

Bulletin mensuel

Institut de physique du globe de Paris
Observatoire volcanologique et sismologique de Martinique

ISSN 2105-2301

Mars 2024

A) Activité volcanique de la Montagne Pelée

La Montagne Pelée est un volcan actif de type explosif ayant connu de nombreuses éruptions magmatiques et phréatiques par le passé. Depuis la fin de la dernière éruption magmatique en 1932, qui a été associée à la mise en place d'un dôme de lave, son activité a décliné de manière significative jusqu'à l'arrêt de l'activité fumerolienne depuis 1970 et une activité sismique globalement très faible.

Depuis avril 2019, l'activité sismique est passée au-dessus de son niveau de base établi à partir des observations instrumentales continues des années précédentes. Cette nouvelle activité se caractérise à la fois par de nombreux séismes superficiels de faible énergie, par quelques rares séismes profonds (localisés à environ 10-20 km de profondeur sous l'édifice volcanique) et par l'apparition de signaux sismiques de type trémor et longue période, témoignant de mouvements de fluides en surpression dans le système hydrothermal. Les zones de végétation dégradée sur le flanc sud-ouest de la Montagne Pelée observées depuis 2019, témoignent d'un dégazage diffus de CO₂ par le sol. Une zone de dégazage en mer (présence de bulles de CO₂ à faible température) au nord de Saint-Pierre est surveillée en partenariat avec le Parc Naturel Marin de Martinique afin de suivre l'évolution de ce phénomène en relation éventuelle avec l'activité du volcan. Depuis juin 2022, les déformations de l'édifice mesurées par le réseau de capteurs GNSS indiquent un faible gonflement sur le long terme pouvant être interprété par une source superficielle de légère pressurisation localisée sous la partie sommitale de la Montagne Pelée. Cette source pourrait être engendrée par la remontée de volumes limités de fluides hydrothermaux et/ou magmatiques (gaz, eaux hydrothermales) dans l'édifice volcanique depuis les profondeurs du système magmatique. L'ensemble de ces observations reflète une réactivation du système volcanique qui est toujours en cours en mars 2024, bien qu'à un niveau en relative diminution ces derniers mois sur certains observables.

Au mois de mars 2024, l'activité sismique d'origine volcanique est variable par rapport aux mois précédents mais reste au-dessus de son niveau de base. La sismicité volcanique a été principalement enregistrée entre le 26 et le 31 mars avec 55 séismes de type volcano-tectonique (VT) sur les 71 VT enregistrés pendant le mois. Un séisme superficiel de type hybride et un séisme profond de type longue-période (LP) ont été enregistrés le 10 mars sous la Montagne Pelée. L'énergie sismique libérée par l'ensemble des séismes superficiels est faible et aucun séisme d'origine volcanique n'a été ressenti. La température et l'acidité (pH) des sources thermales de l'édifice ne montrent aucune augmentation significative. Les déformations de l'édifice sont très faibles et semblent stables sur le court terme. Rappelons que lors des phases de réactivation volcanique, des périodes de plus forte activité, sismique notamment, alternent souvent avec des phases d'activité plus réduite. La probabilité d'une activité éruptive à court terme reste faible. Cependant, compte tenu de l'ensemble des observations collectées depuis fin 2018 et de leur nature, et sur la base des observations de l'OVSM-IPGP enregistrées au cours du mois de mars 2024 et résumées dans ce bulletin, nous ne pouvons exclure une évolution de la situation à moyen terme (années, mois, semaines, voir tableau en annexe). En accord avec les dispositions prévues par les autorités, le niveau d'alerte est actuellement (voir tableau en annexe) :

JAUNE = VIGILANCE



Sismicité volcanique

Au cours du mois de mars 2024, l'OVSM-IPGP a détecté **73** séismes d'origine volcanique dont le détail est donné dans le tableau 1. La figure 1 présente l'ensemble des séismes d'origine volcanique ayant pu être localisés en mars 2024. Aucun de ces séismes n'a été signalé ressenti par la population.

Type de séisme d'origine volcanique	Octobre 2023	Novembre 2023	Décembre 2023	Janvier 2024	Février 2024	Mars 2024
Volcano-tectonique (VT) + VT emboîtés	7	12	14	16	109	71
Volcano-tectonique distal	0	0	0	0	0	0
Longue période (LP)	0	0	0	0	0	1
Hybride + hybride profond (> 10 km)	0	0	0	1	0	1
Trémor	0	0	0	0	0	0
Total	7	12	14	17	109	73

Tableau 1 – Nombre et types de séismes d'origine volcanique détectés par l'OVSM-IPGP au cours des 6 derniers mois.

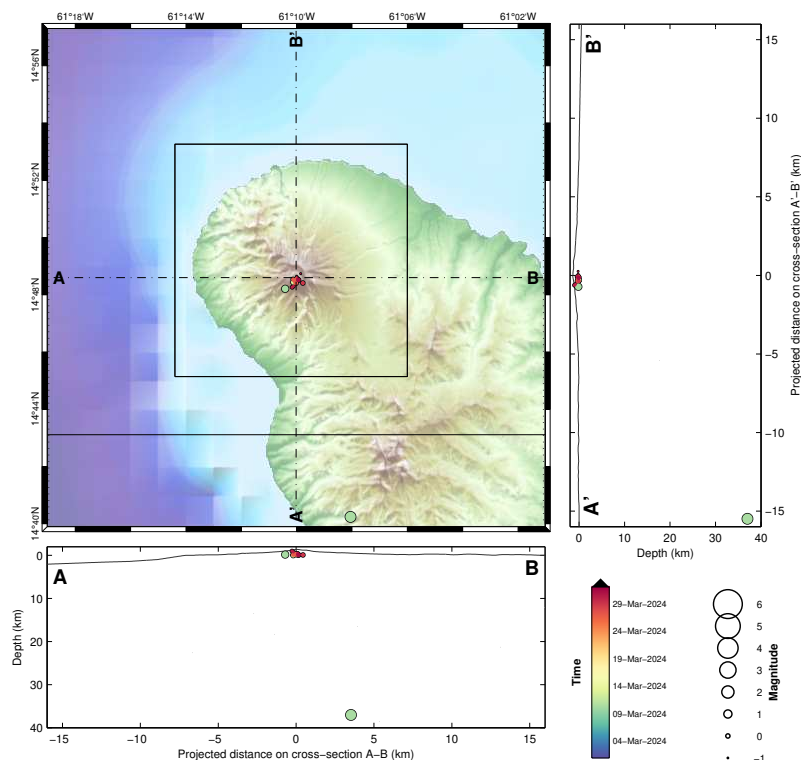


Figure 1 – Carte de localisation manuelle de la sismicité d'origine volcanique du mois de mars 2024, et coupes est-ouest et nord-sud indiquant la localisation en profondeur des hypocentres (source WebObs/OVSM). L'hypocentre le plus au sud correspond au séisme profond de type LP enregistré le 10 mars 2024 et localisé à 37 km de profondeur.

Sismicité de type volcano-tectonique (VT)

Les **71** séismes volcano-tectoniques enregistrés en mars 2024 sont tous de faible amplitude (magnitude inférieure à 0,6) et seuls 16 ont pu être localisés manuellement (Figure 2). Cependant, la classification automatique de ces événements VT permet d'en localiser la majorité à l'intérieur de l'édifice volcanique, entre 0,4 et 1,4 km de profondeur sous la surface. La figure 3A montre l'évolution du taux de séismes de type VT depuis janvier 2019 en nombre d'événements par semaine, et la figure 3B est un zoom sur les 6 derniers mois, où le taux de séismes est exprimé en nombre de séismes VT par jour.

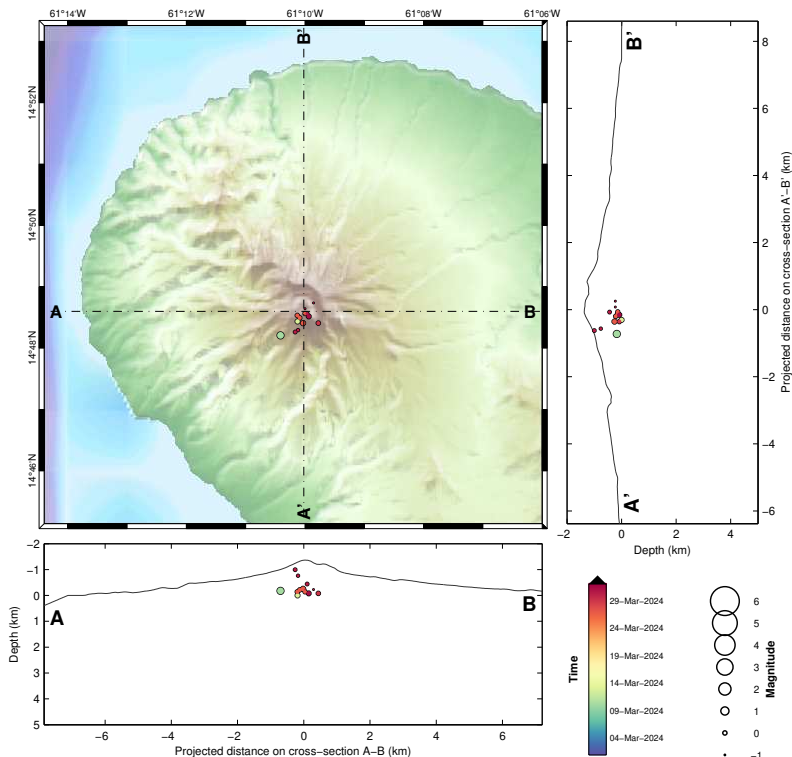


Figure 2 – Zoom sur la partie superficielle de la carte de localisation manuelle de la sismicité d'origine volcanique du mois de mars 2024, et coupes est-ouest et nord-sud indiquant la localisation en profondeur des hypocentres (source WebObs/OVSM).

La sismicité volcanique du mois de mars 2024 a été principalement enregistrée sous la forme d'un essaim entre le 26 et le 31 mars, avec 53 séismes de type volcano-tectonique (VT) de très faible énergie sur les 71 VT enregistrés au total. L'énergie sismique cumulée de cet essaim reste faible. L'analyse automatique a montré que 75% de ces séismes font partie des familles de séismes répéteurs qui ont été identifiées depuis plusieurs années. Seuls 15 séismes sur les 55 de cet essaim ont pu être localisés à faible profondeur entre le niveau de la mer et 1000 m au dessus.

L'analyse rétrospective de l'activité sismique depuis 2012, réalisée en 2023, a permis d'établir une référence du taux de sismicité VT en période calme, définie comme la période entre le 1^{er} janvier 2015 et le 1^{er} avril 2019. Durant cette période, le nombre total de séismes VT détectés est de 1067 séismes, soit un taux moyen de 251 séismes VT par an, 19,3 séismes VT par mois (de 28 jours), 4,8 séismes VT par semaine, ou encore 0,7 séisme VT par jour. Malgré la baisse du nombre de séismes (VT) enregistrés depuis plusieurs mois et la baisse de l'énergie sismique associée à ces séismes VT par rapport aux années 2020 et 2021, l'énergie sismique dissipée sur les derniers mois reste au-dessus de son niveau de référence avant le début de la réactivation le 1^{er} avril 2019.

En mars 2024, l'OVSM-IPGP a enregistré **1 séisme de type hybride** de faible magnitude ($M_d = 0,63$), localisé sous le flanc sud-ouest de la Montagne Pelée à environ 0,7 km de profondeur sous la surface, le 10 mars à 02h20 (heure locale), et **1 séisme de type longue période (LP) profond** de faible magnitude ($M_{LV} = 1,50$), localisé à environ 37 km de profondeur et à environ 15 km au sud de la Montagne Pelée, le 10 mars à 03h57 (heure locale). La sismicité profonde de type longue-période est généralement associée à l'existence de fluides pressurisés, ici localisés à plus de 10 km de profondeur sous et en périphérie de l'édifice volcanique, soit la zone probable de l'un des réservoirs magmatiques de la Montagne Pelée impliqués dans les dernières éruptions magmatiques et situés entre 6 et 9 km et 12 et 16 km de profondeur sous le sommet (Boudon et Balcone-Boissard, 2021).

En conclusion, l'activité sismique observée depuis avril 2019 pourrait être un signe d'augmentation de l'activité du système hydrothermal qui se traduit par l'interaction entre l'eau météorique superficielle, les roches et la présence de fluides (gaz, eaux hydrothermales) qui sont chauffés et en surpression dans les zones profondes du système magmatique (plus de 10 km) et qui remontent vers les zones plus superficielles du système hydrothermal.

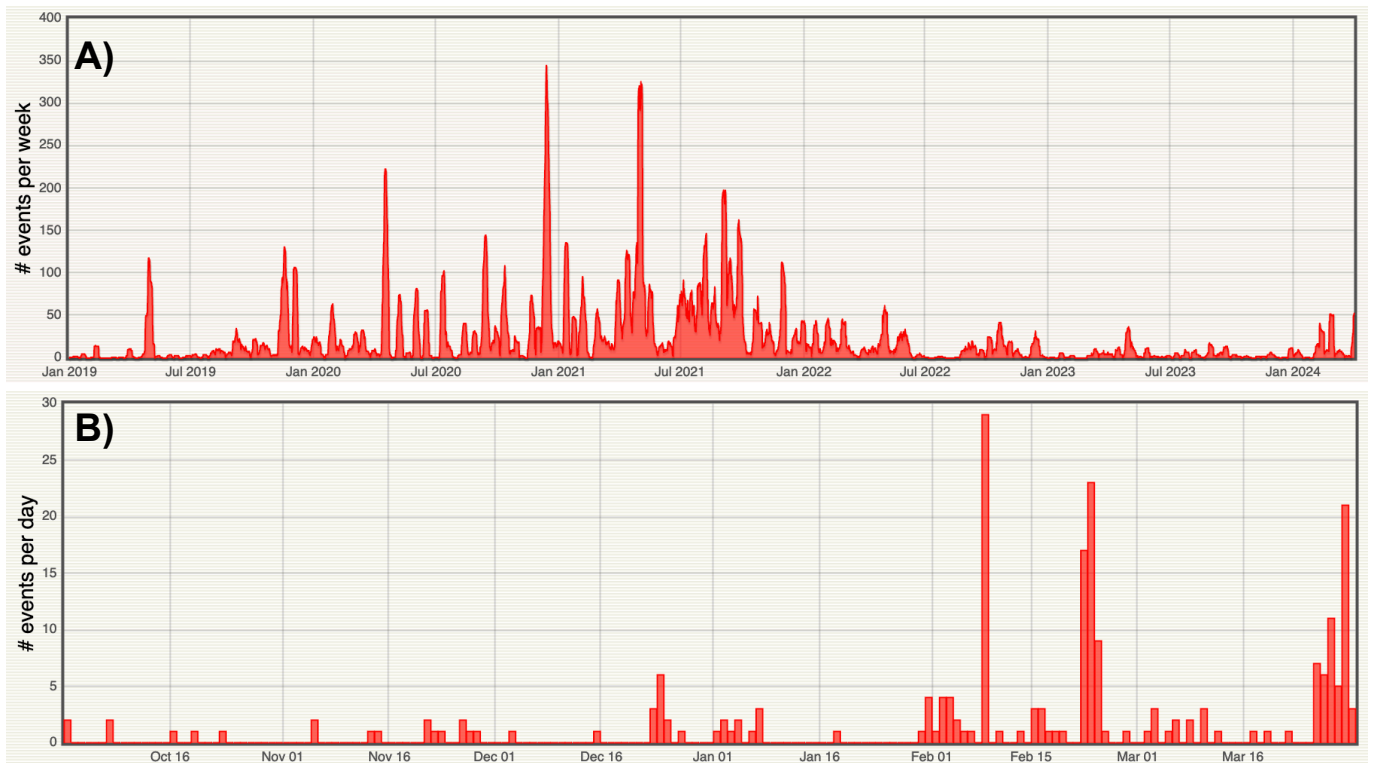


Figure 3 – Taux de sismicité pour les événements de type volcano-tectonique (VT) détectés par l’OVSM-IPGP : A) Nombre de VT par semaine du 1^{er} janvier 2019 au 31 mars 2024. B) Nombre de VT par jour durant les 6 derniers mois (du 1^{er} Octobre 2023 au 31 mars 2024). Source WebObs/OVSM.

Déformation du sol

L’analyse des mesures du réseau de capteurs GNSS de l’OVSM-IPGP intégrées sur un an indique un très léger signal de déformation avec des vitesses de déplacement horizontal comprises entre 1 ± 2 mm par an et 4 ± 2 mm par an sur les stations proches du sommet, et 10 ± 2 mm par an sur la station SCH2 (voir figure 4). Ces déformations restent faibles mais pourraient toujours traduire une légère inflation ou extension de l’édifice, qui a cependant été beaucoup plus marquée en 2022 et 2023 et s’est progressivement atténuée ces derniers mois. Sur la figure 4, on note une forte amplitude relative du vecteur MLM0 (15 ± 7 mm par an) mais associée à une incertitude très élevée ; nous suspectons une perturbation liée à d’autres signaux transitoires atmosphériques et hydrologiques qui deviennent dominants dans cette zone avec la saison cyclonique (comparables aux signaux saisonniers de 2021 et 2022 de la série temporelle sur la figure 5).

La figure 5 montre l’évolution temporelle, de 2019 à mars 2024 inclus, des lignes de base, c’est-à-dire les variations de distance linéaire entre plusieurs couples de stations GNSS, qui traduisent une extension (pentes positives) ou une compression (pentes négatives) du massif volcanique. Cette technique dite différentielle permet de s’affranchir en grande partie des signaux transitoires régionaux de type atmosphérique, hydrologique ou tectonique. Cette représentation permet ainsi de préciser la date d’apparition des déformations de la Pelée qui auraient débuté approximativement vers le milieu de l’année 2021 et qui se poursuivent pour certaines stations jusqu’en mars 2024. Si la plupart des lignes de base sont stables avant la mi-2021, on note en effet que les lignes proches du sommet (MPL0-LAM0, MPL0-CHN0 ; CHN0-LAM0, MLM0-CHN0) indiquent toutes une extension marquée (pente positive des courbes) et relativement régulière ensuite pendant près de 2 années, avec cependant une tendance de plus en plus marquée au ralentissement depuis plusieurs mois (MLM0-AJB0, MPL0-CHN0, MPL0-SCH2). Seule la ligne de base MLM0-CHN0 poursuit son extension avec une vitesse moyenne de $+12$ mm par an. En termes de déplacement total, cela correspond à un allongement de la ligne de base de $+32$ mm entre mi-2021 et mars 2024. En termes de déformation — variation relative de distance que l’on peut relier à la capacité de la roche à se déformer élastiquement —, c’est sur la ligne de base la plus courte CHN0-LAM0 que l’on enregistre la valeur la plus élevée, avec un allongement

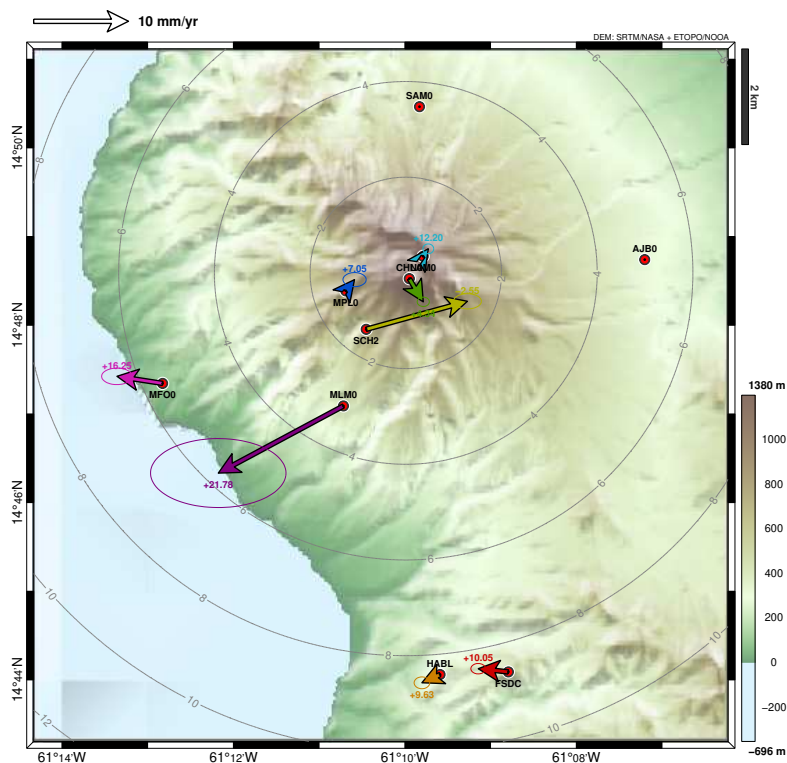


Figure 4 – Vecteurs des vitesses moyennes de déformations horizontales mesurées entre le 1^{er} mars 2023 et le 31 mars 2024 (un an) sur la Montagne Pelée (échelle donnée par la flèche en haut à gauche en mm par an). Chaque vecteur est associé à une ellipse d'erreur ainsi qu'à une indication de la vitesse verticale (non significative). Les cercles concentriques gris indiquent les distances en km depuis le sommet. Ces vitesses sont calculées de façon relative par rapport à un référentiel local (source WebObs / OVSM).

total de +18 mm sur une ligne de base de seulement 550 m, soit une déformation en extension de +0,0032%. Cette valeur de déformation cumulée est stable depuis plusieurs mois et les données du mois de mars 2024 confirment ce retour à la stabilité.

Ce ralentissement des déformations globales est associé à un rapport signal sur bruit des signaux GNSS trop faible et un nombre de stations trop restreint pour déterminer les caractéristiques de la source qui en serait à l'origine, même en intégrant les déplacements sur une année. En d'autres termes, la source de déformations identifiée en 2021-2023 s'est affaiblie ces derniers mois et est passée sous le seuil de détection des réseaux GNSS.

Géochimie des sources thermales

Les températures, pH et conductivités des eaux des forages Puits Chaud (à 8,5 m de profondeur) et de la carrière de la Rivière Blanche (30m de profondeur) et de la carrière de Fond Canonville (60 m de profondeur) sont restées relativement stables au cours du mois de mars 2024. L'échantillonnage des sources chaudes de la rivière Chaude a été effectué le 21 mars 2024. Les paramètres physico-chimiques de ces sources sont relativement stables par rapport au dernier échantillonnage du 24 août 2023 et sur les 10 dernières années (voir figure 6).

Sur le plus long terme (1965 à mars 2024), les sources chaudes montrent également une décroissance similaire à Puits Chaud mais avec une plus grande variabilité dû à des variations des points d'échantillonnage de la zone, au gré des éboulements et de l'accessibilité affectant le site. La sonde Tinytag dans la Source Chaude qui permettait une mesure avec un point par 10 minutes a été arrachée entre le 24 août 2023 et le 21 mars 2024 entraînant la perte des données de mesures avec un pas d'échantillonnage élevé. L'OVSM-IPGP réfléchit à la faisabilité de ré-installer une sonde qui sera moins vulnérable. Les résultats sur les prélèvements des gaz dissous et pour l'isotopie de l'hélium pour les Sources Chaudes sont en cours d'analyse et seront reportés ultérieurement. Les dernières données sur la composition isotopique de l'hélium de ces émanations gazeuses sont disponibles dans le bulletin mensuel de juin 2023. L'échantillonnage des sources thermales de la haute Rivière Claire n'est pas réalisable à l'heure actuelle car ces sources ne sont pas accessibles de manière sécurisée.

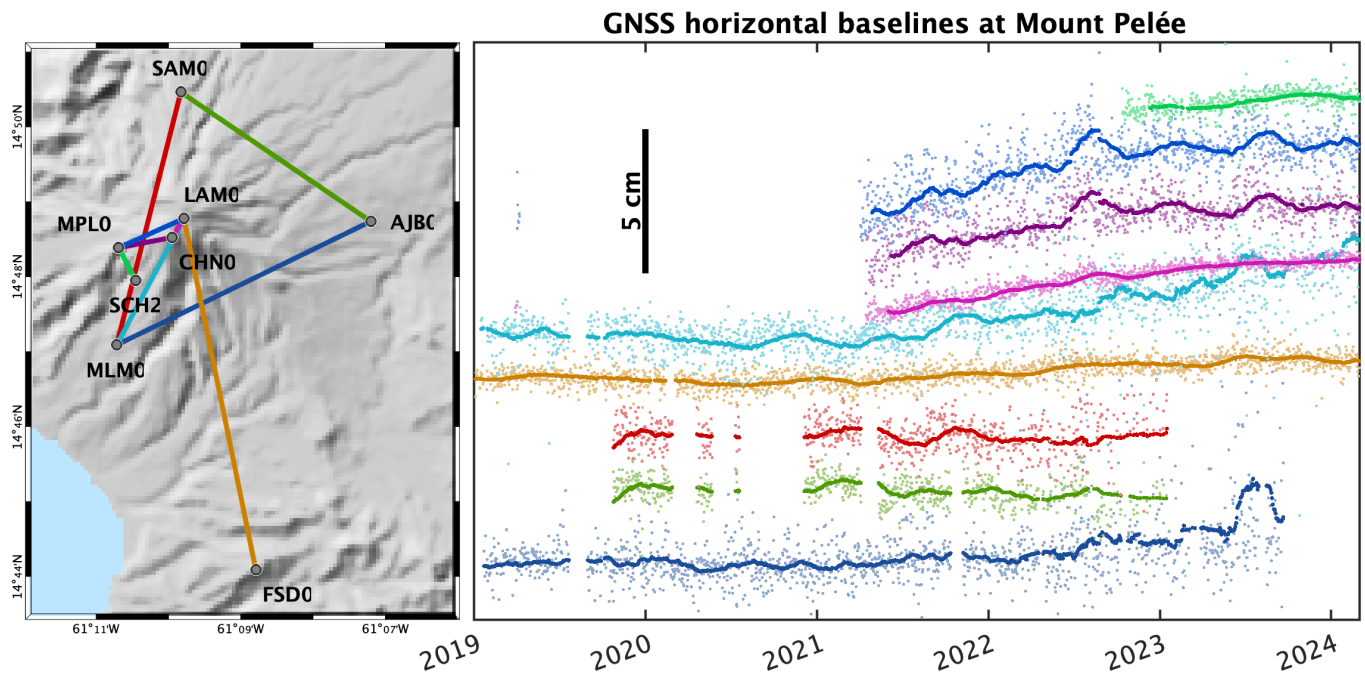


Figure 5 – Variation des distances horizontales (lignes de base) sur la Montagne Pelée, calculées à partir des données journalières du réseau GNSS permanent. (Gauche) Position des lignes de base entre chaque couple de station (FSD0 correspond à la station située à l'ancien observatoire du Morne des Cadets). (Droite). Évolution des distances horizontales pour chaque couple de station sur près de 5 années (2019-2024) : données journalières brutes (points) et filtrées par moyenne glissante sur 60 jours (lignes pleines). Les périodes sans données correspondent à des interruptions techniques ou à des stations qui ont été passées en enregistrement continu courant 2021 (source F. Beauducel / IPGP).

Les mesures de température (figure 7 pour Puits Chaud) suggèrent une tendance générale à la baisse de la température des eaux thermales souterraines de la coulée de la Rivière Blanche depuis le milieu des années 1960 jusqu'à 2009, suivie d'une possible tendance à la stabilisation de la température depuis 2017 jusqu'à la date de la dernière mesure manuelle (26 mars 2024, voir figure 7) qui est complémentaire aux données en temps réel qui existent depuis le 1^{er} janvier 2007.

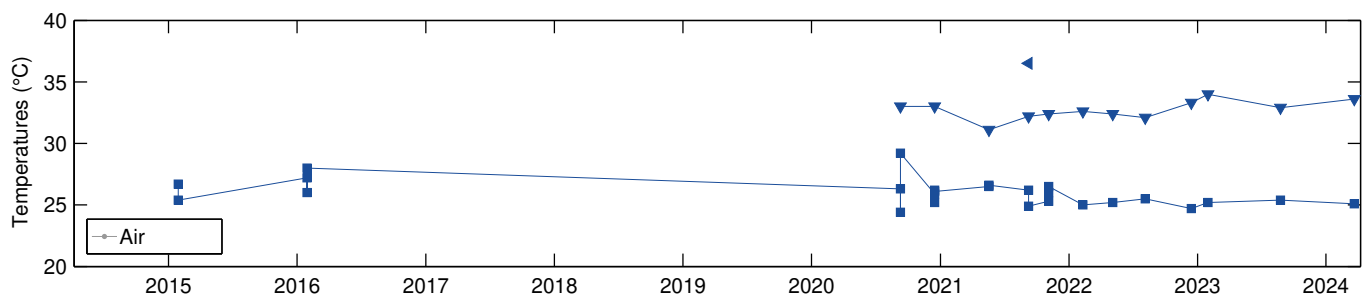


Figure 6 – Évolution de la température des sources Chaudes de la Rivière Blanche (triangle bleus) et des eaux de la rivière (carrés bleus) de 2014 à mars 2024 sur la base des mesures manuelles (source WebObs/OVSM).

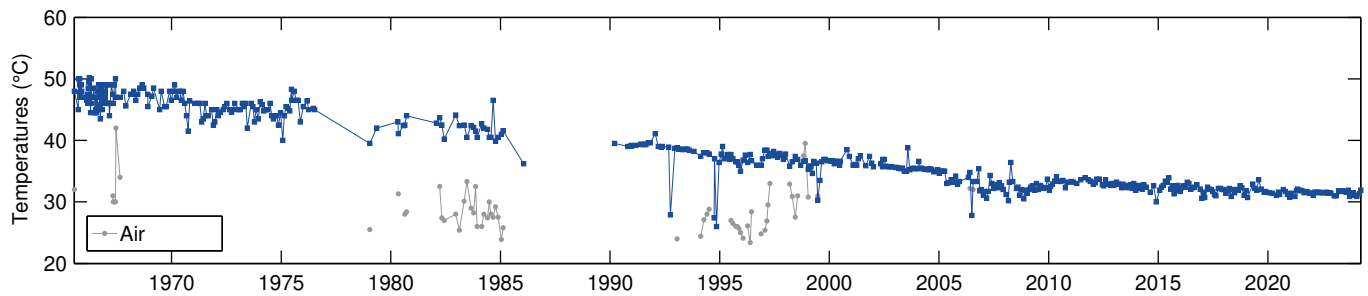


Figure 7 – Évolution de la température du forage Puits Chaud (points bleus foncés) de 1965 à mars 2024 (source WebObs/OVSM).

Phénoménologie

Zone de végétation dégradée

Une zone de végétation dégradée localisée sur le flanc sud-ouest de la Montagne Pelée entre la haute Rivière Claire et la Rivière Chaude a été identifiée en décembre 2020 (VEG-1). D'après l'analyse d'images satellitaires, cette zone, composée de troncs d'arbres et de fougères sans têtes, défoliés ou abattus, et d'herbes et de buissons jaunis et morts, est apparue à la fin de l'année 2019. Elle est située à proximité des cratères probables des éruptions phréatiques historiques de 1792 et 1851.

Les zones de végétation dégradée sont suivies visuellement par des survols hélicoptérés (soutien de la Sécurité civile). Le dernier survol de la zone en août 2023 a montré que la zone initiale dénommée VEG-1 a été significativement re-végétalisée (voir le bulletin mensuel correspondant), bien qu'il existe toujours des signes disparates de dépérissement de la végétation en périphérie de VEG-1, et sur d'autres zones telles que VEG-2 et VEG-4.

La dernière acquisition satellitaire a été réalisée le 5 février 2024 et est présentée à la figure 8. Le NVDI (Normalized Difference Vegetation index / indice de végétation par différence normalisée) est construit à partir des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR) des images satellitaires. L'indice de végétation normalisé met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge : $NDVI = (PIR - R)/(PIR + R)$. Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de végétation.

Sur l'image du 5 février 2024 (figure 8B), la végétation saine non dégradée est en orange. Sur cette image NDVI Planet, plus la couleur est jaune voire vert très clair, plus la végétation est dégradée à condition de ne pas être dans une zone d'ombre, de nuage et de lit rocheux de rivière qui donnent aussi des signatures NDVI comme la végétation dégradée. Il faut donc comparer avec l'image visible (figure 8A) pour détecter les zones d'ombre, de nuages et de lit de rivière. On note les zones de végétation dégradée (flèches blanches) marquées VEG-2, VEG-4, VEG-5, et une nouvelle zone VEG-6 qui a été confirmée, notamment par une visite au sol le 21 mars 2024 et des mesures de flux de dégazage diffus de dioxyde de carbone (CO₂) (voir section suivante).

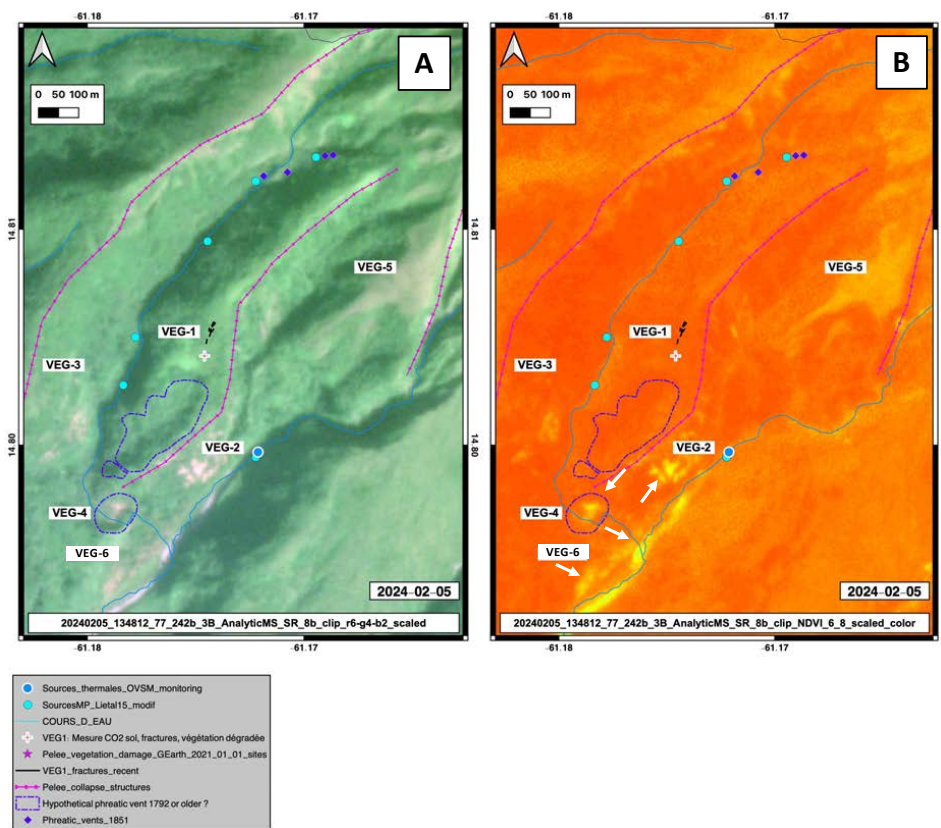


Figure 8 – Suivi temporel approximatif du dépérissement de la végétation sur le flanc sud-ouest de la Montagne Pelée engendré par le dégazage passif de CO₂ dans le sol via la cartographie du NDVI à partir du traitement de l'imagerie satellitale. Acquisition du 5 février 2024 (images Planet) : A) lumière visible, B) composition NDVI. © Planet. Traitement imagerie NDVI : R. Grandin, IPGP-UP, SNO ISDeform (INSU-CNRS). Cartographie SIG : J-C Komorowski, IPGP-UP, SNOV (INSU-CNRS).

Dégazage passif par le sol sur la Montagne Pelée

Depuis 2021, avec l'appui hélicoptéré de la Sécurité civile de Martinique (Dragon 972) et du STIS, l'OVSM-IPGP réalise des mesures ponctuelles dans la zone de VEG-1 qui ont montré des concentrations en dioxyde de carbone (CO₂) très supérieures au niveau de base naturel. C'est ce dégazage passif de CO₂ via le sol qui aurait impacté la végétation. Un état des lieux des émanations de gaz (ou leur absence) sur et autour de la Montagne Pelée est réitéré dès que possible via différentes techniques de mesures in situ et d'analyse en laboratoire, en collaboration avec l'OVSG-IPGP (Guadeloupe). Le détail de ces mesures et leur interprétation sont reportés dans les bulletins précédents. Il n'y a pas eu de nouvelles mesures sur le site de VEG-1 ce mois de mars 2024. En revanche, nous avons pu réaliser, grâce à l'appui hélicoptéré, pour la première fois une mission le 21 mars 2024 sur les sites de VEG-4 et VEG-6 (voir figure 9).

Cette mission a permis une première reconnaissance et exploration des zones de végétation dégradée identifiées par imagerie satellitale et par survol hélicoptère. Nous avons confirmé l'existence de zones où la végétation herbeuse est totalement sèche voire absente (voir figure 9). De plus nous avons pu réaliser sur quelques sites les premières mesures exploratoires de flux du dégazage diffus de CO₂ avec une chambre d'accumulation et un détecteur WEST Systems. Ces mesures constituent une validation de la faisabilité de futures campagnes de mesures exhaustives et dédiées sur ces zones difficiles d'accès. Les mesures sur 10 sites dispersés sur les zones accessibles le plus facilement de VEG-4 et VEG-6 (voir figure 10) confirment l'hypothèse d'un dégazage diffus du sol qui dépasse en de nombreux points le flux de CO₂ du sol d'origine biogénique moyen d'environ 25 g par m² et par jour qui a été mesuré (Viveiros et al., 2010) en de nombreuses régions du monde. Viveiros et al. (2010) considèrent, qu'à part dans certaines situations particulières, des flux de CO₂ émis par le sol supérieurs à 25 g par m² et par jour comportent nécessairement une contribution de CO₂ d'origine magmatique qui peut être confirmée par des mesures de la composition isotopique du carbone du CO₂. La réalisation de telles mesures et d'une campagne plus exhaustive de mesures de flux est en cours de réflexion pour le futur.



Les émissions passives de CO₂ dans l'atmosphère à partir du dégazage passif du sol sur les volcans constituent un phénomène normal du fonctionnement des systèmes volcaniques y compris en dehors de périodes éruptives. C'est un phénomène mesuré et suivi sur de très nombreux volcans (Voir par exemple Viveiros et al., 2010 ; Girault et al., 2022). Le CO₂ d'origine magmatique est très mobile et remonte des zones du système hydrothermal superficiel et des zones plus profondes de stockage des magmas vers la surface via différentes structures, notamment des failles, des cratères, des conduits volcaniques anciens, des zones de perméabilité dans le substratum.

Le suivi dans le temps de ces émissions de CO₂ d'origine magmatique permet de mieux comprendre le fonctionnement des volcans actifs et de tracer notamment le lien avec d'autres signaux enregistrés par les réseaux multi-paramètres. Dans le cas de la réactivation de la Montagne Pelée observée depuis 2019, l'apparition de ces zones de végétation dégradée, dès novembre 2019, associées à des flux significatifs de CO₂ confirme que la recrudescence de la sismicité volcanique et les faibles déformations enregistrées depuis 2021 pourrait être liées à la remontée de volumes limités de fluides hydrothermaux et magmatiques (gaz, eaux hydrothermales) dans l'édifice volcanique depuis les profondeurs du système magmatique. En créant de la fracturation et de la porosité connectée dans le substratum, la sismicité profonde et superficielle facilite la remontée du CO₂ vers la surface.

Il est important de suivre dans le futur, en fonction de l'accessibilité aux zones concernées, les variations du flux de CO₂ magmatique et d'analyser ces données conjointement aux autres données du réseau de surveillance de l'activité de la Montagne Pelée. Ceci permettrait de détecter d'éventuelles modifications dans la dynamique du système magmatique profond (zone de stockage des magma), des signes de déstabilisation physico-chimique précoce et notamment en ce qui concerne les volumes de fluides et de chaleur qui remontent vers la surface.

Émission sous-marine de bulles de gaz

Une zone d'émission de bulles de gaz de CO₂ d'origine magmatique à partir du fond marin a été observée au nord de Saint-Pierre, au niveau de l'embouchure de la rivière des Pères, à moins de 11 m de profondeur, suite au signalement d'un pêcheur fin juin 2021. Selon plusieurs témoignages, ce dégazage diffus pourrait exister depuis plusieurs décennies dans cette zone. Sa surveillance quantitative peut ainsi servir d'indicateur sur l'évolution de la réactivation en cours à la Montagne Pelée. C'est pour cette raison que dès le mois d'août 2021, l'OVSM a mis en place une collaboration avec le Parc Naturel Marin de Martinique (PNMM) et l'Office Français de la Biodiversité en Martinique (OFB) pour effectuer des mesures périodiques (pH, température, débit maximum et superficie de la zone) et si possible des prélèvements de gaz pour analyse chimique. Ce type d'émission de gaz est habituel aux alentours des zones volcaniques actives ou au repos, par exemple en Dominique (Soufrière et Champagne), en Italie (sites de Panarea, Vulcano, Baie de Pozzuoli) et en Grèce (Santorin).

Les émissions sous-marines gazeuses de CO₂ d'origine magmatique du site de Périnelle à Saint-Pierre ont été échantillonnées le 28 mars 2024 grâce aux moyens nautiques et aux plongeurs du Parc Naturel Marin de Martinique et de l'Office français de la biodiversité (Figure 11). Le 28 mars 2024 la température à la sortie des bulles de gaz était de 28,9 C° ± 0,03 comparée à la température de l'eau de mer hors du champs de bulles de 28,6 C° ± 0,07 soit une différence de +0,3 C°. Le pH de l'eau de mer à la sortie des bulles de gaz était de 7,45 comparé à 8,15 dans l'eau de mer hors du champ de bulles soit une différence de -0,7 unités de pH ce qui est cohérent avec la composition en dioxyde de carbone (CO₂). Ces données montrent une très légère augmentation de la température dans les bulles (+0,3 C°) et une légère diminution du pH plus acide dans les bulles depuis la mesure du 25 mai 2023 (28,6 C° avec un pH de 7,6 soit -0,15 unités de pH). La surface de la zone de bullage mesurée avec le GPS était de 1820 m² soit une légère augmentation de +17% par rapport à surface mesurée le 25 mai 2023 (1553 m²). Le flux n'a pas pu être estimé le 28 mars 2024. Les résultats sur les prélèvements des gaz via 2 ampoules Giggenbach et les prélèvements avec des tubes en cuivre pour l'isotopie de l'hélium sont en cours d'analyse et seront reportés ultérieurement.



Figure 9 – Zone de végétation dégradée de VEG4 et VEG6 observée lors d'une mission hélicoptérée avec le Dragon 972 de la Sécurité Civile de Martinique le 21 mars 2024. A : Vue depuis l'hélicoptère de la partie sud de la zone de végétation dégradée VEG-6 en bordure ouest de la Rivière Claire dans laquelle on note l'écoulement jaune-orange riche en oxydes de fer en provenance des sources thermonérales de Sources Chaudes en amont (gauche). B : Vue depuis l'hélicoptère de la partie nord de la zone de végétation dégradée VEG-6 et du point de mesure VEG6-10 du flux de dégazage passif de CO₂ du sol (voir texte et autre figure). C : Vue depuis le drone (OVSM-IPGP) de la structure probable d'un ancien cratère formé par les éruptions phréatiques anciennes (1792 ou plus anciennes), et situé pratiquement à la confluence entre la Haute Rivière Claire et la Rivière Chaude, dans lequel on a remarqué depuis au moins 2019 la présence d'une zone de végétation dégradée épisodique VEG-4. D : Vue depuis le drone (OVSM-IPGP) du point de mesure VEG6-7 du flux de dégazage passif de CO₂ du sol dans le cratère (zone VEG-4) et qui montre un flux maximal de 84 g/m²/jour. E : Vue depuis le drone (OVSM-IPGP) de la zone de végétation dégradée VEG-6. F : Vue au sol du point de mesure VEG6-7 du flux de dégazage passif de CO₂ du sol (84 g par m² et par jour) dans le cratère (zone VEG-4). G : Vue depuis le sol de la partie centrale de la zone de végétation dégradée VEG-6 à quelques mètres du site de mesure VEG6-10. H : Vue depuis le sol du point de mesure VEG6-10 du flux de dégazage passif de CO₂ du sol qui montre un flux de 40 g par m² et par jour (Source : OVSM-IPGP)

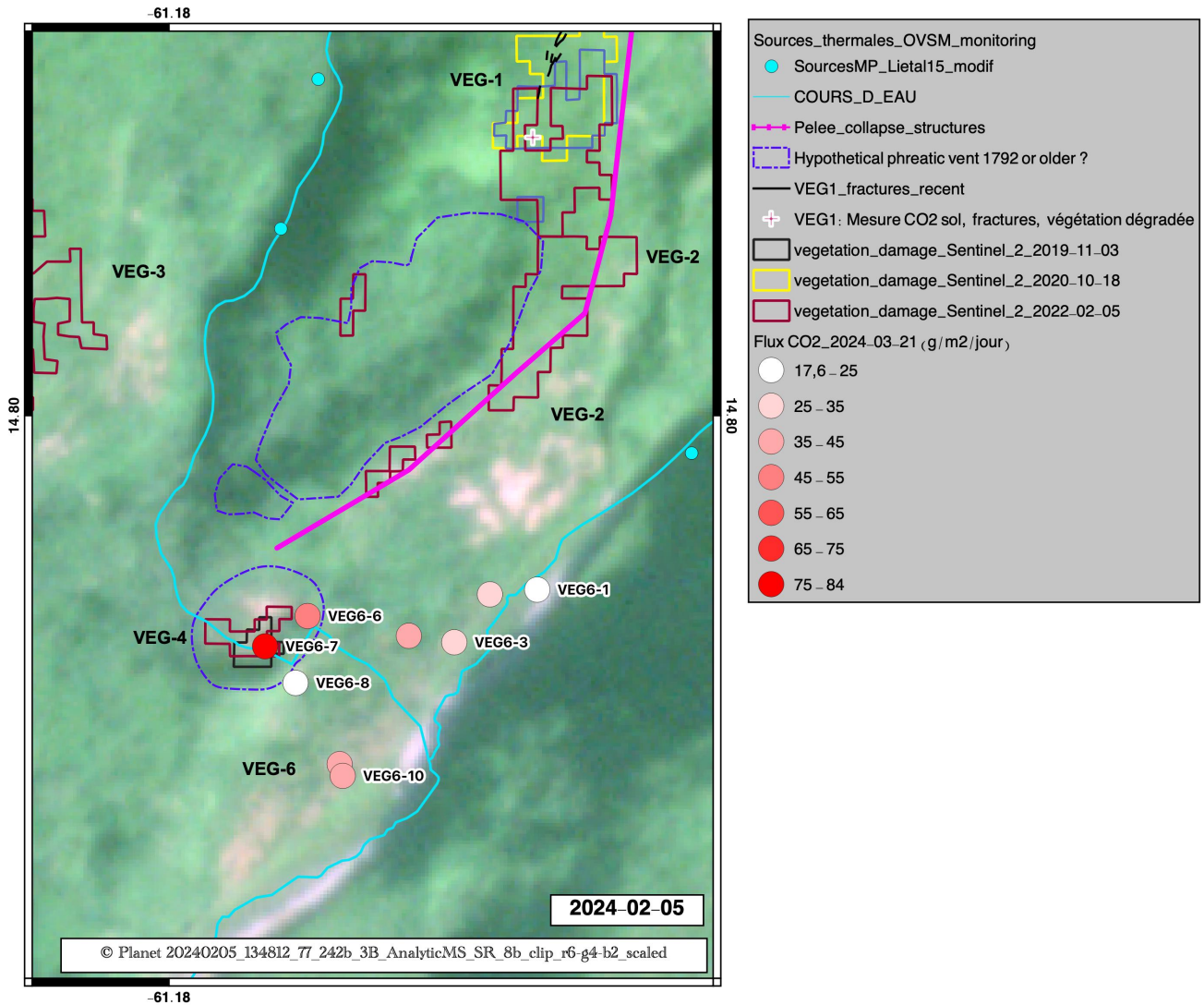


Figure 10 – Cartographie exploratoire et de reconnaissance montrant la localisation des points de mesures de flux du dégazage diffus de CO₂ du sol mesuré avec la chambre d'accumulation West Systems lors d'une mission hélicoptérée avec le Dragon 972 de la Sécurité Civile de Martinique le 21 mars 2024 (Fond de carte : image © Planet). Le flux maximal (site VEG6-7) de 84 g/m²/jour est mesuré dans le cratère (zone VEG-4). Les zones dont le flux est > 25 g/m²/jour sont des zones donc le flux de CO₂ comporte nécessairement une composante non biogénique qui est d'origine volcanique et donc magmatique. Ces mesures de flux confirment que les zones de végétation dégradée sont associées à des flux de CO₂ qui perturbent la fonction photosynthétique de la végétation, un paramètre qui est détectable et suivi par les images satellitaires via la mesure du NDVI (voir plus haut). Dans la zone VEG-1, la croix rouge et blanche indique la zone dans laquelle des concentrations jusqu'à 5000 à 7800 ppm, très supérieure à la concentration atmosphérique de CO₂ d'environ 420 ppm, avaient été détectées lors de la première mission sur zone le 8 février 2021 (voir bulletin OVSM-IPGP février 2021) (Source : OVSM-IPGP, F. Jadelus, D. Melezan, J-G Gabriel, J-C Komorowski et R. Grandin (IPGP))

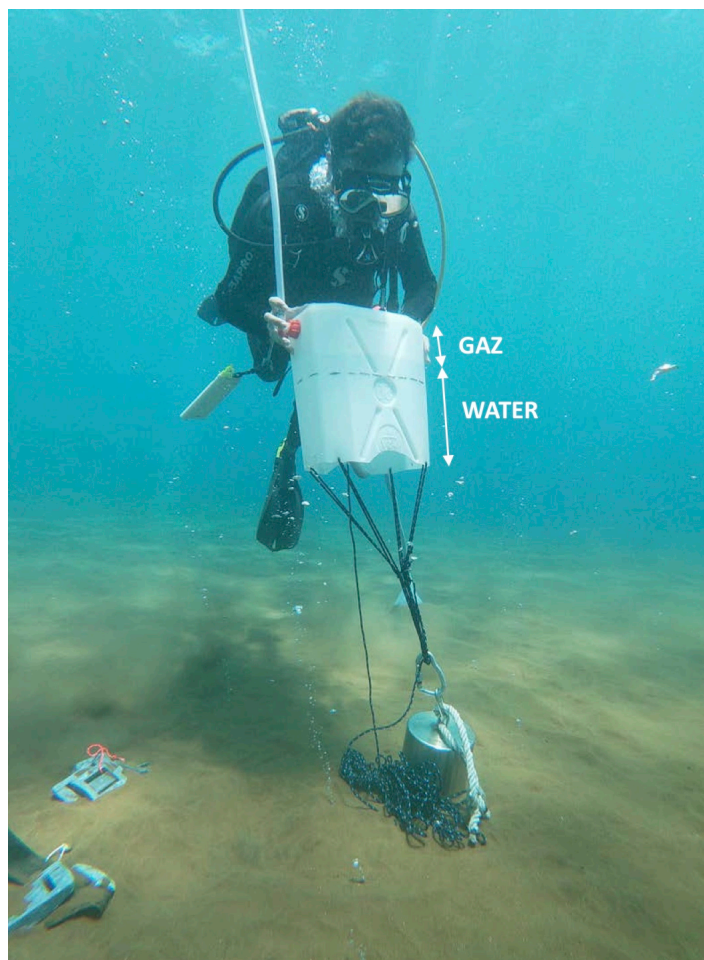


Figure 11 – Échantillonnage le 28 mars 2024 des fumarolles sous-marines à Périnelle, Saint-Pierre, par les plongeurs du Parc Naturel Marin de Martinique et l'Office Français de la Biodiversité avec l'aide de l'OVSM-IPGP en surface pour le prélèvement avec ampoule de gaz. On remarque le dispositif d'accumulation du gaz dans le jerrican renversé qui permet l'arrivée en surface du gaz par un tube dans lequel sera réalisé le vide par pompage au préalable pour éviter toute contamination par de l'atmosphère. Source : PNMM/OFB/OVSM-IPGP.

Activité fumerolienne

Au cours du mois de mars 2024, il n'a pas été observé d'activité fumerolienne sur les flancs ou au sommet de la Montagne Pelée.

Glissements de terrain et lahars

Rivière du Prêcheur

Au cours du mois de mars 2024, aucun lahar n'a été enregistré dans la rivière du Prêcheur. De nouveaux glissements peuvent survenir à tout moment au niveau de la falaise Samperre et des berges de la Rivière du Prêcheur, et conduire à de nouvelles coulées de boue lors d'épisodes de fortes pluies.

Ces événements ne sont pas liés à une activité éruptive de la Montagne Pelée mais à l'érosion d'une épaisse couche de terrains volcaniques anciens, peu consolidés, accumulés sur ses flancs.



B) Activité sismique régionale

L'arc insulaire des Petites Antilles résulte du plongement des plaques Nord-Américaine (NAM) et Sud-Américaine (SAM) sous la plaque Caraïbe. Cette subduction active dont la vitesse de convergence est de 2 cm par an produit une déformation aux frontières de ces plaques, faisant de notre archipel une région à forts aléas volcanique et sismique. Certains séismes sont directement liés aux processus de glissement entre les deux plaques, et sont appelés séismes inter-plaques. D'autres, plus superficiels, résultent de la déformation de la plaque Caraïbe au niveau de l'arc volcanique des Petites Antilles (séismes intra-plaque) ou de la déformation des plaques NAM et SAM avant leur arrivée dans la zone de subduction (séismes « outer-rise »). D'autres résultent de la rupture en profondeur des plaques NAM et SAM après leur plongement sous la plaque Caraïbe (séismes de profondeur intermédiaire).

Depuis deux siècles, plusieurs séismes d'intensités supérieures ou égales à VII ont causé des dommages en Martinique en 1827, 1839, 1843, 1906, 1946, 1953 et 2007.

Au cours du mois de mars 2024, aucun séisme n'a été signalé ressenti en Martinique.

Les séismes ne sont pas prévisibles et peuvent survenir à n'importe quel moment en Martinique. Les actions de prévention du risque restent de rigueur : respect des réglementations parasismiques en vigueur, aménagement intérieur des lieux de vie, apprentissage du comportement à tenir avant, pendant et après un séisme.

Sismicité régionale

L'OVSM-IPGP a enregistré au cours du mois de mars 2024 un total de **97 séismes régionaux d'origine tectonique**, dont **63 ont pu être localisés** et entrent dans le cadre de la Figure 12, les autres étant plus lointains ou de trop faible magnitude. Aucun séisme n'a été signalé ressenti en Martinique.

Ce mois-ci, le séisme le plus fort ($M_{LV} = 3,1$) a eu lieu le 1^{er} mars à 04h43 (heure locale), à environ 25 km au sud de la Dominique dans le canal de la Dominique, et à environ 179 km de profondeur (Figures 12 et 13).

Autour de la Martinique, nous observons par ailleurs toujours au mois de mars 2024 une activité récurrente à l'est de la Caravelle (Figure 13).

La localisation des grands séismes historiques survenus aux Petites Antilles est rappelée à la Figure 14.

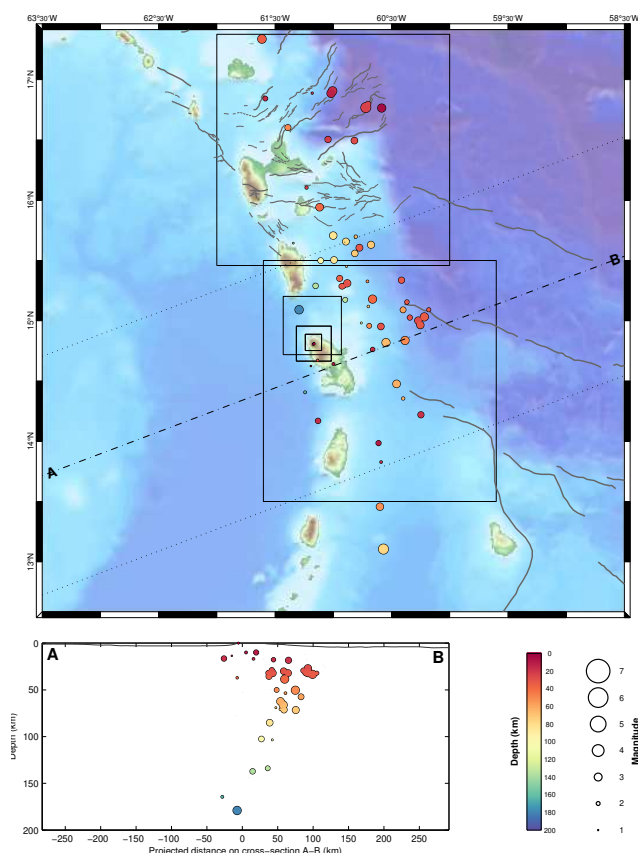


Figure 12 – Partie supérieure : carte des hypocentres des séismes enregistrés et localisés par l'OVSM-IPGP au cours du mois de mars 2024 sur l'arc antillais (l'étoile indique un séisme ressenti). Partie inférieure : représentation des séismes en profondeur le long du profil A-B (source WebObs/OVSM).

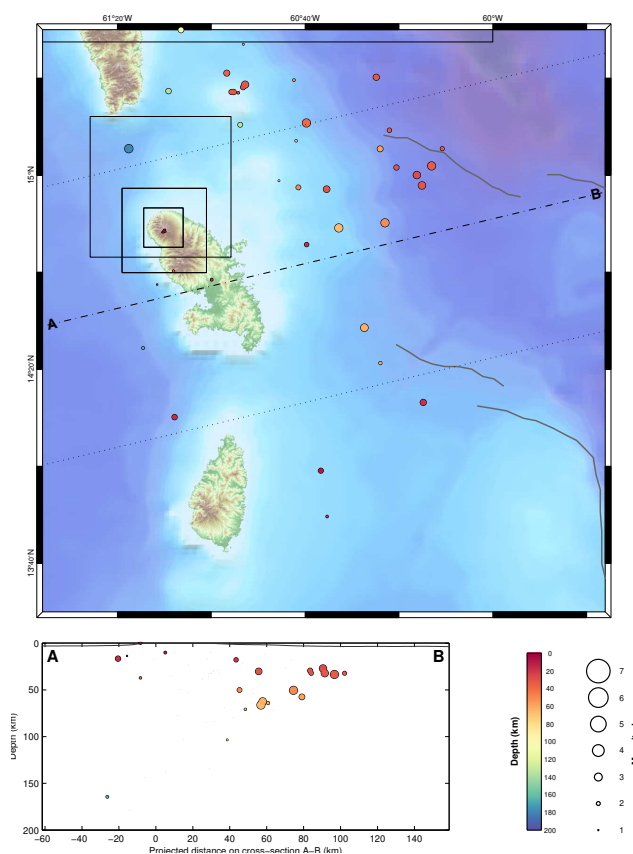


Figure 13 – Partie supérieure : carte des hypocentres des séismes enregistrés et localisés par l'OVSM-IPGP au cours du mois de mars 2024 autour de la Martinique (l'étoile indique un séisme ressenti). Partie inférieure : représentation des séismes en profondeur le long du profil A-B (source WebObs/OVSM).

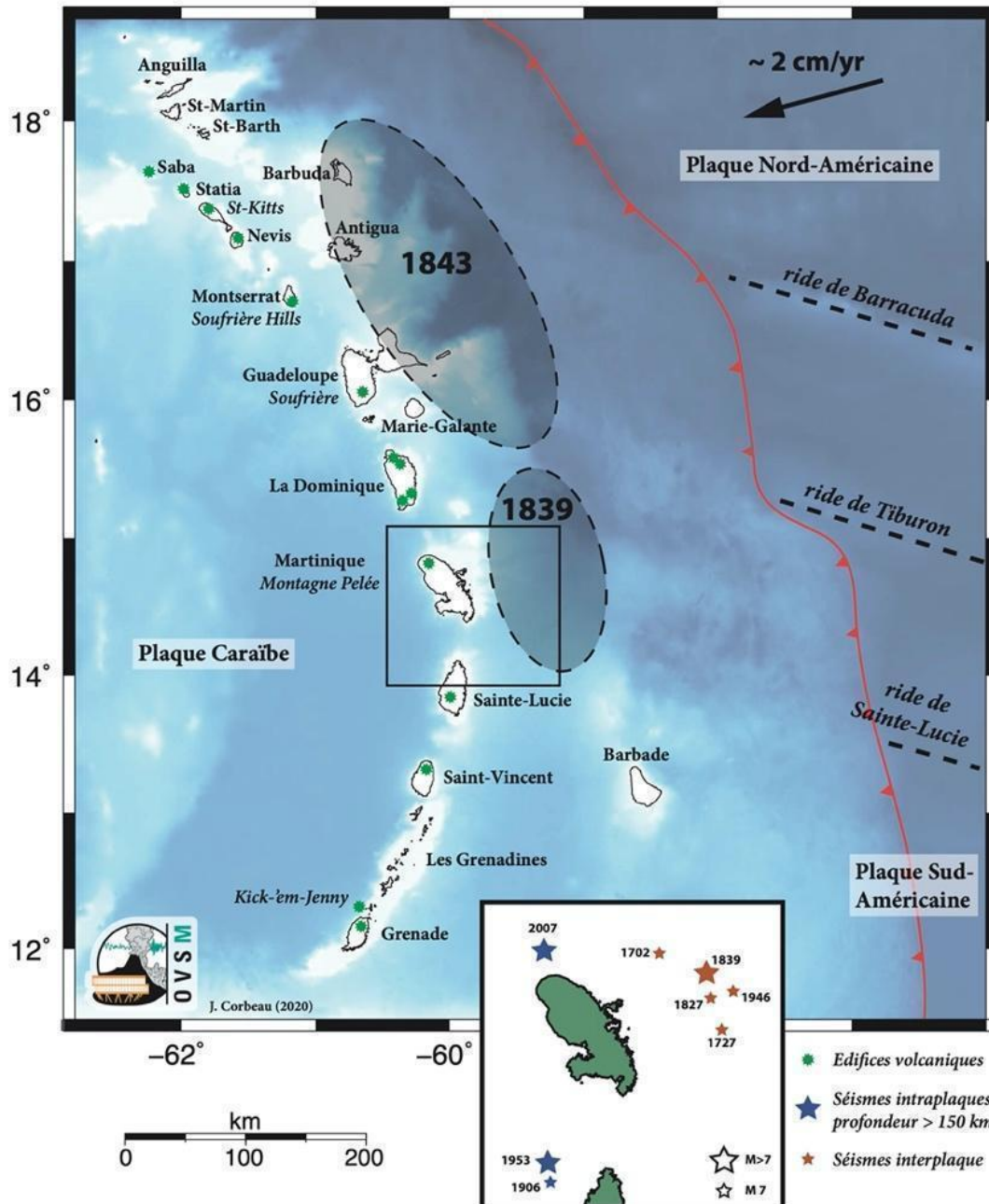


Figure 14 – Localisation des séismes historiques de magnitude estimée supérieure à 7. Cette figure illustre aussi la relation entre l'activité tectonique associée à la subduction oblique des plaques Nord-Américaine et Sud-Américaine sous la plaque Caraïbe et l'activité volcanique dans les Petites Antilles. Les étoiles vertes correspondent à la localisation des volcans (figure simplifiée d'après Feuillet et al., 2011).



C) Annexes

Définition simplifiée des niveaux d'activité volcanique pour la Montagne Pelée

Activité globale observée	Minimale niveau de base	Inhabituelle / En augmentation variations de quelques paramètres au dessus de leur niveau de base	Fortement augmentée variations de nombreux paramètres, sismicité fréquemment ressentie	Maximale sismicité volcanique intense, déformations majeures, explosions, émissions gazeuses, ...
Délai prévisionnel avant une éruption	Siècles(s) / Années	Année(s) / Mois / Semaines	Mois / Semaine(s)	Imminente / En cours
Niveaux de surveillance et d'alerte	VERT = référence	JAUNE = vigilance	ORANGE = Pré-alerte	ROUGE = Alerte

Les niveaux d'alerte sont définis par le dispositif ORSEC Préfecture et leur application relève d'une décision préfectorale.

Définition simplifiée de l'échelle des intensités macrosismiques

Perception Humaine	non ressenti	très faible	faible	légère	modérée	forte	très forte	sévère	violente	extrême
Dégâts Potentiels	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	légers	modérés	importants	destructions	généralisés
Intensités EMS98	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Les intensités sont définies par l'échelle macrosismique européenne EMS98 et leur attribution relève d'une enquête post-sismique du BCSF.

Appel à témoignages sur les séismes ressentis

Vos témoignages nous intéressent et permettront aux ingénieurs et sismologues de mieux tenir compte des spécificités locales dans la mitigation du risque sismique en Martinique. Les intensités réelles (sévérité de la secousse au sol en un lieu donné qui est déduite des effets d'un séisme) ne peuvent être correctement déterminées que par recueil de témoignages. Si vous avez ressenti un séisme, même faiblement, vous êtes invité à le signaler à l'observatoire et/ou à prendre quelques minutes pour remplir le formulaire d'enquête macrosismique du BCSF (Bureau Central Sismologique Français) sur le site www.franceseisme.fr.

Volcans régionaux actifs

La Soufrière de Guadeloupe : La dernière crise volcanique remonte à 1976-1977. Le niveau d'alerte volcanique actuel est **jaune**. Plus d'informations dans les bulletins de l'OVSG : ipgp.fr/fr/ovsg/bulletins-mensuels-de-lovsg.

La Soufrière de Montserrat : L'île de Montserrat est située à 55 km au nord-ouest de la Guadeloupe. Le niveau d'alerte actuel du volcan est 1 sur une échelle de 0 à 5. L'accès à la zone V du volcan, comprenant la ville de Plymouth, est interdit. Les zones maritimes Est et Ouest peuvent être traversées, mais sans s'arrêter et uniquement pendant la journée, entre l'aube et le coucher du soleil. Plus d'informations sur le site du Montserrat Volcano Observatory (MVO) : www.mvo.ms/pub/Activity_Reports.

La Soufrière de Saint-Vincent : Ce volcan est situé à une distance de 120 km au sud de la Martinique sur l'île de Saint-Vincent, dans l'État de Saint-Vincent-et-les-Grenadines. Une éruption de type effusif avec formation d'un dôme de lave s'est produite du 29 décembre 2020 au 9 avril 2021, suivie d'une activité explosive qui s'est terminée le 22 avril 2021. Le niveau d'alerte est abaissé à orange le 7 mai 2021, puis à jaune le 15 septembre 2021 et enfin à **vert** le 16 mars 2022 jusqu'à aujourd'hui. Notez que l'échelle de couleurs utilisée pour ce volcan a été réalisée pour des éruptions explosives. Plus d'informations sur le site du National Emergency Management Organisation (NEMO) de Saint-Vincent-et-les-Grenadines www.nemo.gov.vc/nemo et du Seismic Research Center (SRC) : www.uwiseismic.com.



Kick'em Jenny : C'est un volcan sous-marin situé à 8 km au nord de Grenade. La dernière éruption sous-marine s'est produite le 29 avril 2017. Le niveau de vigilance actuel est **jaune** (deuxième niveau sur une échelle de couleurs en comportant quatre). Une zone d'exclusion de 5 km autour du sommet (180 m sous la surface de la mer) est conseillée par sécurité. Plus d'informations sur le site du Seismic Research Center (SRC) : www.uwiseismic.com.

La direction de l'OVSM-IPGP
15 avril 2024

Références

- Boudon, G., Balcone-Boissard, H., 2021. Volcanological evolution of Montagne Pelée (Martinique) : A textbook case of alternating Plinian and dome-forming eruptions, *Earth-Science Reviews*, 221, 103754, doi :[10.1016/j.earscirev.2021.103754](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103754)
- Feuillet N., F. Beauducel, and P. Tapponnier, 2011. Tectonic context of moderate to large historical earthquakes in the Lesser Antilles and mechanical coupling with volcanoes, *J. Geophys. Res.*, 116, B10308, doi :[10.1029/2011JB008443](https://doi.org/10.1029/2011JB008443).
- Girault, F., Viveiros, F., Silva, C., Thapa, S., Pacheco, J.E., Adhikarai, L.B., Bhattarai, M., Koirala, B.P., Agrinier, P., France-Lanord, C., Zaon, V., Vandemeulebrouck, J., Byrdina, S., Perrier, F., 2022. Radon signature of CO₂ flux constrains the depth of degassing : Furnas volcano (Azores, Portugal) versus Syabru-bensi (Nepal Himalayas). *Scientific Reports*, 12 :10837, doi :[10.1038/s41598-022-14653-5](https://doi.org/10.1038/s41598-022-14653-5)
- Hirn, A., et al. 1987. Shallow seismicity at Montagne Pelée volcano, Martinique, Lesser Antilles. *Bull. Volcanol.* 49, 723–728.
- Viveiros, F., C. Cardellini, T. Ferreira, S. Caliro, G. Chiodini, and C. Silva, 2010. Soil CO₂ emissions at Furnas volcano, São Miguel Island, Azores archipelago : Volcano monitoring perspectives, geomorphologic studies, and land use planning application, *J. Geophys. Res.*, 115, B12208, doi :[10.1029/2010JB007555](https://doi.org/10.1029/2010JB007555).
- WebObs : An integrated web-based system for observatories networks management and monitoring, *Logiciel libre labellisé Code Communautaire, INSU-CNRS*, ipgp.github.io/webobs.

Remerciements

Merci aux organismes, collectivités et associations d'afficher publiquement ce bulletin pour une diffusion la plus large possible. Pour le recevoir par mail, faites une demande à : infos@ovmp.martinique.univ-ag.fr.

Informations

Retrouvez l'ensemble des informations relatives à l'activité de la Montagne Pelée (bilans hebdomadaires, bulletins mensuels et communiqués) sur les différents médias de l'OVSM-IPGP :

- le site internet : www.ipgp.fr/fr/ovsm/bilans
- le compte X/Twitter : twitter.com/ObsMartinique
- le compte Facebook : facebook.com/ObservatoireVolcanoSismoMartinique
- les localisations des séismes d'origine volcanique ou tectonique calculées par l'OVSM-IPGP sont disponibles en temps réel sur le site : renass.unistra.fr/fr/zones/les-antilles

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