

Bulletin n°21 du 1^{er} au 31 août 2020

ISSN : 2680-1205

Bulletin de l'activité sismo-volcanique à Mayotte

Evolution au cours du dernier mois :

Entre le 1^{er} et le 31 août 2020, 717 séismes Volcano-Tectoniques (VT ; séismes dont la gamme de fréquence est la plus large, de 2Hz à 40Hz), 57 séismes Longue Période (LP ; basse fréquence, entre 0,5 et 5 Hz) et 6 séismes Très Longue Période (VLP ; très basse fréquence, entre 5 et 100 secondes) ont été détectés par le REVOSIMA. L'activité sismique principale est toujours concentrée à 5-15 km à l'est de Petite-Terre, à des profondeurs de 20-50 km. Au cours du mois d'août, 2 séismes ont été ressentis et ont fait l'objet d'un communiqué exceptionnel : le 13 août 2020 à 15h35 (heure TU), M4,3, localisé à 31 km à l'Est de Dzaoudzi, et à une profondeur de 51 km ; et le 25 août 2020 à 20h05 (heure TU), M4,1, localisé à 28 km à l'Est de Dzaoudzi, à 47 km de profondeur.

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. 21 à 24 cm ; b) un affaissement (subsidence) d'env. 9 à 18 cm selon leur localisation sur l'île. Un ralentissement des déplacements est observé depuis avril-mai 2019.

Evènement en cours : éruption sous-marine toujours en cours en date du 11 mai 2020, à 50-60 km à l'Est de Mayotte avec sismicité et déformations associées.

Nouveau site éruptif sous-marin à l'Est de Mayotte découvert lors des campagnes océanographiques (MAYOBS 1-2-3-4) entre le 2 mai et le 31 juillet 2019. Activité toujours en cours avec identification de coulées de lave et de structures volcaniques qui se sont formées entre juillet et août 2019 (campagne SHOM-MAYOBS5 du 20 août 2019) et entre août 2019 et mai 2020 (campagne MAYOBS13-2 du 4-11 mai 2020).

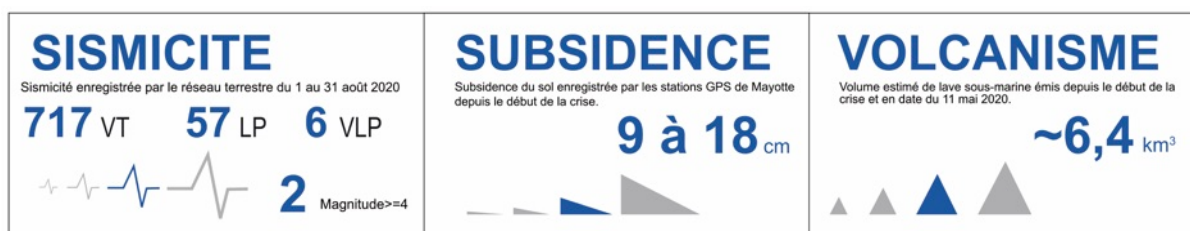
Les sismologues ont confirmé au premier semestre 2020 lors de sessions « pickathons » d'analyse des données sismiques marines, la présence de signaux acoustiques sur les enregistrements OBS d'octobre et novembre 2019, actuellement interprétés comme résultant du contact explosif entre la lave et l'eau sur le fond marin au niveau des dernières coulées de lave.

Edifice principal : latitude : -12°54' ; longitude : 45°43' ; hauteur : au moins 800 m (en date du 11 mai 2020) ; 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>

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

Veille scientifique renforcée.



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

L'IPGP opère le REVOSIMA à travers l'Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise, avec l'appui du BRGM et sa direction régionale à Mayotte et en étroite association avec l'IFREMER et le CNRS. Le REVOSIMA est soutenu par un consortium scientifique avec l'IPGS et le RENASS-BCSF, l'IRD, l'IGN, l'ENS, l'Université de Paris, l'Université de la Réunion, l'Université Clermont Auvergne, LMV et l'OPGC, l'Université de Strasbourg, l'Université Grenoble Alpes et ISTerre, l'Université de La Rochelle, l'Université Paul Sabatier, Toulouse et le GET-OMP, GéoAzur, le CNES, Météo France, le SHOM, les TAAF, et collaborateurs. Les données de ce réseau sont produites par ce consortium de partenaires scientifiques financés par l'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 désormais publié 1 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 : <http://datacenter.ipgp.fr/> et <http://volobsis.ipgp.fr/data.php>) et par les Services Nationaux d'Observations du CNRS-INSU. Les données GPS sont distribuées par l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN : <http://mayotte.gnss.fr/donnees>). Les données acquises lors des campagnes océanographiques seront distribuées par l'IFREMER, les autres données géologiques et géochimiques seront diffusées par le REVOSIMA et ses partenaires.

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

Résumé détaillé

1. L'île volcanique de Mayotte est l'une des quatre îles de l'archipel volcanique des Comores, située dans le Canal du Mozambique entre Madagascar et l'Afrique. Depuis environ 20 millions d'années, le volcanisme sur Mayotte a produit une grande diversité de reliefs et de produits volcaniques. Les lithologies observées sont des empilements de coulées de basaltes, de 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 150 000 ans B.P. (Debeuf, 2004). La présence de niveaux de cendres volcaniques dans les sédiments datés du lagon, indiquerait que la dernière activité volcanique et explosive à terre aurait eu lieu 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., 2020*). Ces séismes forment deux essaims avec des épacentres regroupés en mer, entre 5 et 15 km à l'est de Petite-Terre pour l'essaim sismique principal, et à 25 km à l'est de Petite-Terre pour le secondaire, à des profondeurs comprises majoritairement entre 25 et 50 km. 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 diminué mais une sismicité continue persiste, fluctuante mais qui a pu générer jusqu'à plusieurs séismes de magnitudes proches de M_4 ressentis par mois. Du 1^{er} au 31 août 2020, 717 séismes Volcano-Tectoniques (VT), 57 séismes Longue Période (LP) et 6 séismes Très Longue Période (VLP) ont été détectés par le REVOSIMA. La majorité des séismes LP a eu lieu lors d'essaims de quelques dizaines de minutes, et souvent associés à des signaux VLP. Ces signaux VLP sont habituellement associés dans la littérature à des résonances et des mouvements de fluide (magmatique ou hydrothermal). Deux séismes ont été ressentis et ont fait l'objet d'un communiqué exceptionnel : le 13 août 2020 à 15h35 (heure TU), $M_4,3$, localisé à 31 km à l'Est de Dzaoudzi, et à une profondeur de 51 km ; et le 25 août 2020 à 20h05 (heure TU), $M_4,1$, localisé à 28 km à l'Est de Dzaoudzi, à 47 km de profondeur dans l'essaim sismique secondaire.

Les sismologues ont confirmé au premier semestre 2020 lors de sessions « pickathons » d'analyse des données sismiques marines, la présence de signaux acoustiques sur les enregistrements OBS d'octobre et novembre 2019, actuellement interprétés comme résultant du contact explosif entre la lave et l'eau sur le fond marin au niveau des dernières coulées de lave.

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. 21 à 24 cm ; b) un affaissement (subsidence) d'env. 9 à 18 cm selon leur localisation sur l'île. Un ralentissement stable des déplacements est observé depuis avril-mai 2019. Les premières modélisations simples, utilisant une source unique isotrope localisée en un point, montrent que les déplacements des premiers mois de la crise pourraient être induits par la déflation d'un réservoir magmatique profond à l'est de Mayotte (note *Briole et al., 2018 ; bulletins mensuels 2018 OVPF/IPGP*). Le ralentissement progressif des déplacements depuis avril-mai 2019 implique que les diverses sources de bruit affectant les signaux GPS, ainsi que les autres sources de déformation (notamment d'origine hydrologique et/ou atmosphérique) deviennent de plus en plus significatives. Il faut donc interpréter avec prudence les variations des paramètres de localisation des modèles de déformation sur la période récente. Néanmoins la poursuite des déformations suggère que des transferts de fluides magmatiques en profondeur se poursuivent. Cependant, il n'est pas certain que ces transferts soient associés à une émission de lave sous-marine.

4. Du 2 au 18 mai 2019, une campagne océanographique (MD220-MAYOBS1) 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 3500 m de profondeur d'eau. Les campagnes suivantes (MD221-MAYOBS2 - 10-17 juin 2019 ; MD222-MAYOBS3 - 13-14 juillet 2019 ; et MD223-MAYOBS4 - 19-31 juillet 2019 ; mission SHOM-MAYOBS5 20-21 août 2019 ; MAYOBS13-2 4-11 mai 2020) ont mis en évidence de nouvelles coulées de lave, au sud, à l'ouest et au nord 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 l'origine hydrothermale et/ou magmatique reste à qualifier) ont été détectés dans la colonne d'eau au-dessus des coulées actives, ainsi qu'au-dessus de la structure volcanique ancienne dite du « Fer à cheval » située à l'aplomb de la zone de l'essaim sismique principal (5-15 km à l'est de Petite-Terre). Les sites situés au niveau de l'édifice volcanique, présentent une signature magmatique la plus forte (anomalies fortes en méthane dissous, pH, dioxyde de carbone et hydrogène). Il en est de même pour le site dans la zone du Fer à cheval même si les signatures isotopiques traduisent des sources différentes au niveau du carbone. Les autres sites présentent des anomalies d'intensité moyenne à faible en méthane dissous uniquement. Ces résultats, associés aux données en cours de traitement, contribuent à la détermination de l'origine (dégazage du magma, interaction eau de mer et magma, eau de mer modifiée chimiquement par réactions thermiques) et de l'intensité du processus sous le plancher océanique générant les émissions de fluides dans la colonne d'eau.

5. En l'état actuel des connaissances, l'éruption a produit un volume estimé d'environ $6,4 \text{ km}^3$ de lave depuis le début de son édification (sans correction de la vésicularité très variable des laves émises). Selon les différents modèles et interprétations proposées à ce jour, l'éruption aurait pu débuter le 18 juin 2018 (modèle de *Cesca et al., 2020*), voire le 3 juillet 2018 (modèle de *Lemoine et al., 2020*). Sur une période de 10 mois (de juillet 2018 - début des déformations de surface enregistrées à Mayotte – au 18 mai 2019), le flux éruptif minimum moyen de lave a été d'environ $172\text{-}181 \text{ m}^3/\text{s}$ sur une durée maximale de 320 à 336 jours. Depuis la découverte de l'édifice volcanique, quatre nouveaux points de sortie distants ont été identifiés et ont produit : 1) au sud environ $0,2 \text{ km}^3$ de lave en 30 jours (19 mai-17 juin 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de $77 \text{ m}^3/\text{s}$; 2) à l'ouest environ $0,3 \text{ km}^3$ de lave en 43 jours (entre le 18 juin et le 30 juillet 2019) pour un flux minimum moyen de $81 \text{ m}^3/\text{s}$; 3) au nord environ $0,08 \text{ km}^3$ de lave en 21 jours (entre le 31 juillet et le 20 août 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de $44 \text{ m}^3/\text{s}$; 4) au nord environ $0,8 \text{ km}^3$ de lave en 265 jours maximum (entre le 21 août 2019 et le 11 mai 2020) pour un flux minimum moyen de l'ordre de $35 \text{ m}^3/\text{s}$. Les volumes et flux éruptifs, notamment au début de la crise, sont exceptionnels et sont, malgré les incertitudes, parmi les plus élevés observés sur un volcan effusif depuis l'éruption du Laki (Islande) en 1783.

6. Des dégagements terrestres gazeux importants d'origine magmatique (majoritairement CO_2) 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. 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).

8. Les analyses de l'ensemble des laves draguées lors des campagnes océanographiques MD220-MAYOBS1, MD221-MAYOBS2 et MD223-MAYOBS4, 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 (MAYOBS4-DR09) jusqu'aux phonolites (MAYOBS1-DR02, MAYOBS2-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 (MAYOBS1-DR01, MAYOBS4-DR10 et DR12), ou des coulées émises entre mai et juin 2019 (MAYOBS2-DR08) et entre juin et juillet 2019 (MAYOBS4-DR11, à l'exception d'un échantillon plus primitif dont l'origine doit encore être précisée).

9. 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. L'analyse d'un échantillon de lave phonolitique très peu ou pas altérée et d'apparence très récente, qui provient de la drague DR07 prélevée dans la zone de l'essaim sismique actif, à environ 15 km au sud-est de Petite-Terre (voir pour plus de détails le bulletin REVOSIMA N° 4) révèle les rapports de (dés)équilibres radioactifs suivants : $(^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}) = 1.03 \pm 0.04$ (2 sigma) et $(^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}) = 1.21 \pm 0.05$ (2 sigma), tels que mesurés en septembre 2019 (voir pour plus de détails le bulletin REVOSIMA N° 5, www.ipgp.fr/revosima). 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. 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. Ces données géochronologiques restent donc à confirmer. De nombreuses analyses restent à réaliser, à interpréter et à intégrer dans le corpus actuel de connaissance sur le volcanisme à Mayotte. Malgré les 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 sur la nature, l'ampleur, la dynamique et la chronologie de l'activité de la province volcanique de Mayotte dont une très large partie a été mise en place en milieu sous-marin difficilement accessible.

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

Sismicité

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

L'analyse de la sismicité se base sur les données issues d'un réseau de stations à terre réparties dans la région de Mayotte dont les données sont analysées tous les jours et d'un parc de capteurs en mer (OBS : Ocean Bottom Seismometer) qui sont relevés après plusieurs semaines d'installation et dont les données sont accessibles en différé. Les données des stations à terre et des OBS sont fournies par l'ensemble des partenaires impliqués dans le suivi de la crise. Pour plus de précisions sur l'analyse de la sismicité, voir le bulletin n° 1 (http://www.ipgp.fr/sites/default/files/190823_1er_bulletin_info_sismo_volcanique_mayotte.pdf).

Avec le recrutement de nouveaux personnels en février-mars 2020 dans le cadre de la pérennisation du REVOSIMA, des ressources humaines supplémentaires sont désormais dédiées au dépouillement sismique, ce qui a permis d'abaisser la magnitude minimale des séismes identifiés (magnitude de complétude). Il est désormais possible de mieux identifier les séismes de plus petites magnitudes < M1,5.

A noter que le RENASS (Réseau national de surveillance sismologique) et le REVOSIMA utilisent deux méthodes complémentaires et différentes pour détecter la sismicité observée à Mayotte. Le RENASS se base sur des algorithmes de détection en temps réel, qui permettent une localisation automatique et rapide des événements, mais nécessitent que les données arrivent en temps réel et que la magnitude des événements soit suffisamment élevée pour avoir du signal sur toutes les stations de mesure. Les événements détectés automatiquement sont ensuite validés par les analystes du RENASS. Le REVOSIMA complète ces détections par un examen manuel minutieux quotidien de l'ensemble des données. Cela permet bien entendu de détecter des événements de plus petite magnitude seulement visibles sur les stations les plus proches des événements et qui ne sont pas détectés automatiquement, mais aussi de travailler sur des données arrivées en temps différé. En contrepartie, toute cette information n'est rapportée que le lendemain dans le bulletin quotidien, après l'examen complet des données de la veille. En cas de séisme ressenti par la population, les données sont analysées dès que possible par le REVOSIMA. L'ensemble des détections du RENASS est comptabilisé dans les détections du REVOSIMA qui établit et maintient un catalogue le plus complet possible. Ce catalogue est affiné et complété par les résultats des analyses des données des OBS (sismomètres de fond de mer). Ces analyses

sont faites par les scientifiques du REVOSIMA lors des pickathons après chaque relève d'OBS, tous les 4 mois environ à l'heure actuelle.

Entre le 1^{er} et le 31 août 2020, le Réseau Volcanologique Sismologique de Mayotte (REVOSIMA) a détecté, avec le réseau de stations terrestres, un total de 717 séismes Volcano-Tectoniques (VT ; séismes dont la gamme de fréquence est la plus large, de 2Hz à 40Hz), 57 séismes Longue Période (LP ; basse fréquence, entre 0,5 et 5 Hz) et 6 séismes Très Longue Période (VLP ; très basse fréquence, entre 5 et 100 secondes) localisés entre Mayotte et le nouveau site éruptif à 50 km au sud-est de Mayotte (**Figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6**).

Suite à une augmentation du taux de sismicité entre mi-janvier et fin-février 2020, et une stabilité de fin-février à mi-mai 2020, une chute temporaire du taux de sismicité est apparue pendant la deuxième quinzaine de mai 2020, et une baisse en juin-juillet (**Figure 4**). Depuis juillet le taux de sismicité reste relativement stable.

- Sur le dernier mois, 57 séismes LP ont été enregistrés. La majorité de ces séismes LP ont eu lieu lors de plusieurs essais de quelques dizaines de minutes, parfois de manière répétée dans une journée ou sur quelques jours, et sont souvent associés à des signaux VLP.
- 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. Ainsi, sur le dernier mois 6 VLP ont été enregistrés. 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 (Thèse de doctorat d'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*).

Au total, 160 séismes ont pu être localisés manuellement (156 VT, 3 LP et 1 séisme classé inconnu ; **Figure 1a**), dont 44 de magnitude M2 à M3 et 5 VT de magnitude M3 à M4, entre 0 et 30 km à l'est de Petite-Terre et à une profondeur comprise entre environ 20 et 50 km (**Figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6, Tableaux 1 et 2**).

- Ramené à des valeurs moyennes quotidiennes on note, entre le 1^{er} et le 31 août, une moyenne de 5 séismes localisables par jour, dont 1,5 séismes/jour de magnitude \geq M2 et moins d'1 séisme/jour de magnitude \geq M3).
- Sur les 160 séismes localisés manuellement (**Tableau 1**), 37 l'ont été dans l'essai secondaire, essai définissant un alignement de séismes à 25 km à l'est de Petite-Terre, alors que la majorité a été localisée dans l'essai principal entre 5 et 15 km à l'est de Petite-Terre (**Figures 1, 6**).
- 2 séismes ont été ressentis et ont fait l'objet d'un communiqué exceptionnel : le 13 août 2020 à 15h35 (heure TU), M4,3, localisé à 31 km à l'Est de Dzaoudzi, et à une profondeur de 51 km ; et le 25 août 2020 à 20h05 (heure TU), M4,1, localisé à 28 km à l'Est de Dzaoudzi, à 47 km de profondeur, dans l'essai secondaire.

Comme le montre la **figure 1b**, les deux séismes ressentis au cours du mois d'août ont été localisés dans l'essai secondaire de sismicité.

La **figure 1c** représente la sismicité de magnitude supérieure à 3,5 sur les douze derniers mois. Il est à noter qu'au cours du dernier mois (août 2020) cette sismicité de magnitude $>$ à 3,5 s'est déroulée dans l'essai secondaire, et à de plus grandes profondeurs qu'à l'habitude (séismes représentés en rouge sur la **figure 1c**, qui représentent la fin de la période). Au cours des douze derniers mois, d'autres séismes avaient déjà été localisés dans l'essai secondaire mais ils étaient plus superficiels.

- 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.

Période du : 1 ^{er} au 31 août 2020	
Sismicité volcano-tectonique (VT) enregistrée par le réseau terrestre et validée et localisée, excluant les détections automatiques non validées	
(en gris les chiffres pour la période du 1 ^{er} au 31 juillet 2020 détectés selon le même protocole)	
Classe de magnitude	Nombre de Séismes
M < 1,0	4(0)
M1,0 à M2,0	103(85)
M2,0 à M3,0	44(67)
M3,0 à M4,0	5(5)
M4,0 à M5,0	0(0)
M5,0 à M6,0	0(0)
M1,0-M6,0	152(157)
M >= 2,0	49(72)

Tableau 1 : Répartition des séismes volcano-tectoniques (VT) et tectoniques (hors essaims) enregistrés, validés et localisés par le réseau terrestre par classe de magnitude du 1^{er} au 31 août 2020.

Total séismes >= M3,5	Dont M >= 4,0	Dont M >= 4,5	Dont M >= 5,0	Dont M >= 5,5
2040	563	152	35	2

Tableau 2 : Comptage des séismes volcano-tectoniques (VT) et tectoniques (hors essaims) localisés de magnitude M>3,5 du 10 mai 2018 au 31 août 2020 par classe de magnitude (base de données BRGM et REVOSIMA).

- Si l'activité sismique est plus faible (**Figures 1, 2**) que celle enregistrée au début de la crise, elle reste néanmoins importante. A noter que pour de nombreuses éruptions une diminution de l'énergie sismique dissipée est observée malgré la poursuite de la propagation du magma à faible profondeur et son émission en surface. Ceci témoigne d'un milieu déjà fragilisé et fracturé moins sismogène. L'activité sismique fluctue pendant une éruption et une recrudescence de l'activité sismique est toujours possible. Ainsi des magnitudes proches de 5,0, voire plus, sont toujours possibles comme le montre les deux séismes des 1 et 2 janvier 2020 et celui du 21 mars 2020.
- A noter que plusieurs séismes « proches » de très faible à faible magnitude (1-2,5) sont toujours enregistrés entre l'essaim sismique principal et Petite-Terre, voire même sous Petite-Terre (**Figure 3**). Le traitement des données OBS montre que ces séismes de faible magnitude sont présents depuis le début des enregistrements OBS.
- Le groupe Sismologie du REVOSIMA se réunit régulièrement afin d'analyser ensemble la sismicité enregistrée par les stations fond de mer. Ces événements, appelés pickathon, sont réalisés en présentiel ou de manière virtuelle, et ont pour but de compléter les catalogues construits au jour le jour à partir des enregistrements continus des stations à Terre.

En plus des signaux observés couramment sur les stations à Terre, de type VT, LP et VLP, d'autres types d'évènements ont été notés et analysés lors des derniers pickathons de février, juin et juillet 2020. Il a ainsi été possible de confirmer la présence de signaux acoustiques pendant les déploiements de micrOBS du 1^{er} octobre au 21 novembre 2019. Ces signaux sont dits acoustiques car ils sont générés par des ondes acoustiques se propageant dans l'eau, à des vitesses nettement différentes de celles des ondes sismiques dans la croûte. L'hypothèse actuellement retenue est celle d'explosions au niveau du plancher océanique

de la zone du nouveau volcan lors de la mise en contact entre la lave fraîche et l'eau. Ils semblent liés à l'apparition des nouvelles coulées confirmées lors de la campagne Mayobs-13-1 de juin 2020. D'autres types de signaux ont également été inventoriés, mais ils sont à ce jour toujours en cours d'analyse. Pour certains, l'hypothèse de perturbations instrumentales ou locales (faune sous-marine par exemple) n'est pas exclue. Le pickathon de juillet 2020, pendant lequel les données des OBS remontés lors de Mayobs-13-2 (déploiement de fin novembre 2019 à mai 2020) ont été en partie traitées, a permis de confirmer que les zones de l'essai secondaire et du nouveau volcan montraient plus d'activité sismique pendant ce premier semestre 2020 qu'en 2019.

Comme rappelé en fin de bulletin, il est fondamental de reporter tout séisme ressenti au BCSF-RENASS sur le site : <http://www.franceseisme.fr/>

Localisation

Il n’y a pas eu d’évolution spatiale notable de la localisation de la sismicité entre le 1^{er} et le 31 août 2020 par rapport au bulletin précédent (voir Figures 1 et 2).

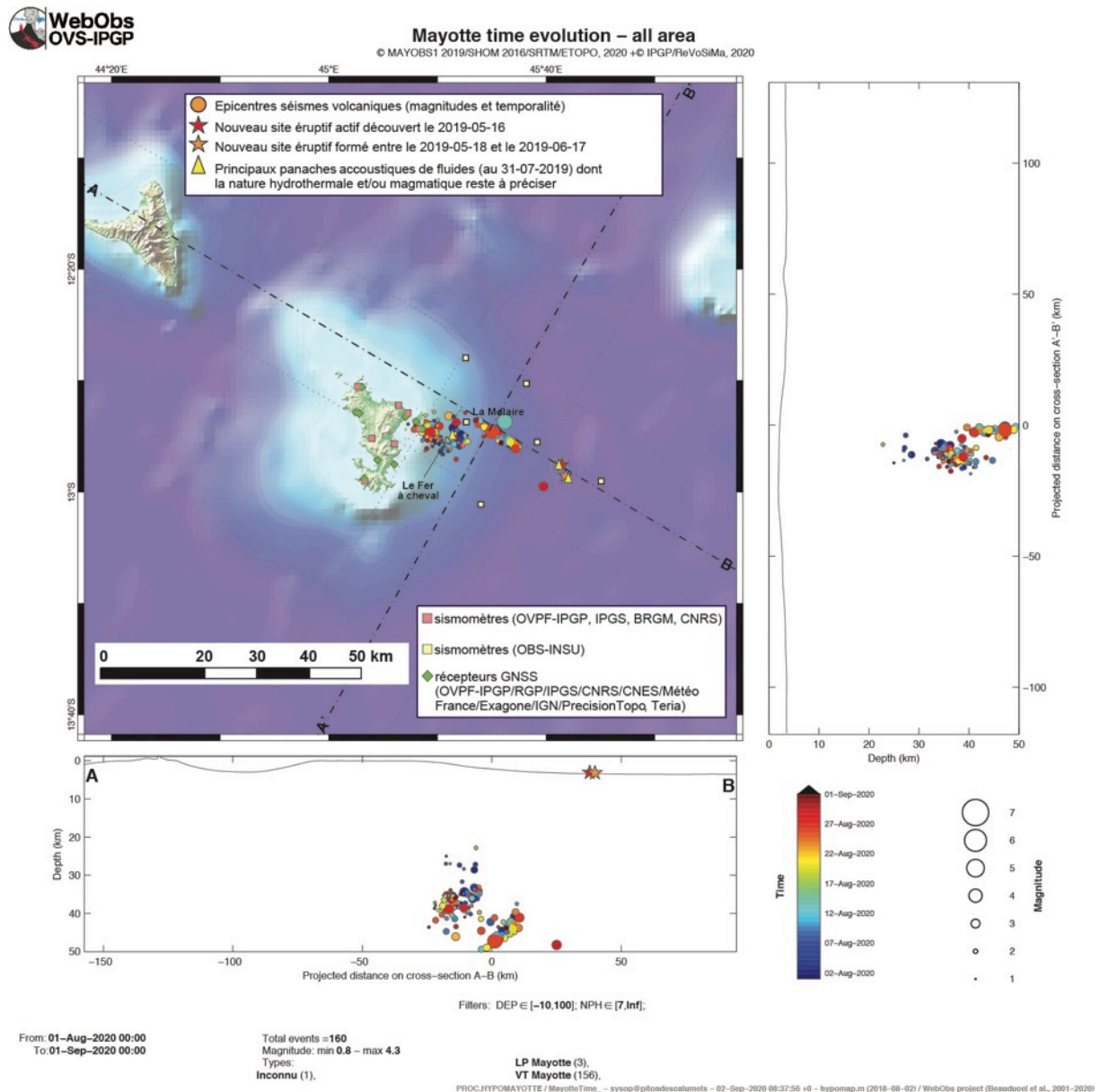


Figure 1a : Carte des épicentres (± 5 km) des séismes localisés avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RéNaSS, IPGS) entre le 1^{er} et 31 août 2020 (échelle temporelle de couleur) (séismes volcano-tectoniques VT= 156), longue période (LP=3) et classé comme inconnu (1)). Sont aussi représentées une projection des hypocentres des séismes le long de coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (la précision varie entre +5km et +15km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles et de la date (échelle temporelle de couleur)). La localisation approximative des panaches acoustiques identifiés pendant les campagnes océanographiques (MD220-MAYOBS1, MD221-MAYOBS2, MD222-MAYOBS3, MD223-MAYOBS4) 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. Les structures volcaniques de la zone dite de « La Molaire » sont indiquées en gris tout comme les coulées de lave du site éruptif actuel. 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).



Mayotte time evolution – all area
 © MAYOBS1 2019/SHOM 2016/SRTM/ETOPO, 2020 +© IPGP/ReVoSiMa, 2020

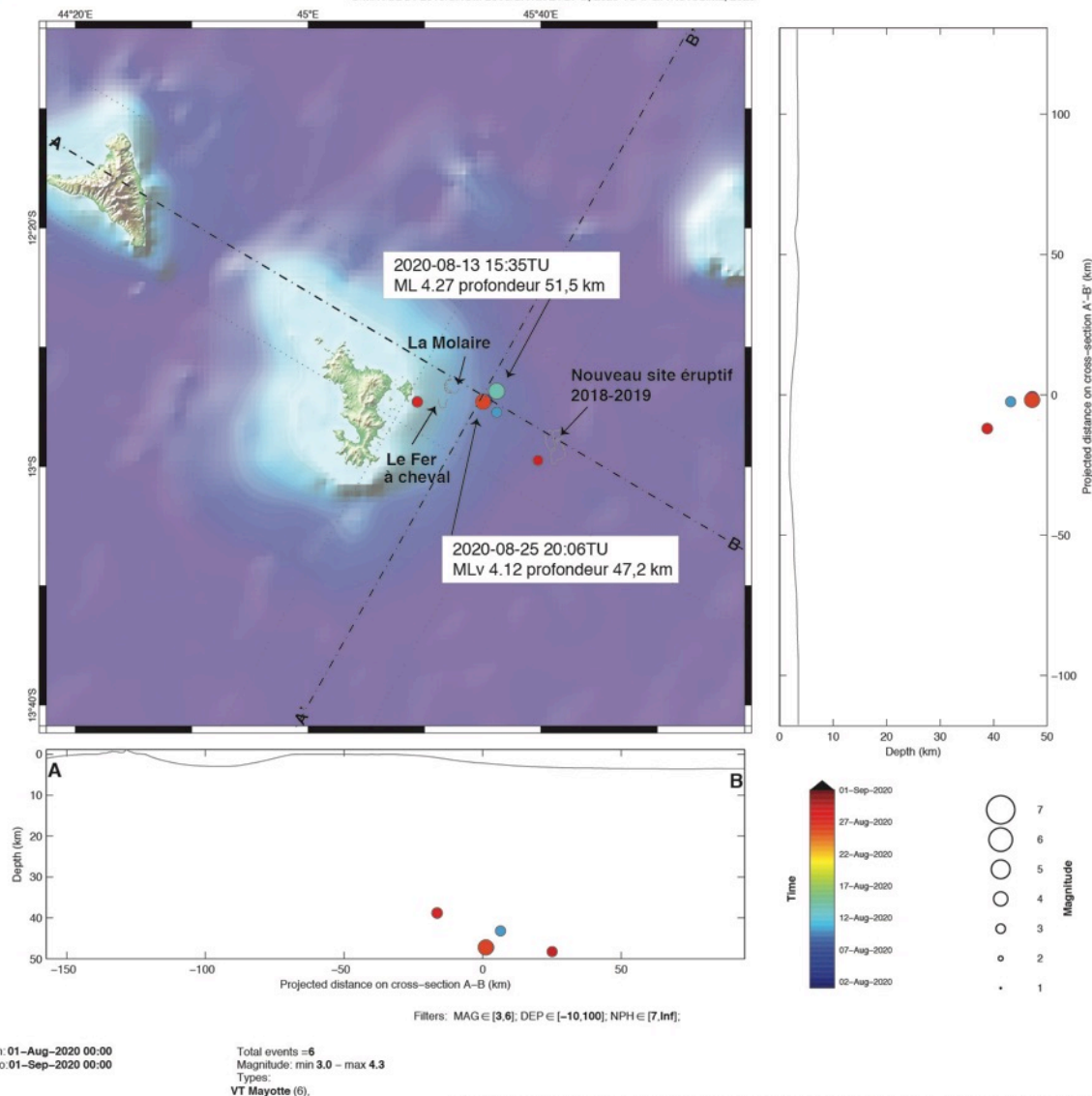
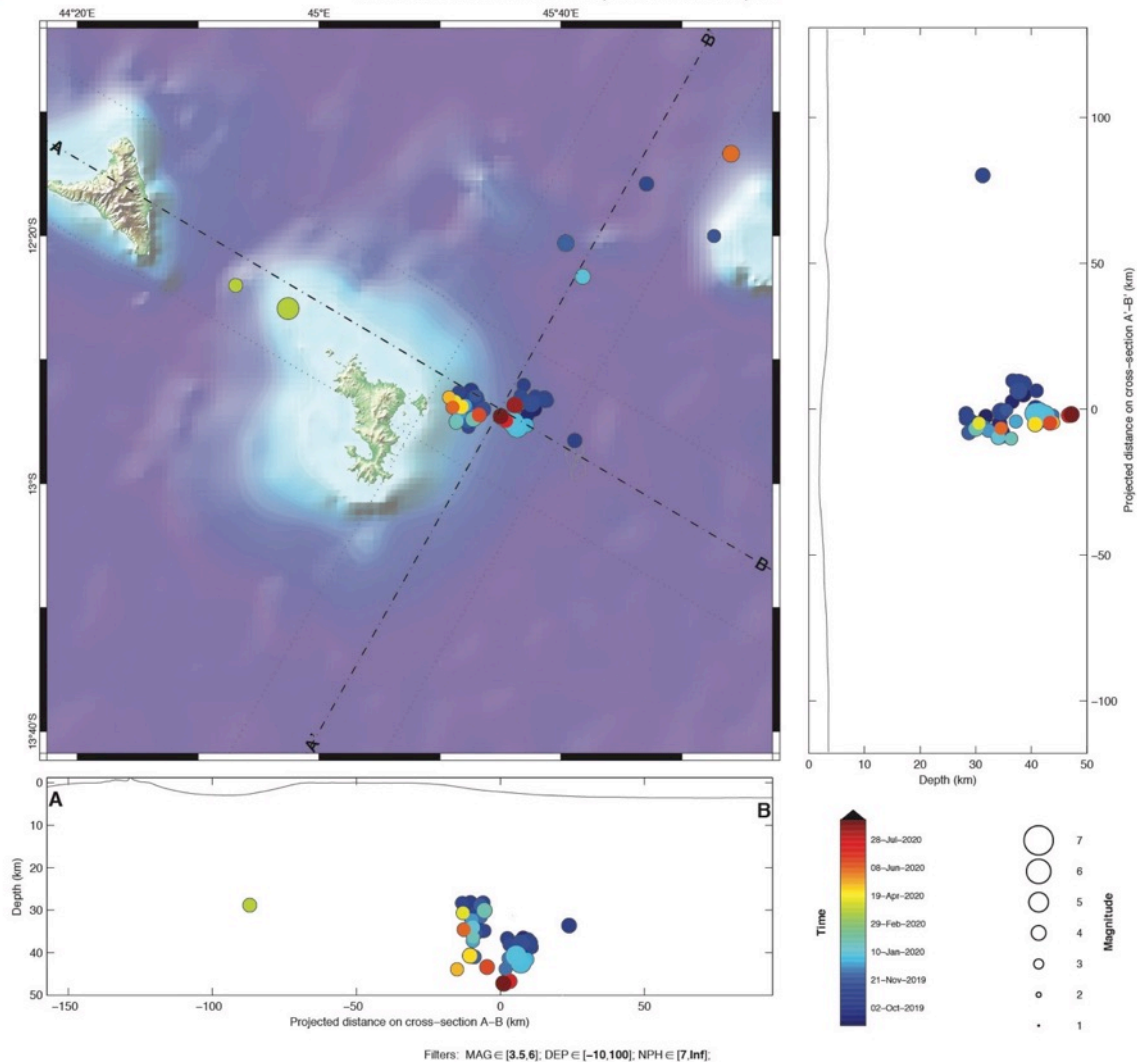


Figure 1b : Carte de localisation des épicentres (± 5 km) des séismes volcano-tectoniques (VT) de magnitude $M \geq 3$ entre le 1^{er} et le 31 août 2020 enregistrés avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RéNaSS, IPGS). Sont aussi représentées une projection des hypocentres des séismes le long de coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (la précision varie entre +5km et -15km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles) et de la date (échelle temporelle de couleur). Les structures volcaniques de la zone dite de « La Molaire », du « Fer à cheval » sont indiquées en grisé tout comme les coulées de lave du site éruptif actuel. De nombreux points de sortie de panaches de fluides dans la colonne d'eau ont été identifiés dans la structure du Fer à cheval avec une signature géochimique magmatique (voire section Géochimie des fluides). © OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RéNaSS, IPGS / REVOSIMA).



Mayotte time evolution – all area

© MAYOBS1 2019/SHOM 2016/SRTM/ETOPO, 2020 +© IPGP/ReVoSiMa, 2020



Filters: MAG ∈ [3.5,6]; DEP ∈ [-10,100]; NPH ∈ [7,Inf];

From: 01-Sep-2019 00:00
To: 01-Sep-2020 00:00

Total events = 54
Magnitude: min 3.5 – max 5.3
Types:
Regional (5).

VT Mayotte (49).

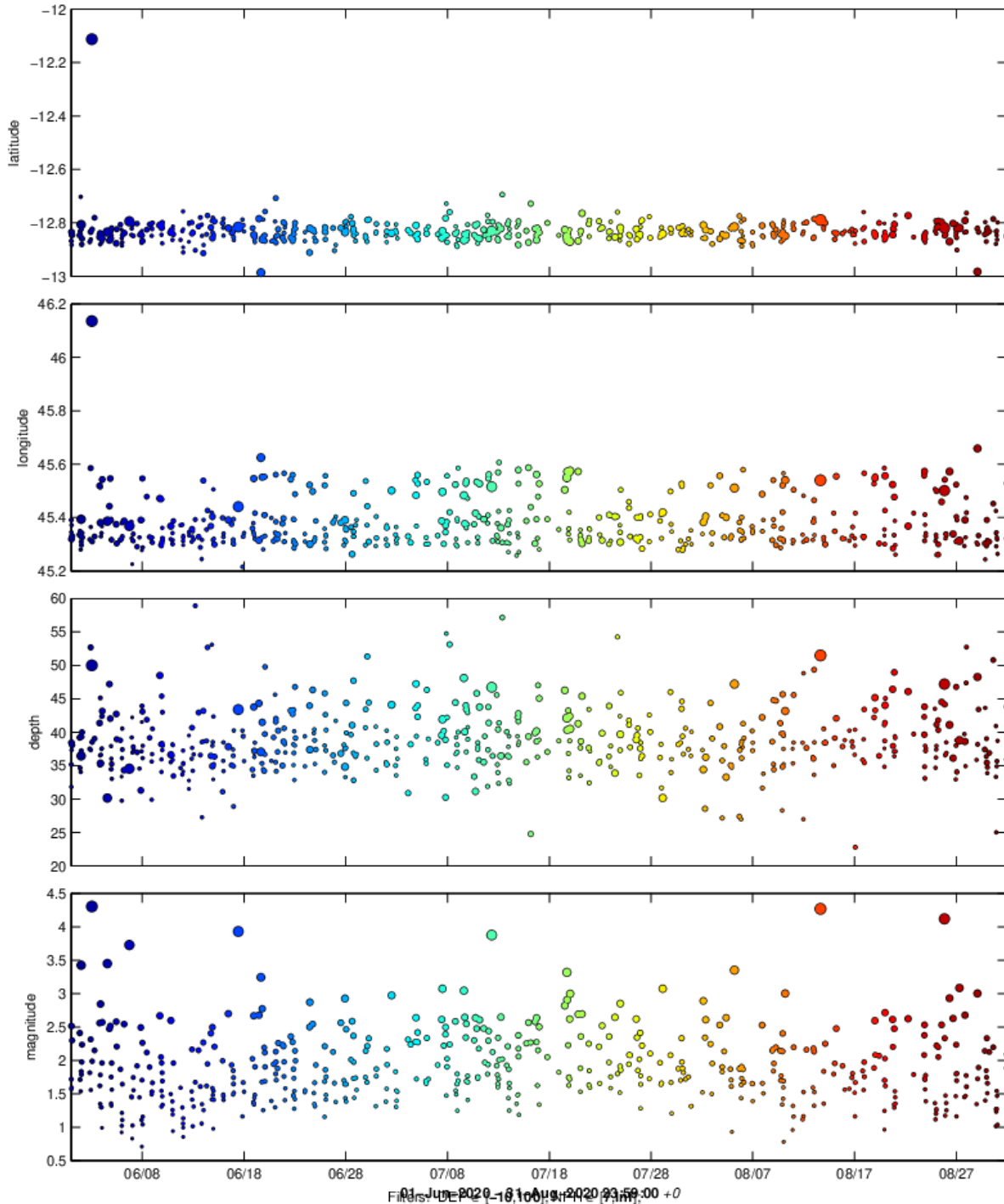
PROCHYPOMAYOTTE / MayotteTime_ - sysop@pifoadescalumets - 05-Sep-2020 16:06:14 +0 - hypomap.m (2018-08-02) / WebObs projet (Beaudouel et al., 2001-2020)

Figure 1c: Carte de localisation des épicentres (± 5 km) des séismes volcano-tectoniques (VT) de magnitude $M \geq 3,5$ entre le 1^{er} septembre 2019 et le 31 août 2020 enregistrés avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RéNaSS, IPGS). Sont aussi représentées une projection des hypocentres des séismes le long de coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (la précision varie entre +5km et +15km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles) et de la date (échelle temporelle de couleur). © OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RéNaSS, IPGS / REVOSIMA).



Mayotte time evolution – all area

© MAYOBS1 2019/SHOM 2016/SRTM/ETOPO, 2020 +© IPGP/ReVoSiMa, 2020



From: 01-Jun-2020 00:00
To: 31-Aug-2020 23:59

Total events = 538
Magnitude: min 0.7 – max 4.3
Types:
Inconnu (2),

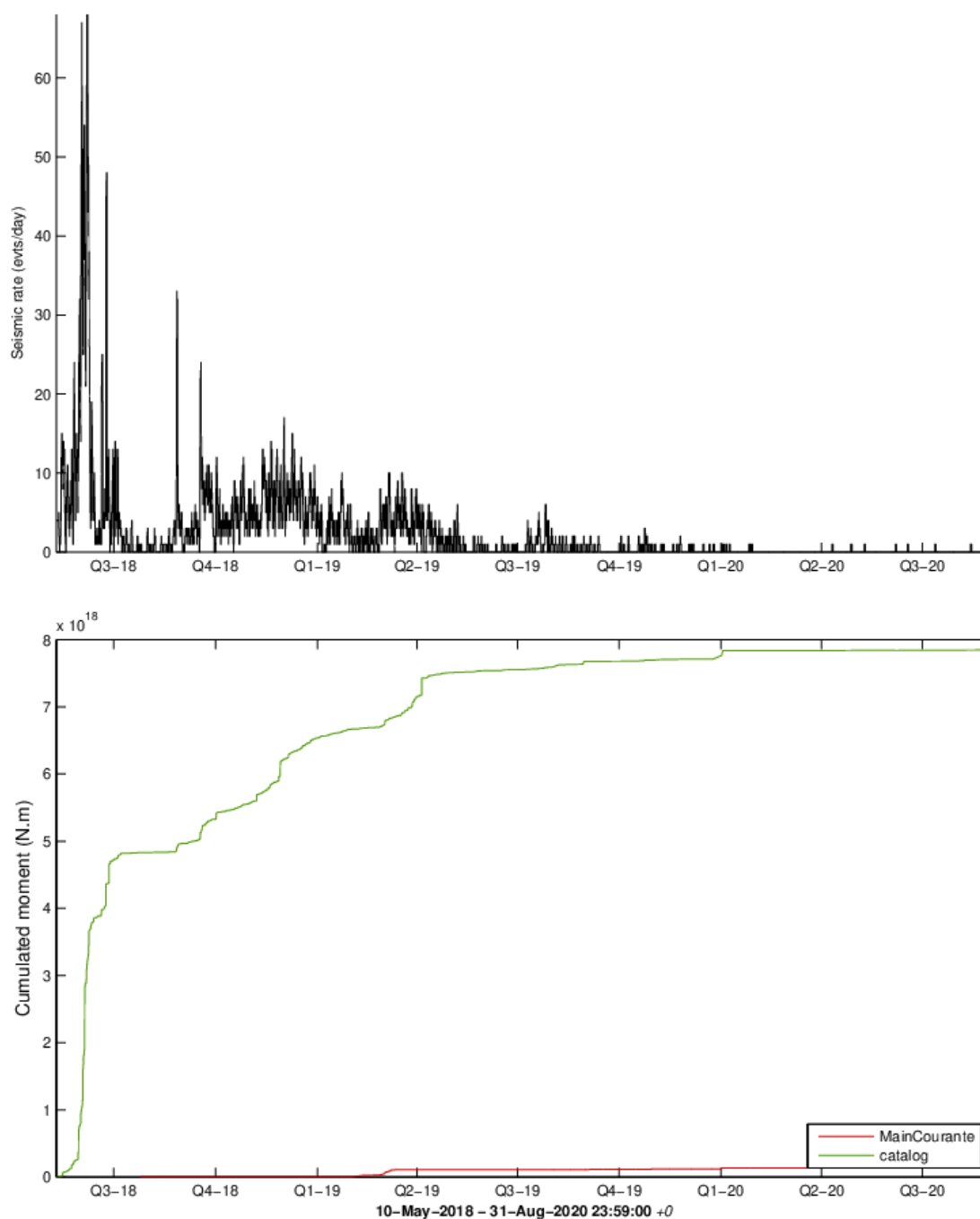
LP Mayotte (8),
Regional (1),
VLP Mayotte (1),
VT Mayotte (526),

PROC.HYPOMAYOTTE / MayotteTime_time_ - sysop@pilotondescalumets - 02-Sep-2020 11:20:38 +0 - hypomap.m (2018-08-02) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2020)

Figure 2 : Variation temporelle (échelle de couleur) des principaux paramètres (latitude, longitude, profondeur et magnitude) de la sismicité enregistrée et localisée par le REVOSIMA avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RéNaSS, IPGS) entre le 1^{er} juin 2020 et le 31 août 2020 (3 mois). Se référer à la figure 1 pour l'échelle des magnitudes (taille des symboles). (© OVPPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RéNaSS, IPGS / REVOSIMA).

Stats sismicité – M>3.5 REVOSIMA – Seismic rate and swarms

© IPGP, 2020 + © ReVoSiMa, 2020



Instantaneous seismic rate (144.0/day samples) calculated on a moving, 24h fixed-size, time window

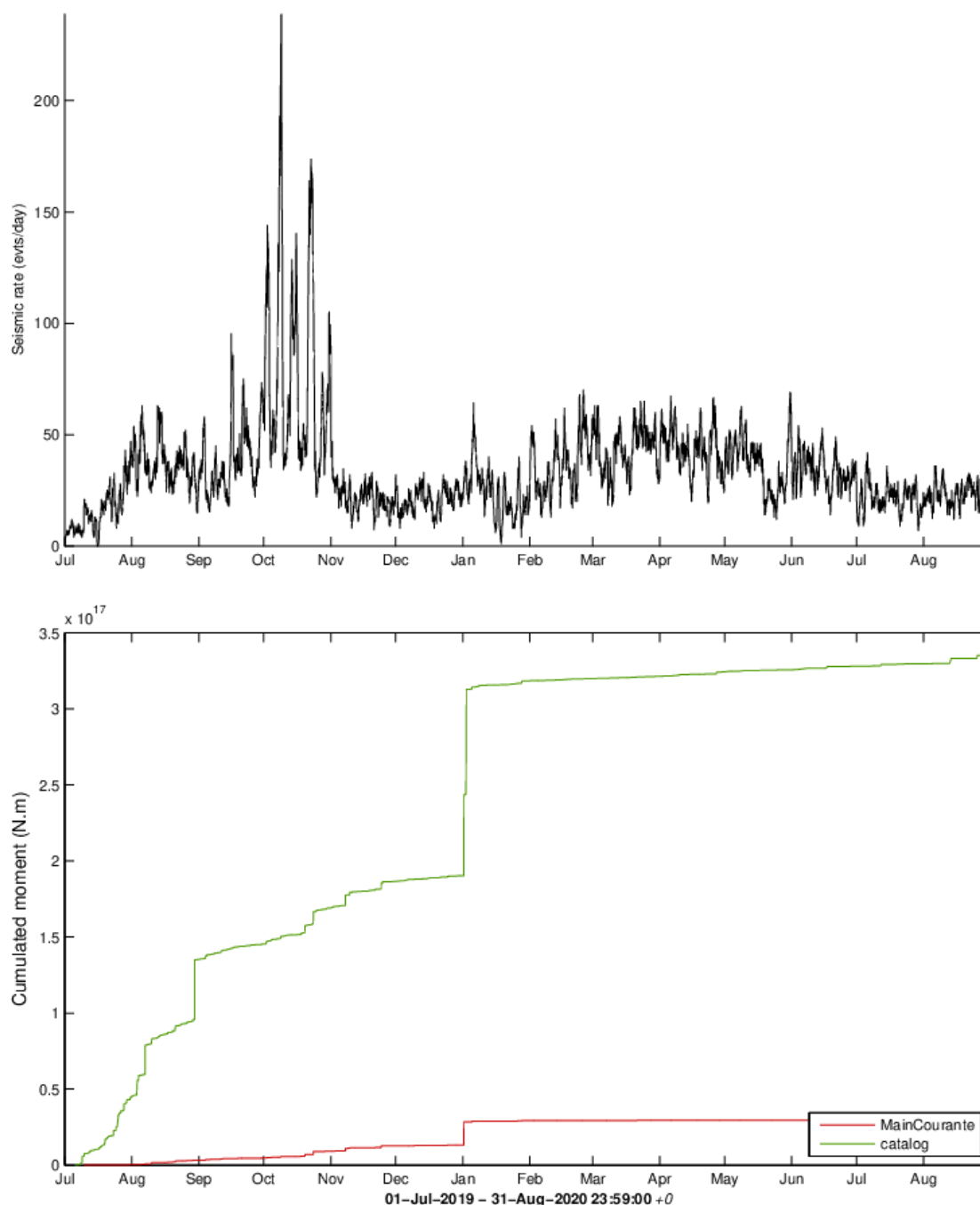
Last event: **01-Sep-2020 23:35:08 +0**

PROC.MCSTATSMAYOTTE_BIGMAG / mc3mayotte_ - sysop@pilotondescalumets - 02-Sep-2020 11:30:23 +0 - mc3stats.m (2019-04-22) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2020)

Figure 3 : En haut : Evolution temporelle du taux instantané de la sismicité volcano-tectonique (VT ; M > 3,5) calculé sur une fenêtre de 24h glissante toutes les 10 minutes depuis le 10 mai 2018. En bas : Evolution temporelle du moment sismique cumulé, en N.m (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. Sur la courbe verte, le moment sismique est calculé suivant la formule de Hanks et Kanamori (1978) à partir de la magnitude locale calculée pour les séismes localisés par le Renass. Sur la courbe rouge, le moment sismique est calculé suivant la formule de Dorel et Feuillard (1980) à partir de la magnitude de durée estimée à partir des saisies des opérateurs de l'astreinte REVOSIMA (© OVPF-IPGP et REVOSIMA).

Stats sismicité – M>0 REVOSIMA – Seismic rate and swarms

© IPGP, 2020 + © ReVoSiMa, 2020



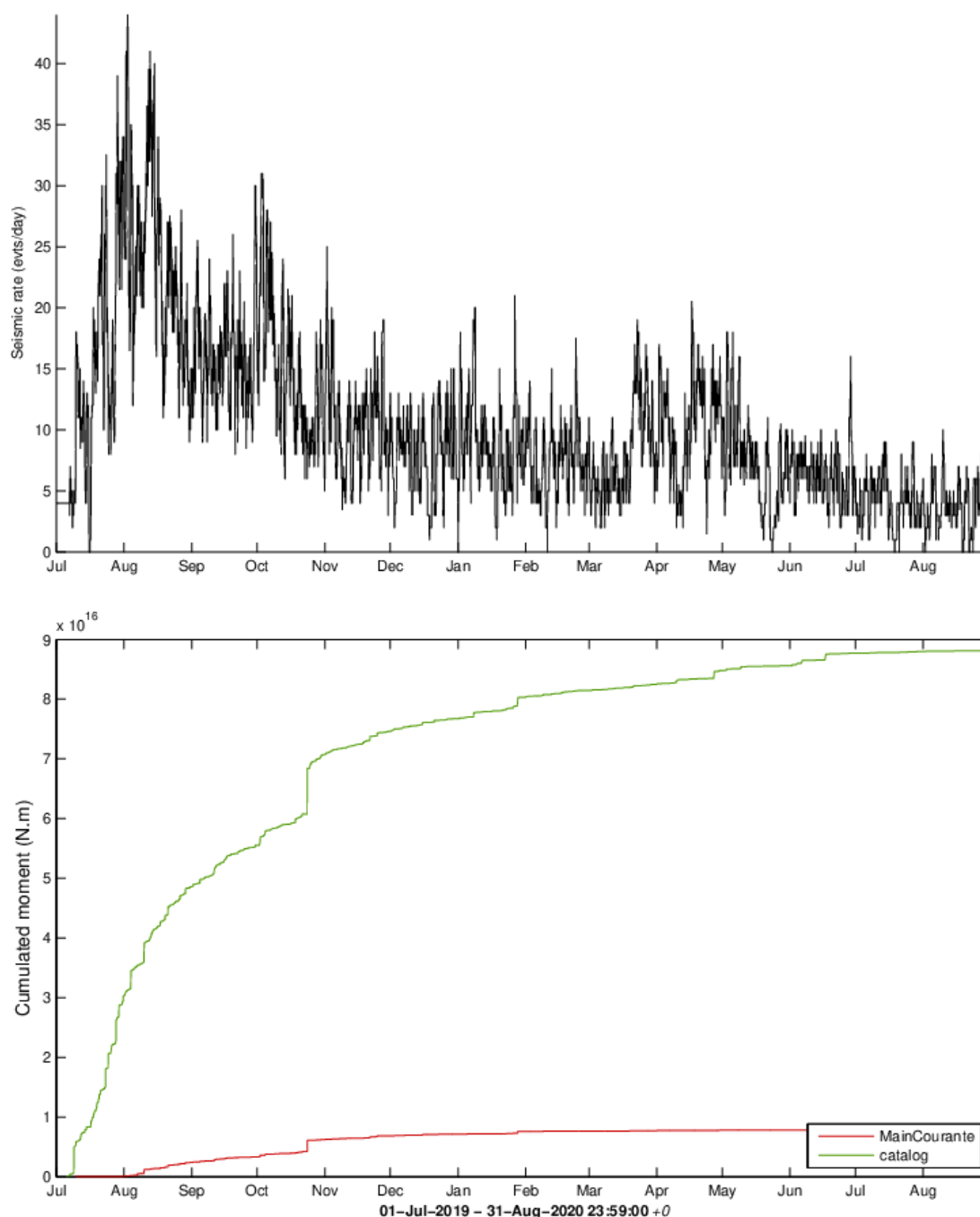
Instantaneous seismic rate (144.0/day samples) calculated on a moving, 24h fixed-size, time window
 Last event: **01-Sep-2020 23:35:08 +0**

PROC.MCSTATSMAYOTTE / mc3mayotte_ - sysop@pilotndescalumets - 02-Sep-2020 11:38:36 +0 - mc3stats.m (2019-04-22) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2020)

Figure 4 : En haut : Evolution temporelle du taux instantané de la sismicité volcano-tectonique (VT ; M > 0) calculé sur une fenêtre de 24h glissante toutes les 10 minutes entre le 1 juillet 2019 (mise en place du REVOSIMA) et le 31 août 2020. bas : Evolution temporelle du moment sismique cumulé, en N.m (représentant le cumul de l'énergie dissipée par l'ensemble des séismes) au cours des derniers 30 jours. Sur la courbe verte, le moment sismique est calculé suivant la formule de Hanks et Kanamori (1978) à partir de la magnitude locale calculée pour les séismes localisés par le Renass. Sur la courbe rouge, le moment sismique est calculé suivant la formule de Dorel et Feuillard (1980) à partir de la magnitude de durée estimée à partir des saisies des opérateurs de l'astreinte ReVoSiMa. Les augmentations du taux de sismicité en octobre et novembre 2019 sont liées au dépouillement des données continues des OBS lors du pickathon virtuel et à l'identification de nombreux petits VT non visibles sur les données à terre (© OVPF-IPGP et REVOSIMA).

Stats sismicité – essaim principal REVOSIMA – Seismic rate and swarms

© IPGP, 2020 + © ReVoSiMa, 2020



Instantaneous seismic rate (144.0/day samples) calculated on a moving, 24h fixed-size, time window

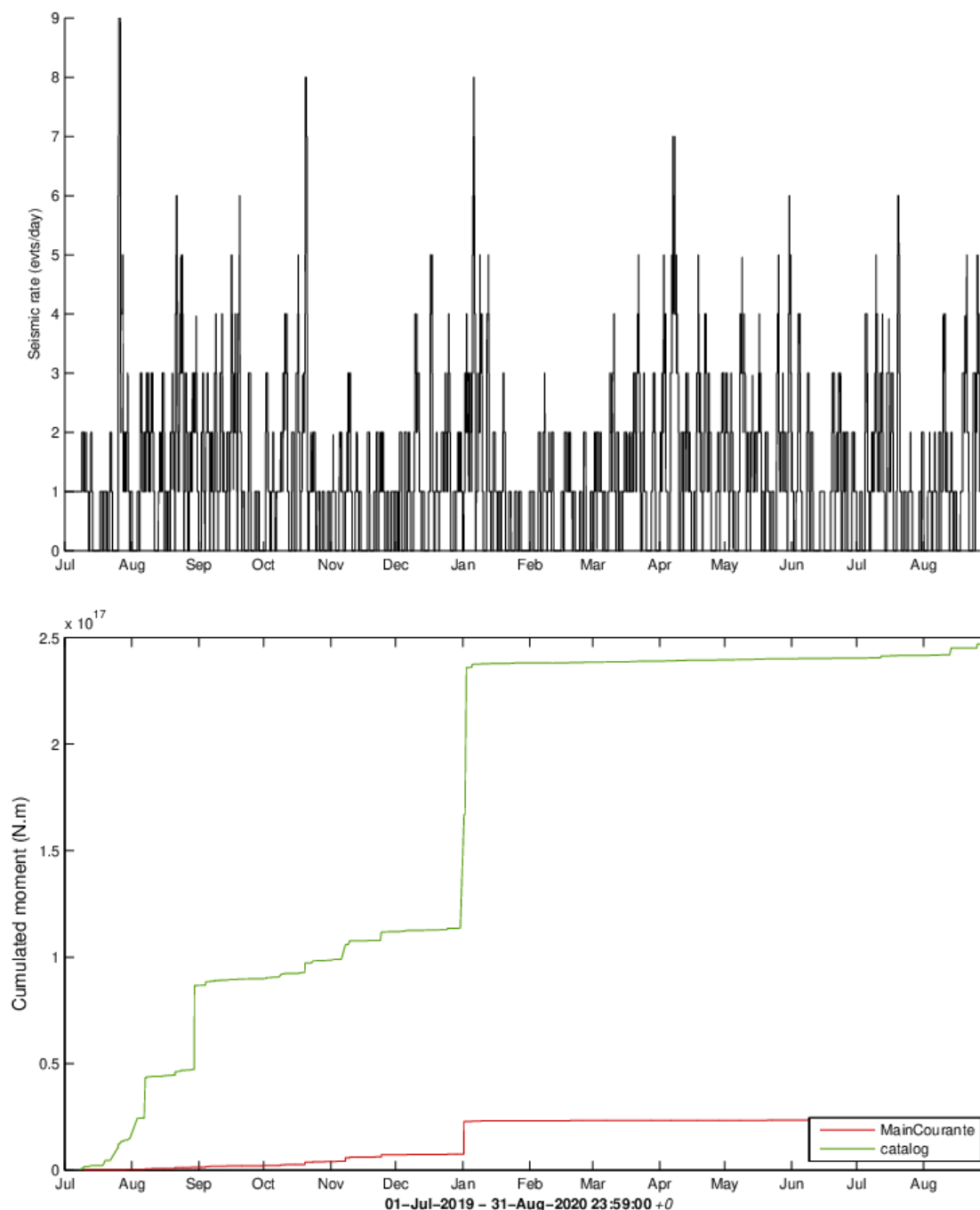
Last event: 01-Sep-2020 23:35:08 +0

PROC.MCSTATSMAYOTTE_MAIN / mc3mayotte_ - sysop@pitonndescalumets - 02-Sep-2020 11:45:55 +0 - mc3stats.m (2019-04-22) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2020)

Figure 5 : En haut : Evolution temporelle du taux instantané de la sismicité volcano-tectonique (VT ; $M > 0$) calculé sur une fenêtre de 24h glissante toutes les 10 minutes entre le 1 juillet 2019 (mise en place du REVOSIMA) et le 31 août 2020 et pour la zone de l'essai principal uniquement. Sur ce graphique ne sont pris en compte que les séismes localisés. En bas : Evolution temporelle du moment sismique cumulé, en N.m (représentant le cumul de l'énergie dissipée par l'ensemble des séismes) au cours des 30 derniers jours et pour la zone de l'essai principal uniquement. Sur la courbe verte, le moment sismique est calculé suivant la formule de Hanks et Kanamori (1978) à partir de la magnitude locale calculée pour les séismes localisés par le Renass. Sur la courbe rouge, le moment sismique est calculé suivant la formule de Dorel et Feuillard (1980) à partir de la magnitude de durée estimée à partir des saisies des opérateurs de l'astreinte ReVoSiMa (© OVPF-IPGP et REVOSIMA).

Stats sismicité – essaim secondaire & volcan REVOSIMA – Seismic rate and swarms

© IPGP, 2020 + © ReVoSiMa, 2020



Instantaneous seismic rate (144.0/day samples) calculated on a moving, 24h fixed-size, time window

Last event: 01-Sep-2020 23:35:08 +0

PROC.MCSTATSMAYOTTE_SECONDARY / mc3mayotte_ - sysop@pilotondescalumets - 02-Sep-2020 11:51:43 +0 - mc3stats.m (2019-04-22) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2020)

Figure 6 : En haut : Evolution temporelle du taux instantané de la sismicité volcano-tectonique (VT ; $M > 0$) calculé sur une fenêtre de 24h glissante toutes les 10 minutes entre le 1 juillet 2019 (mise en place du REVOSIMA) et le 31 août 2020 et pour la zone de l'essai secondaire uniquement. Sur ce graphique ne sont pris en compte que les séismes localisés. En bas : Evolution temporelle du moment sismique cumulé, en N.m (représentant le cumul de l'énergie dissipée par l'ensemble des séismes) au cours des 30 derniers jours et pour la zone de l'essai principal uniquement. Sur la courbe verte, le moment sismique est calculé suivant la formule de Hanks et Kanamori (1978) à partir de la magnitude locale calculée pour les séismes localisés par le Renass. Sur la courbe rouge, le moment sismique est calculé suivant la formule de Dorel et Feuillard (1980) à partir de la magnitude de durée estimée à partir des saisies des opérateurs de l'astreinte ReVoSiMa (© OVPF-IPGP et REVOSIMA).

Déformation

Sont considérées dans ce bulletin :

- les données des stations GPS du Centre National d'Etudes Spatiales (station MAYG), EXAGONE via le réseau TERIA (stations BDRL et GAMO) et de Precision Topo via le réseau Lel@ (station KAWE, PORO et MTSA) installées sur l'île de Mayotte, et distribuées par le RGP de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN),
- les stations installées à Mayotte et à Grande Glorieuse dans le cadre du réseau de surveillance financé par l'Etat,
- les stations DSUA et NOSY (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., 2020 ; Feuillet et al., en révision*) un déplacement d'ensemble de l'île vers l'est et un affaissement (**Figures 7 et 8**). En cumulé depuis le début de la crise ces déplacements horizontaux sont d'environ 21 à 24 cm vers l'est, et l'affaissement (subsidence) d'environ 9 à 18 cm suivant les sites (**Figure 8**). A noter que depuis les mois d'avril-mai 2019, un ralentissement des déplacements est observé et depuis mars 2020 la subsidence est devenue négligeable sur certaines stations GPS localisées à l'ouest de Mayotte (tels que MTSA, PORO, **Figures 8 et 9**).

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

Des calculs automatiques et journaliers ont été mis en place à l'IPGP (via les logiciels GipsyX et Webobs ; *Beauducel et al., 2010 ; 2020*) afin de suivre ces déplacements, et modéliser une source de déformation en temps-réel (*Beauducel et al., 2014 ; 2020*). Les caractéristiques d'une source unique (localisation, profondeur et variation de volume), ajustant au mieux les observations sur une période de temps considérée, sont modélisées par un point source de pression isotrope en profondeur, dans un milieu homogène et élastique. Ces modèles simples restent les plus adaptés actuellement, compte-tenu des limitations engendrées par la géométrie actuelle du réseau de mesures géodésiques (**Figure 10**).

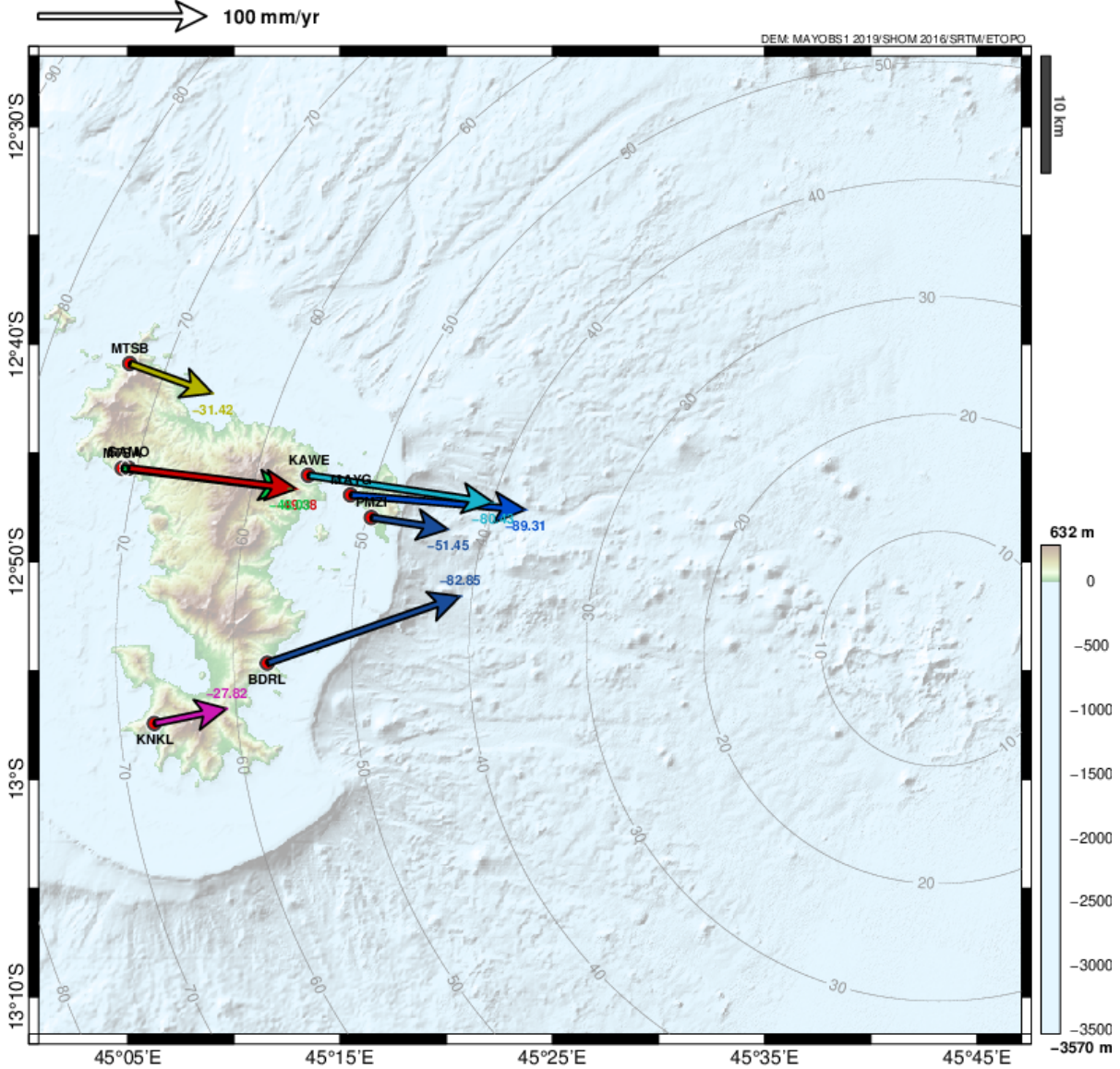
Sur le derniers mois les débits associés aux meilleurs modèles seraient compris entre -5 et -50 m³/s (**Figure 10**).

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. Cependant, il n'est pas certain que ces transferts soient associés directement à une émission de lave sous-marine. En revanche, selon les dernières observations des campagnes océanographiques (MAYOBS13-2), l'émission sous-marine de lave, à environ 50 km à l'est de Mayotte, s'est poursuivie sur la période du 20 août 2019 au 11 mai 2020, sans connaître avec précision quelles ont été les périodes d'émission sur cette durée.



GNSS GipsyX REVOSIMA – Velocity vectors

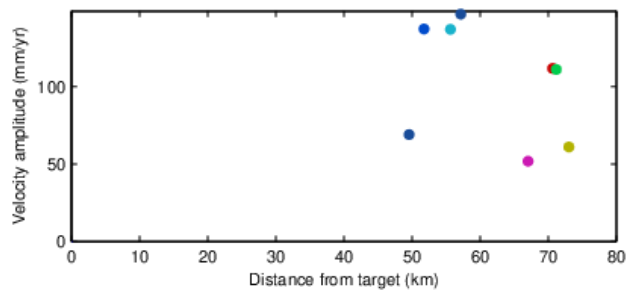
© ReVoSiMa/IPGP/RGP/IPGS/INSU/CNES/LACy/Univ. Réunion/Météo France/Exagone/Precision Topo, 2020



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

Mean velocity (ITRF08):
 East = +96.68 mm/yr
 North = +5.64 mm/yr
 Up = -58.13 mm/yr

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



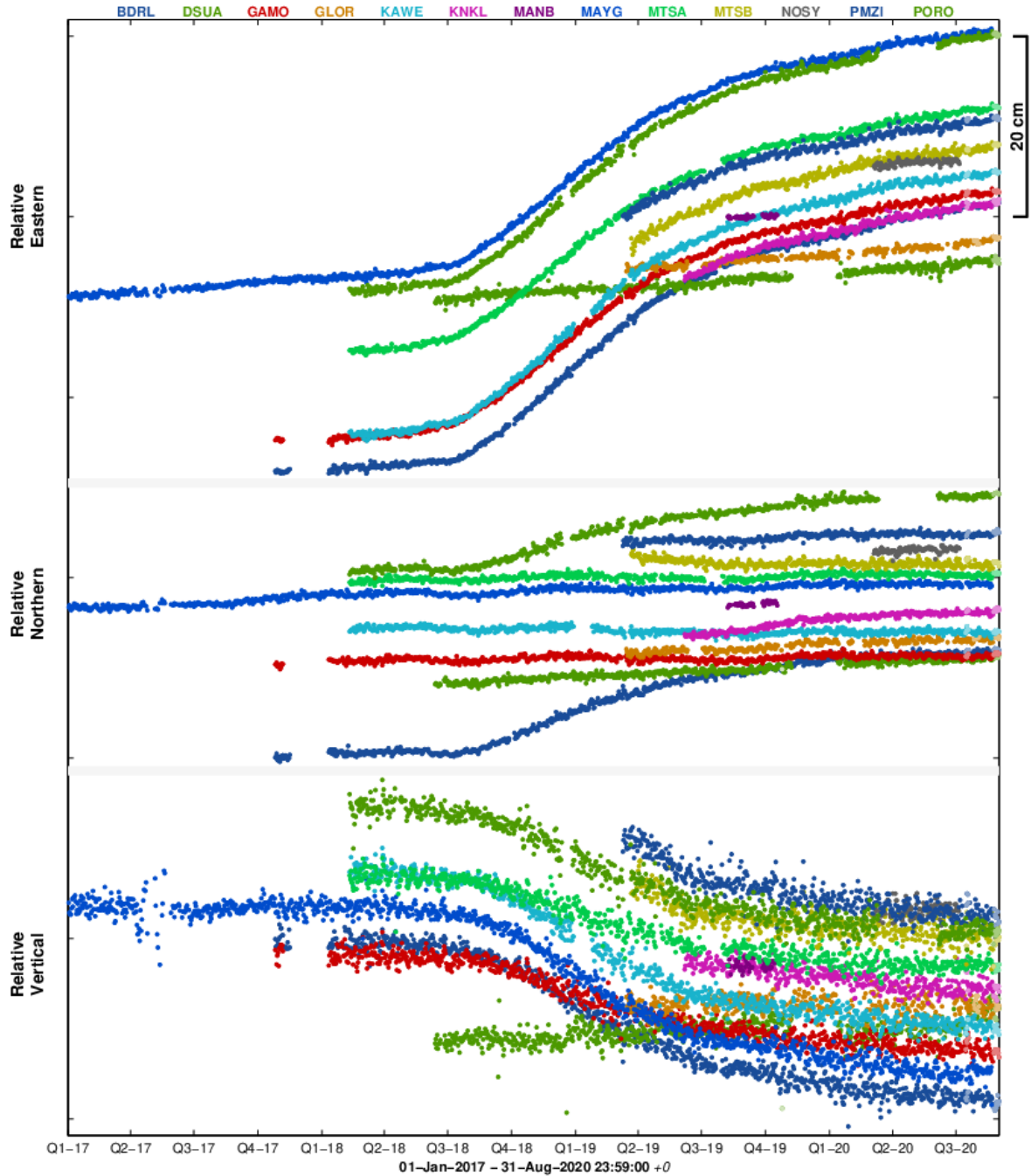
PROC.GIPSYXREVOSIMA / VECTORS - sysop@pitondescalumets - 02-Sep-2020 12:02:45 +0 - gnss.m (2020-04-12) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2020)

Figure 7 : Déplacements du sol enregistrés sur les stations GPS de Mayotte depuis le 1^{er} juillet 2018. 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).



GNSS GipsyX REVOSIMA – ITRF08

© ReVoSiMa/IPGP/RGP/IPGS/INSU/CNES/LACy/Univ. Réunion/Météo France/Exagone/Precision Topo, 2020



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

PROC.GIPSYXREVOSIMA / _ - syso.p@pilondescalumets - 02-Sep-2020 12:12:51 +0 - gnss.m (2020-04-12) / WebObs project (Beauducel et al., 2001-2020)

Figure 8 : 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 2 stations au nord de Madagascar à Diego Suarez (DSUA) et Nosy Be (NOSY) sur les composantes est (en haut), nord (au milieu) et vertical (en bas) entre le 1^{er} janvier 2017 et le 31 août 2020 pour visualiser une longue série temporelle anté-crise. Post-traitement de ces données réalisé par l’IPGP (©OVPF-IPGP / REVOSIMA).

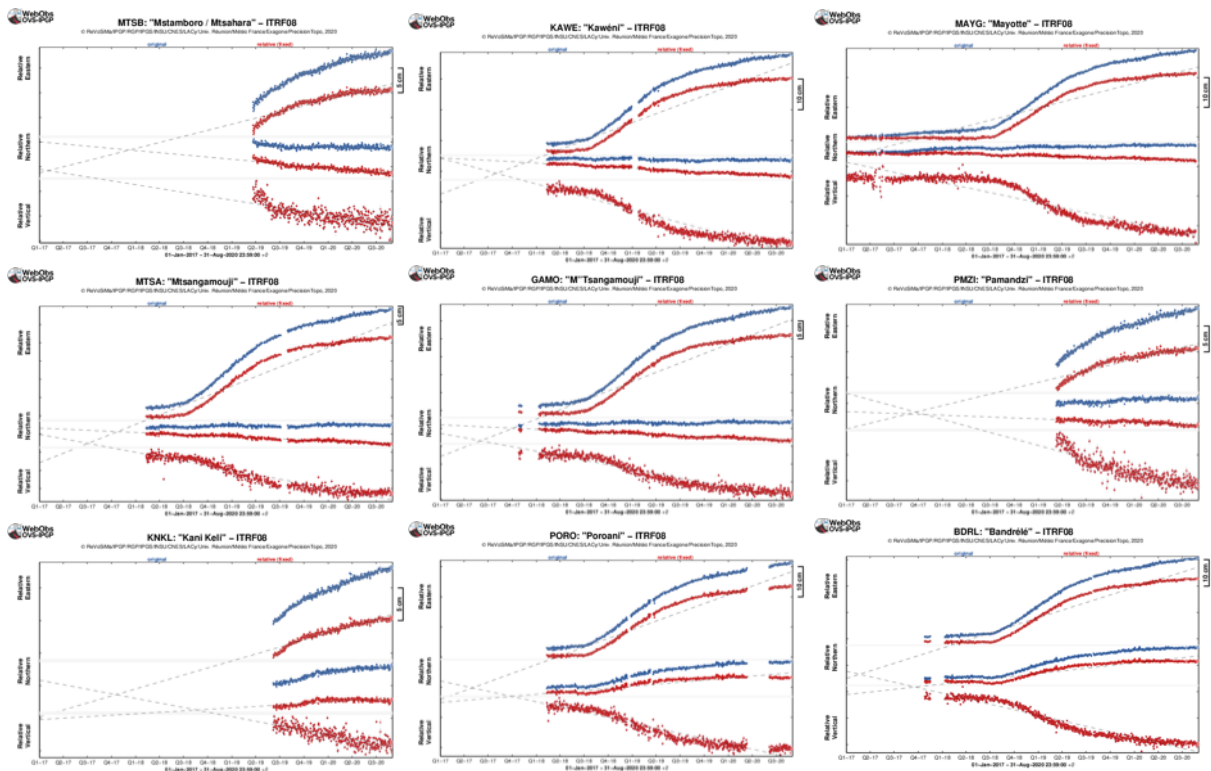


Figure 9 : Déplacements (en cm) enregistrés sur les 9 stations GPS localisés à Mayotte (BDRL, GAMO, KAWI, KNKL, MAYG, MTSA, MTSB, PMZI, PORO) entre le 1^{er} janvier 2017 et le 31 août 2020 pour visualiser une longue série temporelle anté-crise. En bleu les données brutes, en rouge les données corrigées du mouvement de la plaque. Les stations sont présentées dans un ordre géographique ; du nord au sud (de haut en base) et d'ouest en est (de gauche à droite). Post-traitement de ces données réalisé par l'IPGP (©OVFP-IPGP / REVOSIMA).



GNSS Mayotte: Source best model timeline

© ReVoSiMa/IPGP/RGP/IPGS/INSU/CNES/LACy/Univ. Réunion/Météo France/Exagone/Precision Topo, 2020

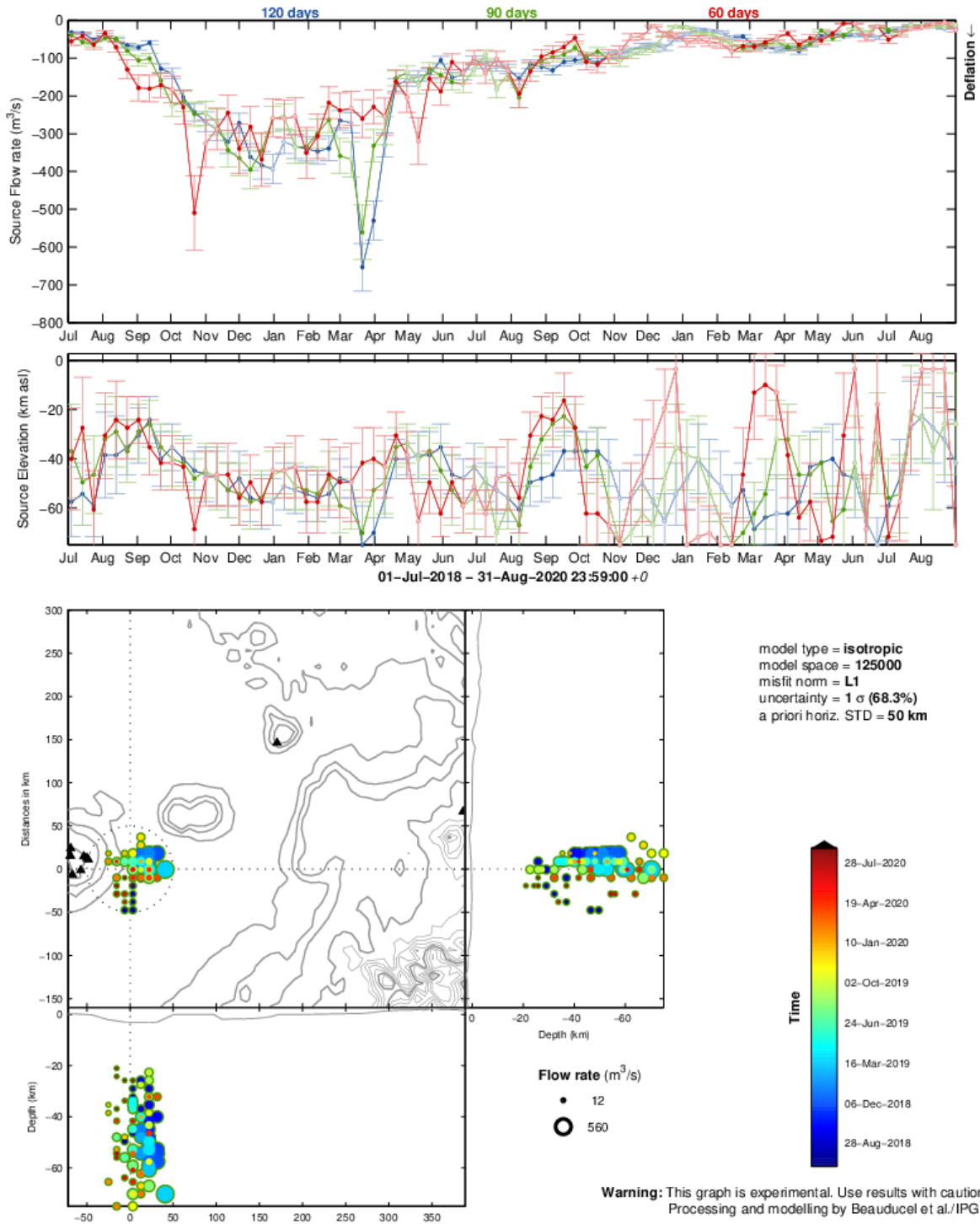


Figure 10 : Évolution spatio-temporelle du meilleur modèle de la source des déformations depuis le début des déformations en juillet 2018. Attention ce graphique ne prend pas en considération les incertitudes du modèle. Chaque point du graphe correspond au résultat d'une modélisation de la source prédominante calculée à partir des données GPS sur une période intégrée de 60 jours (rouge), 90 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). Les barres d'erreur indiquent l'écart de l'incertitude sur les paramètres à 68% de probabilité. 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 2018, rouge foncé = 31 août 2020). Ne sont représentés que les sources considérant une période intégrée de 90 jours. A noter que les positions de source et les valeurs de flux sur les derniers quinze jours sont à interpréter avec précaution car issues de calculs ne prenant pas en considération les orbites finales des satellites. Modélisations réalisées par F. Beauducel (IPGP/IRD) et OVPF-IPGP (©REVOSIMA).

Géochimie des fluides

- **A Terre :**

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. Pour plus de détails, voir les bulletins N° 1 et N° 4 du REVOSIMA (www.ipgp.fr/revosima). 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 :**

Lors de la campagne MAYOBS4, des mesures in situ et des prélèvements d'eau de mer ont été effectués le long de la colonne d'eau afin de réaliser des analyses à bord et à terre par l'équipe du laboratoire Cycles Géochimiques et Ressources de l'Ifremer (cf compte rendu dans le bulletin n°9).

Phénoménologie

- **En mer :**

Sur la zone de l'édifice volcanique et en l'état actuel des connaissances, l'ensemble des données bathymétriques acquises lors des différentes campagnes MAYOBS montrent que l'éruption a produit un volume estimé d'environ 6,4 km³ de lave depuis le début de son édification (sans correction de la vésicularité très variable des laves émises). Selon les différents modèles et interprétations proposées à ce jour, l'éruption aurait pu débuter le 18 juin 2018 (modèle de *Cesca et al., 2020*), voire le 3 juillet 2018 (modèle de *Lemoine et al., 2020*). Sur une période de 10 mois (de juillet 2018 - début des déformations de surface enregistrées à Mayotte – au 18 mai 2019), le flux éruptif minimum moyen de lave a été d'environ 172-181 m³/s sur une durée maximale de 320 à 336 jours. Depuis la découverte de l'édifice volcanique, quatre nouveaux points de sortie distants ont été identifiés et ont produit : 1) au sud environ 0,2 km³ de lave en 30 jours (19 mai-17 juin 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 77m³/s ; 2) à l'ouest environ 0,3 km³ de lave en 43 jours (entre le 18 juin et le 30 juillet 2019) pour un flux minimum moyen de 81 m³/s ; 3) au nord environ 0,08 km³ de lave en 21 jours (entre le 31 juillet et le 20 août 2019) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 44 m³/s. ; 4) au nord environ 0,8 km³ de lave en 265 jours maximum (entre le 21 août 2019 et le 11 mai 2020) pour un flux minimum moyen de l'ordre de 35 m³/s. Les volumes et flux éruptifs, notamment au début de la crise, sont exceptionnels et sont, compte tenu des incertitudes, globalement les plus élevés observés sur un volcan effusif 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://wwz.ifremer.fr/Espace-Presse/Communiqués-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 et toute l'actualité du REVOSIMA sur :

- Le site web : www.ipgp.fr/revosima
- La page facebook du REVOSIMA : <https://www.facebook.com/ReseauVolcanoSismoMayotte/>

Un bulletin automatique préliminaire d'activité du REVOSIMA, relatif aux activités de la veille et validé par un.e analyste, est publié quotidiennement, et accessible directement sur ce lien :

- http://volcano.ipgp.fr/mayotte/Bulletin_quotidien/bulletin.html

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

Le REVOSIMA (IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS) est soutenu par un consortium scientifique avec l'IPGS et le RENASS-BCSF, l'IRD, l'IGN, l'ENS, l'Université de Paris, l'Université de la Réunion, l'Université Clermont Auvergne, LMV et l'OPGC, l'Université de Strasbourg, l'Université Grenoble Alpes et l'ISTerre, l'Université de La Rochelle, l'Université Paul Sabatier, Toulouse et le GET-OMP, GéoAzur, le CNES, Météo France, le SHOM, les TAAF, et collaborateurs. Les astreintes de surveillance renforcée du processus sismo-volcanique par le REVOSIMA ont été assurées pendant une phase provisoire depuis le 25 juillet 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 l'ISTerre, Université Paul Sabatier, Toulouse et GET-OMP, Université Clermont Auvergne, LMV et OPGC, BRGM, IPGP et Université de Paris, Université de la Réunion), sous le pilotage de l'IPGP, de l'OVPF-IPGP, et du BRGM Mayotte, et sur la base d'un protocole et d'outils mis en place par l'IPGP, le BCSF-RENASS, l'OVPF-IPGP, et l'IFREMER.

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](https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.07.010)
- Beauducel et al. (2010), Recent advances in the Lesser Antilles observatories Part 2: WebObs - an integrated web-based system for monitoring and networks management, Paper presented at the European Geophysical Union General Assembly, Vienna, May 2010.
- Beauducel et al. (2014), Real-time source deformation modeling through GNSS permanent stations at Merapi volcano (Indonesia), AGU Fall Meeting, December 2014, San Francisco, poster V412B-4800.
- Beauducel, F. et al. (2020), WebObs: The volcano observatories missing link between research and real-time monitoring, *Front. Earth Sci.* | doi: [10.3389/feart.2020.00048](https://doi.org/10.3389/feart.2020.00048)
- Bertil et al. (2019), MAYEQSwarm2019 : BRGM earthquake catalogue for the EarthquakeSwarm located East of Mayotte. 2018 May 10th - 2019 May 15th, <https://doi.org/10.18144/rmg1-ts50>
- Briole et al. (2008), note de synthèse <http://volcano.iterre.fr/mayotte-seismo-volcanic-crisis>
- Bulletin du BCSF de juillet 2018 : http://www.franceseisme.fr/donnees/Note_macro-BCSF-RENASS-Mayotte-13-07-2018.pdf
- Bulletins mensuels OVPF/IPGP : www.ipgp.fr/fr/dernieres-actualites/344
- Cesca, S. et al. (2020), Drainage of a deep magma reservoir near Mayotte inferred from seismicity and deformation. *Nature Geoscience*, 13(1), 87-93.
- Chanard, K. et al. (2018), Toward a global horizontal and vertical elastic load deformation model derived from GRACE and GNSS station position timeseries. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 3225-3237. <https://doi.org/10.1002/2017JB015245>
- Debeuf (2004), Étude de l'évolution volcano-structurale et magmatique de Mayotte, Archipel des Comores, océan Indien : approches structurale, pétrographique, géochimique et géochronologique. Thèse de doctorat soutenue à l'université de la Réunion
- Di Muro et al. (2019), rapport interne OVPF-IPGP du 04-04-2019
- Dorel, J., Feuillard, M. (1980), Note sur la crise sismo-volcanique à la soufrière de La Guadeloupe 1975-1977, *Bull. Volcano.*, 43(2), 419-430.
- Feuillet et al., Birth of a large volcano offshore Mayotte through lithosphere-scale rifting, papier soumis, *Nature Geosciences*, June 2020
- Feuillet, N. (2019) MAYOBS1 cruise, RV Marion Dufresne, <https://doi.org/10.17600/18001217>
- Hanks, T. C., Kanamori, H. (1979), A moment magnitude scale, *Journal of Geophysical Research*, 84, 5, 2348 - 2350, 9B0059,

Doi :10.1029/JB084iB05p02348

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

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 ~ 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.

Shom, 2016. *MNT Bathymétrie de façade de Mayotte (Projet Homonim)*.

http://dx.doi.org/10.17183/MNT_MAY100m_HOMONIM_WGS84

Sigmarsson et al. (2015), *EPSL*, doi : 10.1016/j.epsl.2015.06.054

Thordarson, Th, Self, S. (1993), *The Laki (SkaftarFires) 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

Le comité du REVOSIMA,
le 7 septembre 2020.