

Bulletin mensuel

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

ISSN 1622 – 4523

Avril 2024

Résumé

Volcan de la Soufrière

- Sismicité : **405** séismes volcano-tectoniques (VT), dont **2 essaims de 98 et 192 séismes** ont été détectés dans le secteur du volcan. Tous les séismes ont une magnitude négative et sont localisés à moins de 1 km de profondeur sous le dôme de la Soufrière. L'énergie libérée (**1.0 MJ**) est en légère baisse par rapport au mois précédent (1.8 MJ)
- Déformation : l'ouverture du dôme tend à ralentir (données GNSS)
- Gaz :
 - après des fluctuations importantes en 2023, la température (**95.7°C**) et le pH (**2.9**) de la fumerolle Napoléon Nord sont revenus à des valeurs normales
 - la composition du panache de gaz de la Soufrière ne montre pas d'évolution majeure
- Sources thermales : les températures et compositions des sources sont dans les gammes mesurées les années précédentes. On note cependant une hausse de la teneur en HCO_3^- (91 ppm) dans la source Carbet Echelle, qui confirme une tendance amorcée en 2022.

Sur la base des observations résumées dans ce bulletin, et en accord avec les dispositions prévues par les autorités, le niveau d'alerte volcanique (tableau en annexe) reste :

Vigilance : Jaune

Activité tellurique régionale

- Activité faible : **156 séismes de magnitude ≤ 3.2** ont été enregistrés sur les réseaux de failles régionales
- **Un séisme faible ($M_d = 2.5 \pm 0.3$) a été ressenti par la population** le mardi 09 avril à 03:29 (heure locale). L'épicentre a été localisé à 9 km au nord-ouest de Sainte-Rose, à 13 km de profondeur.



A. Activité de La Soufrière de Guadeloupe

Contexte - La Soufrière de Guadeloupe est un volcan actif de type explosif ayant connu de nombreuses éruptions magmatiques et phréatiques par le passé.

Depuis 1992, son activité sismique, fumerolienne, thermique, et de déformation superficielle poursuit un régime fluctuant mais globalement en augmentation, qui se traduit par une forte activité du système hydrothermal (circulations et interactions de gaz, vapeur et eau en surpression dans la roche poreuse et fracturée).

Entre 2017 et 2021, des injections répétées de gaz magmatiques se sont produites à la base du système hydrothermal à une profondeur entre 2 et 3 km sous le sommet. Ces injections ont engendré un processus récurrent de surchauffe et de surpression du système hydrothermal qui s'est traduit par: 1) des perturbations de la circulation des fluides hydrothermaux; 2) l'évolution de l'activité des fumerolles au sommet, avec des projections occasionnelles de boue brûlante et acide ou poussière fine sur quelques mètres aux Cratère Sud Nord et NapE1 (février 2016, septembre-novembre 2021) (Fig. 1); 3) une augmentation de la sismicité volcanique en essaim; 4) quelques séismes volcaniques ressentis (quatre entre février et avril 2018) dont un séisme de magnitude 4.1 le 27 avril 2018, le plus fort depuis 1976; 5) des déformations horizontales modérées et limitées au dôme de La Soufrière de l'ordre de 5 à 20 mm/an et la poursuite de l'ouverture des fractures sommitales; 6) la fluctuation du débit des gaz fumeroliens issus d'un réservoir hydrothermal pressurisé; 7) une progression des anomalies thermiques dans le sol au sommet de La Soufrière ; 8) l'évaporation de la nappe phréatique, avec l'évaporation quasi-totale du lac Tarissan et sa réalimentation par des fluides profonds fin 2021.

Depuis 2022, nous enregistrons une baisse de la micro-sismicité, un ralentissement de l'ouverture du dôme (GNSS), une contraction des grandes failles sommitales, une baisse de la pression et de la température d'équilibre des gaz, et paradoxalement une hausse de la température des fumerolles avec des températures records (>200°C à Cratère Sud, > 100°C à Napoléon Nord). Ces tendances montrent que le système hydrothermal est globalement plus ouvert, plus sec et moins pressurisé. Les projections occasionnelles de boue brûlante (mai 2022, janvier 2024) et le creusement du cratère NapE1 en 2023 montrent que le système reste instable.

Ces phénomènes ne sont pour l'instant pas clairement associés à une anomalie des autres paramètres de surveillance qui pourrait indiquer une éventuelle remontée de magma. Cependant, compte tenu des changements rapides de régime du volcan, on ne peut exclure une intensification des phénomènes dans les prochaines mois/années. Bien que moins intenses que les éruptions magmatiques, les éruptions non magmatiques plus fréquentes de La Soufrière peuvent engendrer des aléas très divers (chutes de blocs, retombées de cendres, explosions, écoulements pyroclastiques, émanations de gaz, contamination de l'environnement, coulées de boue, glissements de terrain, explosion latérale dirigée avec souffle) qui présentent des risques non-négligeables pour les populations et les infrastructures. L'état de l'art de la connaissance des éruptions phréatiques et hydrothermales montre qu'elles sont typiquement fréquentes et soudaines, que leurs signaux précurseurs sont fréquemment absents voire peu nombreux et



équivoques, qu'elles se caractérisent par une durée et une intensité très variable, et que les phénomènes associés sont très variés et peuvent s'avérer particulièrement dangereux à proximité. Dans le contexte actuel de regain d'activité, l'OVSG-IPGP est en état de vigilance renforcée.

Les observations faites depuis mai 2021 montrent que la zone active du sommet de la Soufrière est devenue plus dangereuse qu'auparavant en raison des risques liés aux gaz toxiques (irritation des yeux, peau et voies respiratoires), aux projections de vapeur et matière à haute température (brûlures) et aux effondrements du sol (chute) dont l'intensité et l'évolution à très court terme est difficile à anticiper. Dans ce contexte l'IPGP considère pour ses personnels, et affiliés en mission avec l'OVSG-IPGP, que l'accès aux zones les plus actives* doit (1) être réduit au strict minimum imposé par les missions de surveillance et de recherche, (2) être précédé d'une analyse et d'une évaluation de l'activité, via les capteurs télémétrés en temps réel à l'observatoire (sondes de température, sismomètres, déformation), (3) être réalisé avec un équipement de protection complet et renforcé, et muni d'un moyen de communication direct avec l'OVSG-IPGP. * Cratère Sud (CSN, CSC, CSS), Gouffre 56 (G56), Gouffre Tarissan (TAS); Cratère Napoléon (NAPN, NAPE1, NAPE2), Fracture Lacroix (LCS) (Fig. 1).

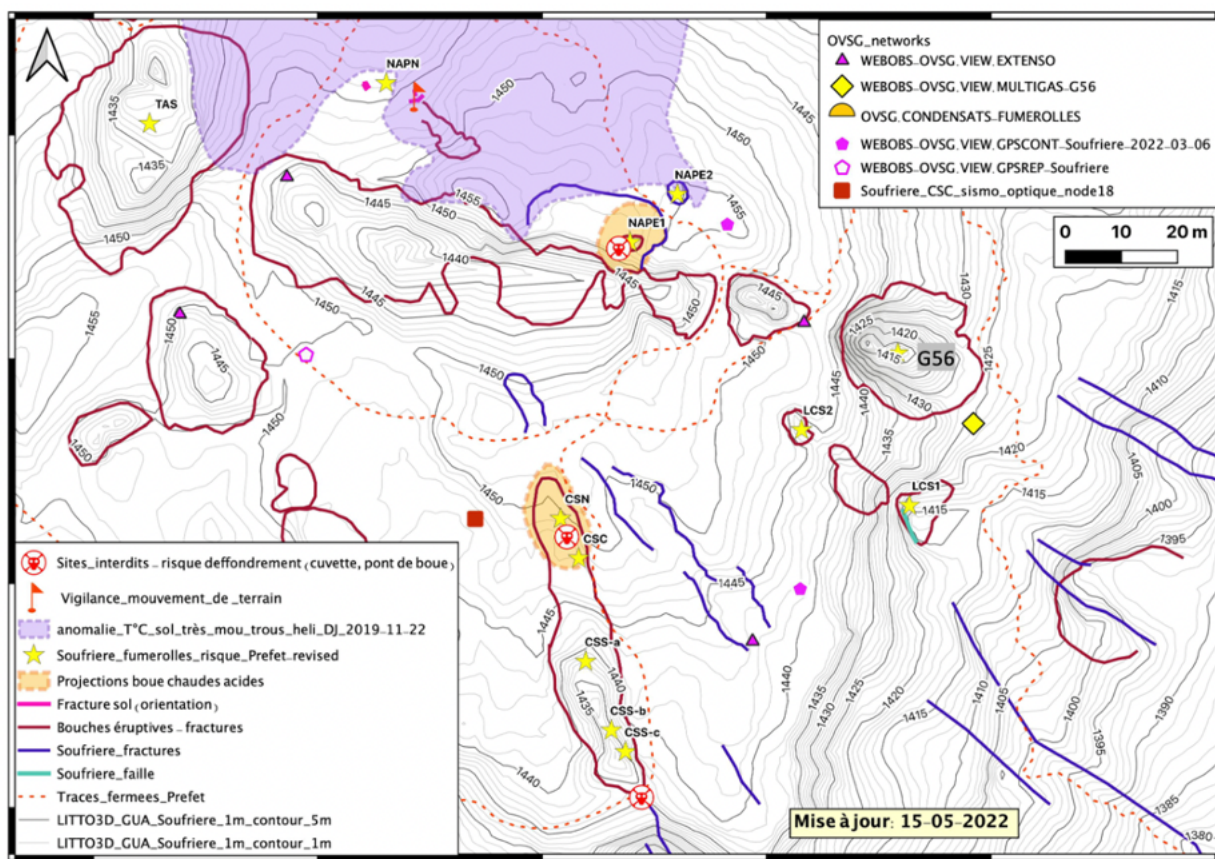


Figure 1 : Carte du sommet de la Soufrière de Guadeloupe montrant la localisation des sites actifs mentionnés dans ce bulletin : Cratère Sud (CSN, CSC, CSS), Gouffre 56 (G56), Gouffre Tarissan (TAS); Cratère Napoléon (NAPN, NAPE1, NAPE2), Fracture Lacroix (LCS). Les réseaux de mesures de l'OVSG sont aussi indiqués.



Sismicité volcanique

Depuis début 2017 l'OVSG-IPGP a amélioré ses réseaux de capteurs qui permettent d'acquérir des données sismiques à une résolution sans précédent. Couplé à des traitements de données affinés, ceci permet de détecter un nombre plus important de séismes de très faible magnitude. Au mois d'avril 2024, l'OVSG-IPGP a enregistré **405** séismes volcano-tectoniques (VT) (Fig. 2). Tous les séismes ont une magnitude négative. Cette activité a libéré une énergie de **1.0 MJ** en légère baisse par rapport au mois précédent (1.8 MJ). Deux essais ont été enregistrés :

- Le premier a débuté le jeudi 11 avril à 23h10 heure locale et s'est terminé le dimanche 14 avril à 17h00 heure locale. **98** séismes ont été enregistrés lors de cette séquence.
- Le deuxième a débuté le dimanche 21 avril à 11h40 heure locale et s'est terminé le mercredi 24 avril à 23h50 heure locale. **192** séismes ont été enregistrés lors de cette séquence.

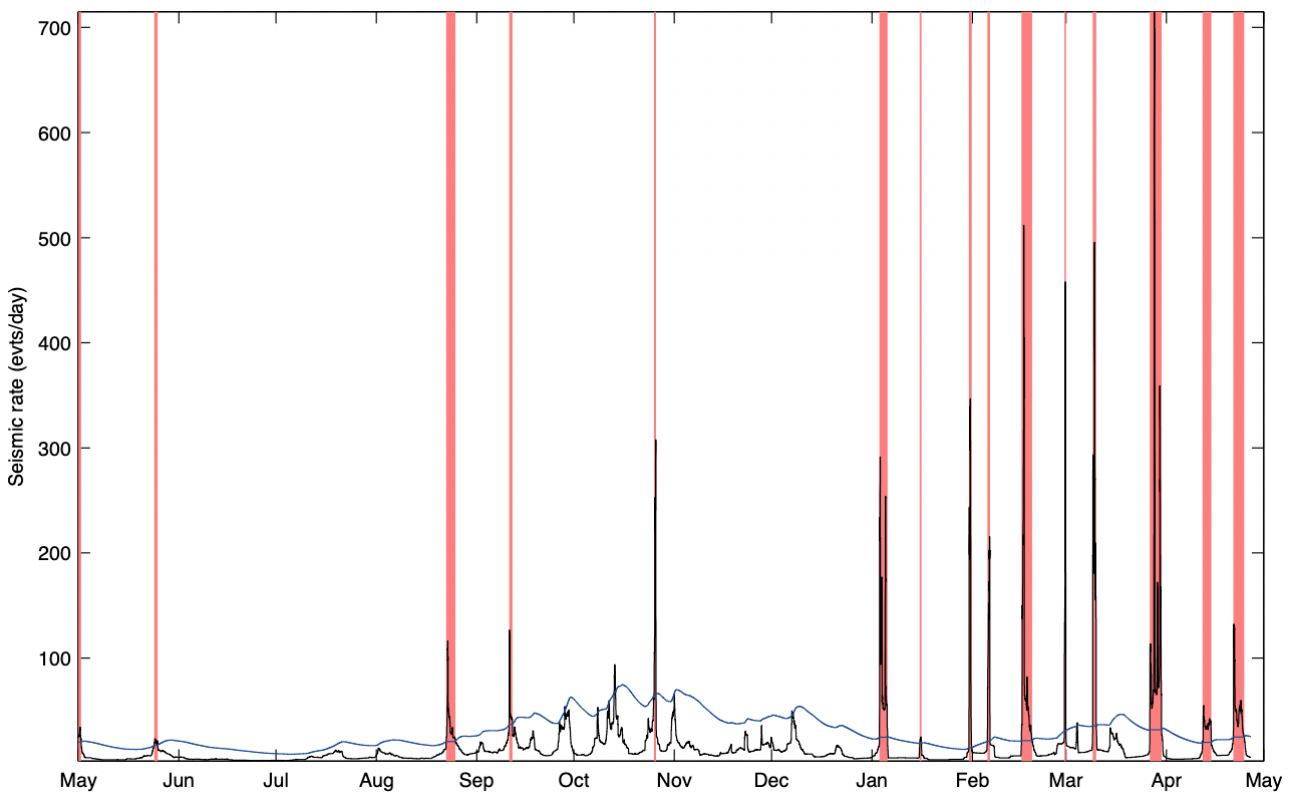


Figure 2. Taux de sismicité instantané (séismes VT) entre le 1^{er} mai 2023 et 1^{er} mai 2024. Les bandes rouges caractérisent les essais sismiques (voir les définitions de ces paramètres en annexe).

Les séismes VT appartiennent majoritairement aux familles VT1 et VT5 localisés à moins de 1 km sous le dôme de La Soufrière (Fig. 3). La profondeur des séismes ne montre pas d'évolution temporelle au cours du mois (Fig. 3d).

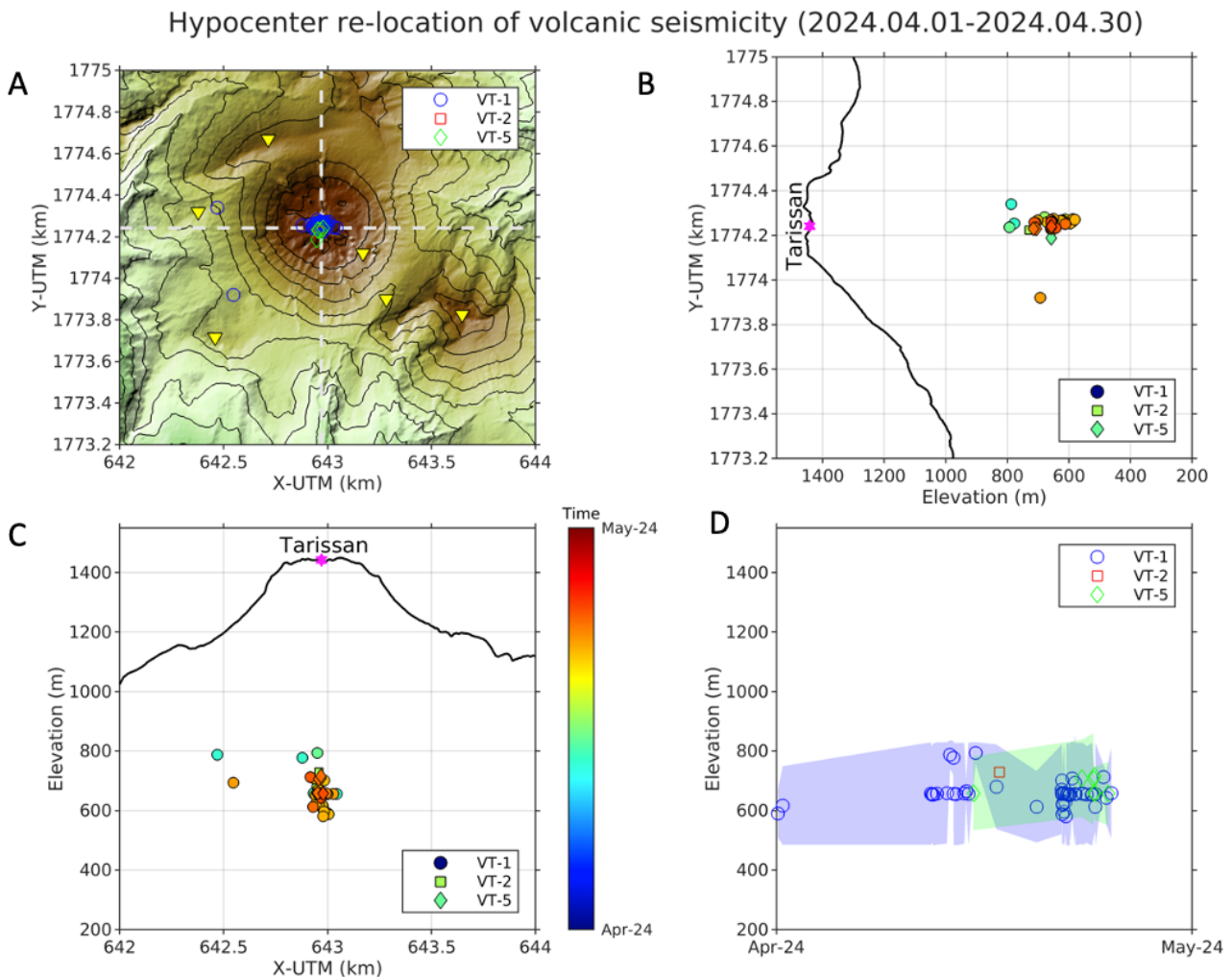


Figure 3. (a) Carte de localisation (épicesentres), (b et c) coupes NS et EO, et (d) évolution temporelle montrant la localisation en profondeur (hypocentres) des séismes VT localisables au mois d'avril 2024 sous le dôme de la Soufrière et le complexe volcanique autour du dôme. (a) Triangles jaunes : localisation des stations sismiques.

Déformation

Les déformations sont mesurées par le GNSS (Global Navigation Satellite System) et l'extensométrie. Le réseau GNSS s'étend sur tout le sud Basse-Terre afin de mettre en évidence des mouvements à différentes échelles : a) à l'échelle du sud Basse-Terre, distale par rapport au dôme de La Soufrière, pour mettre en évidence d'éventuels mouvements de matière provenant des zones plus profondes du système magmatique; b) sur le pourtour du dôme, au niveau du système hydrothermal peu profond (≤ 2 km); c) au niveau des déformations très superficielles du dôme, en complément de l'extensométrie sur les fractures. A l'échelle de la zone du sud de Basse-Terre, les déformations mesurées par GNSS, ne montrent pas de gonflement qui pourrait traduire l'apport de magma en profondeur. A l'échelle de l'édifice, les données des



12 derniers mois (Fig. 4) montrent une déformation horizontale radiale du sommet du volcan à une vitesse comprise entre **3.4** (F562) et **14.7** mm/an (CRA2). Cette déformation reflète la surpression du système hydrothermal, et l'échappement des gaz pressurisés dans le réseau de fractures du dôme de La Soufrière.

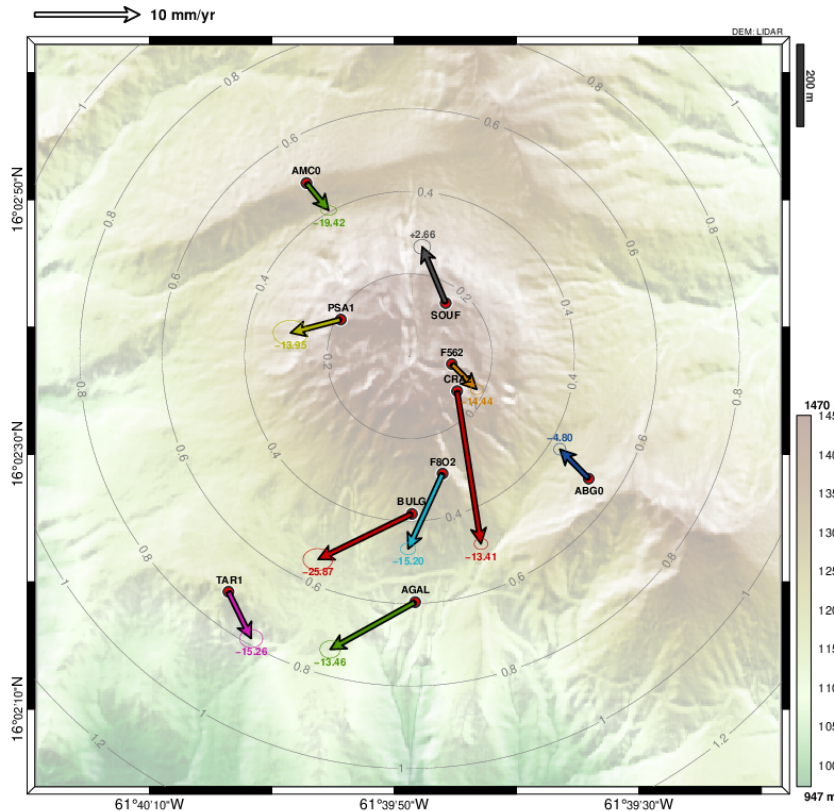


Figure 4. Déformation du dôme de la Soufrière enregistrée par le réseau GNSS permanent entre le 1 mai 2023 et le 1 mai 2024. La taille de la flèche et la valeur indiquée en haut à gauche indique le taux de déformation horizontale en mm par an. Le chiffre au bout de chaque flèche indique la valeur de la déformation verticale, positif pour une élévation, négatif pour un affaissement. Les ellipses représentent l'incertitude sur la position horizontale de l'extrémité du vecteur horizontal de déformation.

L'évolution de la déformation au cours des cinq dernières années (1er mai 2019 - 1er mai 2024) est illustrée par les déplacements relatifs entre stations GNSS (Fig. 5). Cette figure montre que 1) l'ouverture du dôme s'est accélérée en 2020, et 2) la base du dôme est relativement statique à l'exception du secteur sud-est (AGAL – ABG0 – trait bleu) en ouverture. Entre fin 2023 et début 2024, les mouvements d'éloignement des stations du sommet (PSA—SOU – trait rose et PSA —CRA– trait violet) semblent ralentir, en accord avec la légère baisse de la vitesse d'ouverture du dôme et les tendances à la fermeture des grandes failles enregistrées par les mesures d'extensométrie.

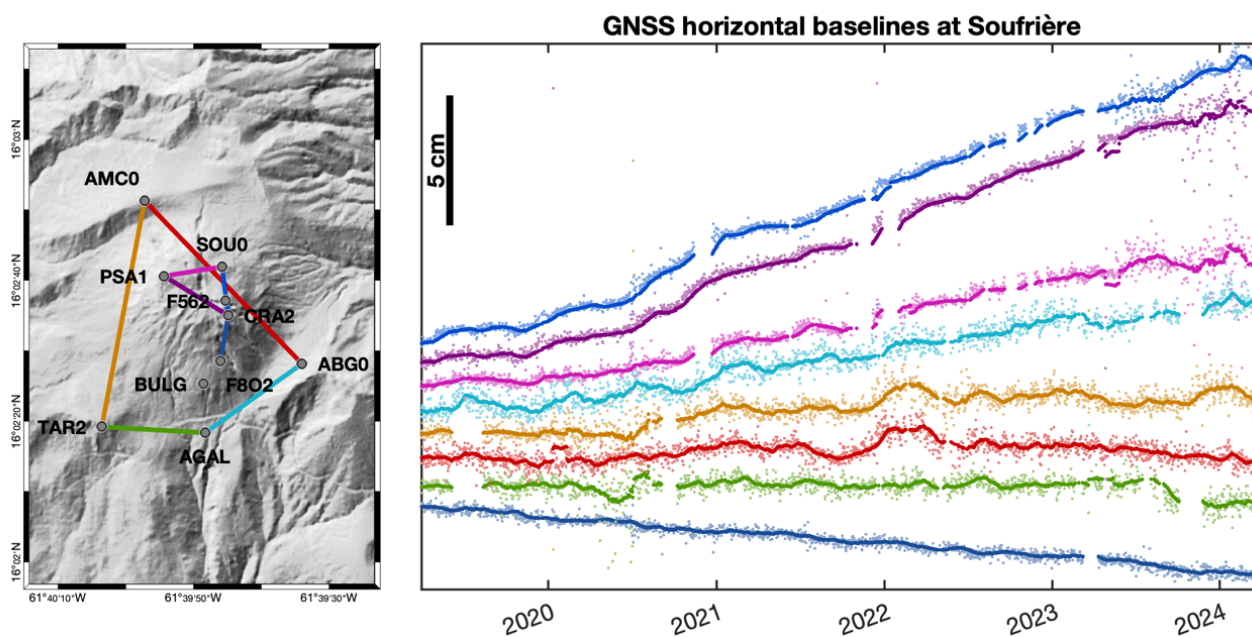


Figure 5. Evolution sur 5 ans des distances séparant les stations GNSS permanentes localisées sur le volcan de la Soufrière.

Activité fumerolienne et géochimie des gaz

Napoléon Nord

La température de la fumerolle Napoléon Nord a été mesurée à **95.7°C** au mois de d'Avril. Après un pic haut mi-2023 et un pic bas début 2024, la température est revenue à la ligne de base correspondant à la température d'ébullition de l'eau à l'altitude du sommet (Fig. 6). Le pH des condensats mesuré à **2.91** en avril, montre une évolution anti corrélée à la température depuis 2021 (Fig. 6).

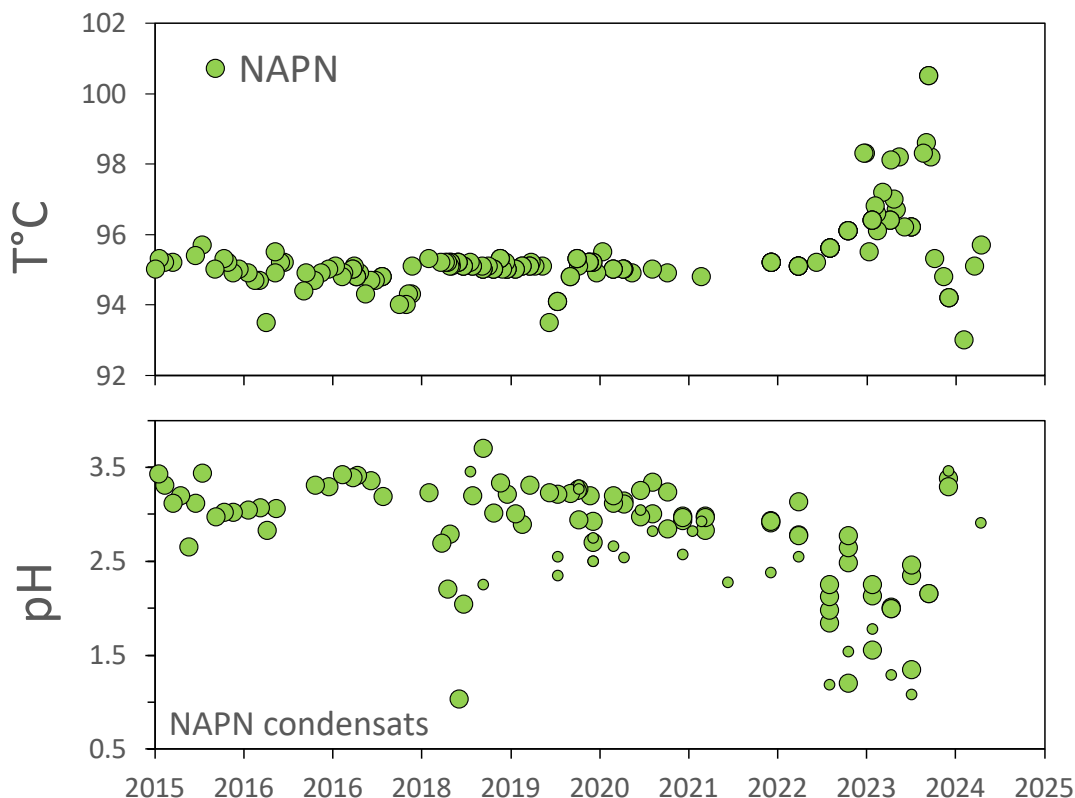


Figure 6 : Température de la fumerolle Napoléon Nord et pH des condensats. Condensats : Grands cercles = condensation forcée par refroidissement. Petits cercles = condensation naturelle.

Cratère Sud

Les températures des événements de la fissure Cratère Sud n'ont pas été mesurées ce mois.

Lac Tarissan

Le niveau du lac (-92.8 m, sous le dispositif de descente) et son pH (+0.09) sont similaires aux valeurs mesurées le mois précédent.

Composition du panache

L'analyse du panache de gaz dilué est réalisée sur place à l'aide d'un analyseur MultiGAS portable. Pour s'affranchir de la dilution du panache de gaz dans l'air, la composition des gaz est caractérisée par les quantités relatives entre espèces gazeuses (rapports molaires). Entre 2019 et mars 2023, une



augmentation continue du rapport $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ et une relative stabilité du rapport $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ étaient observées sur les différents sites fumeroliens (Figure 7). On notait cependant que le site sud de CSS, contrairement aux événements situés plus au nord le long de la fracture CS (site nord de CSS et CSN) ne montrait pas d'augmentation du rapport $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$. En Mars 2023, les rapports $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ du panache de la Soufrière ont atteint leur maximum (jusqu'à 0.31 à CSN) depuis les premières mesures réalisées en 2006 par Allard et al. (2014). Un rapport $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ élevé est une signature des gaz magmatiques de haute température.

Cependant, depuis environ mai 2023, les mesures réalisées montrent :

- une diminution des rapports $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ (au niveau de G56, NapN, et CS)
- une relative stabilité des rapports $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$, même si une tendance à la diminution à CS semble se dessiner également depuis août 2023 (tendance à confirmer).

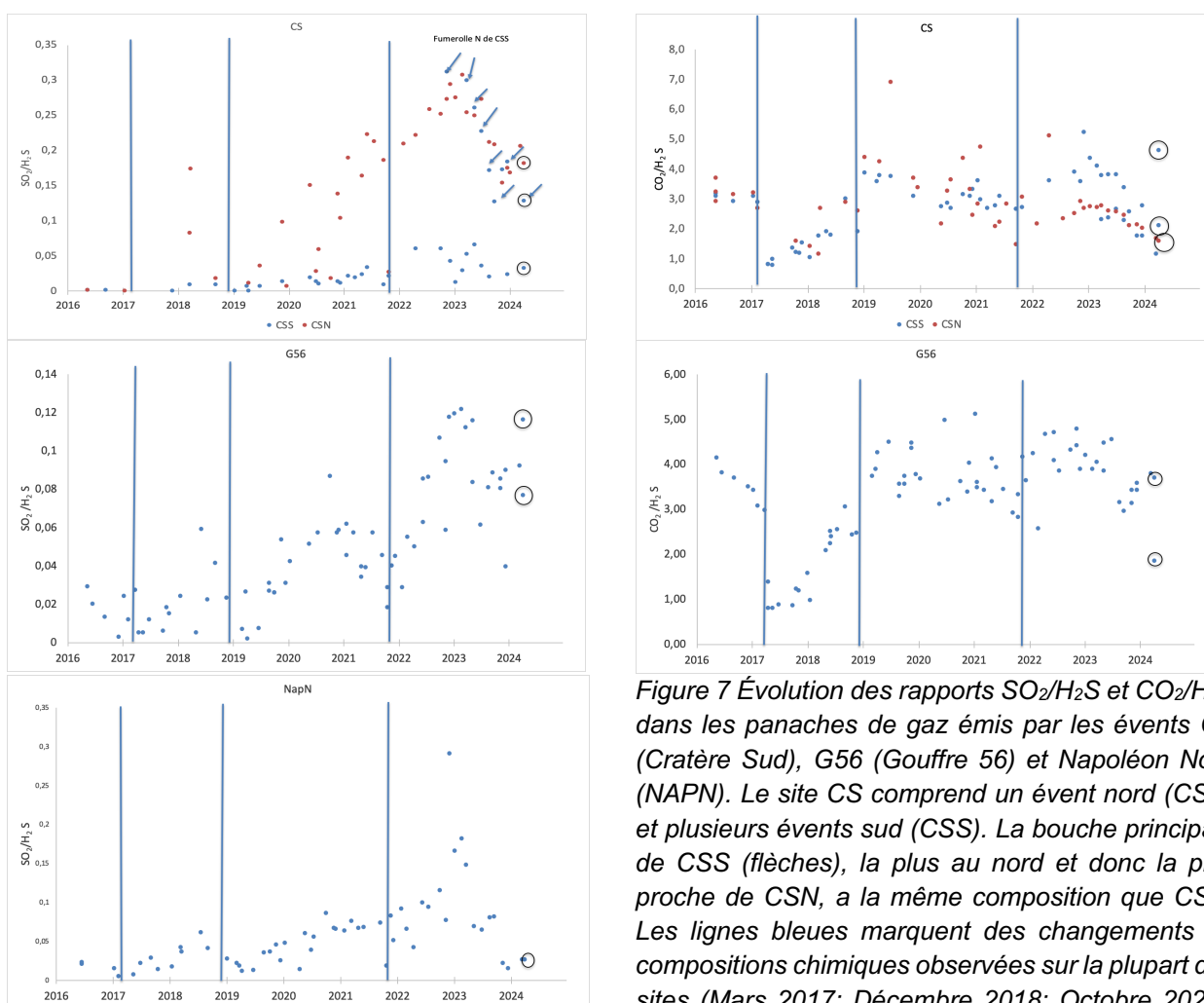


Figure 7 Évolution des rapports $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ et $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ dans les panaches de gaz émis par les événements CS (Cratère Sud), G56 (Gouffre 56) et Napoléon Nord (NAPN). Le site CS comprend un événement nord (CSN) et plusieurs événements sud (CSS). La bouche principale de CSS (flèches), la plus au nord et donc la plus proche de CSN, a la même composition que CSN. Les lignes bleues marquent des changements de compositions chimiques observées sur la plupart des sites (Mars 2017; Décembre 2018; Octobre 2021). Les cercles noirs indiquent les dernières mesures effectuées le 9/04/2024.



Sources thermales

Les sources thermales ont été échantillonnées en mars et avril 2024. Les analyses en cours révèlent les premières tendances suivantes (un bilan détaillé sera présenté dans les prochains bulletins) :

Flanc Sud et Sud-Ouest

Galion et Galion blanc ont des températures stables (52.2°C et 46.5°C, respectivement). Ces sources montrent une légère baisse de pH et de concentrations en sulfates. Les températures des sources Tarade (44.3°C), Ravine Marchand 3 (45.3°C) et Pas du Roy (35.7°C), ainsi que leurs compositions chimiques sont stables. Depuis 2020, Ravine Goyavier 2 se réchauffe lentement (45.9°C) et sa teneur en Cl diminue progressivement (134 ppm).

Secteur Ouest :

Les températures et compositions des sources Bains chauds Matouba (58.1°C) et Habitation Revel (33.6°C) sont dans les gammes des valeurs mesurées ces dernières années.

Secteur Est :

Carbet Echelle est stable en température (20.9°C) mais montre une légère baisse de pH (5.14) et une nette hausse de HCO_3^- (91 ppm) qui confirme une tendance amorcée en 2022. Grosse Corde est stable en température (38.3°C) et en composition.

Autres informations

Météorologie au sommet (station Sanner)

Au mois d'avril 2024, les vents ont soufflé à une vitesse moyenne de 49.7 km/h (maximum de 108 km/h), et leur direction moyenne était +153°N. La station Sanner a enregistré une pluviométrie mensuelle cumulée de 321 mm, et une température moyenne de 16.4°C.



B. Activité tellurique régionale

Sismicité régionale

Contexte

L'arc insulaire des Petites Antilles résulte du plongement de la plaque Amérique sous la plaque Caraïbe, à une vitesse de convergence de 2 cm/an. Elle provoque une déformation de la limite de ces plaques, faisant de l'archipel de Guadeloupe une région à forts aléas volcanique et sismique. Certains séismes sont directement liés aux processus de glissement entre les deux plaques. D'autres, plus superficiels, résultent de la déformation de la plaque Caraïbe. D'autres encore résultent de la rupture de la plaque océanique plongeant sous la Caraïbe. Durant la période historique, plusieurs séismes ont causé des dégâts et victimes en Guadeloupe (intensités supérieures ou égales à VII) : 1735, 1810, 1843 (destruction de Pointe-à-Pitre), 1851, 1897, 2004 (Les Saintes) et 2007.

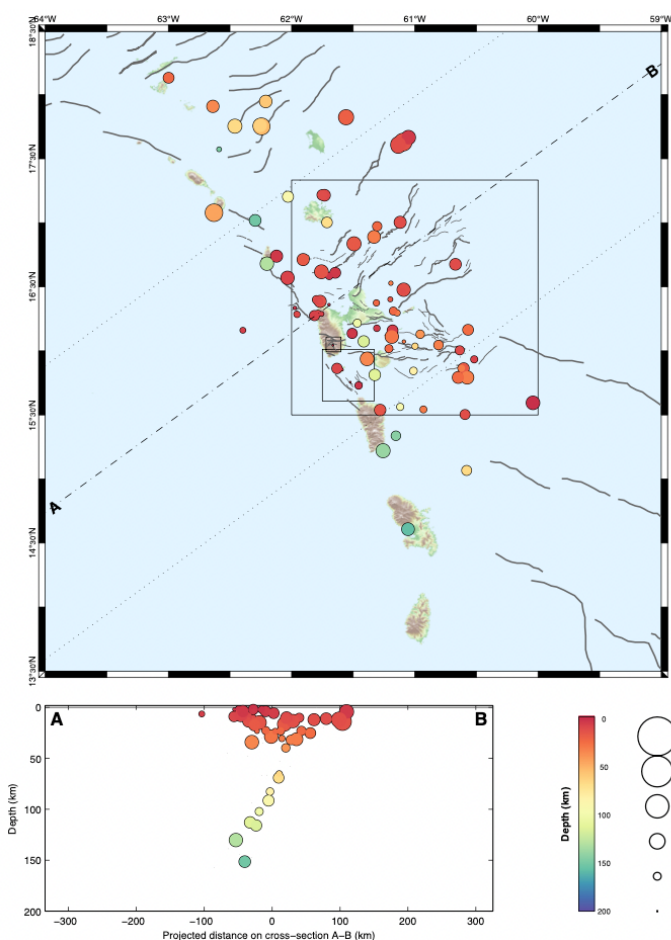
Bilan mensuel régional

L'OVSG-IPGP a enregistré au cours du mois d'avril 2024 **156 séismes régionaux d'origine tectonique**, dont 95 ont pu être localisés et entrent dans le cadre de la Figure 8, les autres étant plus lointains ou de trop faible magnitude. Les séismes sont majoritairement localisés à moins de 40 km de profondeur, à l'interface des plaques Amérique et Caraïbe et dans la croûte Caraïbe. Neuf séismes se sont produits dans la plaque plongeante entre 65 et 151 km de profondeur.

Les magnitudes enregistrées sont ≤ 3.2 .

Un séisme faible (magnitude 2.5 ± 0.3) a été ressenti par la population le mardi 09 avril 2024 à 03:29 (heure locale). L'épicentre a été localisé à 9 km au nord-ouest de Sainte-Rose, à 13 km de profondeur

Figure 8. Localisation des épicentres des séismes tectoniques enregistrés au mois d'avril 2024 par l'OVSG-IPGP.





Bilan mensuel pour la zone des Saintes

Dans la zone des Saintes, l'observatoire a enregistré **36 séismes tectoniques** au cours du mois d'avril 2024, dont 7 ont pu être localisés (Fig. 9). Ces séismes de faible magnitude (< 2.3) se sont produits à moins de 10 km de profondeur, sous les îles des Saintes et dans le canal de la Dominique. Ils n'ont pas été ressentis (absence de témoignage).

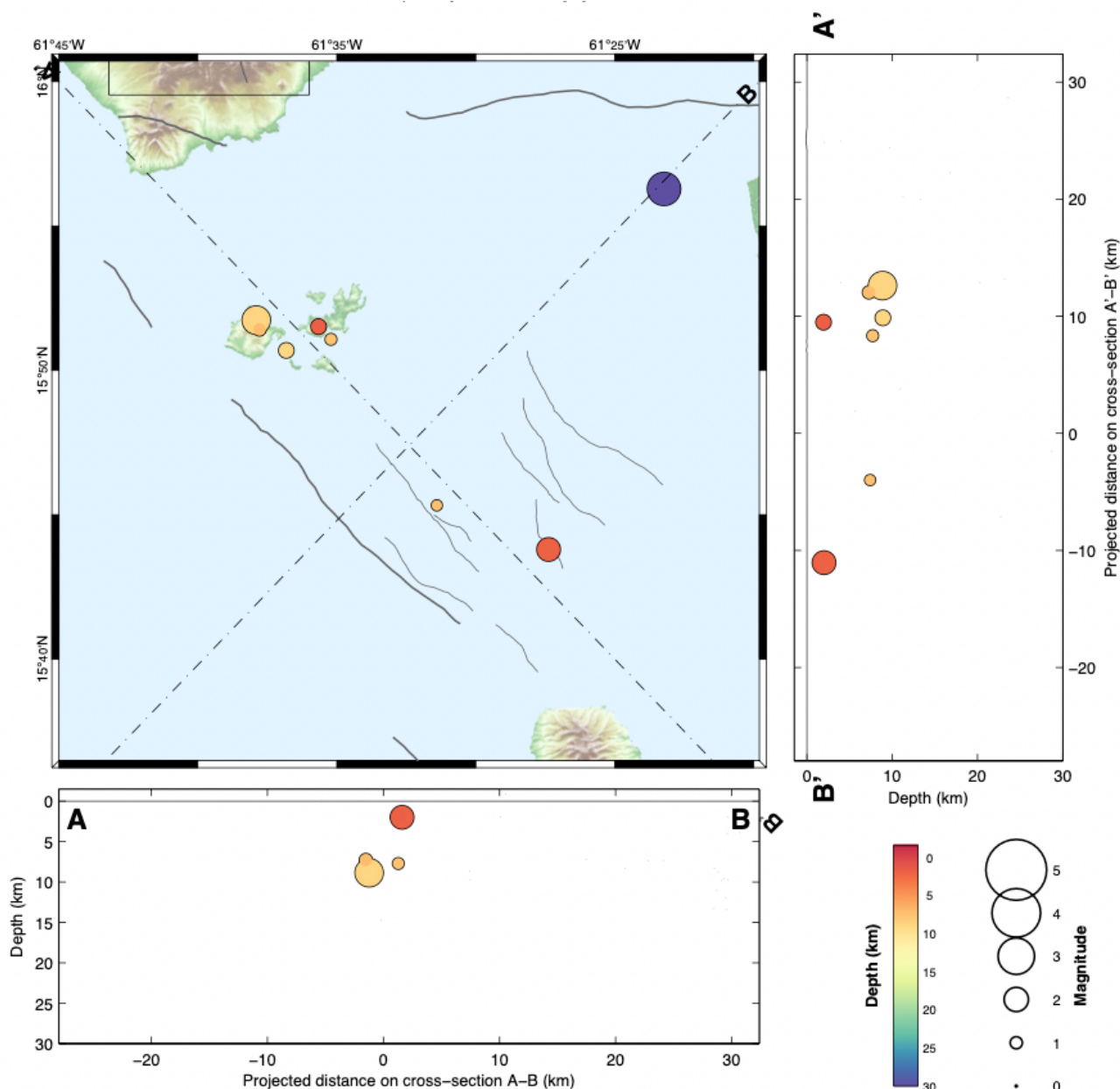


Figure 9. Épicentres des séismes tectoniques localisables, enregistrés au mois d'avril 2024 par l'OVSG-IPGP dans la zone des Saintes.



Les volcans régionaux actifs

La Montagne Pelée : La dernière crise volcanique remonte à 1929-1932. Le niveau d'alerte volcanique actuel est jaune. Plus d'informations dans les bulletins mensuels et hebdomadaires de l'OVSM : <https://www.ipgp.fr/observation/ovs/ovsm/>

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) : http://www.mvo.ms/pub/Activity_Reports/

La Soufrière de Saint Vincent et les Grenadines : Ce volcan est situé à une distance de 120 km au sud de la Martinique sur l'île de Saint-Vincent-et-les-Grenadines. Une éruption de type effusive avec formation d'un dôme de lave s'est produite du 29 décembre 2020 au 9 avril 2021. Une activité explosive a commencé le 9 avril. Aucune explosion n'est observée après le 22 avril. Le 7 mai 2021, le niveau d'alerte est passé à orange. Puis, ce niveau a atteint le jaune le 15 septembre 2021. Depuis, le 16 mars 2022, le niveau d'alerte est vert. 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 : <http://www.nemo.gov.vc/nemo/> et du Seismic Research Center (SRC) : <http://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 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) : <http://www.uwiseismic.com>



C. Annexes

Séismes volcano-tectoniques

La majorité des séismes volcano-tectoniques (+90%) se produisent à des profondeurs superficielles dans le dôme (entre 0.5 et 1 km sous le sommet). Ces séismes de très faibles magnitudes (généralement <0) ont des origines et sources quasi-identiques. Pour cette raison, ils sont souvent qualifiés de « séismes répéteurs ». Deux familles principales (VT1 et VT2) sont identifiées et illustrent l'activité sismique du système hydrothermal supérieur. Régulièrement des séismes VT plus profond (>1km sous le sommet) et de magnitude légèrement supérieure traduisent l'activité du volcan à l'échelle du massif.

Taux de sismicité instantané et essaim sismique

Le taux de sismicité instantané est calculé sur la base du temps nécessaire pour enregistrer 50 séismes consécutifs selon la formule : taux de sismicité instantané = 50 / (temps séparant le 1er du 50ème séisme consécutif). Un essaim sismique est caractérisé par des séismes se succédant beaucoup plus rapidement que durant les 60 derniers jours. Il est déclaré au-delà d'une durée et d'un nombre d'évènements minimum.

Définition des niveaux d'activité volcanique pour la Soufrière de Guadeloupe

Activité globale <i>Observée / enregistrée</i>	Minimale niveau de base	Détection activité inhabituelle / En augmentation variations de quelques paramètres	Fortement augmentée variations de nombreux paramètres, sismicité fréquemment ressentie	Maximale sismicité volcanique intense, déformations majeures, explosions, émissions gazeuses, ...
Délais possibles avant une éruption	Siècle(s) / Années	Année(s) / Mois / Semaines	Mois / Semaine(s)	Imminente / En cours

Décision

Préfecture

Niveaux surveillance et d'alerte	VERT = niveau de référence	JAUNE = Vigilance	ORANGE = Pré-alerte	ROUGE = Alerte
---	-----------------------------------	--------------------------	----------------------------	-----------------------

Définition simplifiée de l'échelle des intensités macrosismiques

Intensités	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X XI XII
Perception Humaine	Non ressenti	Très faible	Faible	Légère	Modérée	Forte	Très forte	Sévère	Violente	Extrême
Dégâts probables	aucun				Très légers	Légers	Modérés	Importants	Destructions	Généralisés

Appel à témoignages sur les séismes ressentis

Les intensités réelles (effets d'un séisme en un lieu donné) 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 à prendre quelques minutes pour remplir le formulaire d'enquête macrosismique du BCSF sur le site <http://www.franceseisme.fr/>.



Bulletin mensuel – Avril 2024

Observatoire volcanologique et sismologique de Guadeloupe - IPGP

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@ovsg.univ-ag.fr

Informations

Retrouvez l'ensemble des informations relatives à l'activité de la Soufrière sur les différents médias de l'OVSG-IPGP :

- le site internet : <https://www.ipgp.fr/observation/ovs/ovsg/>
- le compte Twitter : twitter.com/ObsGuadeloupe
- le compte Facebook : facebook.com/ObsVolcanoSismoGuadeloupe

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