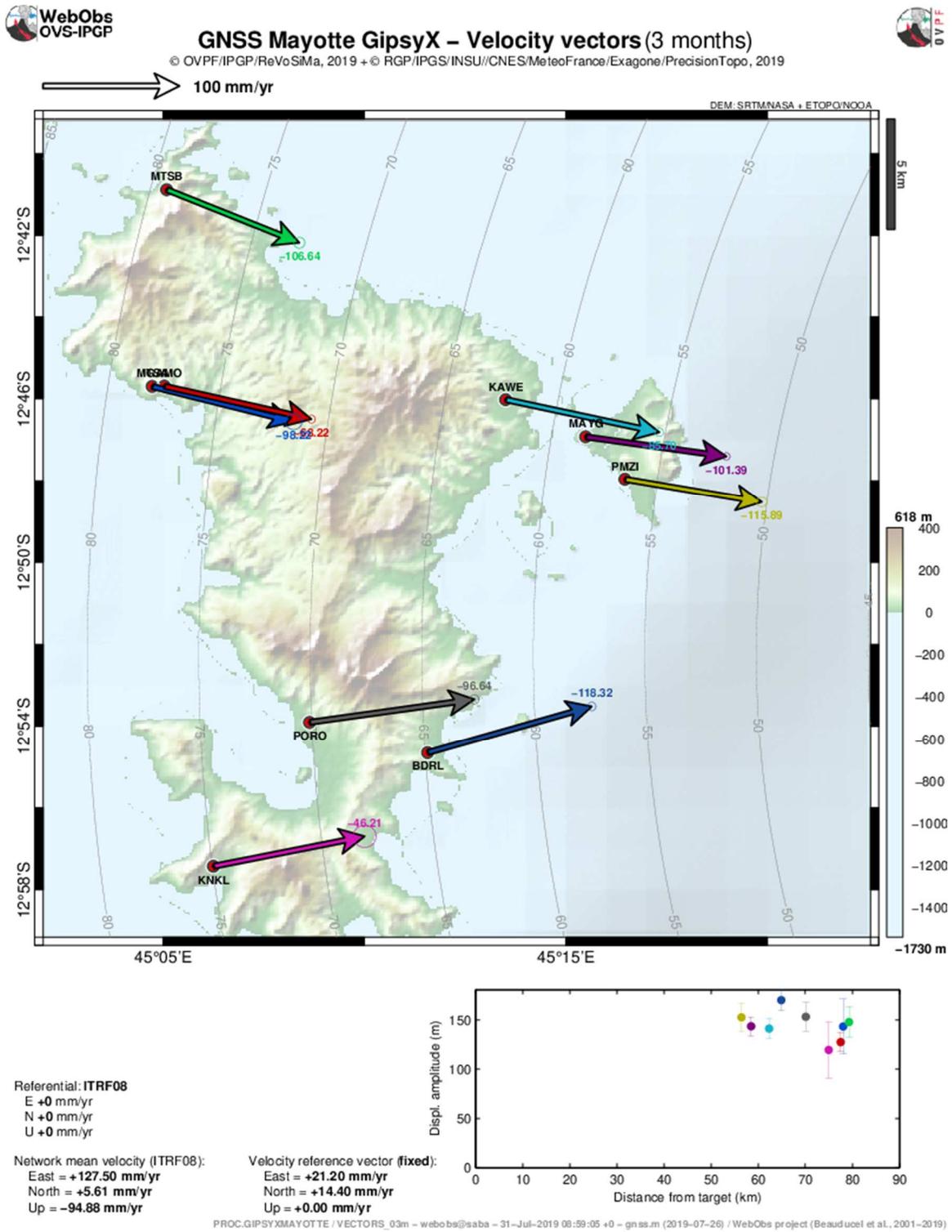
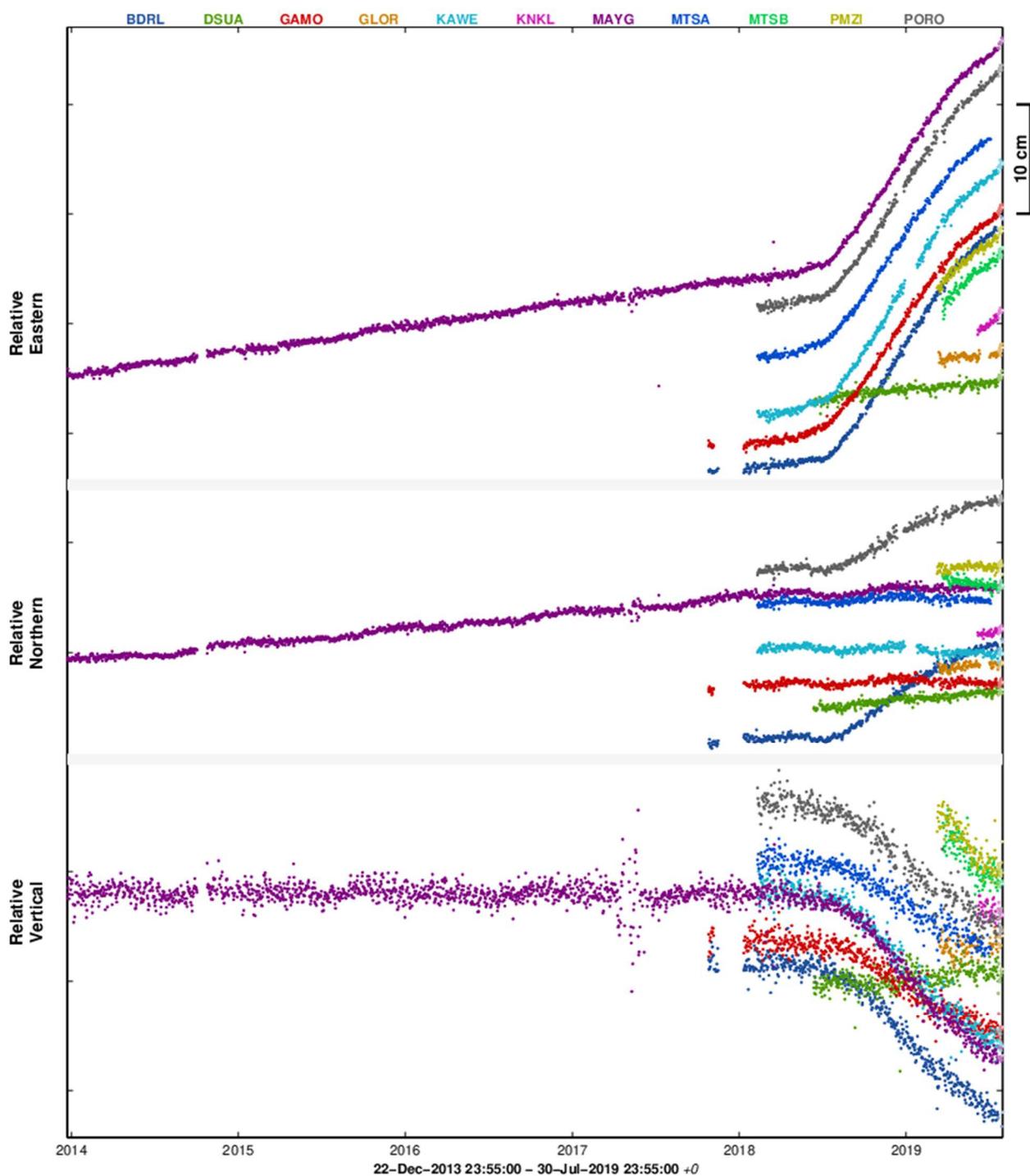


Figure 5 : Déplacements du sol enregistrés sur les stations GPS de Mayotte au cours des 3 derniers mois. Les déplacements horizontaux sont représentés sous forme vectorielle et les déplacements verticaux sont indiqués par les valeurs chiffrées en couleur. Post-traitement de ces données réalisé par l'IPGP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



GNSS Mayotte GipsyX – ITRF08 (All data)

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



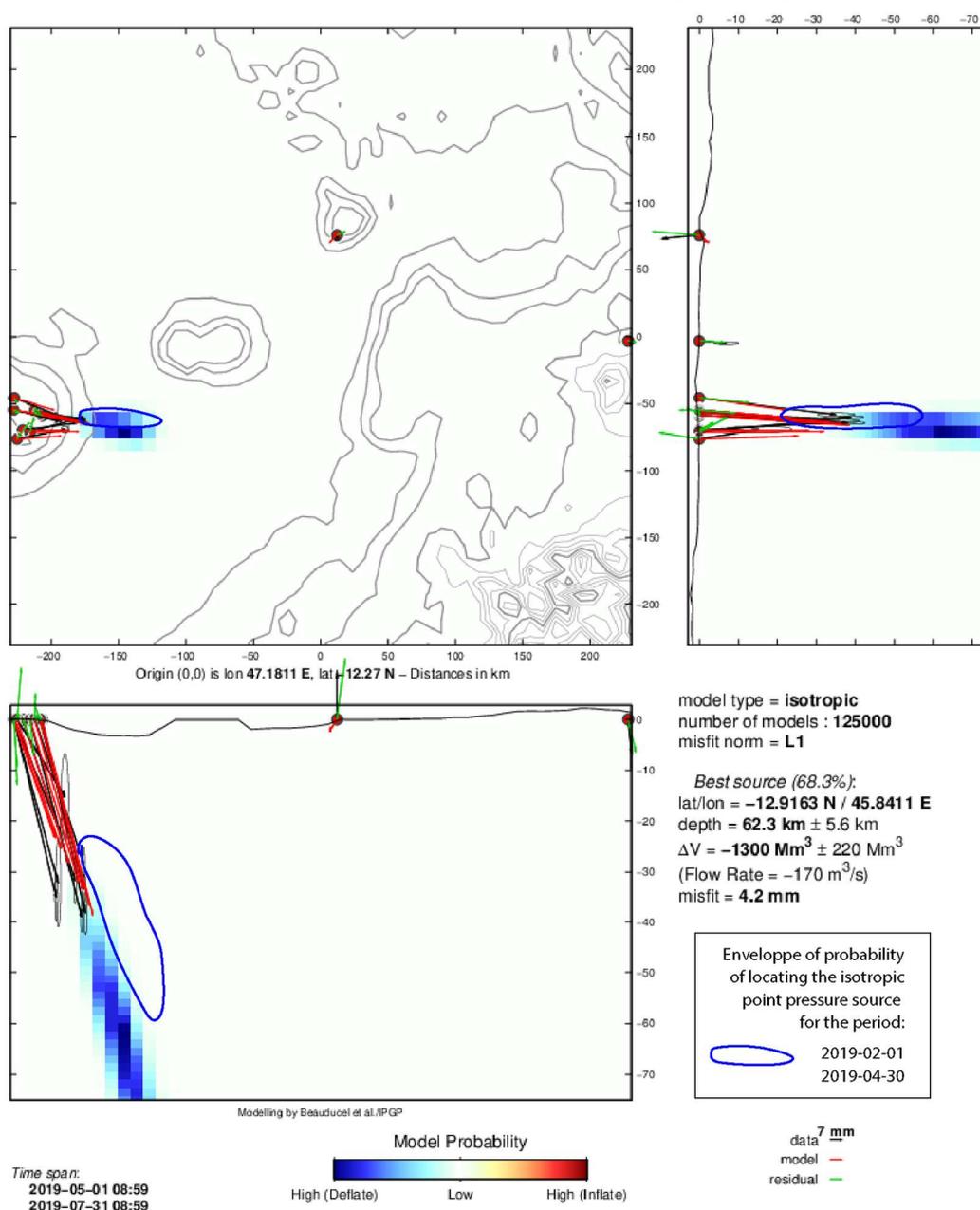
Referential: ITRF08
 E +0 mm/yr
 N +0 mm/yr
 U +0 mm/yr

PROC.GIPSYXMAYOTTE / _all - webobs@saba - 31-Jul-2019 08:59:05 +0 - gnss.m (2019-07-26) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2019)

Figure 6 : Déplacements (en cm) enregistrés sur 9 stations GPS localisés à Mayotte (BDRL, GAMO, KAWE, KNKL, MAYG, 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 juillet 2019. Post-traitement de ces données réalisé par l’IPGP (©OVPF-IPGP et BRGM).

GNSS Mayotte GipsyX – Source modelling (3 months)

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



PROC.GIPSYXMAYOTTE / MODELLING_03m - webob@saba - 31-Jul-2019 08:59:05 +0 - gnss.m (2019-07-26) / 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 2 périodes de 3 mois : 01 mai-31 juillet 2019 (zone de pixels colorés) et 01 février-30 avril 2019 (trait bleu), 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 (©OVPF-IPGP et BRGM).

Géochimie des fluides

• A Terre :

Des émanations de gaz magmatiques (majoritairement CO₂) vigoureuses mais de faible température sont connues depuis de nombreuses années (a priori depuis 1998) sur la plage à l'est de l'aéroport de Pamandzi, à terre comme dans l'eau. Elles ont fait l'objet d'études par le BRGM dans les années 2005-2007 et d'analyses par des scientifiques de l'IPGP (Moreira et collaborateurs.). Ces travaux sont détaillés dans les rapports de *Traineau et al. (2006 ; RP- 54700-FR)* et *Sanjuan et al. (2008 ; RP-56802-FR)*. Les flux de la zone ont été estimés en 2006-2008 > 10 tonnes / jour soit environ 3650 tonnes par an (*Sanjuan et al., 2008*). Ces flux sont comparables à ceux de certains champs géothermiques mais bien inférieurs à ceux des émissions enregistrées sur des volcans actifs.

Ces travaux montrent que les gaz émis sur la zone de la plage à l'est de l'aéroport, à la base sud du maar de La Vigie sont d'origine magmatique profonde. Les émissions recensées actuellement et en l'état des connaissances actuelles à Petite-Terre (à terre et en mer dans le lagon proche de la plage de l'aéroport) sont composées pratiquement uniquement de dioxyde de carbone (97-98% CO₂) avec des quantités faibles de méthane (0,2% CH₄), de faible quantité d'hélium et de radon (Rn). Ces gaz ne contenaient pas de gaz soufrés (hydrogène sulfuré H₂S et dioxyde de soufre SO₂) en 2006 (*Traineau et al., 2006 ; Sanjuan et al., 2008*). Cette composition chimique est caractéristique des gaz des magmas émis en contexte de points chauds (hot spot) comme au Piton de la Fournaise (La Réunion) et au Kilauea (Hawaii) (*Sanjuan et al., 2008*).

D'autres sites de dégazages ont été reportés occasionnellement au centre du lac Dziani Dzaha, et à la pointe nord de Petite-Terre (*Traineau et al., 2006*) mais ni leur composition chimique ni leur relation à la zone de la plage ne sont connus. Des émanations de gaz ont également été identifiées sur la plage des Badamiers (*Traineau et al., 2006*), et leur étendue a été documentée en avril 2019 (*Di Muro et al., 2019*). Leur échantillonnage lors d'une prochaine mission permettra de connaître leur composition et leur origine.

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. Suite aux mesures exploratoires de début 2019, les scientifiques du ReVoSiMa, dans le cadre des actions financées par l'Etat, réaliseront à partir de septembre 2019 une cartographie fréquente et répétée de ces zones d'émanations gazeuses. Ils installeront ensuite une station permanente sur le site le plus pertinent afin d'avoir un suivi permanent du flux de ces émissions gazeuses qui seront interprétées conjointement aux autres données scientifiques de surveillance et de recherche. Les données seront alors reportées dans ce bulletin.

• En mer :

Des panaches acoustiques (700 à 1000 m de haut ; dont la nature hydrothermale et/ou magmatique reste à préciser) ont été identifiés lors des 4 campagnes océanographiques sur les sites d'émission de lave ainsi qu'au-dessus de la zone de l'essaim sismique principal à 5-15 km à l'est de Petite-Terre. Aucune manifestation de ces panaches n'est visible en surface :

<http://www.ipgp.fr/fr/decouverte-de-naissance-dun-nouveau-volcan-marin-a-lest-de-mayotte>

<https://www.ifremer.fr/Espace-Presse/Communiqués-de-presse/Seismes-a-Mayotte-conclusions-de-la-seconde-campagne-oceanographique>

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

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 :

Du 2 au 18 mai 2019, une campagne océanographique (MD220-Mayobs-1) sur le Marion Dufresne a permis une découverte majeure avec la naissance d'un nouveau site éruptif sous-marin à l'est de Mayotte. Une nouvelle campagne (MD221-Mayobs-2 ; 10-17 juin 2019) a montré de nouvelles coulées de lave situées à 5 km au sud du nouveau site éruptif découvert le 17 mai.

Les premiers résultats de la campagne MD223-Mayobs-4 (19-31 juillet) montrent :

- la présence d'une nouvelle coulée de lave à l'ouest du nouveau site éruptif. Cette coulée s'est formée depuis le lever bathymétrique de MD221-Mayobs-2 le 17 juin. Son épaisseur pourrait atteindre plus de 150 m. Son volume est estimé à 0,3 km³, produit au plus en approximativement 44 jours, ce qui équivaut à un flux approximatif d'au moins 80 m³/s ;

- des panaches toujours actifs au niveau de l'essaim sismique à 5-15 km de Petite-Terre ;

- il n'y a plus de panache au sommet du nouveau site éruptif mais un panache est présent au niveau de la nouvelle coulée ;

- des analyses bathysondes au niveau du site éruptif et de l'essaim sismique à 5-15 km de Petite-Terre ont été réalisées et leur exploitation est en cours.

Les laves de l'éruption en cours, échantillonnées lors des campagnes océanographiques, sont de composition basique (i.e. entre 45 et 52 % de SiO₂). Leurs analyses sont en cours.

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) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 80 m³/s. La nouvelle coulée identifiée à l'ouest du nouveau site éruptif (0,3km³) s'est mise en place avec un flux approximatif de 80 m³/s sur 44 jours (entre le 17 juin et le 30 juillet), 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 déplacement enregistrés (travail exploratoire en cours, F. Beauducel et collaborateurs) 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/Communiqués-de-presse/Seismes-a-Mayotte-conclusions-de-la-seconde-campagne-oceanographique>
- Le site de l'ENS : <http://volcano.terre.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/>

Toute personne souhaitant témoigner, qu'elle ait ou non ressenti un séisme, est invitée à déposer son témoignage sur le site BCSF-RéNaSS (Bureau Central Sismologique Français) à l'adresse : www.franceseisme.fr

Références citées dans le bulletin :

- Audru et al., 2006, BATHYMAI: 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
- Briole et al., 2008 : note de synthèse <http://volcano.terre.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
- 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
- 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), Melilite-bearing lavas in Mayotte (France): An insight into the mantle source below the Comores. *Lithos*, Elsevier, 2014, 208-209, 281-297
- 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.
- 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 Lagoon of Mayotte (Comoro Archipelago, SW Indian Ocean). *Facies* 50:391-408 DOI 10.1007/s10347-004-0040-7