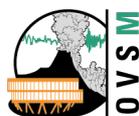




©OVSM-IPGP, 2019



Sommaire

I	Présentation de l'observatoire	4
II	Résumé.....	6
III.	Introduction.....	8
V	Activité de la Montagne Pelée.....	10
V. 1.	Introduction	10
V. 2.	Activité sismique de la Montagne Pelée	10
V. 3.	Phénoménologie	19
V. 4.	Déformation de la Montagne Pelée	21
V. 5.	Suivi géochimique des sources thermales de la Montagne Pelée et de la rivière du Prêcheur	23
V. 6.	Glissements de terrain et lahars	26
V. 7.	Activité volcanique de l'arc des Petites Antilles	27
VI	Activité locale et régionale.....	28
VII	Réseaux de surveillance et d'études.....	36
VII. 1.	Le réseau sismologique régional	36
VII. 2.	Le réseau sismologique de Martinique	37
VII. 4.	Le réseau de suivi des déformations	40
VII. 5.	Le système de détection automatique de la rivière du Prêcheur.....	41
VII. 6.	Le réseau de suivi géochimique de la Montagne Pelée	42
VII. 7.	Interventions sur les réseaux de surveillance et de mesures en 2020.....	43
VII. 8.	Évolution du système informatique en 2020	47
VII. 9.	Archivage et distribution des données	47
VIII	Activités diverses de l'OVSM.....	48
VIII. 1.	Formations, missionnaires et stagiaires	48
VIII. 2.	Hygiène et sécurité	49
VIII. 3.	Communications, colloques et publications	49
VIII. 4.	Relations avec les autorités.....	50
IX	Projets et collaboration.....	50
IX. 1.	Collaboration avec l'OVSG, l'OVPF et l'IPGP	50
IX. 2.	Collaboration régionale.....	51
IX. 3.	Projet PREST.....	51
	Bibliographie	60

I Présentation de l'observatoire

Contacts

*Observatoire Volcanologique et Sismologique de Martinique – Habitation Blondel –
Morne la rosette, 97250 SAINT-PIERRE – Martinique, FWI*

*Institut de Physique du Globe de Paris - UMS 3454 - 1, rue Jussieu - 75238 Paris
Cedex 05 - France*

Tél + 596 (0) 596 78 41 41

Fax + 596 (0) 596 55 80 80

infos@ovmp.martinique.univ-ag.fr

<http://www.ipgp.fr/fr/ovsm/observatoire-volcanologique-sismologique-de-martinique>

Twitter ObsMartinique – **Facebook** ObsVolcanoSismoMartinique

Citation de ce rapport

Rapport d'activité 2020 de l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Martinique, Institut de Physique du Globe de Paris, octobre 2021. F.R. Fontaine, J. Corbeau et l'équipe de l'OVSM.

Remerciements

Nous tenons à remercier la Collectivité Territoriale de Martinique, l'Institut National des Sciences de l'Univers et le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche pour leur soutien financier et logistique.

Ce rapport a été rédigé par F.R. Fontaine, J. Corbeau et toute l'équipe de l'observatoire.

Personnels de l'OVSM au 31 décembre 2020 (7 permanents et 4 CDD)

FABRICE R. FONTAINE	Directeur et responsable scientifique - Géophysique	IPGP/MESR
JORDANE CORBEAU	Post-doctorante - Géophysique	CDD IPGP
JEAN-GILLES GABRIEL	Technicien bâtiment	CTM
FREDERIC JADELUS	Technicien Électronique et Instrumentation	CNRS
ALICE JALTA	Project Manager PREST	CDD IPGP
JEAN-MARC LAVENAIRE	Technicien informatique	CNRS
DAVID MELEZAN	Technicien Électronique et Instrumentation ACMO Hygiène et Sécurité	IPGP/MESR
VALERIE MININ	Agent d'entretien	CDD CTM
BENOIT ZIMMERMANN	Responsable technique - Ingénieur Électronique et Instrumentation	CDD IPGP
SAMANTHA PHEMIUS	Gestionnaire Comptable et Financière	IPGP/MESR
CYRIL VIDAL	Responsable informatique - Ingénieur informatique (Système-réseau)	CNRS

Équipe de direction des Observatoires Volcanologiques et Sismologiques à Paris

MARC CHAUSSIDON	DIRECTEUR DE L'IPGP
ANTOINE CHARLOT	DIRECTEUR GENERAL DES SERVICES
ANNE LEFRIANT	DIRECTRICE-ADJOINTE EN CHARGE DES OBSERVATOIRES
JEAN-CHRISTOPHE KOMOROWSKI	RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DES OBSERVATOIRES VOLCANOLOGIQUES ET SISMOLOGIQUES
ARNAUD LEMARCHAND	RESPONSABLE OPERATIONNEL DES OBSERVATOIRES VOLCANOLOGIQUES ET SISMOLOGIQUES

II Résumé

Activité de la Montagne Pelée

Depuis avril 2019, l'activité sismique est en augmentation. Elle présente à la fois des séismes superficiels et des séismes profonds (environ 15 km de profondeur) sous l'édifice de la Montagne Pelée, avec une intensification des séismes superficiels à partir de novembre 2020 et l'apparition de signaux sismiques de type trémor, hybride et longue période, témoignant de mouvements de fluides en surpression dans des fractures. Une zone de végétation dégradée sur le flanc sud-est de la Montagne Pelée est observée depuis le mois de décembre 2020. Ces observations suggèrent une augmentation de l'activité du système hydrothermal au sein de la Montagne Pelée.

Cependant, nous n'assistons pas :

- À des variations majeures d'autres paramètres géophysiques tels que les déformations à l'échelle du volcan,
- À des variations majeures de paramètres physico-chimiques des sources thermales ni à l'apparition de fumerolles.

Ainsi, sur la base des observations de l'OVSM IPGP enregistrées au cours du mois de novembre 2020 et résumées dans le [communiqué de presse](#) de l'OVSM IPGP du 4 décembre 2020, le niveau d'alerte est passé à **JAUNE=Vigilance depuis le 4 décembre 2020, en accord avec le système de niveaux mis en place avec la Préfecture.**

Activité globale observée	Minimale Niveau de base	En augmentation Variations de quelques paramètres	Fortement augmentée Variations de nombreux paramètres, sismicité fréquemment ressentie	Maximale Sismicité volcanique intense, déformations majeures, explosions
Délais possibles	Siècle(s) / Années	Année(s) / Mois	Mois / Semaines	Imminente / En cours
Décision	OVSM-IPGP		Préfecture	
Niveaux d'alerte	VERT = Pas d'alerte	JAUNE = Vigilance	ORANGE = Pré alerte	ROUGE = Alerte

Communication

Conformément aux bonnes pratiques des observatoires volcanologiques nationaux et internationaux et notamment compte tenu de l'activité sismique soutenue, l'OVSM IPGP publie depuis le 15 décembre 2020 un **bilan hebdomadaire public** succinct de l'activité de la Montagne Pelée en plus de son bulletin mensuel détaillé. L'objectif est de pouvoir apporter une information synthétique et accessible plus fréquente sur l'état d'activité du volcan tant que l'activité le demande et, notamment, en phase de vigilance jaune.

Activité sismique régionale

Concernant l'activité sismique régionale, **1044** séismes d'origine tectonique ont été enregistrés en 2020, parmi lesquels **6 séismes ont été ressentis** en Martinique alors que 5 séismes l'avaient été en 2019. La magnitude la plus élevée pour les séismes tectoniques ressentis en 2020 est celle du séisme du 8 janvier, avec une valeur calculée de 5.1.

Instrumentation

Le système de détection des lahars de la Rivière du Prêcheur a été amélioré au cours de l'année 2020. Le début de la modernisation du réseau sismologique de la Montagne Pelée a également débuté en septembre 2020.

Personnel

Fabrice R. Fontaine, directeur et responsable scientifique de l'OVSM, a pris ses fonctions le 1^{er} septembre 2020 en remplacement de Anne-Marie Lejeune. Il assure le pilotage du projet Interreg V Caraïbes PREST (Plateforme Régionale de Surveillance Tellurique).

Jordane Corbeau, post-doctorante dans le cadre du projet Interreg V Caraïbe PREST, a été récompensée par le prix *Jeunes Talents France 2020* du programme international "Pour les Femmes et la Science" de la fondation L'Oréal-UNESCO.

Conventions

Une convention de mise à disposition du nouveau bâtiment de l'observatoire a été signée entre la CTM et l'IPGP.

Une convention relative à l'amélioration du système d'alerte lahars de la rivière du Prêcheur a été signée en décembre 2020 entre la mairie du Prêcheur et l'IPGP.

Divers

Concernant la pandémie associée au COVID-19, aucun membre de l'OVSM-IPGP n'a été contaminé par la COVID-19, et un protocole strict a été suivi afin d'éviter toute contamination. Cependant, certaines interventions ont dû être repoussées en raison de la crise sanitaire, et la campagne de mesures de GNSS de répétition n'a pas pu se faire en 2020.

III Introduction

Dès 1902, Alfred Lacroix, Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle, fit établir un observatoire volcanologique sur un piton dépendant du Morne des Cadets, sur le territoire de la commune de Fonds Saint-Denis. Un second poste d'observation fut installé à Assier au Nord du Lorrain. Alfred Lacroix prit la responsabilité de la coordination des observations. L'observatoire, faute de moyens, n'était plus opérationnel quand survint l'éruption de 1929. Ce n'est qu'en 1935, suite aux crédits dégagés par la « contribution nationale », qu'un observatoire moderne fut érigé sur le Morne Moustin, proche de l'ancien observatoire. Il était alors sous la responsabilité du Service Météorologique et de Physique du Globe. C'est en 1946 que la mission de surveillance du volcan fut confiée à l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). En 1985, dans le cadre des lois de décentralisation, le bâtiment qui abrite l'observatoire passe sous compétence du département de la Martinique. En 2006, le nom actuel d'*Observatoire Volcanologique et Sismologique de la Martinique* est adopté et remplace celui d'Observatoire du Morne des Cadets sous lequel il est encore parfois cité.

La nouvelle collectivité unique de Martinique, la *Collectivité Territoriale de Martinique* (CTM) a vu le jour le 1^{er} janvier 2016. Un nouveau bâtiment, situé sur le Morne Rosette à Saint-Pierre, a été mis à disposition du personnel de l'OVSM IPGP et inauguré en décembre 2019. Les missions qui sont confiées à l'IPGP et à son *Observatoire Volcanologique et Sismologique de Martinique* (OVSM) sont les suivantes :

- ❖ Observation et surveillance du volcan actif de la Montagne Pelée ;
- ❖ Observation et analyse de la sismicité locale et régionale ;
- ❖ Participation à l'alerte montante du système d'alerte aux tsunamis, qui est coordonnée à l'échelle de la Caraïbe par l'Unesco ;
- ❖ Maintenance du système de détection automatique de lahars de la rivière du Prêcheur ;
- ❖ Information des autorités responsables de la protection des personnes et des biens ;
- ❖ Participation à des travaux de recherche fondamentale et appliquée dans le domaine des Sciences de la Terre, en géophysique, géologie, et géochimie ;
- ❖ Information préventive et divulgation des connaissances dans les domaines du risque volcanique, du risque sismique, et des risques liés aux tsunamis ;
- ❖ Coopération avec la Collectivité Territoriale de Martinique et les organismes régionaux : Université des Antilles – UA ; Seismic Research Centre – SRC à Trinité et Tobago ; Observatoire Volcanologique de Montserrat – MVO ; Bureau des Mines et de l'Energie – BME en Haïti ; Centro Nacional de Investigacion Sismica – CENAIIS à Cuba ; Bureau de Recherche Géologique et Minière – BRGM, Institut de Recherche pour le Développement -IRD, etc. ;
- ❖ Collaboration étroite et permanente avec l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe – OVSG, et l'Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise qui, comme lui, sont des observatoires de l'IPGP.

Tous ces travaux sont effectués avec des chercheurs de l'Institut de Physique du Globe de Paris et en collaboration avec des chercheurs d'autres instituts de recherche. L'observatoire est aussi une structure d'accueil pour des scientifiques français ou étrangers qui viennent effectuer des travaux sur la Montagne Pelée et la région Caraïbe.

Le financement des activités de recherche et de surveillance est assuré par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU, institut sous la double tutelle du ministère chargé de l'enseignement supérieur et du CNRS), par la Collectivité Territoriale de Martinique à laquelle l'IPGP est lié depuis 1985 par une convention et par des projets nationaux, européens et internationaux déposés par les

chercheurs de l'OVSM IPGP. Une convention de mise à disposition du nouveau bâtiment de l'observatoire a été signée en décembre 2020 entre la CTM et l'IPGP.

Des conventions sont par ailleurs établies avec plusieurs autres organismes, tels que :

- ❖ L'UA et le BRGM, pour la mise en place du Centre de Données Sismologiques des Antilles (CDSA). Une convention cadre a également été signée en janvier 2019 entre le BRGM et l'IPGP ;
- ❖ Le Groupement d'Intérêt Scientifique RAP, pour la maintenance et l'exploitation de stations accélérométriques ;
- ❖ Le CEA, pour la maintenance d'une station de mesure hydroacoustique à Sainte-Anne ;
- ❖ La mairie du Prêcheur, pour la maintenance du système de détection automatique des lahars dans la rivière du Prêcheur. Une convention relative à l'amélioration du système d'alerte lahars de la rivière du Prêcheur a été signée en décembre 2020 entre la mairie du Prêcheur et l'IPGP ;
- ❖ La CTM, pour l'enregistrement de l'accélération du sol lors de séismes ressentis au niveau du barrage de la Manzo ;
- ❖ TDF pour les équipements TDF installés sur le terrain de l'ancien observatoire magnétique et les antennes de radiocommunication de l'observatoire installées sur trois pylônes TDF ;
- ❖ Le Service d'Infrastructure de la Défense, les Forces Aériennes des Antilles, la DDE, l'ONF et des propriétaires privés pour l'hébergement de stations sismologiques sur leurs sites ;
- ❖ L'ADRASEC et le Service de Protection Civile de la Préfecture pour la mise à disposition gratuite d'un espace pour leurs relais de radio-transmission ;
- ❖ METEOFRANCE pour l'hébergement sur le terrain de l'observatoire d'une station météorologique et pour la mise à disposition d'un appareil photo numérique ayant vocation à mettre en ligne des prises de vue de la Montagne Pelée ;
- ❖ L'INRAP, pour la collaboration scientifique pour la recherche chronostratigraphique sur les Antilles françaises.

V Activité de la Montagne Pelée

V. 1. Introduction

La Montagne Pelée est un stratovolcan situé dans la partie nord de l'île de la Martinique. Cette île de l'arc insulaire des Petites Antilles résulte du plongement de la plaque Sud-Américaine sous la plaque Caraïbe. Le début d'activité de ce volcan est daté à environ 550 000 ans, et 55 éruptions ont eu lieu lors des 25 000 dernières années (Boudon et Balcone-Boissard, 2021).

Les 4 dernières périodes éruptives de la Montagne Pelée sont les suivantes :

- ❖ L'éruption phréatique (sans apport de magma) du 22 janvier 1792 avec des explosions ;
- ❖ L'éruption phréatique de 1851, qui a débuté le 5 août 1851, a produit au moins 3 explosions (5 août, 9 août, et fin octobre) et a engendré des retombées de cendres sur les villes du Prêcheur, de Saint-Pierre et du Morne Rouge ;
- ❖ L'éruption magmatique de 1902-1905, avec la mise en place d'un dôme de lave, d'une explosion latérale dirigée du dôme et la mise en place d'écoulements pyroclastiques denses et turbulents connus sous le nom de « nuées ardentes ». Une soixantaine de nuées ardentes se produisent. Celle du 8 mai 1902 détruit la ville de Saint-Pierre et celle du 30 août 1902 ravage le Morne Rouge. Cette éruption cause environ 29000 victimes. Une explosion est entendue à plus de 1000 km ;
- ❖ L'éruption magmatique de 1929-1932, avec des nuées ardentes d'avalanches dans la rivière Blanche et la rivière Claire.

V. 2. Activité sismique de la Montagne Pelée

Un exemple de séismes de type volcano-tectonique (événements caractérisés par un signal contenant des hautes fréquences jusqu'à plus de 15 Hz, et qui sont associés à des processus de microfracturation dans l'édifice volcanique), aussi appelé VT, est représenté à la **Figure 1**.

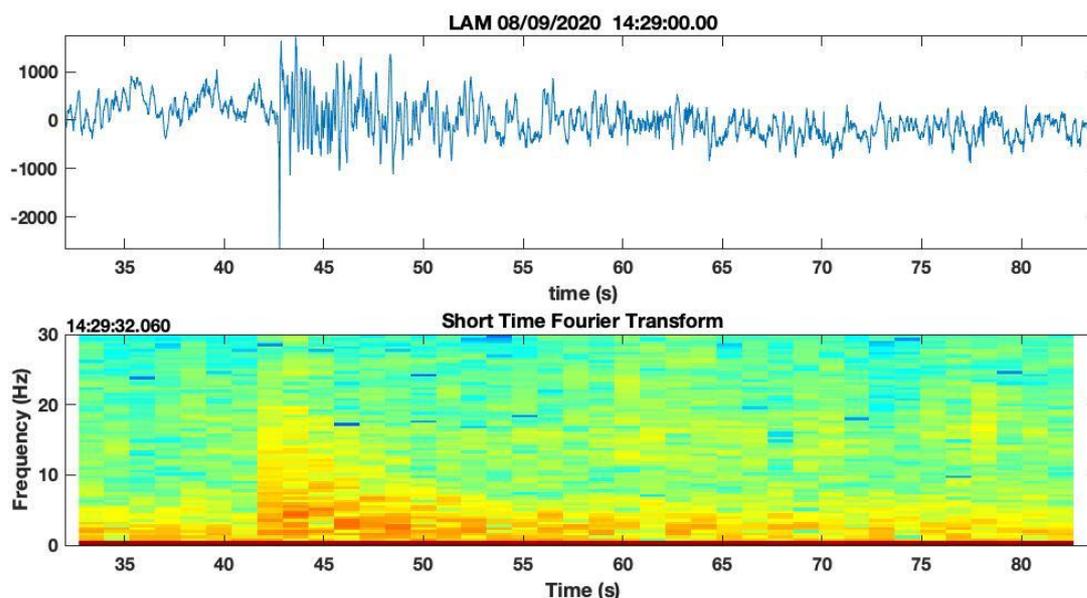


Figure 1. (Haut) Exemple de sismogramme d'un séisme de type VT de type 1 enregistré le 8 septembre 2020 à 14h29 (TU) au niveau de la station large bande LAM installée sur la Montagne Pelée depuis fin 2005. L'axe vertical représente la vitesse de déplacement du sol (en counts) selon la direction verticale. (Bas) Spectrogramme.

Boudon et al. (2005) indiquent une crise sismique de 55 événements en 6 jours entre octobre et novembre 1980. Cette crise est corrélée à un important glissement de terrain se produisant en amont de la Rivière du Prêcheur et à des coulées de boue.

De décembre 1985 à juin 1986, une seconde crise sismique avec des séismes de type VT provenant d'une source peu profonde est détectée (Hirn et al., 1987) au niveau de la Montagne Pelée. La détection de ces séismes fut possible grâce au déploiement de sismomètres sur le volcan. La présence dans les sismogrammes de 1976 de séismes similaires est suggérée par Hirn et al., (1987).

Les séismes VT observés depuis 1976 (**Figure 2**) sont observés encore aujourd'hui avec le réseau sismique de l'OVSM IPGP (**Figure 1**). Ils forment un type de séisme VT appelé VT de type 1 par la suite dans le texte. Il est intéressant de noter la similarité des enregistrements présentés aux **Figures 1** (2020) et **2** (1985 et 1986).

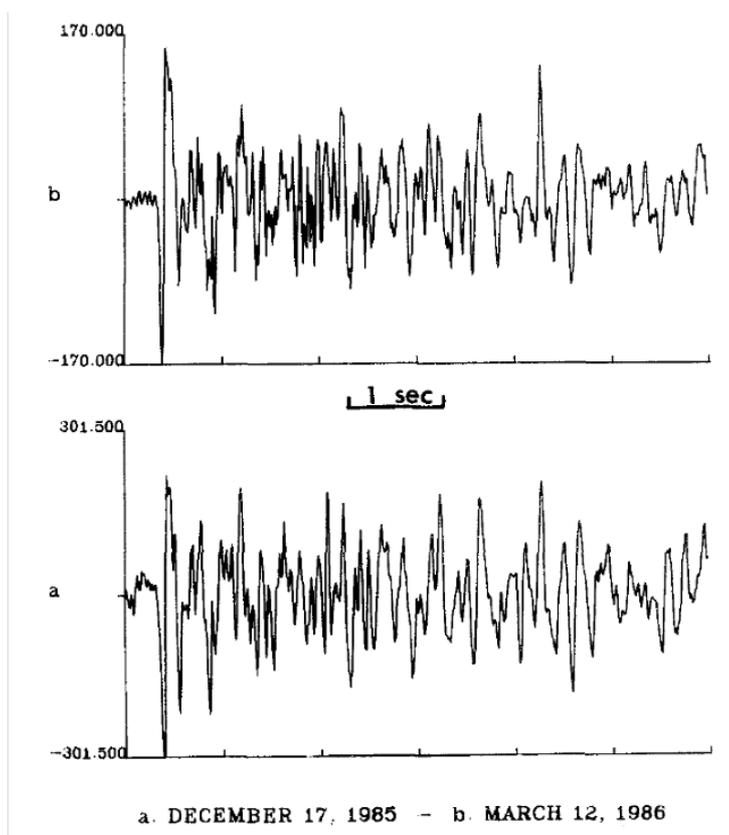


Figure 2. Sismogrammes de deux séismes VT de type 1 enregistrés le 17 décembre 1985 et le 12 mars 1986 à la station sismique LAM située au Morne La Croix au niveau de la Montagne Pelée. D'après Hirn et al. (1987). L'axe vertical représente la vitesse de déplacement du sol selon la direction verticale.

La sismicité enregistrée par les réseaux de surveillance entre le 1^{er} janvier 1999 et le 1^{er} janvier 2020 est généralement faible, avec une valeur médiane de 27 tremblements de terre par an (**Figure 3**). Nous remarquons la présence d'un essaim de sismicité en 2014 à la suite d'un séisme d'origine tectonique de magnitude 6.5, largement ressenti en Martinique (intensité atteignant IV-V), ayant eu lieu le 18 février 2014 à 9h27 (TU) et à 210 km à l'est de la Martinique. Cet essaim de séismes de type VT pourrait être en grande partie associé à ce fort séisme tectonique et ses répliques.

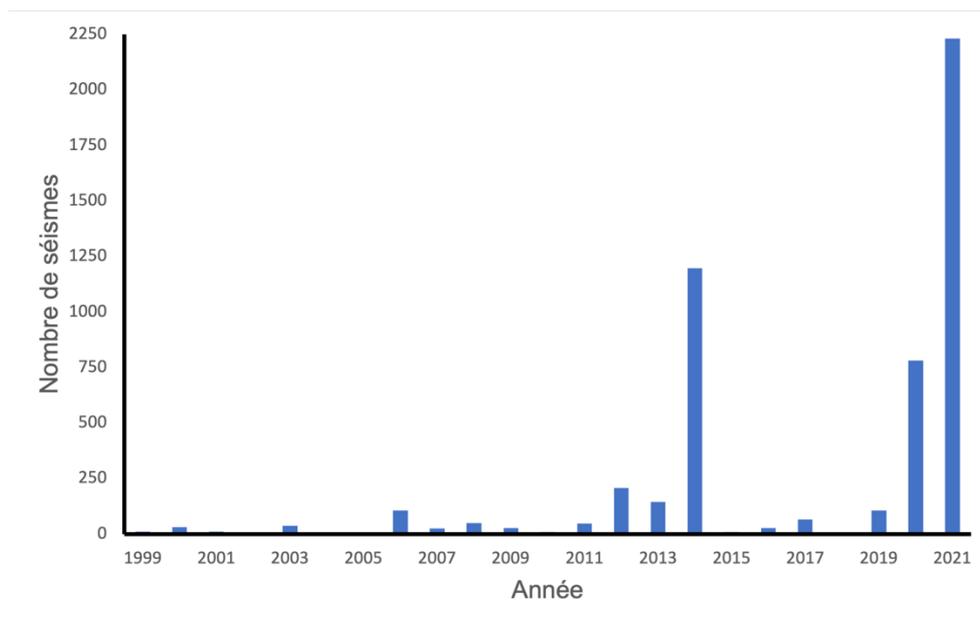


Figure 3. Évolution du nombre quotidien de tremblements de terre de type volcano-tectoniques (VT) enregistrés à l’OVSM IPGP du 1^{er} janvier 1999 au 18 octobre 2021.

La **Figure 4** montre l’évolution du nombre cumulé de séismes de type VT depuis le début du mois de janvier 2014. Grâce à l’utilisation depuis la mi-2020 d’un traitement automatique précis des données sismiques, nous avons pu vérifier et confirmer la présence de ces événements. Alors que peu de séismes de type volcano-tectonique sont observés entre le 1^{er} janvier 2015 et le 1^{er} avril 2019, une augmentation est constatée à partir d’avril 2019 et le taux de sismicité augmente plus fortement à partir de novembre 2019 (**Figure 5**). Une analyse fine de la sismicité depuis 2014 avec deux approches complémentaires (détections automatiques et manuelles) montre qu’entre le 1^{er} janvier 2015 et le 1^{er} avril 2019 le niveau de base de la sismicité de type VT était de 24 séismes par an, soit 2 séismes par mois avec un écart-type de 6. En avril 2019, 34 séismes de type VT sont détectés.

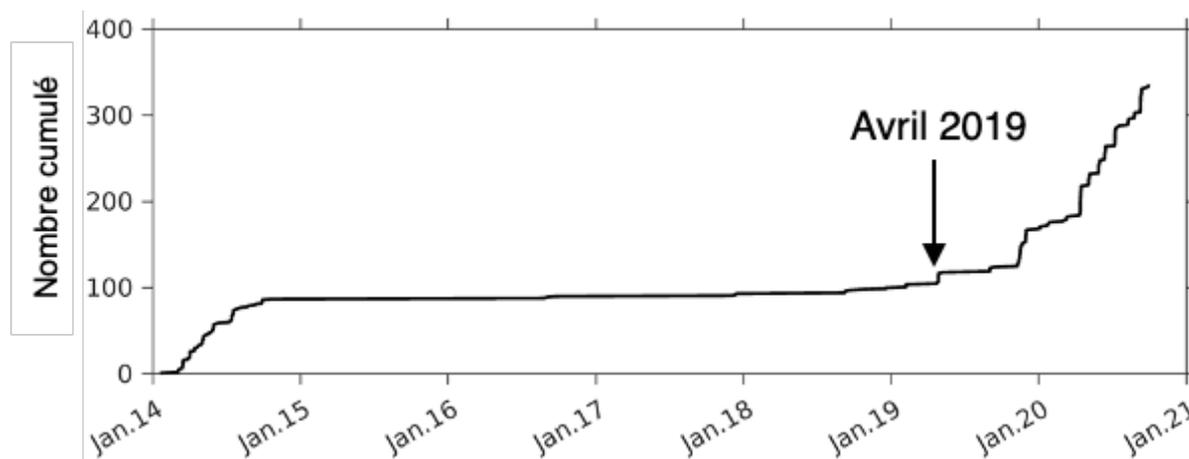


Figure 4. Augmentation du nombre cumulé par jour de séismes VT de type 1 observée à partir d’une recherche automatique des séismes VT détectés à la station sismique LAM depuis janvier 2014. L’analyse se porte sur une catégorie spécifique de séismes de type VT (un même séisme qui se répète dans le temps), et qui traduit bien la tendance de l’activité globale de la Montagne Pelée. Traitement des données : A. Burtin (IPGP).

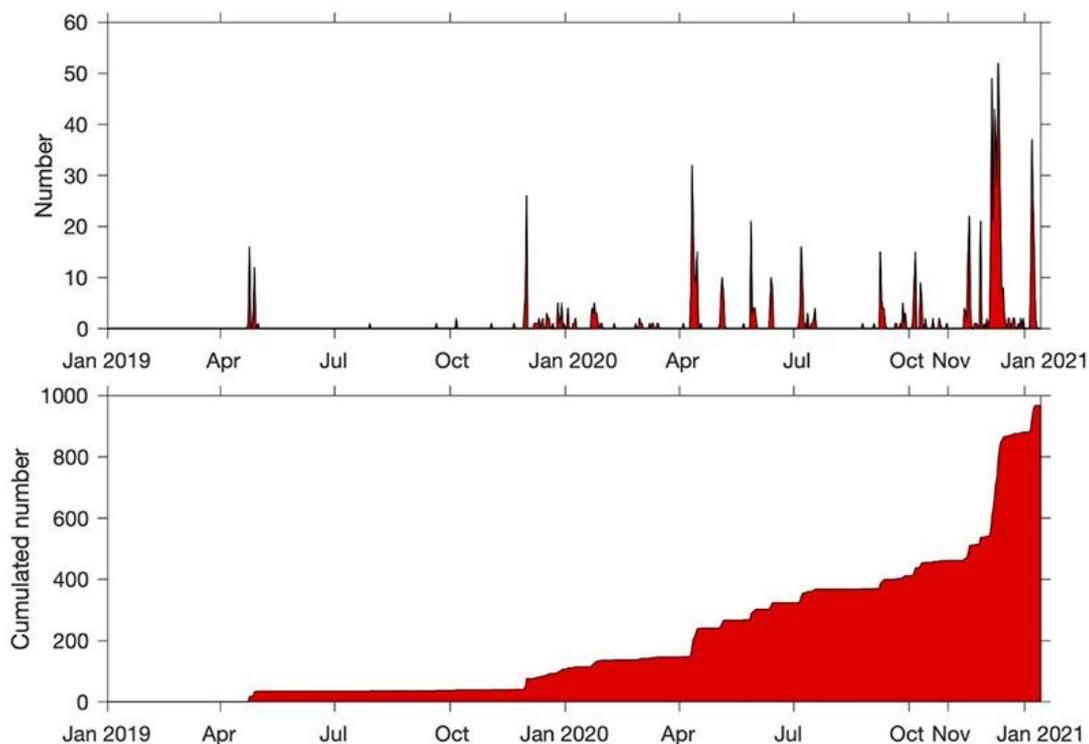


Figure 5. Graphiques montrant le nombre quotidien de tremblements de terre volcano-tectoniques (VT) enregistrés (en haut) et le nombre cumulé de tremblements de terre VT (en bas) du 1er janvier 2019 au 14 janvier 2021 au niveau de la Montagne Pelée. Les tremblements de terre VT proviennent du catalogue manuel de l’OVSM IPGP (ws.ipgp.fr/fdsnws/event, <https://doi.org/10.18715/MARTINIQUE.OVSM>).

Une sismicité volcanique accrue est observée à partir d’avril 2019 et est située à 4-5 km en dessous du sommet (**Figure 6**). Une plus forte augmentation est enregistrée entre le 2 et le 15 décembre 2020 avec 316 tremblements de terre VT au cours de cette période.

Au cours de l’année 2020, l’OVSM IPGP a détecté au moins **793 séismes de type volcano-tectonique** (VT), événements caractérisés par un signal contenant des hautes fréquences et associés à des processus de micro-fracturation dans l’édifice volcanique. Ces séismes, de magnitude inférieure à 2.1, n’ont pas été ressentis par la population. Certains de ces événements ne sont pas localisables étant donné leur faible amplitude. Parmi ces 793 VT, **257 ont été localisés** sous la Montagne Pelée entre 7.0 km de profondeur et la surface. La **Figure 6** montre la localisation de ces séismes pour les 5 derniers mois de l’année 2020.

Sismicité profonde sous la Montagne Pelée et à sa proximité

Nous constatons l’apparition depuis avril 2019 d’une sismicité d’origine volcanique en profondeur (localisée entre 13 ± 2 et 18 ± 4 km sous le niveau de la mer) sous la Montagne Pelée (**Figures 7 et 8**). Ce type de sismicité n’a pas été observé entre janvier 2014 et mars 2019.

Ces séismes profonds ont une signature spectrale différente des séismes VT de type 1 observés depuis 1986 (Hirn *et al.*, 1987). Le retard observé entre l’arrivée de l’onde P et celle de l’onde S est d’environ 2.5 s pour l’exemple du séisme du 8 avril 2019 (**Figure 7**), et la profondeur de la source de ce type de séismes est distincte de celle des séismes VT de type 1 qui sont eux situés jusqu’à 3-4 km de profondeur sous le niveau de la mer.

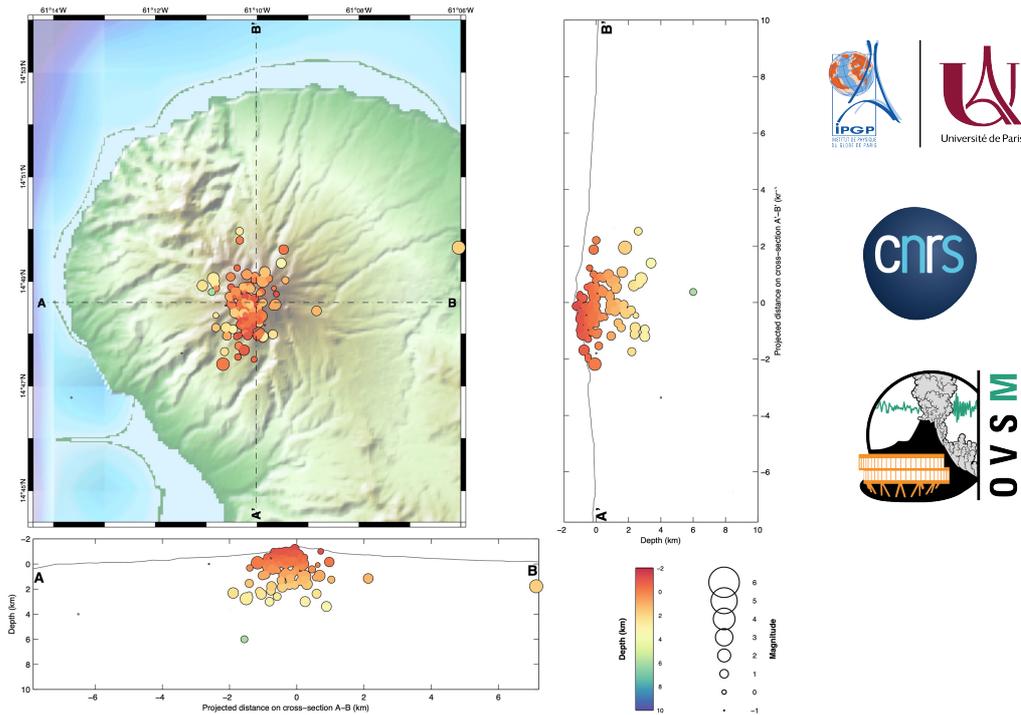


Figure 6. Carte de localisation et coupes nord-sud et est-ouest (montrant la localisation en profondeur des hypocentres) de la sismicité de la Montagne Pelée du 1^{er} septembre au 1^{er} janvier 2021.

VT event 2019-04-08 at 22:15:00

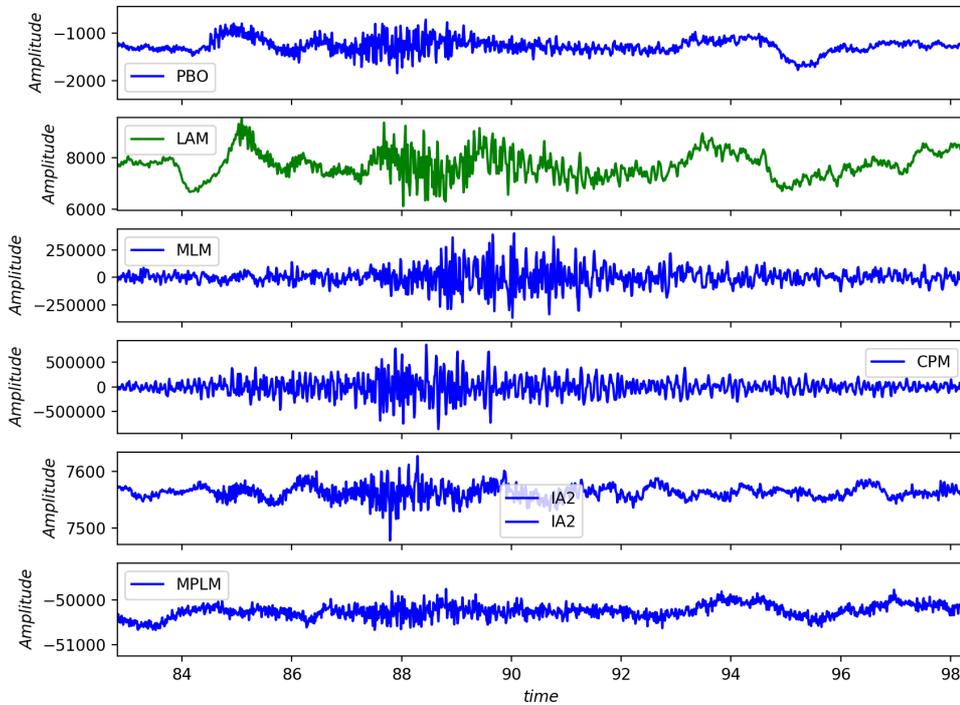


Figure 7. Sismogrammes de la composante verticale de stations sismiques du réseau de l'OVSM IPGP lors du premier séisme profond détecté en avril 2019. Ce séisme d'avril 2019 est localisé à 13 ± 2 km de profondeur sous le niveau de la mer. Les stations qui sont utilisées sont situées sur la Montagne Pelée.

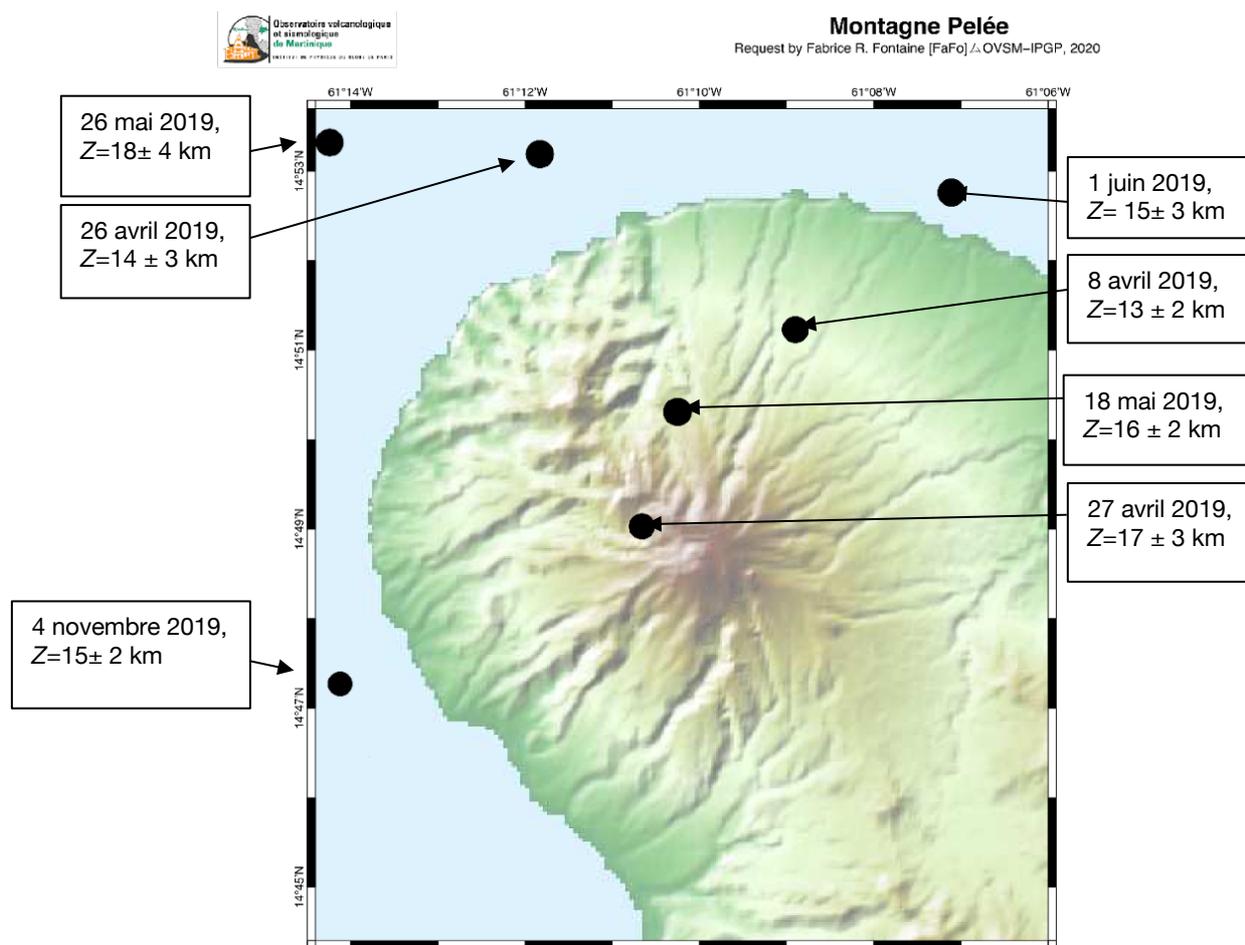


Figure 8. Localisation de la sismicité profonde sous la Montagne Pelée ou à proximité. La période considérée pour la représentation s’étend du 1^{er} avril 2019 au 1^{er} novembre 2020. La profondeur notée Z de la source de chacun des séismes profonds est donnée par rapport au niveau de la mer.

Observations de signaux sismiques de type trémor harmonique depuis début novembre 2020

Un nouveau type de signal a été détecté manuellement à l’OVSM IPGP le 9 novembre 2020 entre 5h54 et 7h53 (TU). L’analyse spectrale de ces signaux montre qu’ils pourraient correspondre à un trémor de type harmonique (oscillation sismique continue pendant une longue durée de temps et recoupant un large domaine fréquentiel), enregistré uniquement par des stations de la Montagne Pelée (MLM, MPLM, IA2, PBO et GBM). La **Figure 9** présente les caractéristiques de ce type d’événement enregistré à la station MLM. Une recherche automatique du même type de signaux a mis en évidence des signaux similaires le 8 novembre entre 20h00 (TU) et le 9 novembre 2020 09h00 (TU). Au total, entre le 8 et le 9 novembre, ce sont au moins 159 signaux individuels distribués en deux périodes de 2 à 4 heures qui ont été identifiés (**Figure 10**). Les signaux arrivent d’abord à la station MLM, puis à IA2 et à MPLM (**Figure 11**). Cela suggère que la source de ces signaux est située approximativement entre ces trois stations. L’amplitude plus forte observée à MLM montre que la source serait plus proche de cette station (**Figure 11**).

Une source anthropique (présence d’une carrière) ou des éboulements et glissements de terrain ne pourraient pas générer les signaux observés étant donné leurs caractéristiques sismiques. On voit d’ailleurs sur la **Figure 10** que ces signaux sont présents en dehors des horaires d’activité de la carrière qui elle génère des signaux caractéristiques. De plus, la procédure de détection automatique a une forte résolution et permet de distinguer des signaux volcaniques de type trémor même pendant les périodes d’activité anthropique.

La localisation de la source pourrait correspondre à une zone où se situe en surface l’exurgence des sources chaudes du système hydrothermal de la Montagne Pelée. En outre, l’éruption phréatique d’août 1851 a aussi débuté dans cette zone (en amont de la rivière Claire).

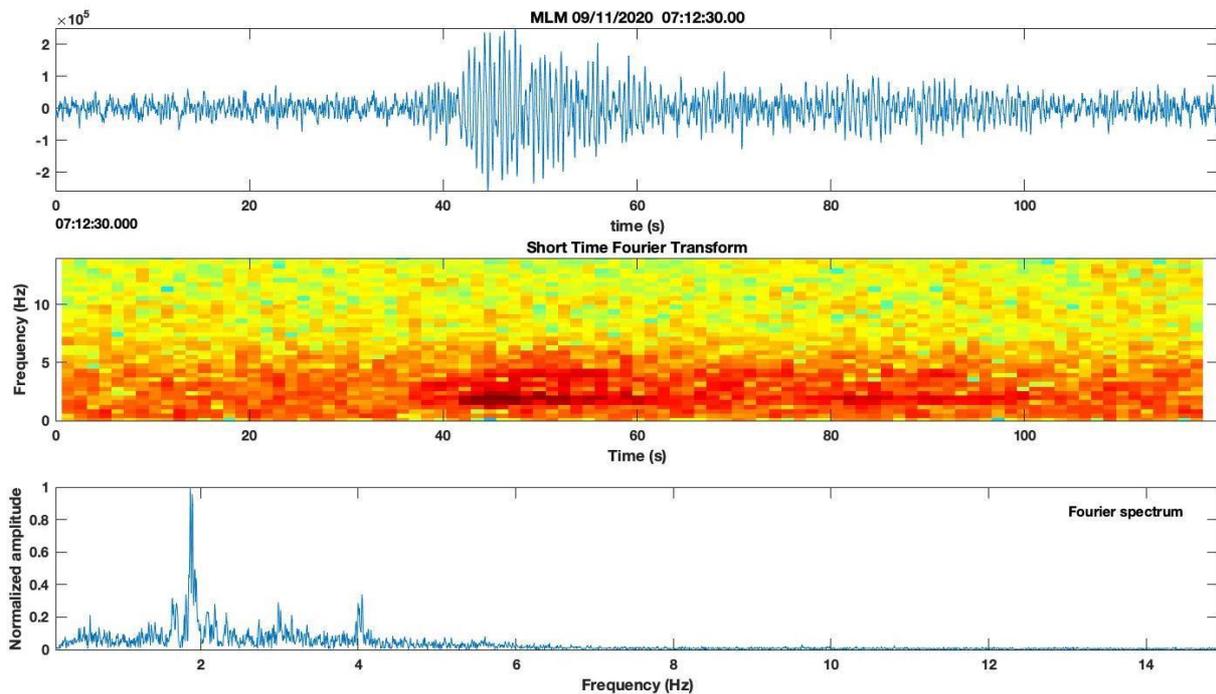


Figure 9. (Haut) Sismogramme de la composante verticale de la station MLM. Le spectrogramme (milieu) et l’amplitude spectrale (bas) montrent clairement la présence d’un pic de basses fréquences à environ 1.8 Hz et la présence d’une harmonique.

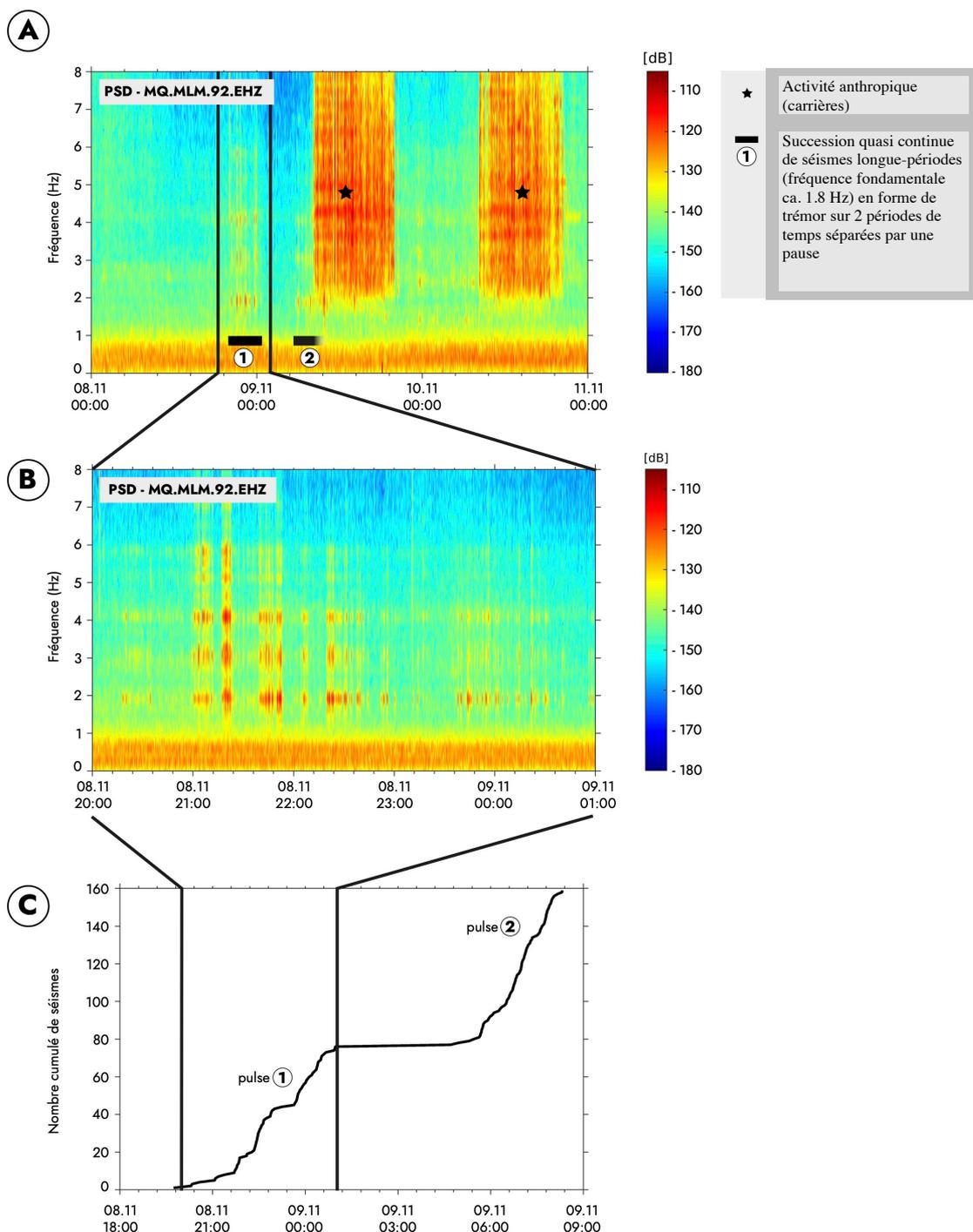


Figure 10. Observations de 159 signaux comparables le 8 et le 9 novembre 2020. (Haut) Spectrogramme du 8 au 11 novembre 2020. (Milieu) Zoom du spectrogramme montrant la présence d’harmoniques à la station MLM. (Bas) Résultat d’une détection automatique du même type de signaux sismiques entre le 8 et le 9 novembre 2020.

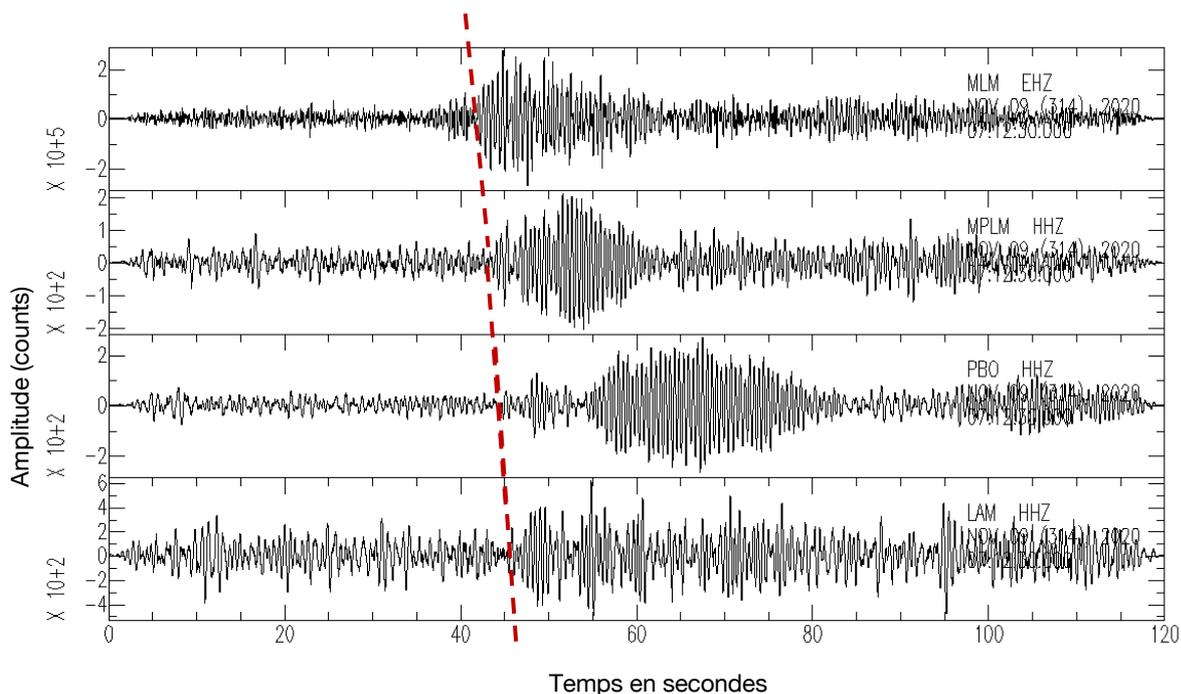


Figure 11. Sismogrammes observés pour un profil de stations sismiques installées sur la Montagne Pelée. Les signaux sont filtrés entre 1 et 11 Hz. Le signal arrive successivement à MLM, puis à MPLM, puis à PBO et enfin à GBM. Le tireté permet de suivre le début du signal à chaque station.

Le nombre de séismes de type LP, hybrides et de signaux de type trémor détectés lors des deux derniers mois de l’année 2020 est présenté dans le tableau suivant :

Nombre de séismes	Novembre 2020	Décembre 2020
Volcano-tectonique	78	342
Longue période	-	8
Hybride	-	3
Trémor	2	3

Tableau 1. Répartition des types de signaux sismiques séismes de type LP, hybrides et trémors détectés par l’OVSM-IPGP au cours de l’année 2020.

V. 3. Phénoménologie

Une zone de végétation dégradée a été identifiée sur le flanc sud-ouest de la montagne Pelée (visible à l'œil nu, **Figure 12**), entre la haute Rivière Claire et la rivière Chaude, au-dessus de leur confluence, au nord-est des Sources Chaudes de la Rivière Chaude. Un survol réalisé le 29 décembre 2020 avec l'hélicoptère de la Sécurité Civile a permis de confirmer que ces observations ne sont pas compatibles avec des dégâts causés par du bétail sauvage : troncs d'arbres et de fougères sans tête, défoliés ou abattus, herbes et buissons jaunis secs en hauteur, pliés ou couchés. L'analyse des images satellitales montre que cette dégradation de la végétation est apparue entre la fin novembre 2019 et le début de l'année 2020 (**Figure 13**), et qu'elle est organisée le long d'une direction subparallèle aux structures volcano-tectoniques connues dans la zone. En outre, elle est située dans la zone à proximité des cratères des éruptions phréatiques historiques de 1792 et 1851. Cette zone de végétation dégradée est située à moins de 200 m de la rivière Claire où des émanations d'hydrogène sulfuré (H_2S , odeur d'œuf pourri) sont aussi décrites dans la littérature scientifique depuis plusieurs années à proximité de sources thermales qui proviennent du système hydrothermal de la Montagne Pelée.

Ce dépérissement de la végétation pourrait résulter d'un processus d'émanation diffuse de CO_2 à travers le sol. Des prélèvements et analyses géochimiques sont programmés pour quantifier ces émanations.

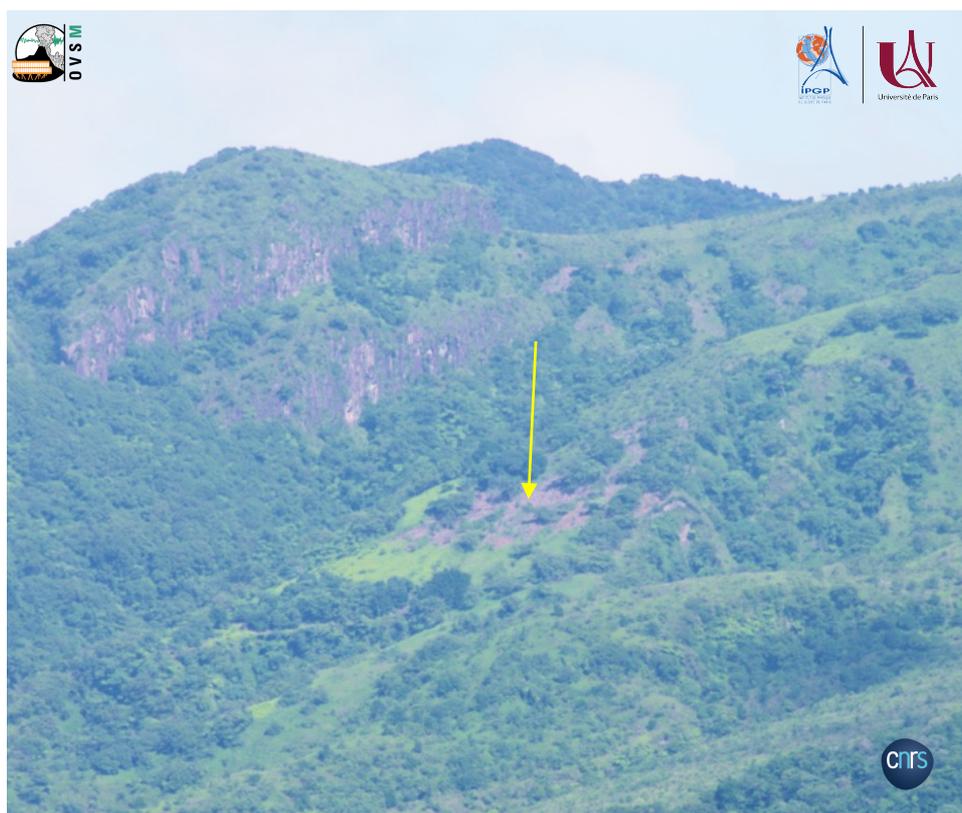


Figure 12. Zone de dépérissement de la végétation vue depuis l'OVSM IPGP à Saint-Pierre le 28/12/2020.

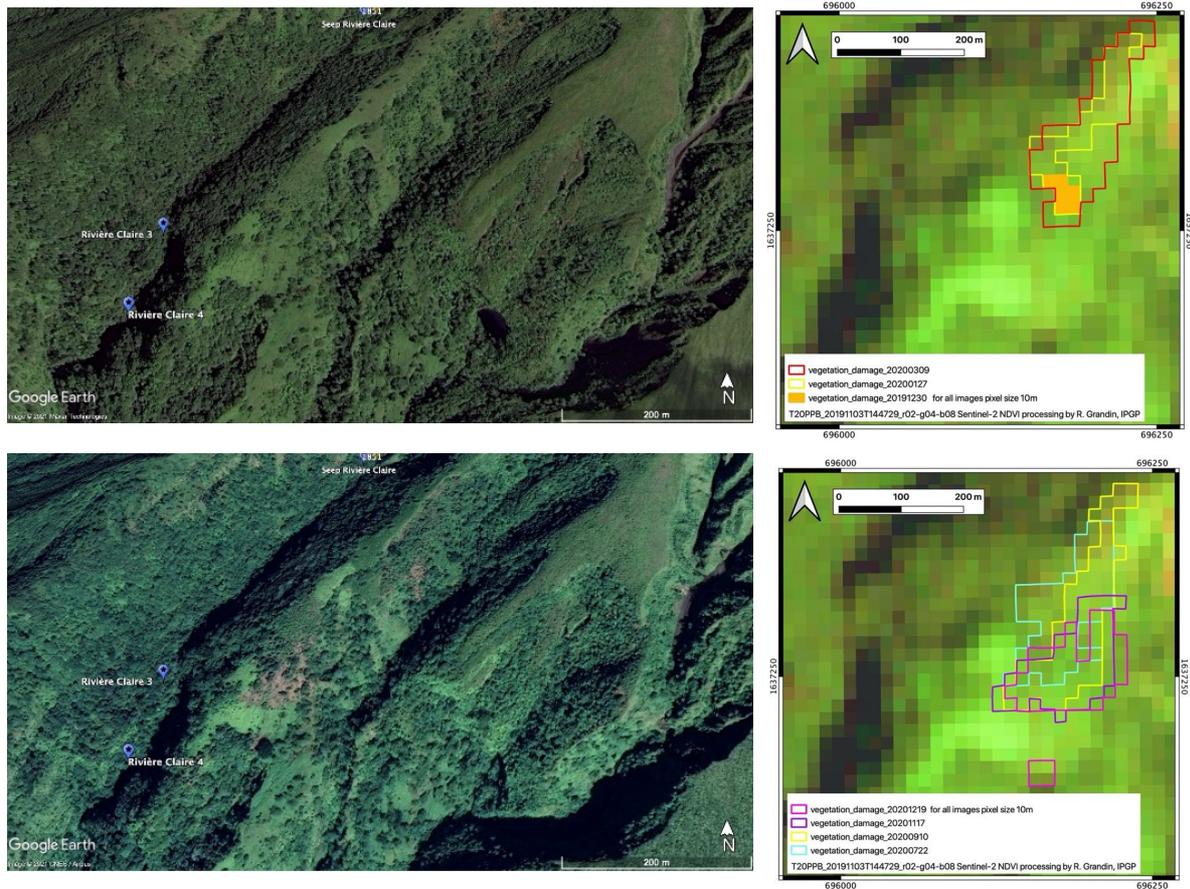


Figure 13. Zone principale de végétation détériorée. Haut à gauche : 3 mars 2017. Bas à gauche : 31 décembre 2020. Source Google Earth. A droite : Cartographie sur des images Sentinel-2 du NDVI (Indice de végétation par différence normalisée). Source des images : CNES, taille des pixels : 10 m. Traitement des images Sentinel-2 et SIG : R. Grandin et J.-C. Komorowski (IPGP).

Le système hydrothermal actif de la Montagne Pelée est caractérisé par plusieurs sources chaudes, dont la source de chaleur serait située dans le cas de Source Chaude à moins d'un kilomètre de profondeur et dont la température pourrait atteindre 180-200°C selon les données de 2014. Cette source de chaleur serait elle-même connectée à une source de chaleur plus profonde associée à un système de stockage et de recharge magmatique. Une circulation d'eau d'amont en aval est proposée depuis Source Chaude jusqu'aux sources situées à proximité de la mer telles que Puits Chaud et les sources chaudes situées en mer (**Figure 14**).

Le trémor harmonique du mois de novembre 2020 est apparu lors d'une période de fortes pluies au niveau de la Martinique. Des travaux de recherche sont nécessaires pour évaluer l'influence potentielle des fortes précipitations sur le système hydrothermal actif de l'édifice volcanique.

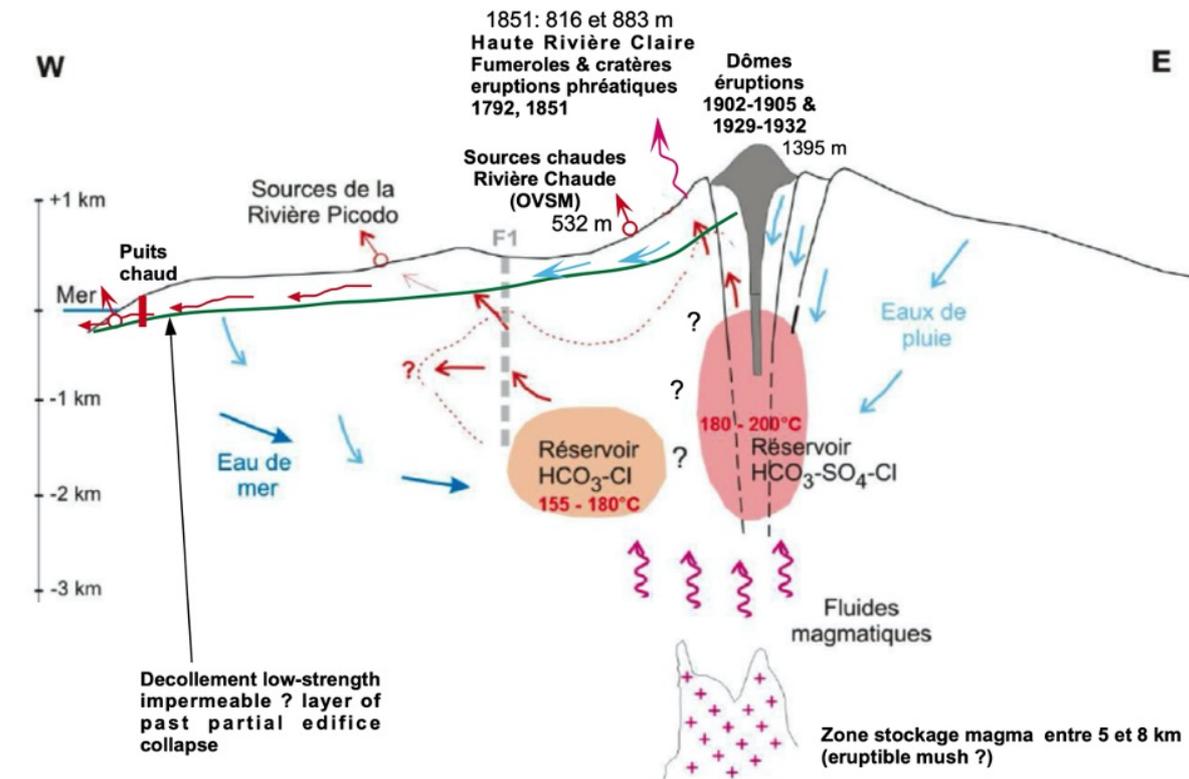


Figure 14. Schéma conceptuel du système géothermal de la Montagne Pelée. D'après Gadhia et al. (2014). Modifié par Komorowski (2020).

V. 4. Déformation de la Montagne Pelée

GPS Permanents et de répétition

Lors de la dernière année, le réseau de capteurs GPS ne montre pas de déformation significative de l'édifice de la Montagne Pelée associée à une intrusion ou au déplacement de magma en profondeur (Figure 15).

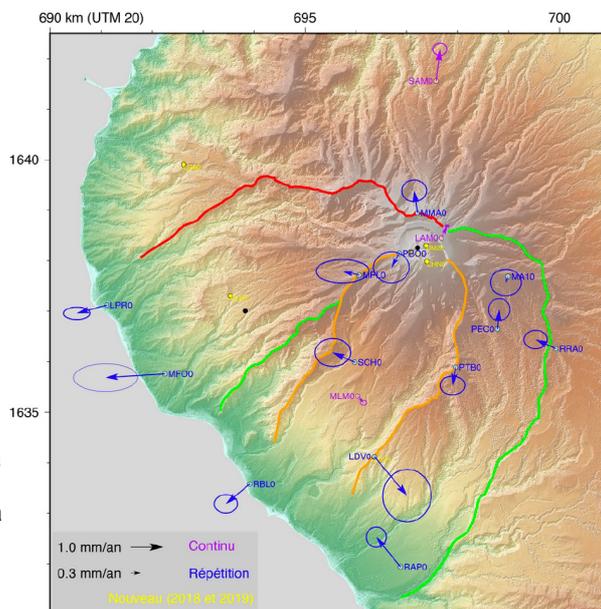


Figure 15. Mesures de la déformation à l'échelle de la suite aux campagnes de répétitions de 2018 et Chabalier). La campagne de mesures de répétition n'a en 2020 en raison de la crise sanitaire.

Inclinométrie

La variation de l'inclinaison mesurée à 30 m de profondeur au niveau du forage situé à Ajoupa Bouillon est représentée à la **Figure 16**. Les mesures des inclinomètres sont affectées par les séismes de forte magnitude. Le télé-séisme du Mexique du 23 juin 2020 (175^{ème} jour de l'année) de magnitude 7.4 est ainsi caractérisé par un saut au niveau des composantes E-W et N-S. Aucune donnée n'est disponible du 7 octobre au 10 décembre 2020. La température est aussi représentée pour comparaison car les variations d'inclinaison sont aussi sensibles aux changements de pression atmosphérique et de température (e.g., Fontaine et al., 2014). La composante E-W est la plus proche de la composante radiale.

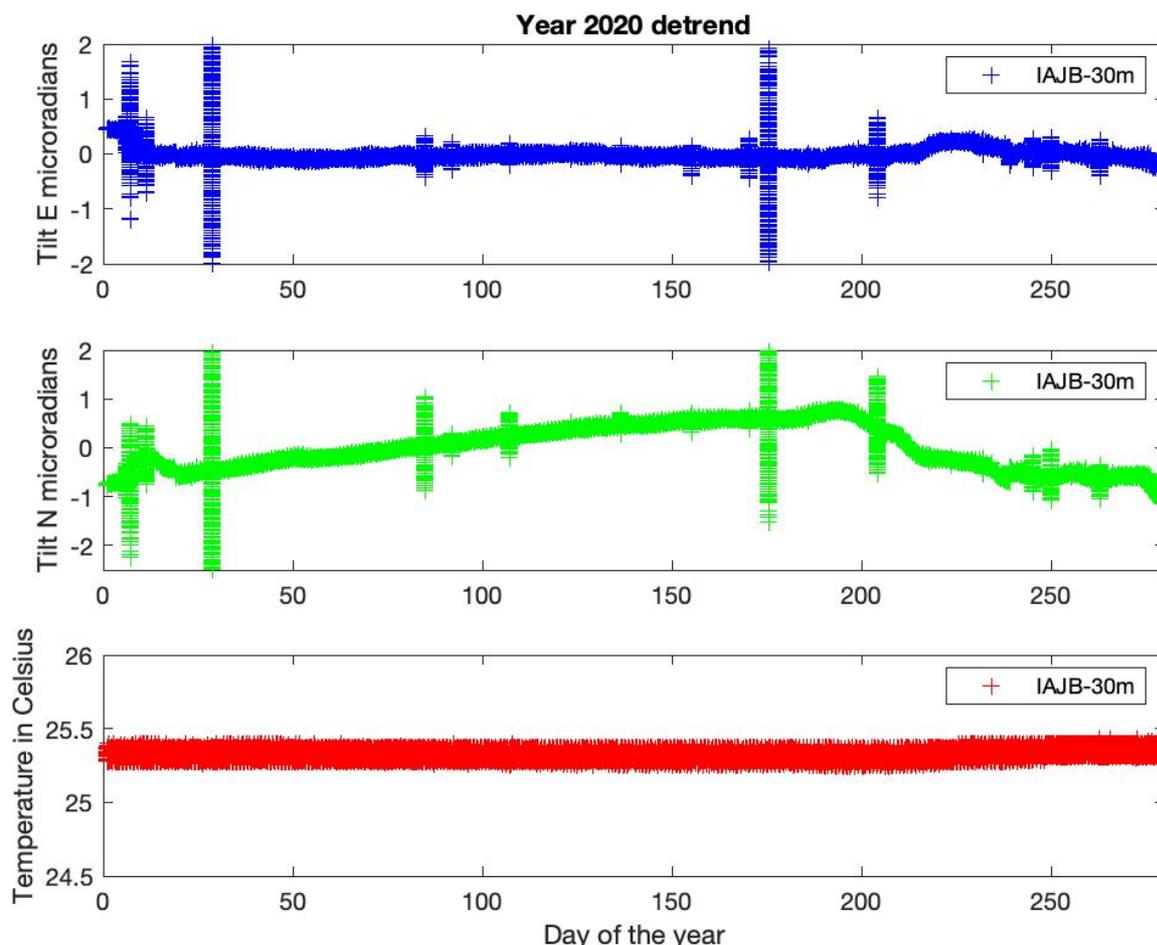


Figure 16. Variation de l'inclinaison du 1^{er} janvier 2020 au 6 octobre 2020 au niveau de l'inclinomètre de forage de IAJB à 30 m de profondeur. La température est relativement stable pendant cette période. Traitement des données (normalisation de l'amplitude et correction liée à la dérive temporelle) par F.R. Fontaine.

Le graphique suivant (**Figure 17**) montre l'évolution des mesures d'inclinaison depuis 2017. Les données des inclinomètres ne montrent pas en 2020 de déformation claire de l'édifice de la Montagne Pelée associée à une intrusion ou au déplacement de magma en profondeur.

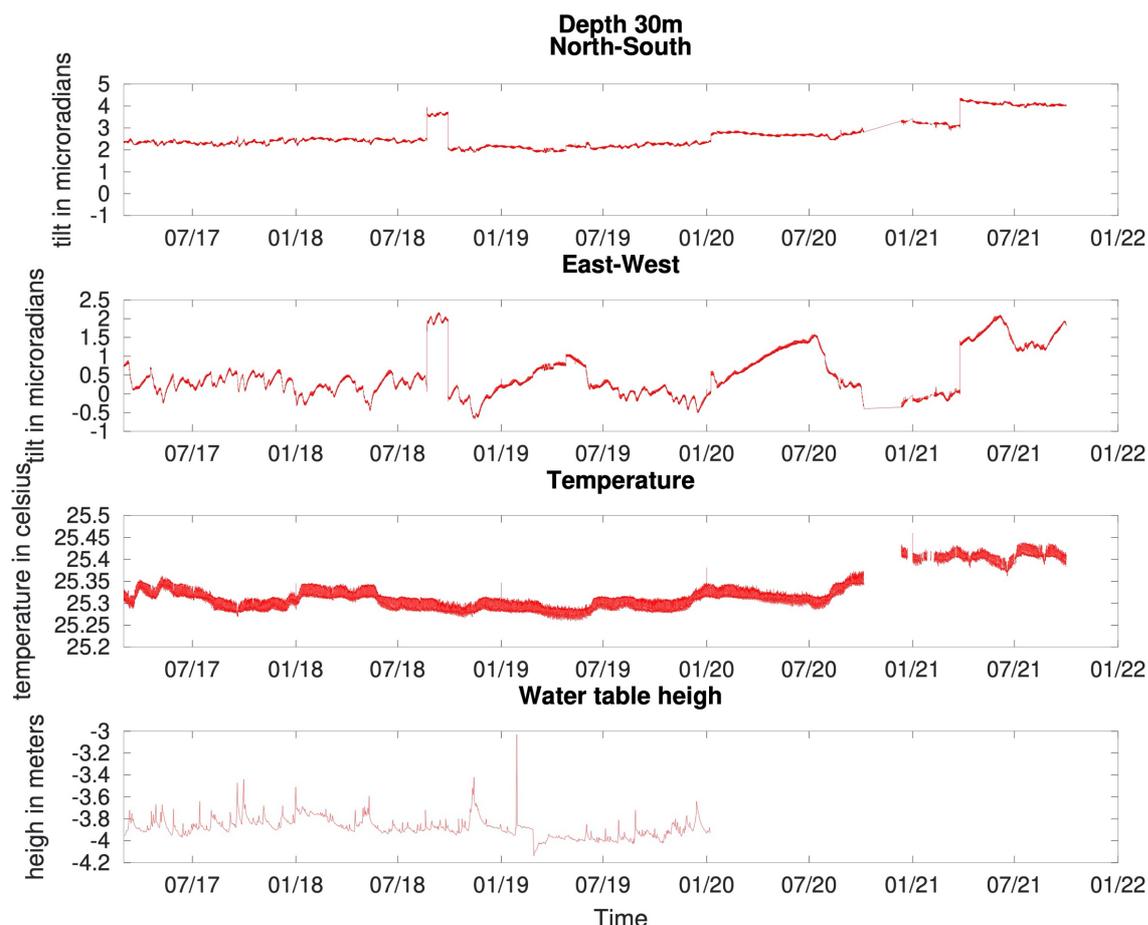


Figure 17. Variation de l’inclinaison mesurée au niveau de l’inclinomètre de forage de IAJB à 30 m de profondeur comparée aux variations de la température et du niveau d’eau. Traitement des données (sous-échantillonnage, normalisation de l’amplitude et corrections liées à la dérive temporelle et aux sauts générés par les séismes) par J.-M. Saurel.

V. 5. Suivi géochimique des sources thermales de la Montagne Pelée et de la rivière du Prêcheur

La **Figure 18** illustre les mesures réalisées en continu lors de l’année 2020 au niveau du forage de Puits Chaud. La tension batterie reflète les variations d’insolation au cours du temps. Le niveau d’eau (hauteur en mètres) dans le forage est relativement stable au cours de l’année 2020. La conductivité diminue légèrement au cours de l’année, passant de 1266 à 1054 micro-siemens/cm à 8.5 m de profondeur. Les variations observées traduisent une variation du rapport eau douce/eau de mer. La température des eaux (sonde PT1000) montre de faibles variations au cours de l’année avec des valeurs proches de 30°C.

Des prélèvements manuels ont lieu par ailleurs chaque mois dans le forage de Puits Chaud et des mesures de température, pH et conductivité sont effectuées in situ. Les valeurs mesurées lors des prélèvements manuels sont cohérentes avec les observations continues.

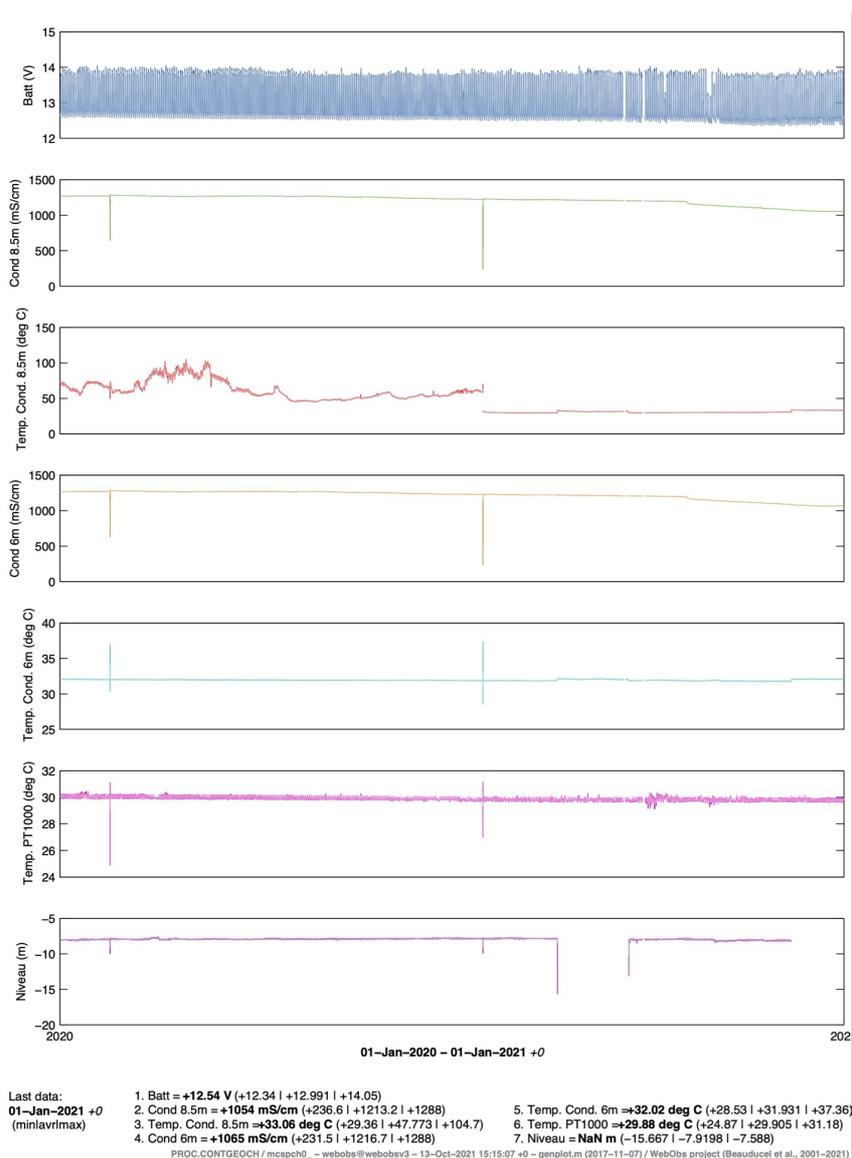


Figure 18. Mesures physico-chimiques réalisées en continu à Puits Chaud en 2020.

Les mesures réalisées manuellement et mensuellement au niveau des sources thermales de la Montagne Pelée sont présentées dans les tableaux suivants (Tableaux 2 à 4).

Rivière du Prêcheur (prélèvements mensuels)

Date de prélèvements	24 Janv.	Fév.	Mars	Avril	20 mai	23 juin	16 juillet	Août	15-Sep	19-Oct	23-Nov	7 Déc
T°C	22	N.R.	N.R.	N.R. (Covid-19)	25.5	27.4	26.2	N.R.	29.8	28.3	26.4	25
Conductivité μ S/cm	153.3	N.R.	N.R.	N.R.	159.6	162.2	149.1	N.R.	153.7	154.3	148	158.1
pH	8.14	N.R.	N.R.	N.R. (Covid-19)	8.202	8.038	7.859	N.R.	7.951	8.093	8.021	8.235

Tableau 2. Mesures physico-chimiques réalisées à la rivière du Prêcheur en 2020. *N.R. (Non réalisé)

Forage de Puits Chaud (prélèvements mensuels)

Date de prélèvements	24 janv.	Fév.	11 mars	Avril	20 mai	23 juin	16 Juil.	Août	15 Sep	19 Oct.	23 Nov.	7 Déc.
T°C	31.5	N.R.	31.4	N.R. (Covid-19)	31.1	31.6	31.2	N.R.	32	31.7	31.2	31.3
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	1266	N.R.	1335	N.R. (Covid-19)	1442	1299	1280	N.R.	1255	1236	1334	1313
pH	6.959	N.R.	6.8	N.R. (Covid-19)	6.65	6.846	6.511	N.R.	6.616	6.517	6.464	6.489

Tableau 3. Mesures physico-chimiques réalisées au forage de Puits Chaud en 2020. *N.R. (Non réalisé)

Sources Chaudes (prélèvements 1 à 2 fois/an)

Date de prélèvements	09 sept.	09 sept.	09 sept.	09 sept.
	Point n°1	Point n°2	Point n°3	Point n°4
T°C	26.3	24.4	29.2	33
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	627	620	769	1170
pH	6.397	6.843	7.444	6.202

Date de prélèvements	15/12/20	15/12/20	15/12/20	15/12/20	15/12/20	15/12/20
	Point n°1	Point n°2	Point n°3	Point n°4	Point n°5	Point n°6
T°C	25.9	25.2	25.2	33	26.2	26.1
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	598	617	654	940	734	708
pH	6.634	7.153	6.853	6.006	8.158	8.338

Tableau 4. Mesures physico-chimiques réalisées aux Sources Chaudes en 2020 (le 9 septembre et le 15 décembre).

Au cours de l'année 2020, aucune activité fumerollienne n'a été observée sur les flancs et au sommet de la Montagne Pelée. Concernant les Sources Chaudes de la Rivière Chaude, un échantillonnage et une prospection avec la caméra thermique du Service Territorial d'Incendie et de Secours (STIS) ont été effectués au mois de décembre 2020 pour déceler d'éventuelles anomalies thermiques.

Ces mesures confirment la lente diminution de la température des eaux thermales souterraines de la coulée de la rivière Blanche depuis le milieu des années 1960 jusqu'à ce jour. Cependant, il n'y a pas de données depuis 2008 sur les sources thermales de la haute rivière Claire qui ne sont pas accessibles de manière sécurisée à l'échantillonnage, et qui permettraient de compléter la compréhension du système hydrothermal et de sa dynamique.

V. 6. Glissements de terrain et lahars

Glissements de terrain

Les glissements de terrain et les lahars (terme d'origine indonésienne qui désigne une coulée boueuse, autre qu'un écoulement fluvial, à débris de roches volcaniques de toutes tailles, qui affecte les pentes des volcans) sont deux phénomènes liés à la vie du volcan, que ce soit en période éruptive ou en période de quiescence volcanique. Ces processus de pente jouent un rôle essentiel dans l'évolution des paysages en lissant les reliefs par le transfert continu (à l'échelle des temps géologiques) de matière des sommets vers le fond des vallées et en alimentant le réseau de drainage en sédiments. Leur étude et leur suivi en période calme permettent :

- D'identifier les zones potentiellement dangereuses lors des futures reprises d'activité ;
- De discriminer les signaux des glissements de ceux de l'activité hydrothermale ou volcano-tectonique à l'intérieur de l'édifice ;
- De mettre au point des techniques de suivi instrumental adaptées ;
- De participer aux recherches en cours sur les processus gravitaires ou sur les mécanismes de construction/destruction des édifices volcaniques.

Nous répertorions les glissements à partir des signaux sismiques du réseau de la Montagne Pelée. En 2020, nous avons ainsi observé **296 éboulements (Figure 19)** :

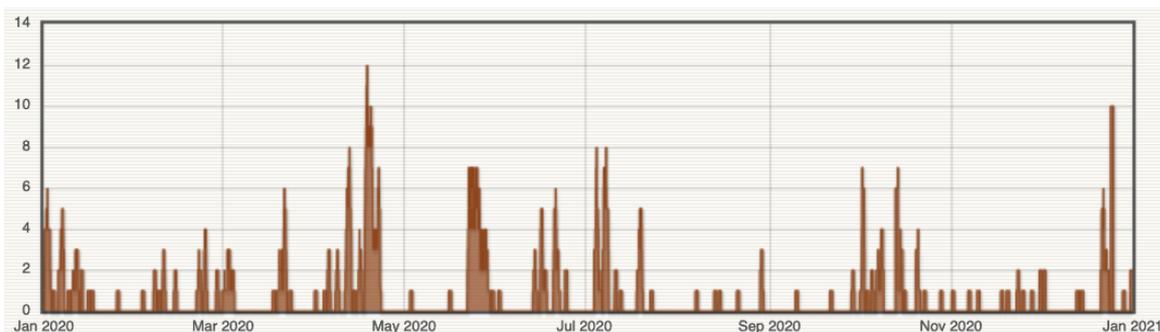


Figure 19. Distribution du nombre journalier d'éboulements dans le catalogue de l'OVSM IPGP.

La localisation des éboulements à partir des données sismiques est compliquée. Deux principales raisons peuvent l'expliquer :

- Les ondes *P* et *S* ne sont pas clairement observables à partir des sismogrammes des éboulements car les ondes sismiques sont essentiellement des ondes de surface (Rousseau, 1999 ; Deparis et al., 2007) ;
- Il existe au moins deux sources distinctes : le rebond sur la paroi suite au détachement de la masse et l'impact au sol de cette masse après une phase de chute. Cela se traduit par le fait qu'une station proche enregistre bien les 2 signaux, alors qu'une station plus lointaine n'enregistre que la deuxième source, plus énergétique (e.g., Hibert, 2012 ; Yamada et al., 2013).

Pour le suivi spécifique des glissements de la falaise Samperre, nous avons installé en décembre 2010 au Morne Vert Pré un mât prévu pour recevoir un appareil photo. Depuis, des photos sont régulièrement prises depuis ce site, afin de suivre visuellement les glissements de la falaise Samperre.

Lahars

Les lahars, appelés laves torrentielles en milieux montagnards, sont des coulées boueuses déclenchées par d'intenses et/ou de longs épisodes pluvieux remaniant d'importants volumes de sédiments présents dans le réseau hydrographique d'un volcan. Ils sont caractérisés par une forte concentration sédimentaire (plus de 50% en volume) et une granulométrie très étendue, allant du micron à des blocs de plusieurs mètres. Les lahars constituent une menace dès lors que des enjeux économiques, matériels et humains sont implantés sur les marges latérales d'un cours d'eau affecté par ce type d'écoulement. Ils ont un caractère imprévisible à la fois dans le temps et dans l'espace et possèdent une multitude de facteurs déclenchant, les trois conditions à leur formation étant de fortes pentes, un stock sédimentaire mobilisable et l'occurrence de précipitations.

En 2020, l'OVSM a identifié et enregistré **6 lahars** et **5 écoulements concentrés** soit par les signaux sismiques, soit par son réseau de géophones. Les lahars enregistrés en 2020 ont été de faible intensité et aucun débordement de rivière n'a été observé. Les deux lahars les plus notables ont eu lieu le 16 avril 2020 et le 29 juillet 2020, et ont été provoqués respectivement par la rupture d'un embâcle dans la rivière du Prêcheur et par le passage d'une onde tropicale.

V. 7. Activité volcanique de l'arc des Petites Antilles

La Soufrière de Guadeloupe : La dernière crise volcanique remonte à 1976-1977. Le niveau d'alerte volcanique actuel est **jaune**. Pour plus d'information, sur le bulletin de l'OVSG <http://www.ipgp.fr/fr/ovsg/bulletins-mensuels-de-lovsg>

La Soufrière de Montserrat : L'île est située à 55 km au nord-ouest de la Guadeloupe. Le niveau d'alerte 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 effusif avec formation d'un dôme de lave s'est produite du 27 décembre 2020 au 9 avril 2021. Une activité explosive a ensuite débuté le 9 avril 2021. Aucune explosion n'a été observée après le 22 avril 2021. Le niveau d'alerte actuel est **jaune**. 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 de couleurs en comportant quatre). Une zone d'exclusion de 5 km autour du sommet (180 m sous la surface) est conseillée par sécurité. Plus d'informations sur le site du Seismic Research Center (SRC) <http://www.uwiseismic.com>

VI Activité locale et régionale

VI. 1. Contexte tectonique

L'arc insulaire des Petites Antilles résulte du plongement des plaques tectoniques Nord et Sud-Américaines sous la plaque Caraïbe. Ce phénomène, appelé subduction, a lieu à une vitesse d'environ 2 cm/an et est à l'origine de la majorité des séismes tectoniques de l'arc, faisant des Petites Antilles une région à fort aléa sismique (**Figure 20**). La Martinique et la Guadeloupe sont les deux seules régions françaises classées en zone 5 (sismicité maximale du zonage français). Plusieurs séismes majeurs, d'intensité supérieure ou égale à VII, ont touché la Martinique depuis le XIX^{ème} siècle (**Figure 20**) :

- ❖ 30 novembre **1827** : intensité VII-VIII, épicentre à l'est de la Martinique (magnitude ~7) ;
- ❖ 11 janvier **1839** : intensité VIII-IX (la moitié de la ville de Fort-Royal est détruite, 317 morts officiels mais vraisemblablement plusieurs milliers), séisme majeur de subduction situé à l'est de la Caravelle (magnitude ~7.5) ;
- ❖ 8 février **1843** : intensité VII en Martinique (maisons lézardées), séisme majeur de subduction situé au nord-est de la Guadeloupe (magnitude > 8) ;
- ❖ 16 février **1906** : intensité VII en Martinique (maisons lézardées, 4 blessés à Rivière Salée), épicentre au large de Sainte-Lucie (magnitude ~7) ;
- ❖ 21 mai **1946** : intensité VII-VIII (1 mort et dégâts importants au Lorrain, une vingtaine de blessés en Martinique), épicentre situé à l'est de la Martinique (magnitude ~7) ;
- ❖ 19 mars **1953** : intensité VII (3 blessés, dégâts dans plusieurs communes) épicentre situé au large de Sainte-Lucie (magnitude ~7.5) ;
- ❖ 29 novembre **2007** à 19h00 TU (15h00 en heure locale): intensité V-VII (dégâts dans plusieurs communes), épicentre situé à 30 km au nord de la Martinique à 152 km de profondeur (magnitude 7.4).

Une grande partie des séismes d'origine tectonique provient de la zone *inter-plaque* à l'est de l'arc antillais, à l'endroit où les plaques tectoniques entrent en interaction (**Figure 21**). Ils se situent à des profondeurs de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres, et peuvent atteindre de fortes magnitudes. D'autres séismes proviennent de ruptures de la plaque plongeante après qu'elle soit entrée en subduction, et ont lieu à des profondeurs intermédiaires aux alentours de 100 à 150 km de profondeur. D'autres encore, plus superficiels et souvent de magnitudes faibles, résultent de la déformation de la plaque Caraïbe (*intra-plaque*) ou Amérique avant son entrée en subduction (*outer-rise*).

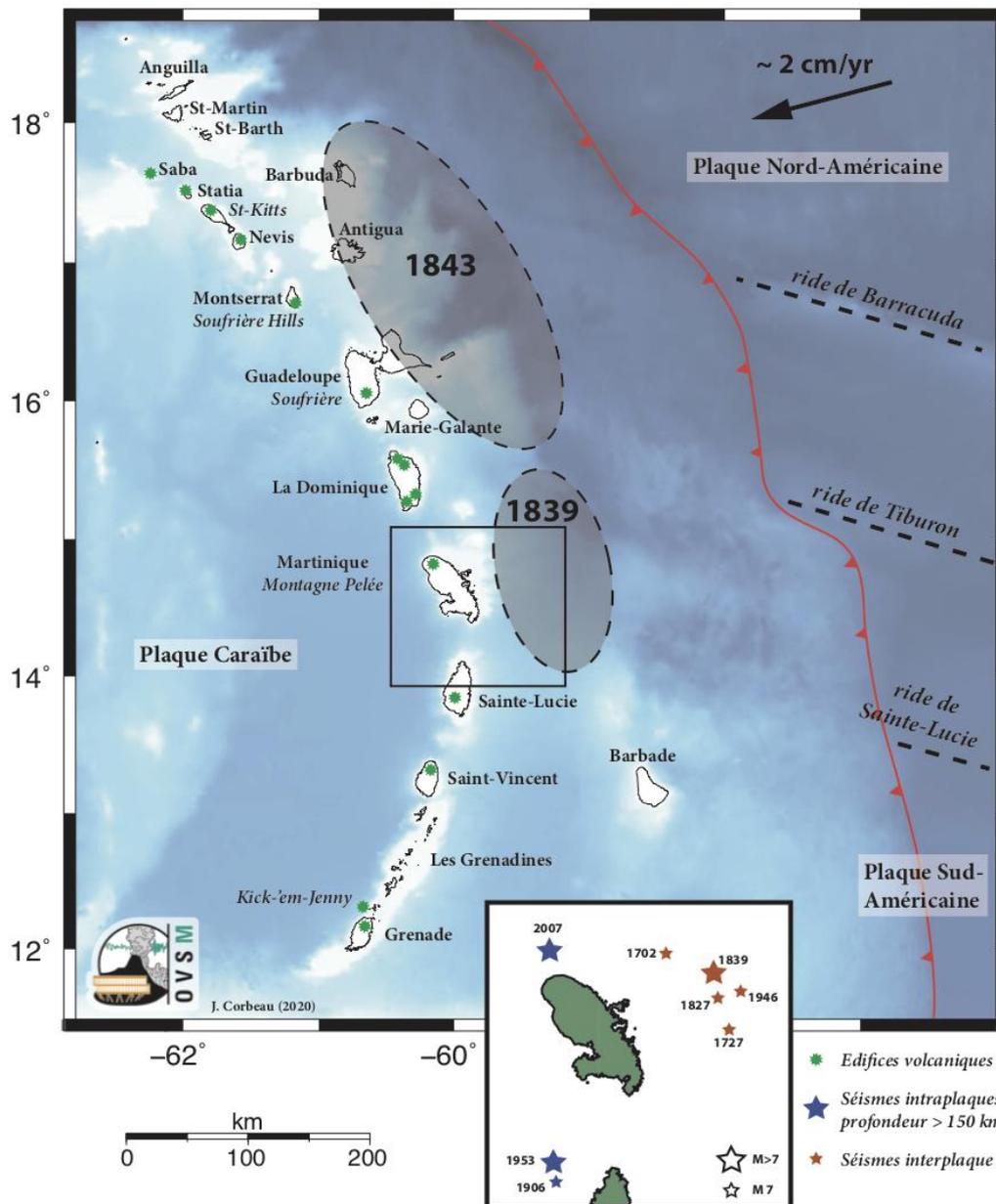


Figure 20. Contexte tectonique de l'arc volcanique des Petites Antilles. Les plaques tectoniques Nord-Américaine et Sud-Américaine entrent en subduction sous la plaque Caraïbe à une vitesse d'environ 2 cm/an. Les étoiles vertes indiquent la localisation des volcans. Les ellipses grises indiquent les zones de ruptures estimées pour les deux séismes historiques majeurs de 1839 et 1843. L'encadré en bas de la figure précise les localisations des séismes historiques de magnitude estimée supérieure à 7 ressentis en Martinique.

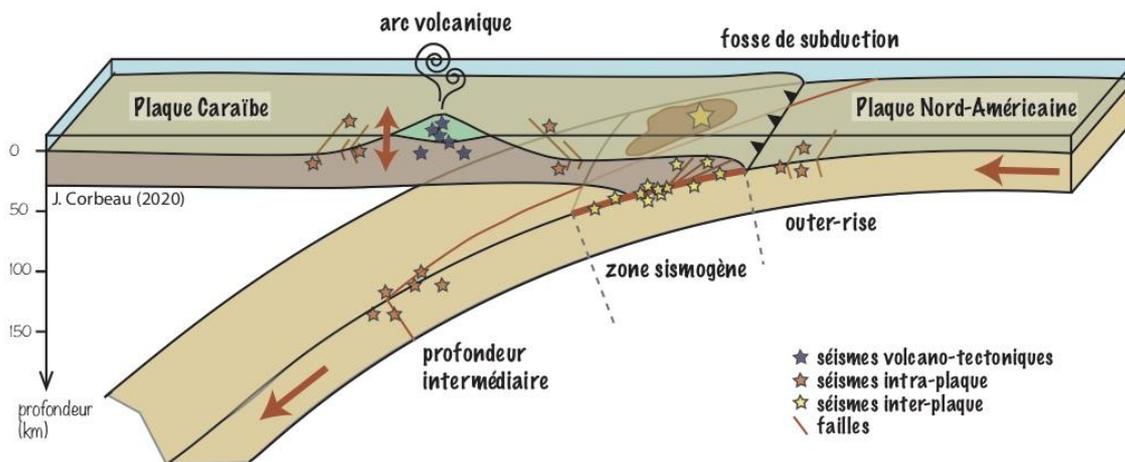


Figure 21. Schéma conceptuel de la zone de subduction des Petites Antilles vue en fonction de la profondeur. Les étoiles de couleur indiquent les différents types de séismes enregistrés en Martinique.

VI. 2. Activité sismique tectonique

L'enregistrement et le prétraitement automatique de la sismicité a lieu à l'OVSM 24h/24. Les données acquises par les réseaux de stations sismologiques sont enregistrées en temps réel, stockées localement, synchronisées avec l'IPGP à Paris, et traitées quotidiennement par les analystes de l'OVSM. Après traitement, les événements sismiques et leurs caractéristiques sont listés dans une main courante (catalogue dans lequel est consigné l'ensemble des événements identifiés) et proviennent soit d'événements détectés par les programmes de traitement automatiques et validés par les analystes, soit d'événements repérés visuellement sur les données numériques par les analystes.

Au cours de l'année 2020, l'OVSM-IPGP a identifié **1044 séismes d'origine tectonique** régionaux au niveau de l'arc des Petites Antilles et **211 télé-séismes** (séismes lointains dont les hypocentres sont situés à plus de 3000 km des réseaux sismologiques). Les hypocentres de 714 séismes d'origine tectonique ont pu être calculés par les analystes de l'OVSM (**Figure 22**). Les localisations des séismes qui se situent à proximité des îles sont relativement bien contraintes par le réseau local ou régional (positions à +/- quelques kilomètres). Pour les séismes plus lointains, la géométrie du réseau lié à l'alignement Nord-Sud des îles peut engendrer des incertitudes plus grandes de l'ordre de la dizaine de kilomètres.

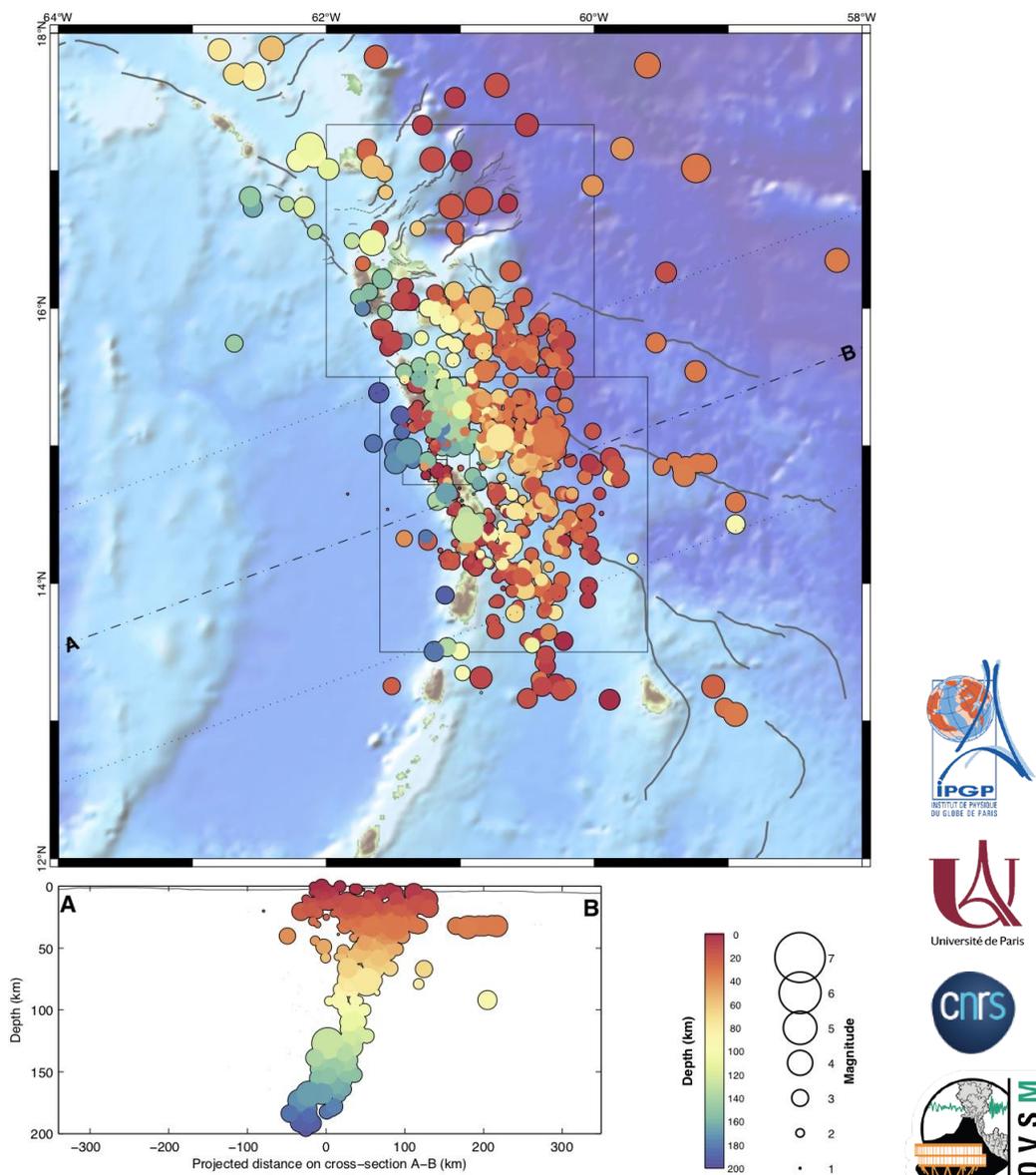


Figure 22. Partie supérieure : carte des épicentres des séismes enregistrés et localisés par l’OVSM-IPGP au cours de l’année 2020 sur l’arc Antillais. Partie inférieure : représentation des hypocentres des séismes en fonction de la profondeur, suivant le profil A-B indiqué sur la carte.

En 2020, la sismicité régionale enregistrée autour de la Martinique est principalement liée à (**Figure 23**) :

- ❖ L’activité présente au nord de la Martinique qui a commencé avec une secousse de magnitude 7.4 le 29 novembre 2007, et qui se poursuit encore aujourd’hui avec des séismes de profondeur intermédiaire (entre 100 et 150 km, en bleu et vert sur la **Figure 23**) dans le canal de la Dominique ;
- ❖ Un essaim de séismes *inter-plaque* à l’est-nord-est de la Martinique (dénommé est ou nord-est de la Caravelle), au niveau de l’interface de subduction entre la plaque Caraïbe et la plaque Nord-Américaine (**Figure 23**). C’est dans cette zone que se trouvent un tiers des séismes ressentis en Martinique. Cette zone correspond également à la zone de rupture du séisme historique de 1839 (**Figure 23**).

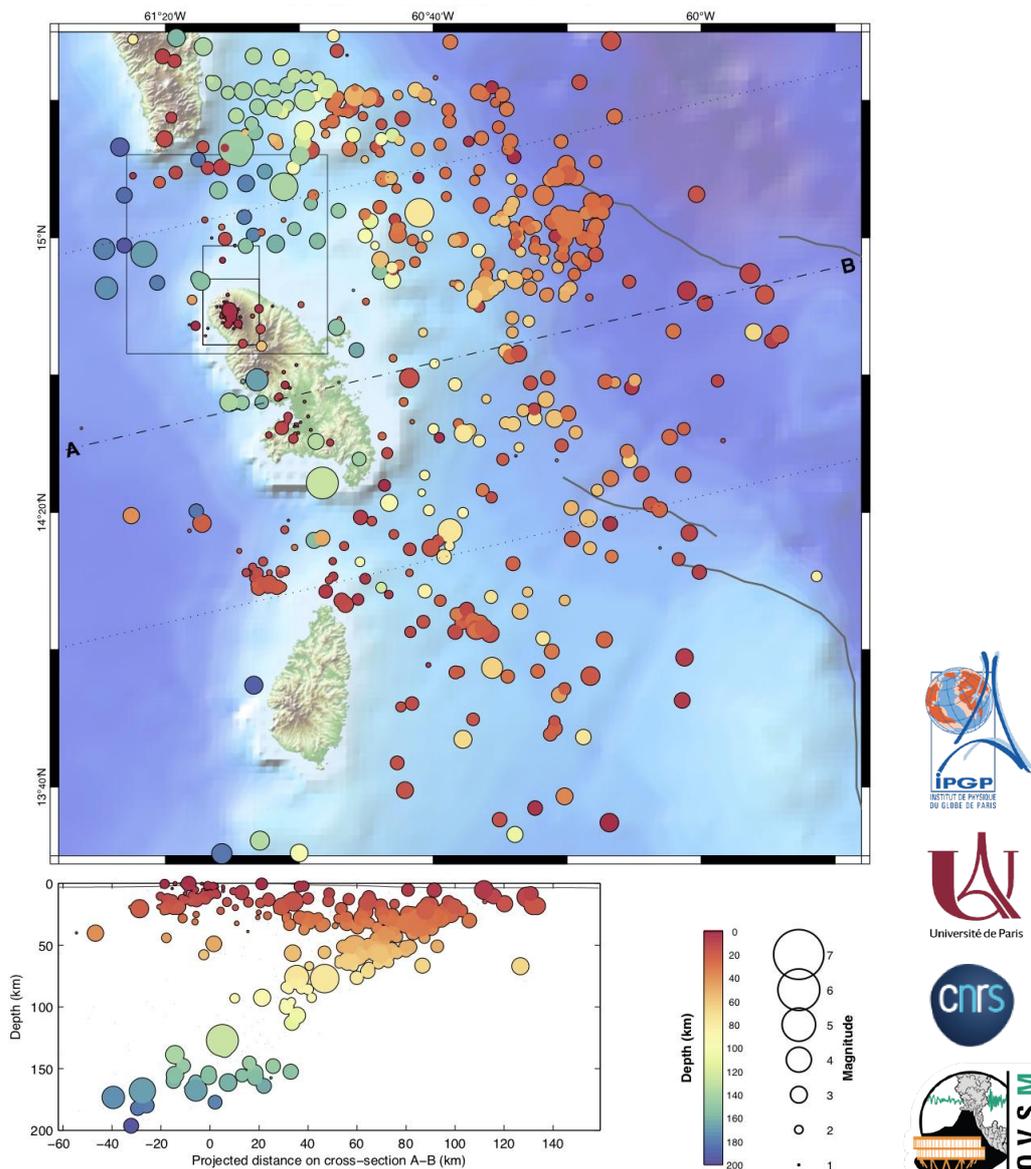


Figure 23. Partie supérieure : carte des épicentres des séismes enregistrés et localisés par l’OVSM-IPGP au cours de l’année 2020 autour de la Martinique. Partie inférieure : représentation des hypocentres des séismes en fonction de la profondeur, suivant le profil A-B indiqué sur la carte.

VI. 3. Sismicité ressentie

Au cours de l’année 2020, l’observatoire a enregistré et localisé une moyenne de **60 séismes** tectoniques régionaux par mois, dont certains peuvent être ressentis par la population en fonction de leur localisation.

Lors d’un séisme fort, un SMS d’alerte est envoyé automatiquement vers le téléphone portable de la personne d’astreinte volontaire. Si ce message d’alerte est associé à au moins deux témoignages indépendants de personnes ayant ressenti la secousse, la personne d’astreinte prévient le SIDPC et procède immédiatement au traitement des données afin de localiser le séisme et de calculer sa magnitude. Elle émet ensuite un bulletin d’information (appelé B³) qui contient les caractéristiques du séisme et une carte indiquant les intensités prédites pour chaque commune de Martinique. Ce bulletin est à destination des autorités, des scientifiques des autres centres de surveillance régionaux, des médias, des abonnés à nos listes de

diffusion, et du BCSF, qui crée alors une page sur son site web www.franceseisme.fr afin de déclencher la collecte de témoignages. En 2020, il y a eu **6 séismes ressentis** en Martinique, de partiellement ressenti à faiblement ressenti (intensité I à III) :

- ❖ Le **8 janvier 2020** à 14h01 TU, magnitude M_{IV} **5**, profondeur 144 km, 27 km au SE de la Dominique (intensité maximale III) ;
- ❖ Le **15 janvier 2020** à 00h17 TU, magnitude M_{IV} **4.3**, profondeur 139 km, 29 km au NNE de Basse-Pointe (intensité maximale I-II) ;
- ❖ Le **17 janvier 2020** à 18h34 TU, magnitude M_{IV} **4**, profondeur 52.2 km, 48 km à l'Est de Trinité (intensité maximale II-III) ;
- ❖ Le **29 juin 2020** à 00h57 TU, magnitude M_{IV} **4.4**, profondeur 32 km, 75 km à l'ENE de Trinité (intensité maximale III) ;
- ❖ Le **26 août 2020** à 05h03 TU, magnitude M_{IV} **4.7**, profondeur 127.2 km, 8 km au S de Sainte-Luce (intensité maximale III) ;
- ❖ Le **2 décembre 2020** à 20h50 TU, magnitude M_{IV} **4.3**, profondeur 77 km, 44 km au NE de Sainte-Marie (intensité maximale III).

Ces séismes sont situés dans la zone de profondeur intermédiaire (zone du séisme de 2007) ainsi que dans la zone *inter-plaque* de la subduction (zone du séisme historique de 1839). Pour comparaison, en 2019, 13 séismes tectoniques ont été ressentis en Martinique. Le plus fort, de M_{IV} 5, a eu lieu le 25 juillet 2019 (6h25 heure locale) à environ 25 km au sud-est de la Guadeloupe, à environ 19 km de profondeur, et a été ressenti simultanément en Guadeloupe et en Martinique.

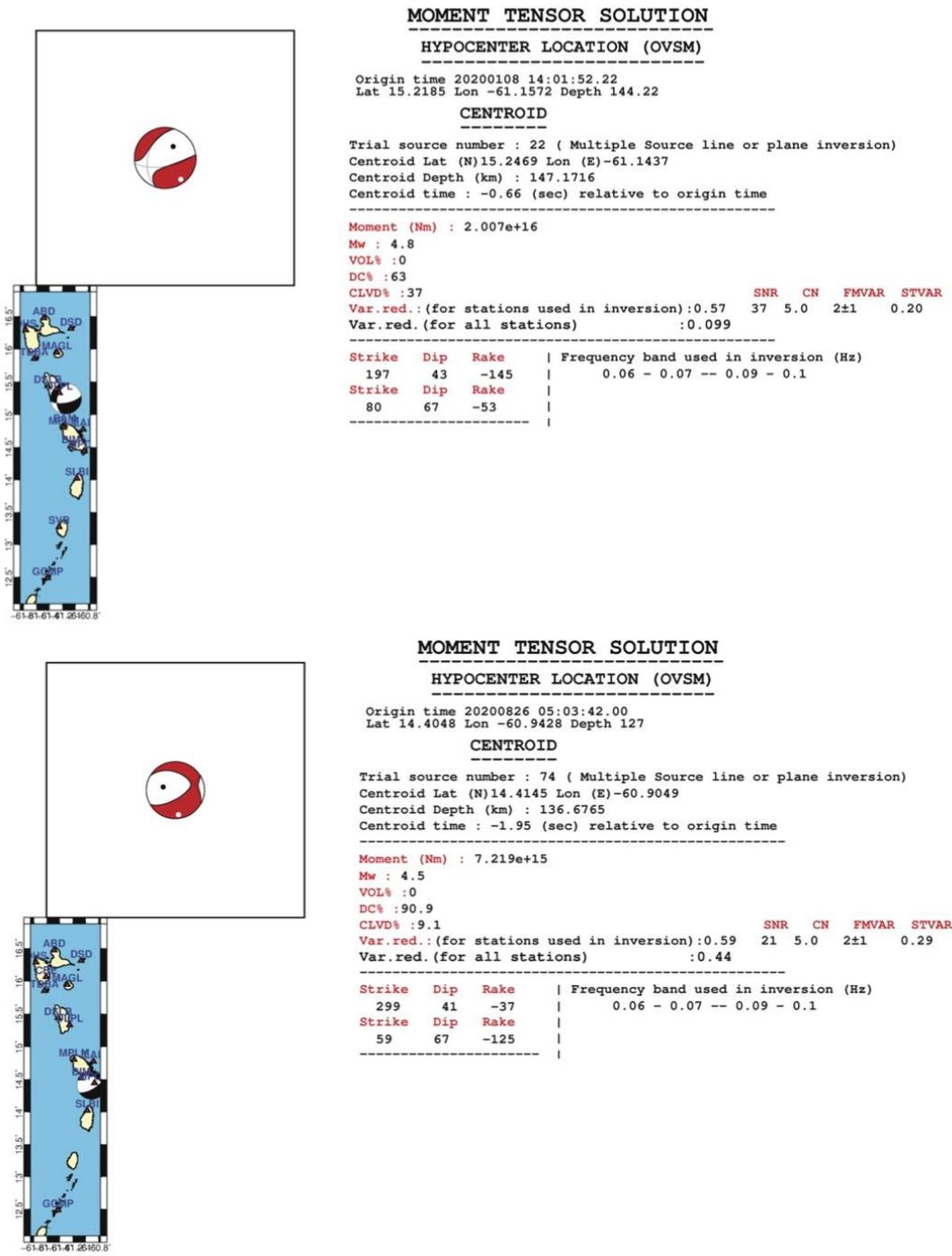
Le **Tableau 5** indique le nombre de séismes ressentis par année dans la zone de rupture du séisme de 1839 depuis l'an 2000 (Corbeau et al., 2021).

Année	Nombre de séismes ressentis	Année	Nombre de séismes ressentis
2000	5	2010	4
2001	1	2011	4
2002	4	2012	5
2003	0	2013	4
2004	5	2014	6
2005	3	2015	6
2006	3	2016	7
2007	7	2017	5
2008	5	2018	9
2009	6	2019	4

Tableau 5. Évolution du nombre de séismes ressentis par année dans la zone de rupture du séisme de 1839 depuis l'an 2000. D'après Corbeau et al. (2021). La moyenne est de 4.65 séismes ressentis par an.

Pour les deux séismes ressentis les plus forts ayant eu lieu dans la zone de profondeur intermédiaire en 2020 (le 8 janvier à 144 km de profondeur et le 26 août à 127 km de profondeur), des mécanismes au foyer ont été calculés (**Figure 24**) afin d'identifier le type de rupture (rupture normale, inverse ou en décrochement). Les mécanismes calculés indiquent des ruptures de types normales (extension) avec une légère composante décrochante.

Figure 24. Mécanismes au foyer pour les deux séismes ressentis les plus forts de l'année 2020. Ces deux séismes,



ayant eu lieu le 08 janvier et le 26 août, sont situés dans la zone de subduction des Petites Antilles à des profondeurs intermédiaires (144 km et 127 km). Les mécanismes indiquent des ruptures normales (extension) avec une légère composante décrochante. Calculs de J. Corbeau.

VI. 4. Déformation régionale

Les vecteurs de déplacement à l'échelle de la Martinique, calculés à partir des mesures réalisées sur les deux dernières années, sont représentés sur la **Figure 25**. Ces vecteurs de déplacement reflètent bien la dynamique de la tectonique régionale à l'échelle de la plaque Caraïbe, avec un déplacement d'environ 2 cm/an vers le nord-est.

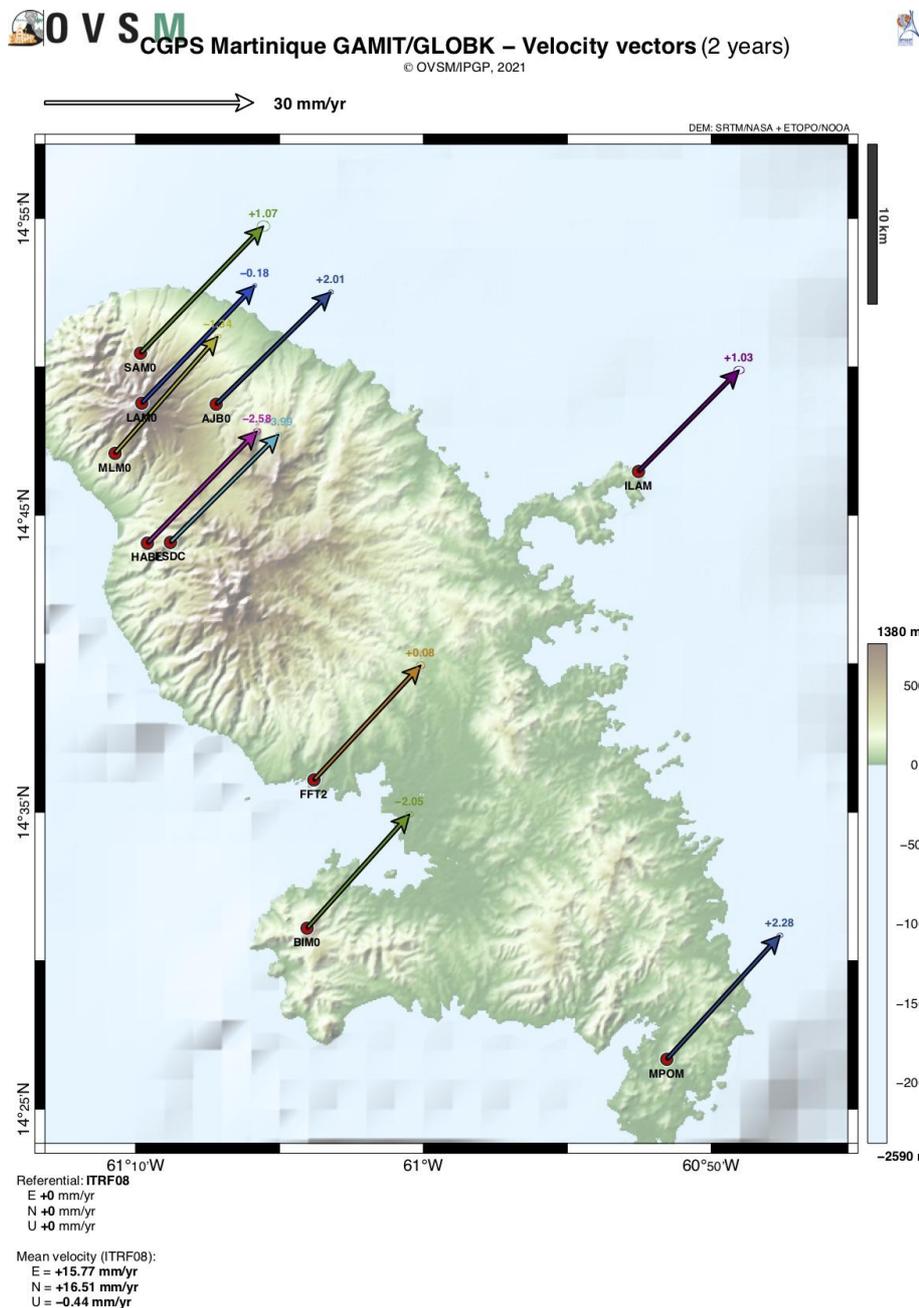


Figure 25. Vecteurs de déplacement calculés à partir des deux dernières années de mesures du réseau GNSS de l'OVSM-IPGP. La taille des vecteurs représente la vitesse de déplacement en mm/an, et la flèche indique le sens du déplacement par rapport à la plaque Nord-Américaine.

VII Réseaux de surveillance et d'études

Les réseaux de surveillance de l'OVSM IPGP, comprenant plusieurs dizaines de capteurs en majorité télémetrés (**Figure 26**), sont composés à la fois de sismomètres (qui enregistrent la vitesse de déplacement du sol), d'accéléromètres (qui enregistrent l'accélération du sol) et de capteurs GPS (qui permettent de détecter la déformation du sol). Ces réseaux permettent de couvrir les domaines d'études suivants :

- ❖ La surveillance de la Montagne Pelée
- ❖ La caractérisation de la sismicité d'origine tectonique à l'échelle locale et régionale ;
- ❖ L'étude des mouvements forts (macro-sismicité) ;
- ❖ Le suivi des déformations d'origine tectonique.

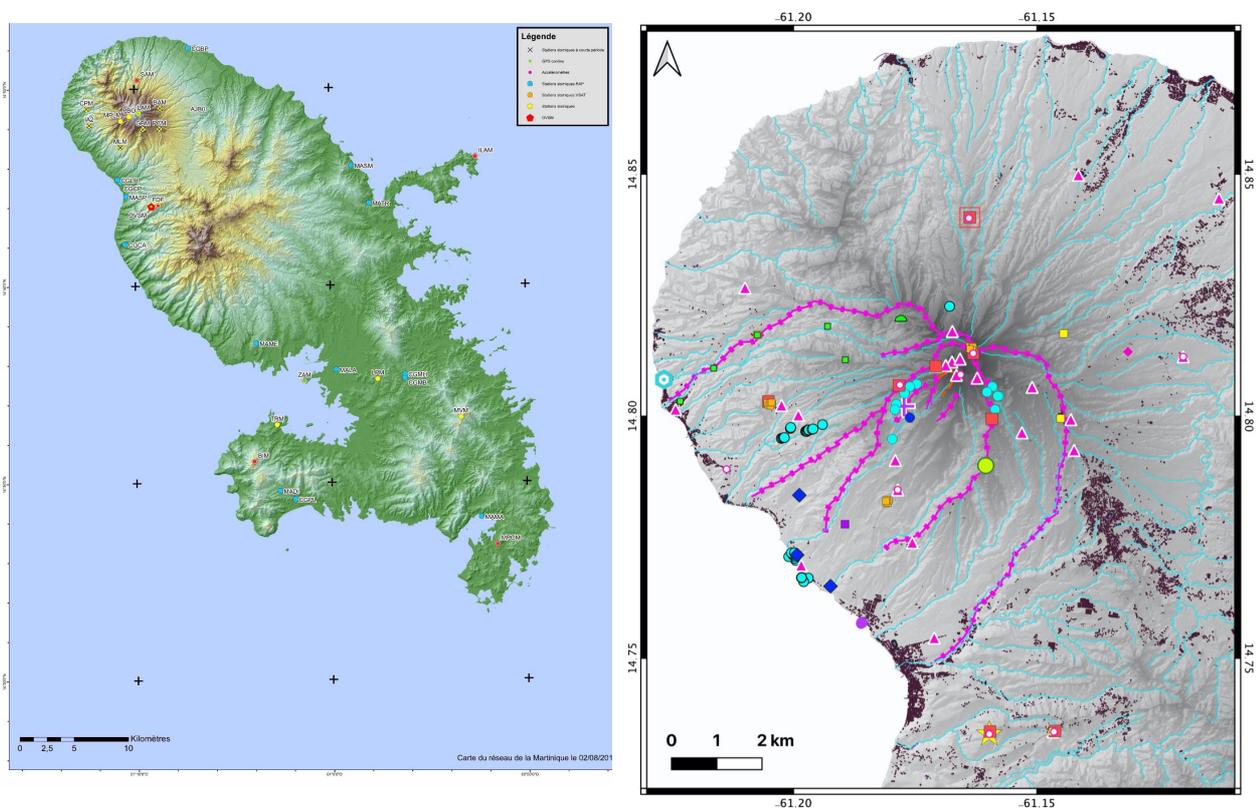


Figure 26. Les réseaux de surveillance de Martinique (gauche) et de la Montagne Pelée (droite) fin décembre 2020. Ces réseaux sont détaillés dans les sections ci-après.

VII. 1. Le réseau sismologique régional

Les réseaux de sismomètres large-bande permettent l'enregistrement à grande distance des ondes sismiques générées par les grands tremblements de terre. Ils permettent de mener des études sismologiques dans des domaines de fréquence non pris en compte par les sismomètres courte-période (tenseur des moments, tomographie, fonctions récepteur, etc.). Toutes les ondes sont enregistrées, en particulier celles qui traversent la terre (ondes de volume) et qui servent à étudier sa structure interne. On les appelle large-bande car ils détectent des ondes qui, à grande distance, ont de longues périodes de vibration (plusieurs km).

A l'OVSM, les réseaux sismologiques régionaux large-bande utilisés pour la caractérisation de la sismicité régionale s'étendent des îles de Saint Martin et de Saint Barthélemy au nord de l'arc des Petites Antilles jusqu'à l'île de Tobago au sud (**Figure 27**). Des échanges de données ont lieu depuis plusieurs années entre l'OVSM en Martinique, l'OVSG en Guadeloupe et le Seismic Research Centre (SRC-UWI) basé à Trinidad et Tobago.

A l'OVSM, grâce à un hub satellitaire, les analystes peuvent utiliser en temps réel les données des stations à transmission par satellite de l'OVSG (réseau WI) et du SRC (réseau TR) pour le travail de localisation, ainsi que les données de 3 stations néerlandaises du KNMI (réseau NA) et de 3 stations de l'USGS (réseau CU) co-opérées par le SRC-UWI (**Figure 27**). Les données des 4 stations sismologiques à transmission satellitaire basées en Martinique sont partagées en temps-réel par le même biais (SAM, ILAM, BIM et MPOM).

Les données de ce réseau WI sont distribuées en temps réel à la communauté scientifique et contribuent à l'alerte montante du système de surveillance des tsunamis de la Caraïbe (SATCAR).

Un sismomètre à très large bande faisant partie du réseau mondial GEOSCOPE est installé dans la cave sismique de l'observatoire (FDFM, destiné principalement à enregistrer les séismes éloignés de grande magnitude). Les données sont accessibles à la communauté scientifique par le réseau Internet. Il contribue aussi au système de surveillance des tsunamis de la Caraïbe (SATCAR).

VII. 2. Le réseau sismologique de Martinique

En plus des 4 stations sismologiques large-bande à transmission par satellite du réseau régional WI et de la station très large-bande du réseau global GEOSCOPE, l'OVSM maintient un réseau de 13 stations sismologiques à l'échelle de la Martinique (réseau MQ) pour la caractérisation de la sismicité locale (**Figure 28**).

Ce réseau est constitué de 4 stations sismologiques large-bande localisées au sud de la Martinique pour densifier le réseau WI, ainsi que de 3 stations large-bande et de 6 stations courte-période installées au niveau de la Montagne Pelée (**Figure 28**). Les sismomètres courte-période permettent de détecter les mouvements du sol générés par des ruptures tectoniques de petites dimensions. On les appelle courte-période car ils sont conçus pour enregistrer les ondes de volumes au-delà de 1 Hz, c'est-à-dire celles générées par des séismes proches. Les stations sont généralement installées dans des endroits isolés afin de ne pas être polluées par les vibrations générées par l'activité humaine. Ce type de réseau est traditionnellement déployé pour la surveillance d'un volcan actif.

En 2020, la station courte-période GBM située sur le flanc sud de la Montagne Pelée a été modernisée et remplacée par un capteur large-bande 3 composantes.

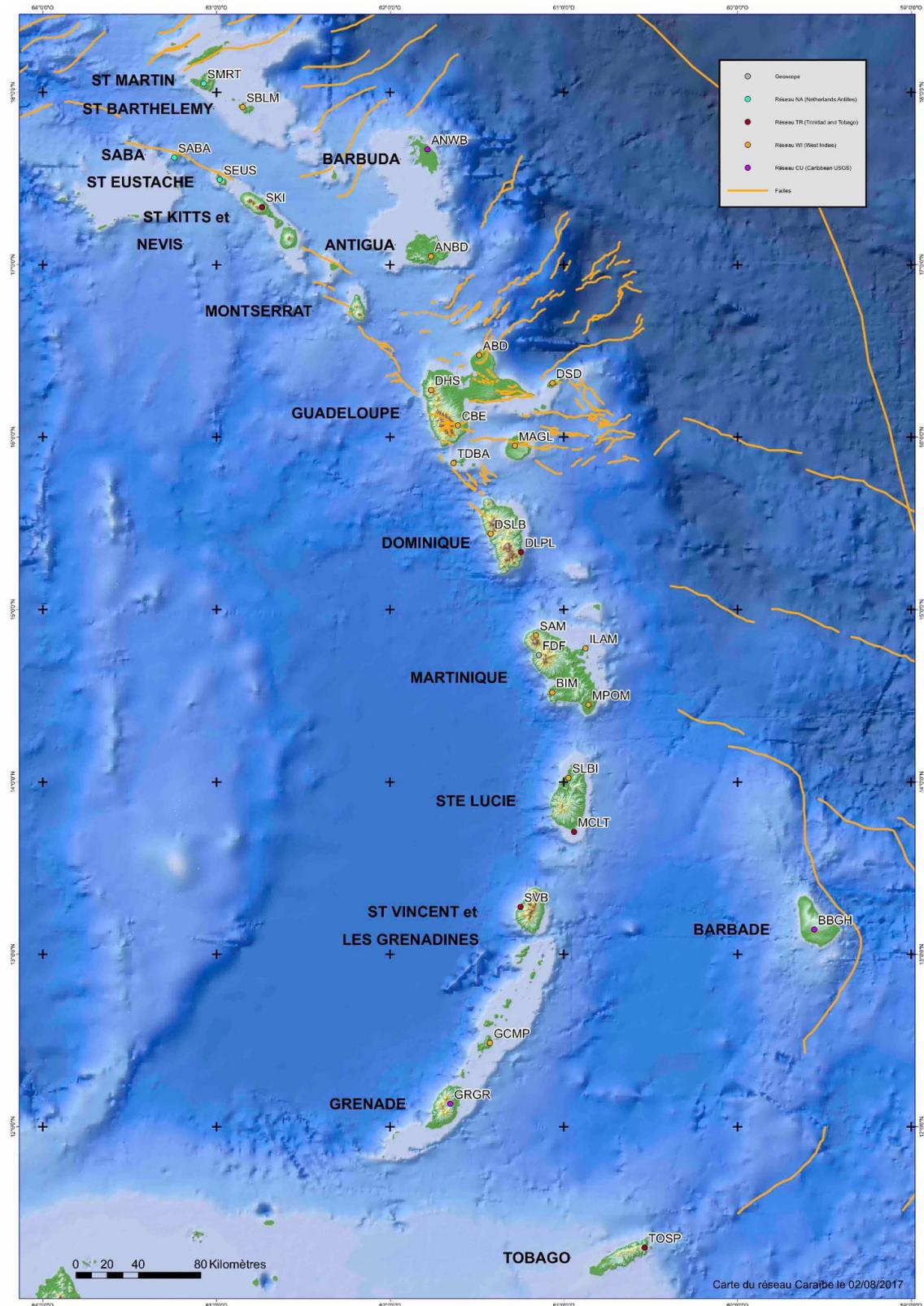


Figure 27. Localisations des stations sismologiques des réseaux régionaux utilisés à l'OVSM-IPGP pour la caractérisation de la sismicité régionale à l'échelle de l'arc des Petites Antilles.

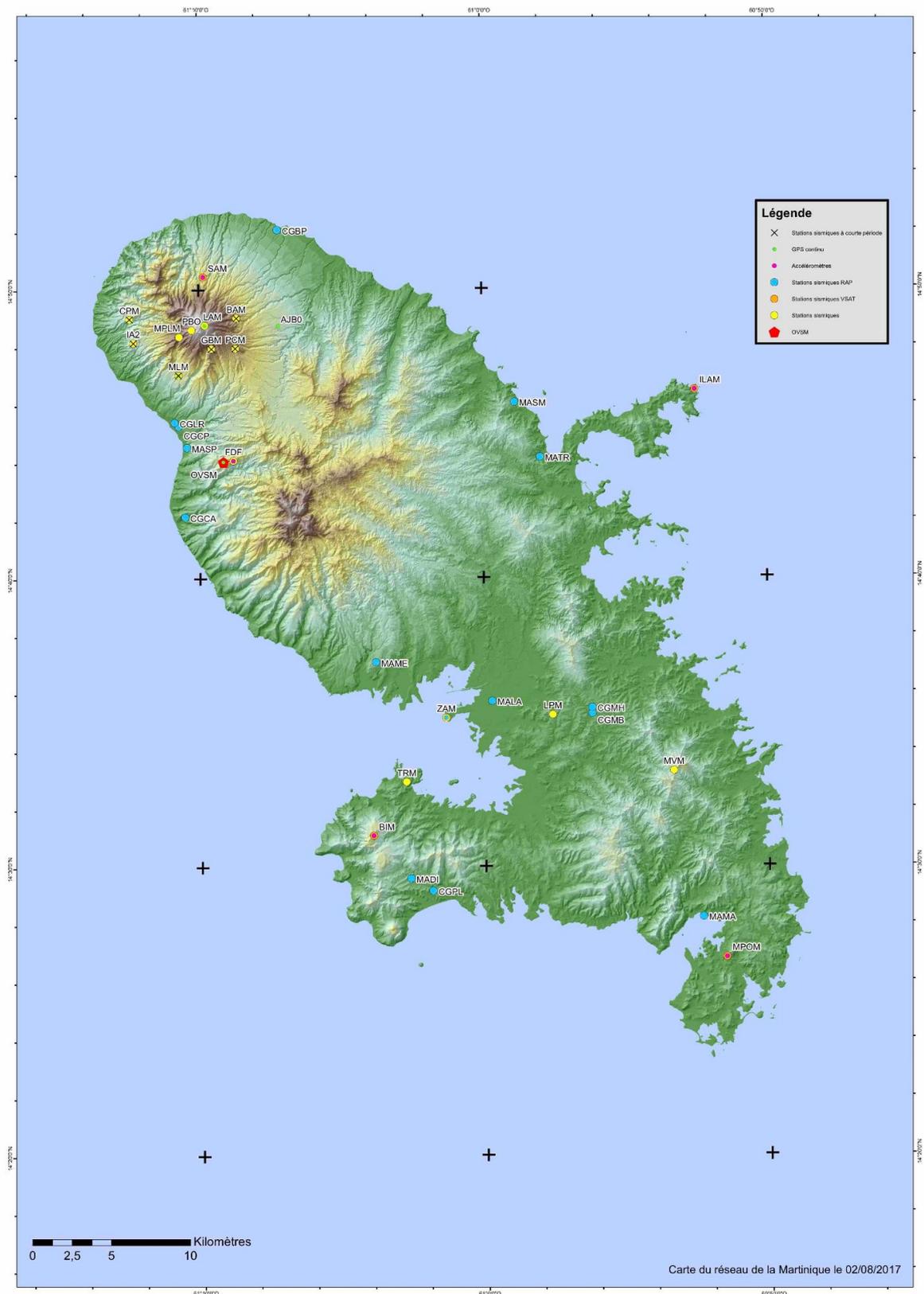


Figure 28. Position des stations sismologiques et accélérométriques en Martinique utilisées par l’OVSM-IPGP pour la caractérisation de la sismicité locale.

VII. 3. Les réseaux accélérométriques de Martinique

L'OVSM utilise également pour la caractérisation de la sismicité locale les données des réseaux de stations accélérométriques, qui permettent de mesurer l'accélération du sol générée par des tremblements de terre forts et proches. Les accéléromètres sont large-bande et contrairement aux réseaux vélocimétriques très sensibles, ils permettent d'obtenir l'amplitude de la sollicitation sans saturer. Ils servent principalement aux ingénieurs afin de connaître le mouvement contre lequel se protéger et aux sismologues qui s'intéressent aux mécanismes de la rupture sismique le long des grands accidents géologiques. Ils participent également à la génération de cartes d'intensité après un séisme fort. En général, on installe les accéléromètres là où il y a des enjeux, c'est-à-dire en ville ou à proximité d'installations particulières.

En Martinique, les réseaux accélérométriques comprennent 19 stations, dont 8 stations appartenant au Réseau Accélérométrique Permanent (RAP), 7 stations appartenant à la Collectivité Territoriale de Martinique, et 4 accéléromètres appartenant à l'OVSM et présents au niveau des stations large-bande du réseau WI (**Figure 28**). L'OVSM participe à la maintenance de ces stations, et en particulier au suivi des 2 stations de surveillance du barrage de la Manzo (stations CGMH et CGMB).

VII. 4. Le réseau de suivi des déformations

Réseau GNSS

Les mesures de déformations aident à estimer les déplacements liés à la tectonique locale et régionale autour des failles actives ou à l'échelle de la plaque tectonique elle-même, ainsi qu'à l'étude du couplage de la zone de subduction (interactions entre les plaques tectoniques Caraïbe et Nord-Américaine).

A l'OVSM, les déformations sont mesurées grâce à un réseau GNSS permanent, un réseau GNSS de répétition, ainsi que des inclinomètres de forage. L'ensemble des données enregistrées par le réseau GNSS permanent de l'OVSM-IPGP est traité quotidiennement, par session de 24h/30s, avec le logiciel scientifique GAMIT/GLOBK (Herring et al., 2010).

En 2020, le réseau GNSS permanent de l'OVSM est composé de 8 stations de mesure réparties sur la Martinique dont 4 stations de mesure situées sur la Montagne Pelée (**Figure 28**). Ces stations permanentes enregistrent en continu. Un réseau de répétition de 13 bornes est installé sur et autour du volcan depuis 1996 (**Figure 15**) pour le suivi lors de campagne de mesures des déformations de l'édifice volcanique ainsi que pour le suivi de la stabilité à long terme du flanc ouest de la Montagne Pelée qui a produit par le passé des glissements de flanc. En 2020, ce réseau de répétition n'a pas pu être mesuré suites aux restrictions sanitaires liées à la pandémie de la COVID-19.

Inclinométrie

Le réseau historique de quatre stations de type Blum (PLU : Morne Plumé, CAL : Morne Calebasse, MAC : Morne Macouba et LAM : Morne Lacroix), développées et construites dans les ateliers de l'IPGP a été progressivement démonté entre 2008 et 2011 : la fragilité aux séismes des inclinomètres Blum nous en avait fait perdre régulièrement.

En 2008, l'IPGP a décidé de mettre en place un test aussi exhaustif que possible des inclinomètres en forage. Le projet comporte l'installation à différentes profondeurs de trois inclinomètres dans un même forage. L'objectif de ce projet est d'établir les conditions optimales et minimales pour l'obtention de données de qualité et de déterminer

l'instrumentation (type d'instruments, localisation/profondeur du ou des réseaux) adaptées à la surveillance des déformations des flancs d'un volcan d'arc en particulier pour la détection d'une reprise d'activité, mais aussi de manière plus générale lors de phases de volcanisme actif. La montagne Pelée en Martinique a été choisie comme volcan test pour y réaliser une étude comparative entre l'inclinométrie de forage à différentes profondeurs et des mesures GPS. Ces inclinomètres utilisent une technologie analogue à un niveau à bulle, avec un liquide conducteur. Ils sont sensibles à l'inclinaison, mais aussi à l'accélération du sol. On peut dire que pour les signaux très lents (période supérieure à une dizaine de secondes), l'inclinaison est prépondérante, alors que pour les signaux rapides (période inférieure à une dizaine de secondes), l'accélération devient largement perceptible.

Cette instrumentation a été installée en 2010 dans un forage de prospection d'eau potable à Ajoupa Bouillon. En 2020, nous avons installé un système de transmission (via une clé 4G) vers l'OVSM IPGP.

VII. 5. Le système de détection automatique de la rivière du Prêcheur

La rivière du Prêcheur (**Figure 29**) est équipée d'un système de détection automatique des lahars, constitué d'un système principal qui comprend trois géophones (RPRE, CPMA, CCPA) et d'un système secondaire de détection des coulées les plus fortes à base de capteurs pendulaires (RPRE). Ces capteurs ont été installés par l'OVSM à la fin de l'année 1999, suite aux coulées de boues de janvier 1997 et 1998, en s'inspirant de systèmes existants dans d'autres observatoires volcanologiques comme celui opéré par l'USGS sur les volcans des Cascades aux États-Unis.

Ce système déclenche automatiquement la sonnerie d'une sirène dans le bourg du Prêcheur (**Figure 30**) en cas de lahar, provoqué par une grande quantité d'eau qui remobilise des dépôts présents au pied de la falaise Samperre et qui proviennent majoritairement de glissements au niveau du Piton Marcel, en tête de la Rivière Samperre. Ces glissements se produisent de manière récurrente depuis plusieurs dizaines d'années.

Le système de détection automatique des lahars de la Rivière du Prêcheur a été amélioré au cours de l'année 2020 avec un nouveau traitement des données obtenues aux trois stations de mesures (**Figure 29**).

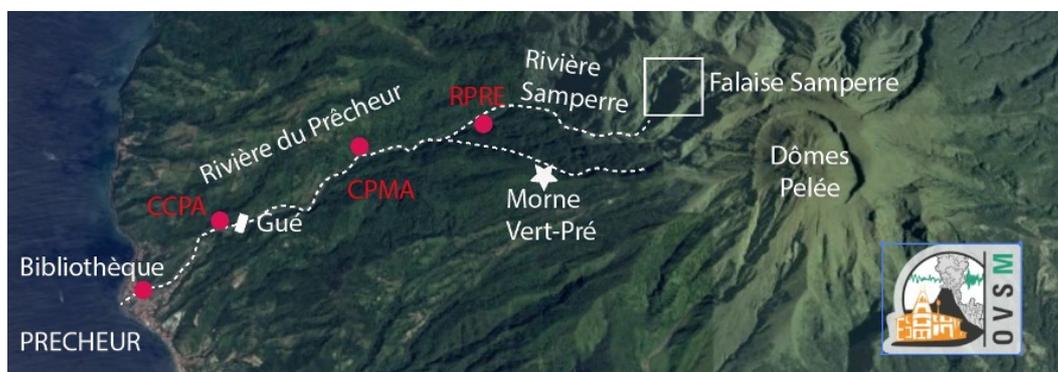


Figure 29. Localisation de la rivière du Prêcheur, de la rivière Samperre et de la falaise Samperre. Les géophones du système principal de détection automatique des lahars de l'OVSM IPGP sont représentés par des points rouges et le site d'observation visuelle et par caméra de Morne Vert-Pré par l'étoile blanche.

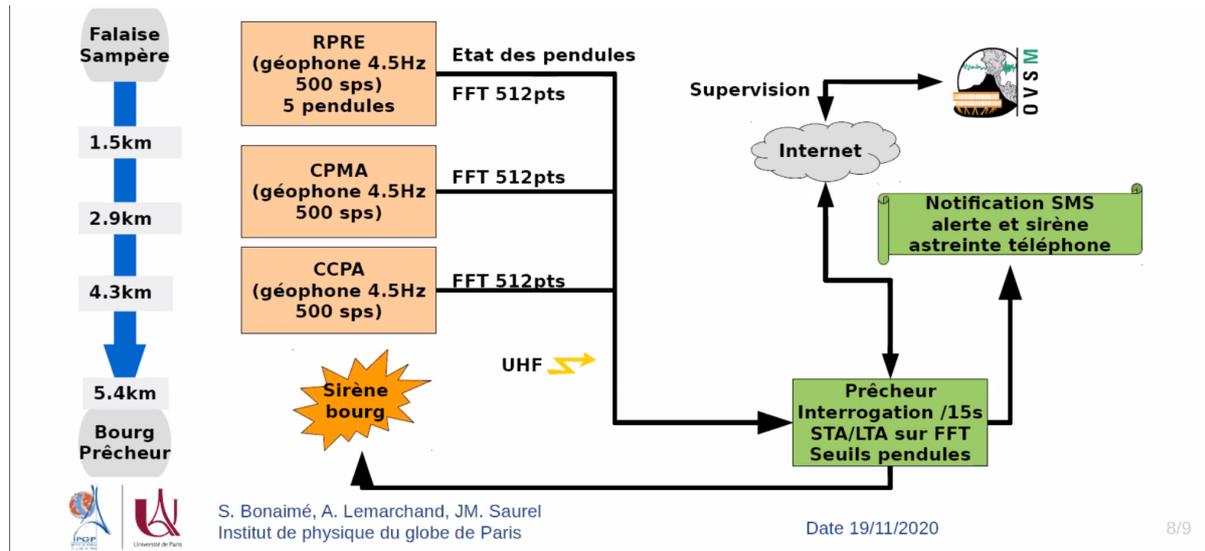


Figure 30. Système de détection automatique des lahars de la rivière du Prêcheur maintenu par l'OVSM IPGP.

VII. 6. Le réseau de suivi géochimique de la Montagne Pelée

Depuis 1970, date de l'extinction de la dernière fumerolle en activité, l'observatoire suit les paramètres physico-chimiques des « Sources Chaudes » de la rivière Chaud (coulée de la rivière Blanche) et le site nommé « Puits Chaud » (**Figure 31**). Jusqu'en 1979, année où devint opérationnel le laboratoire d'analyse des eaux à l'OVSG, seule la température était suivie régulièrement. Depuis 1996, un forage a été réalisé sur le site de Puits Chaud de façon à effectuer des mesures en continu de la hauteur d'eau, de la température, de la conductivité et du pH.

Puits Chaud a été suivi régulièrement et instrumenté dès 1965. A l'origine, le site était un puits creusé par un agriculteur pour y prendre de l'eau pour son bétail. En 1996, un forage de 10,5 mètres de profondeur a été creusé, maintenu par un tube en métal et instrumenté. A partir de 1997, c'est un capteur multi-paramètre qui enregistre la température, le pH, la conductivité et la hauteur d'eau. Actuellement, les capteurs du forage s'organisent comme suit en allant du plus profond vers la surface :

- Une sonde de température PT1000 (sonde température du bas) ;
- Une sonde de conductivité-température WTW LRD325 (sonde conductivité du bas), utilisée jusqu'en juillet 2015. Après cette date, elle a été remplacée par une sonde conductivité-température Campbell CS547 ;
- Un capteur de la hauteur d'eau (transducteur de pression Campbell PDCR1830) ;
- Une sonde de conductivité-température Campbell CS547 (sonde de conductivité du haut) ;
- Dans le coffret : la température, la tension batterie.

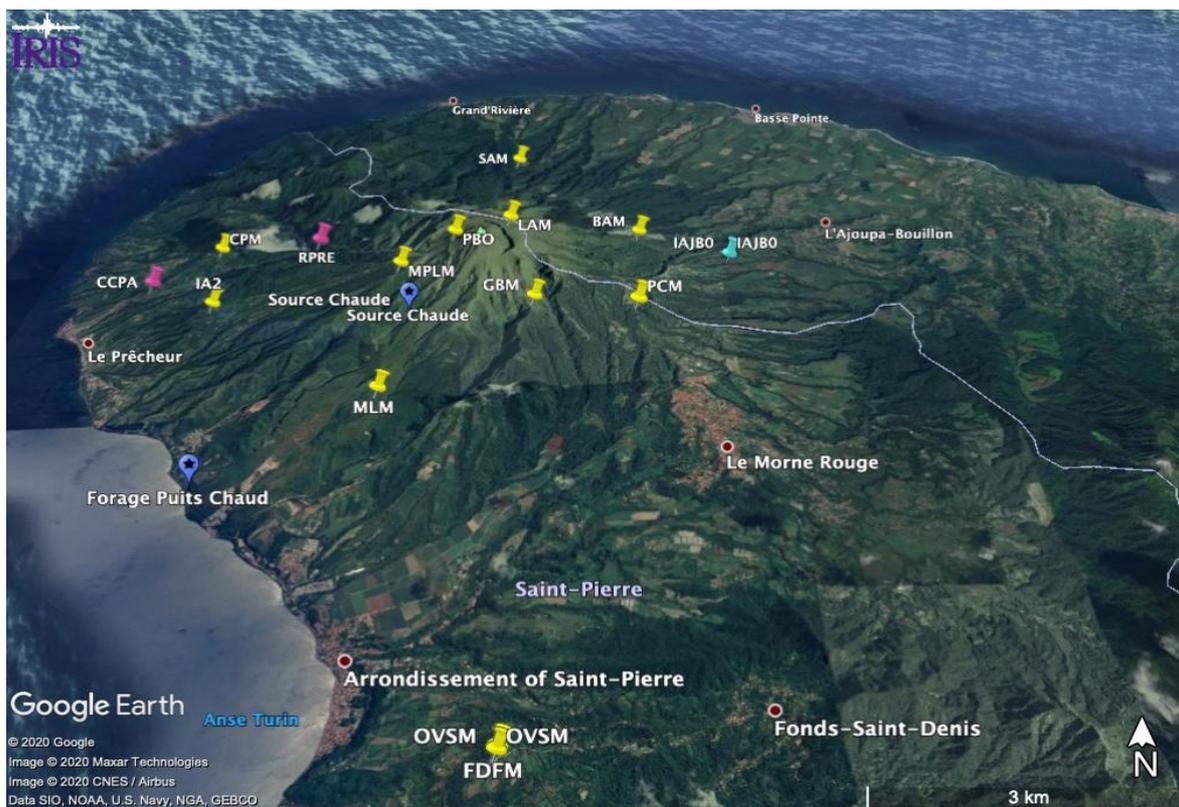


Figure 31. Localisation de Sources Chaudes et Puits Chaud qui sont des sites auxquels des observations géochimiques sont réalisées régulièrement. Les stations sismiques du réseau d'observations de la Montagne Pelée de l'OVSM IPGP et du réseau GEOSCOPE IPGP sont représentées en jaune. IAJB0 correspond à un site équipé d'inclinomètres. Les stations de mesures en rose sont utilisées spécifiquement pour la détection automatique des lahars.

Des prélèvements manuels ont lieu chaque année sur le site des « Sources Chaudes » de la Rivière Chaude. Les échantillons sont expédiés à l'OVSG IPGP où une équipe de géochimie effectue les analyses en ions majeurs. Les analyses en concentration et en rapport isotopique du carbone inorganique dissous sont effectuées à Paris au Laboratoire de Géochimie des Isotopes Stables de l'IPGP.

VII. 7. Interventions sur les réseaux de surveillance et de mesures en 2020

Au cours de l'année 2020, malgré le contexte sanitaire difficile, l'OVSM a réalisé près d'une centaine d'interventions de maintenance sur ses différents réseaux de surveillance pour en assurer le développement et le maintien opérationnel. Ces différentes interventions ont concerné notamment la transmission des données, les capteurs, les numériseurs, le débroussaillage des sites instrumentés, le nettoyage des panneaux solaires, le remplacement des batteries et des régulateurs, etc. En plus de ces interventions sur les réseaux de surveillance de l'OVSM, l'équipe technique a effectué les interventions mensuelles d'ordre préventif et exceptionnelles sur la station H05S du CEA située à Sainte-Anne. Ces interventions sont prévues dans la convention liant le CEA à l'OVSM.

Réseau sismologique régional

Sur les 4 stations du réseau régional WI, 3 sites ont nécessité des interventions au cours de l'année 2020, notamment pour l'entretien des infrastructures et le remplacement des parcs de batteries.

- ❖ Au niveau de la station **MPOM**, un entretien général du site a été réalisé au cours du mois de février 2020, ainsi que la pose d'appâts pour les nuisibles. Il a été noté un affaissement de plus en plus prononcé de la dalle en béton et de la clôture, ainsi que des traces de corrosion à la base du support de l'antenne de transmission des données par satellite. Les 10 batteries vieillissantes permettant l'alimentation électrique de la station ont été remplacées par 10 batteries neuves de type 12V 110Ah à Gel Victron. En décembre 2020, une seconde intervention a eu lieu afin de réparer les quatre gonds de la porte d'accès de la station qui étaient défectueux.
- ❖ Au niveau de la station **ILAM**, le remplacement d'un lot de 10 batteries vieillissantes par 10 batteries neuves de type 12V 110Ah à Gel Victron a également été effectué au cours du mois d'août 2020.
- ❖ Au niveau de la station **SAM**, l'entretien de la station et la pose d'appâts pour les nuisibles ont été réalisés en août 2020. Au cours du mois de novembre 2020, deux jours d'interventions ont été nécessaires au remplacement des lambourdes du pourtour de la cave sismique par des cornières en galva sur les deux niveaux. Le récepteur GPS de type Trimble NetR9 N° 5103K73232 a également été remplacé par un récepteur de type Trimble NetR9 N° 512k74577. En décembre 2020, un second entretien de la station a été réalisé ainsi que le remplacement des câbles de la station sismologique qui avaient été rongés par des nuisibles.

Réseau sismologique de Martinique

Sur les 13 stations du réseau régional MQ, 8 sites ont nécessité des interventions au cours de l'année 2020, notamment pour des dysfonctionnements d'alimentation électrique. Au niveau de la Montagne Pelée, les stations **BAM**, **GBM**, **CPM**, **MPLM** et **PBO** ont nécessité des interventions.

- ❖ Concernant la station **BAM**, le remplacement de la batterie et du régulateur a été effectué au mois de février.
- ❖ La modernisation de la station **GBM** a été effectuée en 2020. Le 14 août, une mission hélicoptérée a été réalisée avec le concours du Dragon 972 de la sécurité civile pour procéder à l'installation de la nouvelle station numérique large-bande à 3 composantes et à l'arrêt de la station analogique courte-période à 1 composante. En septembre 2020, le dysfonctionnement du numériseur *Centaur* à cause de redémarrages intempestifs a nécessité son remplacement. Le capteur GPS a également été remplacé.
- ❖ En novembre 2020, une batterie supplémentaire a été mise en place au niveau de la station **MPLM** afin d'améliorer son alimentation électrique.
- ❖ En décembre 2020, la batterie et le régulateur de la station **PBO** ont été remplacés.

RAPPORT ANNUEL OVSM - IPGP – 2020

Au niveau du reste du réseau sismologique de Martinique, les stations **TRM**, **LPM** et **MVM** ont nécessité des interventions en raison de dysfonctionnement de la transmission des données.

- ❖ Au cours des mois d'août et de septembre 2020, le système de transmission des données de la station **TRM** a été réparé.
- ❖ Courant 2020, des problèmes électriques ont eu lieu au niveau de la station **MVM** et ont provoqué des coupures de transmission des données vers le relais de la station **BIM**. Une alimentation 220v > 12v a donc été mise en place pour améliorer la communication Radio-Ripex entre les stations **LPM** et **MVM**.
- ❖ En novembre 2020, un numériseur Centaur 6ch a été installé au niveau de la station **LPM**. L'émetteur radio Ripex a été remplacé, et un boîtier de tests de la transmission entre les stations **LPM** et **MVM** a été mis en place.

Au cours de l'année 2020, au niveau de la station du CEA (**Figure 32**), 8 contrôles préventifs sur les 12 prévus ont été réalisés, ainsi que 2 interventions exceptionnelles. Les contrôles mensuels non effectués ont été annulés suite aux restrictions sanitaires, à la réparation du véhicule de l'Observatoire ainsi qu'à la formation du personnel.

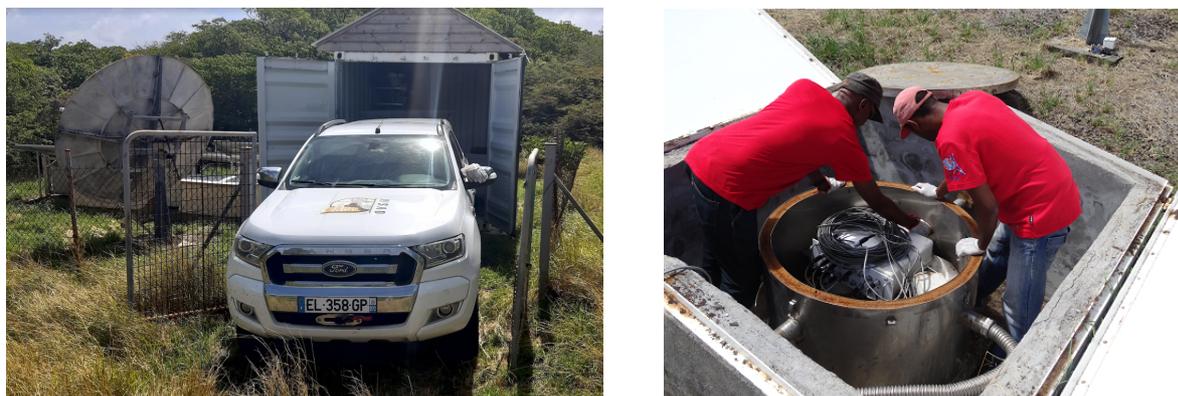


Figure 32. Intervention technique sur la station du CEA.

Réseau accélérométrique

En février 2020, une intervention a eu lieu au niveau de la station accélérométrique **CGCP** pour contrôler le bon fonctionnement de la station qui semblait présenter des difficultés lors des déclenchements automatiques. En mars, une intervention de la CTM a été effectuée au niveau de la station **CGLR** pour procéder au remplacement de la batterie et du régulateur.

Par ailleurs, du 09 au 13 mars 2020, une campagne de caractérisation des effets de sites aux stations accélérométriques du réseau **RAP-RESIF** a été effectuée en Martinique, au niveau des stations **MALA**, **MATR**, **MADI**, **MPOM** et **CGLR-CGCP**. Plusieurs membres de l'OVSM ont pu participer à cette campagne.

Réseau de déformation

En mars 2020, le câble d'antenne du capteur GPS de type Trimble du site de mesure **FSDC** a été remplacé. En novembre 2020, les données du site de mesure **AJB0** ont été récupérées manuellement. Au niveau de l'inclinomètre de forage **IAJB**, les données ont également été récupérées manuellement en juin et en novembre 2020.

Système de détection automatique de la rivière du Prêcheur

Nous avons réalisé 3 interventions hélicoptérées avec le soutien du Dragon 972 de la sécurité civile sur la station RPRE du système de détection automatique des lahars de la rivière du Prêcheur, pour y effectuer des réparations et des opérations de maintenance technique. La municipalité de la commune du Prêcheur effectue par ailleurs des tests mensuels pour valider le bon fonctionnement de la sirène qui retentit au niveau de la bibliothèque et des locaux techniques de la mairie. Courant 2019, 3 stations sismologiques temporaires ont été installées au niveau des 3 géophones de l'OVSM dans la rivière du Prêcheur (CCPA, CPMA et RPRE), dans le cadre d'un projet de recherche ERC (European Research Council) mené par A. Mangeney (IPGP) visant à étudier les éboulements de la falaise Samperre et les lahars. Ces stations ont été démontées en juin 2020. Au cours de leur déploiement, la récupération des données s'est opérée ponctuellement en fonction des besoins et des interventions terrain programmées.

En juin 2020, le capteur sismique de la station temporaire du projet ERC située au niveau de la station **RPRE**, en amont de la Rivière du Prêcheur et au niveau du système de seaux pendulaires, a été démonté. La batterie et le panneau solaire de la station temporaire ont été branchés sur la station **RPRE** afin d'améliorer son alimentation électrique.

En octobre 2020, une intervention avec CAN Caraïbes a été effectuée pour procéder à l'élagage des deux rives autour de la station **RPRE** et du système de seaux pendulaires. Il a été noté que suite au passage d'un lahar le 29/07/2020, seuls 3 lests sur 5 restaient opérationnels, les autres ayant été endommagés. De plus, le mât de support des panneaux solaires était tordu et les panneaux solaires en panne.

Enfin, le 04 novembre 2020, l'alimentation de la station **RPRE** a été réparée et améliorée avec la mise en place de 4 panneaux solaires, de 3 batteries, et la réparation du mât tordu par un mât triangulaire sécurisé par un haubanage. Les hauteurs des 5 lests du système pendulaire ont été ajustées, et des mesures ont été prises sur site pour la construction de l'infrastructure qui accueillera des radars en 2022.

Concernant la station située la plus en aval, **CCPA**, un entretien a été effectué en juin 2020. La station CCPA surplombe directement le lit de la rivière du Prêcheur au niveau du gué. A terme, elle devra être déplacée car elle est située sur une berge subissant régulièrement des éboulements. Au niveau du bâtiment de la bibliothèque du Prêcheur, la batterie du système Campbell qui sert à transmettre les données à l'Observatoire et à déclencher la sirène a été remplacée en juillet 2020. Une mise à jour a également été effectuée, ainsi que plusieurs phases de tests, conduisant à la bascule du dispositif de déclenchement de la sirène depuis l'ancien système de détection sur le nouveau système Campbell.

Station Météorologique

L'ancienne station météorologique installée au niveau du deuxième refuge de la Montagne Pelée (**LAM**) a été démontée en juin 2020. Les différents capteurs ont été récupérés et les panneaux solaires nettoyés. Au cours des mois de novembre et décembre 2020, après une phase de configuration et de tests, plusieurs interventions ont été réalisées pour la réinstallation complète de la station météorologique de la Montagne Pelée, composée de nouveaux capteurs, et qui fournit ses mesures en temps réel à l'Observatoire.

Réseau de suivi géochimique de la Montagne Pelée

En juillet 2020, la sonde de mesure de la conductivité et de la température située à 8.5 mètres de profondeur au niveau du forage **Puits Chaud** a été remplacée.

VII. 8. Évolution du système informatique en 2020

Une vingtaine de machines virtuelles (VM) tournent dans le cluster haute disponibilité à l'observatoire. Ce système a été installé en 2012, et permet de faire fonctionner tous les services informatiques de l'observatoire en autonomie. Ce système est vieillissant, et l'OVSM a de plus en plus de difficultés à trouver des pièces de rechange pour le maintenir. L'OVSM a profité du déménagement dans son nouveau bâtiment en mars 2019 pour le moderniser, et la migration des services informatiques est en cours. Pour cette modernisation, l'OVSM s'est équipé de 4 baies 42U qui comprennent un couloir confiné d'air chaud au centre et une extraction d'air vers l'extérieur. Cette solution complète permet d'héberger le cluster informatique en optimisant son refroidissement. Le cluster est composé de trois serveurs ainsi que d'un espace de stockage SAN iSCSI. Les serveurs sont des HPE DL360 Gen10 avec 2 Xeon 10 coeurs, 128Go de RAM, une double alimentation, 6 ports Gb, 4 ports 10Gb SFP+ et carte de gestion à distance. Le SAN est lui composé d'une baie de disques MSA2050 avec double contrôleur et double alimentation, ainsi que de deux switch iSCSI avec 48 ports 10Gb et 2 ports 40Gb. Le nouveau cluster n'est plus géré par l'hyperviseur VMware, mais par Proxmox pour s'affranchir des licences onéreuses.

Un NAS Netgear ReadyNas avec 8 disques SATA 7.2k 8To a de plus été installé pour archiver les données et sauvegarder les VMs. L'OVSM a par ailleurs renouvelé ses ordinateurs durcis de terrain par de machines V110 de chez Gétac.

VII. 9. Archivage et distribution des données

Les données acquises quotidiennement par l'OVSM-IPGP sont archivées, et la majorité d'entre elles sont distribuées en temps réel pour la communauté scientifique. Depuis fin 2015, les données sismologiques brutes et décimées des stations du réseau WI sont disponibles en temps réel depuis les serveurs seedlink du centre de données de l'IPGP, de RESIF, d'IRIS ; les données accélérométriques brutes des stations du réseau WI sont disponibles en temps réel sur le serveur seedlink de RESIF ; les données sismologiques et géodésiques brutes des stations de Martinique sont disponibles sur le portail Volobsis (<http://volobsis.ipgp.fr>) ; les données archivées et complétées sont disponibles depuis le centre de données de l'IPGP, de RESIF et d'IRIS au fur et à mesure de l'avancée des validations, les données lentes (géochimie, etc) sont sauvegardées aux observatoires volcanologiques à Paris ; les catalogues et bulletins de sismicité sont sauvegardés aux observatoires volcanologiques à Paris, et disponibles sur la page web de l'OVSM-IPGP.

Les tableaux suivants (**Tableaux 6 et 7**) donnent le nombre de Go de données sismologiques et géodésiques demandées auprès du centre de distribution de l'IPGP pour le réseau MQ et pour l'ensemble des stations du réseau WI.

Données sismologiques	WI		MQ	
	Nouvelles Données Archivées (Go)	Données Délivrées (Go)	Nouvelles Données Archivées (Go)	Données Délivrées (Go)
2017	162	1,143	93	149
2018	164	1,048	116	182
2019	205	1,200	122	137
2020	200	1,687	108	652

Tableau 6. Distribution des données sismologiques par le centre de données de l'IPGP.

Données GNSS	Nouvelles Données Archivées (Go)	Données Délivrées (Go)
2017	1.0	5.8
2018	0.8	1.0
2019	0.0	0.3
2020	0.0	0.9

Tableau 7. Distribution des données géodésiques par le centre de données de l'IPGP.

VIII Activités diverses de l'OVSM

VIII. 1. Formations, missionnaires et stagiaires

Le personnel de l'OVSM IPGP a pu suivre plusieurs formations au cours de l'année 2020 :

- **Frederic Jadelus - [2020-07-20 - 2020-07-22]** - APAVE Fort de France - Formation Habilitation Electrique
- **Cyril Vidal, Frederic Jadelus, David Melezan- [2020-09-20 - 2020-10-02]** - Trois-Ilets Formation pilote drone
- **Jean-Gilles Gabriel - [2020-10-05 - 2020-10-06]** - -APAVE Fort de France - Formation Habilitation électrique
- **David Melezan - [2020-10-08]** - Examen permis drone
- **Frederic Jadelus - [2020-11-05]** - Examen permis drone

L'OVSM a par ailleurs accueilli des chercheurs ou des ingénieurs de l'extérieur ou de l'IPGP lors de leurs missions à l'observatoire :

- **Jan Woerlein et Olivier Boraz, [2020-02-18 - 2020-02-24]** – ANR V-CARE
- **Emeline Maufroy, Fabrice Hollender, Rémy Burlot, - [2020-03-06 - 2020-03-14]** - RAP en Martinique -
- **Komorowski Jean-Christophe - [2020-12-17 - 2021-03-06]** - Intérim de la Direction de l'OVSM puis contribution à la mise à jour de la partie scientifique du plan ORSEC de la Montagne Pelée.

Cette année deux étudiants ont été accueillis en stage à l'observatoire :

- **Anne-Sophie Firmin - [2020-05-04 - 2020-07-07]** - Stage M1 encadré par Jordane Corbeau et Anne-Marie Lejeune,
- **Johris Pain - [2020-11-16 - 2020-12-11]** - Stage de 2ème année BTS SNIR encadré par Cyril Vidal

VIII. 2. Hygiène et sécurité

Au cours de l'année 2020, diverses actions ont été menées pour l'amélioration des conditions d'hygiène et de sécurité à l'OVSM. Plus de la moitié du personnel de l'observatoire a réalisé une visite médicale en janvier 2020 (7 personnes sur 11, dont une qui a opté pour le vaccin contre la leptospirose). Pour cette année 2020, il n'y a pas eu d'accident du travail. Par ailleurs, l'OVSM dispose d'un défibrillateur semi automatique pour lequel la mise à jour des équipements a été faite en mars 2020 (batterie, électrodes).

Par ailleurs, l'Observatoire lutte contre les nuisibles sur le terrain mais également dans l'enceinte du bâtiment, et a mis en place un contrat annuel de dératisation et de désinsectisation avec une entreprise locale. Des opérations ponctuelles ont été menées en octobre et en novembre 2020 pour lutter contre des rongeurs qui avaient pris possession des lieux.

Dans le cadre des futures interventions sur la zone de végétation dégradée située sur les flancs du volcan, l'OVSM a acquis un détecteur de gaz en novembre 2020, notamment pour relever la présence potentielle de CO₂, SO₂ et d'H₂S.

Concernant la crise sanitaire due à la Covid-19, nous avons fait face à la situation en mettant en place les gestes barrières recommandés pour limiter la propagation du virus dans l'enceinte de l'établissement et garantir au maximum la sécurité du personnel (usage de masques chirurgicaux, de gants, de gel hydroalcoolique). Aucun agent n'a à ce jour été contaminé.

VIII. 3. Communications, colloques et publications

Le directeur de l'OVSM-IPGP, en plus d'assurer avec son équipe la publication des communiqués et des bulletins et de relayer en direct toutes les nouvelles informations sur les réseaux sociaux, a participé en décembre 2020 à **7 réunions publiques** avec Monsieur le Sous-Préfet de La Trinité et de Saint Pierre (à Saint Pierre, Morne Rouge, Grand-Rivière, Macouba, Basse Pointe, Ajoupa Bouillon, Prêcheur) organisées dans les communes les plus proches de la Montagne Pelée à la suite de son passage en niveau vigilance jaune. Deux de ces réunions publiques ont été enregistrées et sont toujours visibles sur le web et sur Facebook. Il a par ailleurs répondu à de très nombreuses sollicitations des médias nationaux et internationaux, avec notamment des interventions et des interviews pour :

- ❖ **Conférence de presse pour le passage en vigilance jaune de la Montagne Pelée**
- ❖ Martinique Première Radio (édition du matin du 30 octobre 2020)
- ❖ Journal Télévisé de ViaATV
- ❖ Journal Télévisé de Martinique Première du 4 décembre 2020
- ❖ Outremer NEWS TV
- ❖ France Antilles (par exemple : 4, 7, 10 et 15 décembre 2020)
- ❖ Journal de l'île de La Réunion (22 décembre 2020)

Le site Internet de l'IPGP (<http://www.ipgp.fr>) fournit des informations scientifiques et vulgarisées dans le domaine des Sciences de la Terre. Les pages spécifiques à l'OVSM ont été rédigées en 2014 et modifiées en 2020 (<http://www.ipgp.fr/fr/ovsm/observatoire-volcanologique-sismologique-de-martinique-ovsm-ipgp>).

L'ensemble des informations relatives à l'activité de la Montagne Pelée est disponible sur les différents médias de l'OVSM-IPGP :

RAPPORT ANNUEL OVSM - IPGP – 2020

- ❖ Le site internet : ipgp.fr/fr/ovsm/actualites-communiques-publics-de-lovsm
- ❖ Le compte Twitter : twitter.com/ObsMartinique
- ❖ Le compte Facebook : facebook.com/ObsVolcanoSismoMartinique/

La photo de la Montagne Pelée prise depuis l'ancien bâtiment de l'observatoire toutes les 15 minutes est mise à la disposition du public sur la page de l'OVSM sur le site de l'IPGP (<http://www.ipgp.fr/fr/ovsm/montagne-pelee>).

Jordane Corbeau, post-doctorante à l'OVSM IPGP dans le cadre du projet Interreg Caraïbe PREST, a donné un séminaire à l'IPGP à Paris au mois d'octobre 2020. Ce séminaire portait sur les résultats de ses travaux de recherche sur la sismicité de l'arc des Petites Antilles (Corbeau et al., 2020a). Une partie de ces résultats ont ensuite été présentés au congrès international de l'AGU Fall Meeting 2020 (American Geophysical Union) au mois de décembre 2020 (Corbeau et al., 2020b). J. Corbeau a également participé à la publication d'une étude sur l'anisotropie sismique de la frontière Nord de la plaque Caraïbe dans la région d'Haïti (Possee et al., 2020).

Par ailleurs, J. Corbeau a été récompensée pour ses travaux menés dans les Outre-mer par le prix *Jeunes Talents France 2020* du programme international "Pour les Femmes et la Science" de la fondation L'Oréal-UNESCO.

VIII. 4. Relations avec les autorités

L'observatoire travaille en partenariat avec les autorités locales pour l'ensemble des thématiques liées aux risques et à la connaissance de l'aléa :

- ❖ Pour la mise en œuvre du Plan Séisme Antilles avec la DEAL et le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) ;
- ❖ Pour les discussions sur la recherche en Martinique avec la délégation régionale à la recherche et à la technologie (DRRT) ;
- ❖ Pour l'actualisation des dispositifs ORSEC avec la Préfecture ;
- ❖ Pour les mises à jour des différents plans spécialisés (volcan et Rivière du Prêcheur) de la Préfecture avec le Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC).

IX Projets et collaboration

IX. 1. Collaboration avec l'OVSG, l'OVPF et l'IPGP

Au cours de l'année 2020, l'algorithme de détection automatique de séismes volcano-tectoniques et de type hybride opérationnel niveau de la Soufrière de Guadeloupe a été mis en place à l'OVSM IPGP pour aider à la détection des séismes de la Montagne Pelée. Cet algorithme, basé sur la méthode de "Template Matching" ou d'apprentissage automatique, permet la reconnaissance automatique d'événements à partir de signaux sismiques de référence, avec la possibilité d'ajouter de nouveaux signaux de référence au cours du temps en cas de détection d'une nouvelle famille de séismes.

Par ailleurs, plusieurs réunions avec des experts des OVS et d'autres organismes de recherche ont eu lieu concernant la réactivation de la Montagne Pelée et les moyens de recherche à mettre en place pour un suivi efficace.

IX. 2. Collaboration régionale

Au niveau de la Caraïbe, l'OVSM participe quotidiennement à la distribution de ses données sismologiques et échange des informations scientifiques sur l'activité sismique et volcanique de la région avec le SRC basé à Trinidad. En outre, dans le cadre du projet de recherche PREST porté par l'OVSM des échanges scientifiques ont lieu avec Haïti et Cuba.

IX. 3. Projet PREST

Le projet **PREST** (vers la Plateforme Régionale de Surveillance Tellurique du futur) a été déposé par l'OVSM auprès du Programme Interreg Caraïbe V 2014-2020 en février 2017. Le comité de sélection a retenu le projet en juin 2017. Il s'agit d'un projet d'envergure ayant pour partenaires nationaux l'IRD, le CNRS, l'ENS, l'ESEO, le GET, et comme partenaires extra-communautaires le BME et l'UEH en Haïti et le CENAIIS à Cuba. Ce projet a été prolongé et sera clôturé à la fin du premier semestre 2022.

L'objectif du projet PREST est de réaliser une plateforme de recherche régionale en géosciences pour mieux comprendre les aléas telluriques qui menacent les Grandes et Petites Antilles en développant des technologies marines innovantes, des échanges de savoir-faire et des collaborations inter-îles en interaction avec les meilleurs spécialistes français, européens et américains. Cette plateforme bénéficie du bâtiment ultra-moderne de l'Observatoire Volcanologique et sismologique de Martinique (OVSM-IPGP) comme point focal et support logistique.

L'année 2020 a été difficile du fait du démarrage de la pandémie Covid-19 qui a reporté nombre de missions. Toutefois, 8 articles scientifiques ont été publiés et 10 présentations ont été données.

WP3 Haïti

La finalisation de la mise en place du réseau de stations sismiques bon marché (Raspberry Shake) chez la population possédant un générateur et internet a montré son efficacité pour réaliser en Haïti une surveillance de l'activité sismique (Calais et al. 2020, voir résumé plus loin). Un article sur la modélisation des tsunamis observés lors du séisme d'Haïti de 2010 et associés à des glissements de terrains a été publié (Poupardin et al. 2020).

WP4 Études Petites Antilles

Une mission a eu lieu en Guadeloupe pour mesurer les réseaux géodésiques de la Soufrière et des îles. Deux articles scientifiques en sismologie ont été publiés, un sur les méthodes de classification des séismes volcaniques de la Soufrière (Falcin et al. 2020), et un sur l'analyse de la résilience aux cyclones des réseaux sismologiques de l'arc antillais (Saurel et al. 2020). L'article de Moretti et al. (2020), analyse l'activité sismo-volcanique qui s'est déroulée sous la Soufrière en 2018, avec des essaims de microsismicité à 2 km de profondeur aboutissant à un séisme volcano-tectonique de $M=4$, et associée à des variations de température, de composition chimique et de flux des fumerolles, et à des variations de déformations. Il interprète cette activité à une éruption phréatique avortée, alimentée par des fluides magmatiques plus profonds, environ 6-7 km (voir le résumé plus loin).

Un article de Knappe et al. (2020) présente des analyses de la rhéologie des sédiments prélevés lors de la campagne IODP 340.

Seibert et al. (2020), publie une synthèse de la morphologie du prisme de l'arc des Petites Antilles et des processus sédimentaires qui s'y produisent.

Enfin Van Rijnsingen et al. (2020, voir résumé plus loin) présentent une analyse détaillée du couplage sismique de la subduction des Petites Antilles que l'on peut déduire des données

GNSS. Ils en confirment que les données de déformation montrent que la subduction est peu ou pas couplée, incluant aussi les zones des ruptures proposées pour les séismes de 1839 et 1843.

WP5 : Plateforme Marine

Finalisation des études sur le bateau et sur les sondeurs multifaisceaux puis achat de ce dernier.

WP6 : Fabrication de sismomètres de fond de mer : Ocean Bottom Seismometers (OBS)

Finalisation de la conception assistée par ordinateur de la mécanique de l'OBS (ocean bottom seismometers) formée de 2 hémisphères en verre (**Figure 33**).



Figure 33. Développement d'un sismomètre de fond de mer.

WP7 : Observatoire sous-marin de capteurs optiques des Saintes (Guadeloupe)

En 2020, l'équipe a terminé la conception et la fabrication des instruments et de l'interrogateur laser. Ils ont aussi préparé la mission d'installation des équipements qui a eu lieu en juin 2021 avec succès.

Publications liées au projet PREST

Calais, E., D. Boisson, S. Smithe, C. Prépetit, B. Pierre, S. Ulyse, L. Hurbon, A. Gilles, J.M. Théodat, T. Monfret, A. Deschamps, F. Courboux, J. Chèze, F. Peix, E. Bertrand, J.P. Ampuero, B. Mercier de Lépinay, J. Balestra, J.L. Berenguer, R. Boissu, L. Fallou and V. Clouard, (2020). A Socio-Seismology Experiment in Haiti, *Front. Earth Sci.*, 25 September 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.542654>
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.542654/full>

Falcin, A., J.-P. Métaixian, J. Mars, E. Stuzmann, J.C. Komorowski, R. Moretti, M. Malfante, F. Beauducel, J.-M. Saurel, C. Dessert, A. Burtin, G. Ucciani, J.-B. de Chabalière and A. Lemarchand, (2020). A machine-learning approach for automatic classification of volcanic seismicity at La Soufrière Volcano, Guadeloupe, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 411 (2021) 107151. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107151>

Knappe, E., M. Manga, A. Le Friant and the IODP 340 Scientists (2020). Rheology of natural sediments and its influence on the settling of dropstones in hemipelagic marine sediment. *Journal of Earth and Space Science, AGU, Volume 7, Issue 3.* <https://doi.org/10.1029/2019EA000876>.

RAPPORT ANNUEL OVSM - IPGP – 2020

Moretti, R., J.-C. Komorowski, G. Ucciani, S. Moune, D. Jessop, J.B. de Chabalier, F. Beauducel, M. Bonifacie, A. Burtin, M. Vallee, S. Deroussi, V. Robert, D. Gibert, T. Didier, T. Kitou, N. Feuillet, P. Allard, G. Tamburello, T. Shreve, J.-M. Saurel, A. Lemarchand, M. Rosas-Carbajal, P. Agrinier, A. Le Friant and M. Chaussidon. (2020). The 2018 unrest phase at La Soufrière of Guadeloupe (French West Indies) andesitic volcano: Scrutiny of a failed but prodromal phreatic eruption. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 393 (2020) 106769, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106769>

Poupardin, A., E. Calais, P. Heinrich, H. Hébert, M. Rodriguez, S. Leroy, H. Aochi and R. Douilly, (2020). Deep submarine landslide contribution to the 2010 Haiti earthquake tsunami. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 2055–2065, 2020. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2055-2020>

Saurel, J.-M., J. Corbeau, S. Deroussi, T. Didier, A. Lemarchand, S. Moune, L. Lynch, A.-M. Lejeune, R. Moretti and J.-C. Komorowski, (2020). Building a natural-hazard-resilient high-quality seismic network: How WI network sustained hurricanes Maria and Irma. *Seismol. Res. Lett.* 92, 77-84, doi: <https://doi.org/10.1785/0220200270>.

Seibert, C., N. Feuillet, G. Ratzov, C. Beck, and A. Cattaneo, (2019), Seafloor morphology and sediment transfer in the mixed carbonate-siliciclastic environment of the lesser Antilles forearc along Babuda to St Lucia, *Marine Geol.*, 428 (2020) 106242, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106242>

Van Rijsingen, E., Calais, R. Jolivet, J.B. de Chabalier, J. Jara, J., S. Symithe, R. Robertson and G.A. Ryan, (2020) Inferring Interseismic Coupling along the Lesser Antilles Arc: A Bayesian Approach, *Solid Earth*, 126, e2020JB020677. <https://doi.org/10.1029/2020JB020677>

Conférences et Communications liées au projet PREST

Corbeau, J., et al., 2020. Identification of major earthquake precursors offshore Martinique, Lesser Antilles. IPG Paris, Séminaire conjoint équipe Géosciences Marines et thème Risques Naturels, 14 octobre 2020.

Corbeau, J., Firmin, A.-S., and Lejeune, A.-M., 2020, Constraining the down dip limit of the Lesser Antilles seismogenic zone with seismicity relocations. AGU Fall Meeting, Dec. 1-17 2020.

Del Manzo G., Le Friant A., Caron B., Villemant B., Bartolini A., (2020). Marine Tephrostratigraphy: a Powerful Geological Tool to Better Understand the Eruptive History of Montagne Pelée (Martinique, Lesser Antilles). AGU Fall Meeting 2020, Dec. 1-17, 2020.

Fleuristin, H., 2019, Apports des données SHAPAP à la compréhension des effets de site à Port-au-Prince, Soutenance Master, janvier 2020.

Montiney, R., 2019, Evaluation des déformations inter-sismiques sur Haïti avec les données 2019. Soutenance Master, janvier 2020.

Paul, S., 2019, Établissement de cartes d'intensité tsunamis d'origine co-sismique pour le séisme du 7 mai 1842 en Haïti, Soutenance Master, janvier 2020.

Possee, D., D. Keir, N. Harmon, C. Rychert, C. Eakin, F. Rolandone, S. Leroy, J. Corbeau, G. Stuart, D. Boisson, R. Momplaisir and C. Prépetit , 2020. Spatial variations in crustal and mantle anisotropy across the North American Caribbean plate boundary on Haiti, *Journal of Geophysical Research*, 125(6), doi:10.1029/2019JB018438.

Benâtre, G., Feuillet, N., Carton, H., Jacques, E. And Pichot, T., 2020, A main slip partitioning system in the sedimentary wedge of the Lesser Antilles subduction zone. Congrès des Doctorants, IPGP Paris, 23-27 mars 2020.

Del Manzo G., Le Friant A., Caron B., Villemant B., Bartolini A., (2020). Marine Tephrostratigraphy: a Powerful Geological Tool to Better Understand the Eruptive History of Montagne Pelée (Martinique, Lesser Antilles). Congrès des Doctorants, IPG Paris, 23-27 mars 2020.

Benâtre, G., Feuillet, N., Carton, H., Jacques, E. And Pichot, T., 2020, Main active structures in the Barbados accretionary wedge of the Lesser Antilles Subduction: Implications for slip partitioning, EGU General Assembly 4-8 May 2020.

Van Rijsingen, E., Calais, E., Jolivet, E., de Chabalier, J.B., Jara, J., Symithe, S., Robertson, R., Ryan, G., 2020, Seismogenic behaviour in the lesser Antilles, EGU General Assembly 4-8 May 2020.

Quelques résultats marquants

Pas (peu) de mega-séismes interplaques dans la subduction des Petites Antilles ?

Le long des zones de subduction, l'essentiel du déplacement entre les deux plaques est accommodé lors de mega-séismes interplaques particulièrement destructeurs (**Figure 34a**), et pouvant également engendrer des tsunamis. Toutefois, il est possible de quantifier la préparation du futur séisme interplaque grâce aux mesures GPS. Pendant la phase intersismique qui dure plusieurs décennies à plusieurs siècles, l'interface de subduction est bloquée ou partiellement bloquée, en raison des conditions de friction le long de l'interface (**Figure 34c**) et produit une compression élastique de la marge, avec un gradient de déformation à la surface (flèches bleu foncé sur la **Figure 34c**), de quelques millimètres par an. Le mega-séisme interplaque correspond à la libération soudaine de cette charge élastique (**Figure 34d**) avec des déplacements de plusieurs mètres en quelques minutes, lorsque les contraintes dépassent la force de friction. Aux Petites Antilles comme le long de toutes les zones de subduction de la planète, ce gradient horizontal de vitesse de déformation atteignant quelques millimètres par an sur la bordure de la plaque supérieure, la plaque Caraïbe (**Figure 34c**) peut être mesuré par GPS pour donner des réponses sur le niveau de couplage (ou de blocage) intersismique entre les deux plaques, 100% si le gradient est observé à 0% sinon.

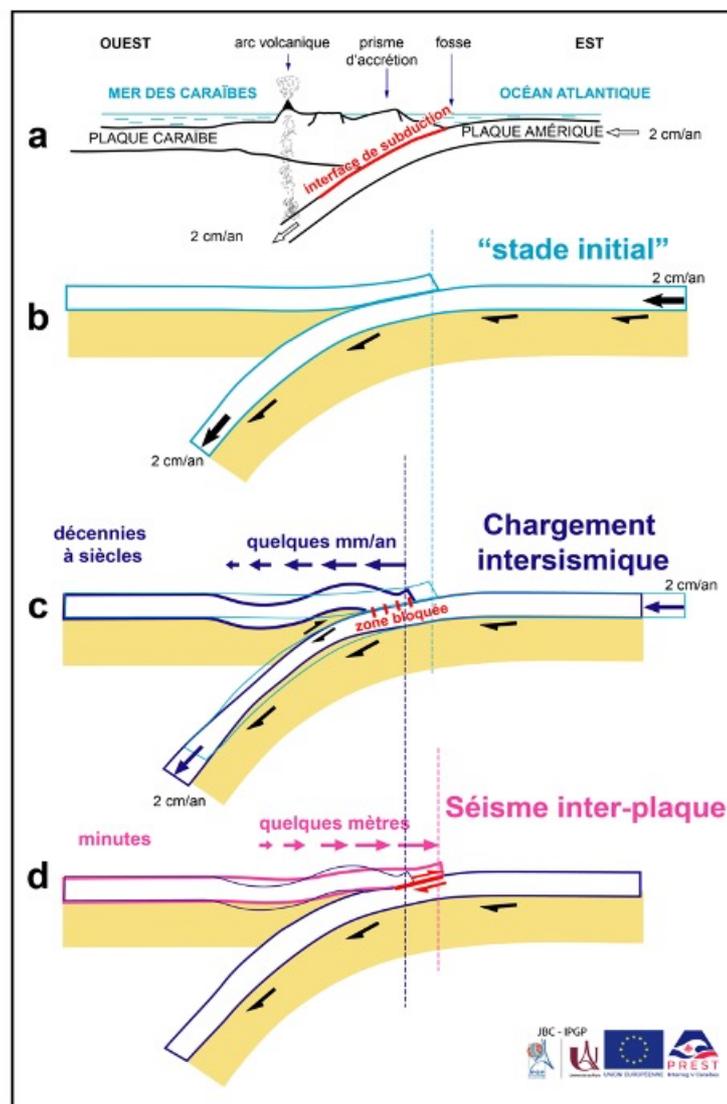


Figure 34. Schéma du cycle sismique dans les zones de subduction. a : localisation de l'interface entre les plaques américaine et caraïbe. b : stade initial virtuel. c : pendant la phase intersismique, les mesures GPS montrent un gradient vectoriel de quelques millimètres par an dirigé vers l'ouest. d : le séisme interplaque correspond à la libération soudaine de la déformation accumulée pendant le chargement intersismique, avec des déplacements de plusieurs mètres vers la fosse (vers l'est).

Dans cette publication, van Rijsingen et ses collègues utilisent une approche mathématique bayésienne pour explorer les modèles plausibles et fournir des estimations réalistes du couplage intersismique, en particulier dans deux zones où des mesures GPS denses existent : en Guadeloupe et en Martinique, où des séismes destructeurs historiques de magnitude 8 +/- 0.5 et 7.5 +/- 0.5 se sont produits en 1843 et 1839 respectivement, et sont proposés comme étant des séismes interplaques (**Figures 35 et 36**).

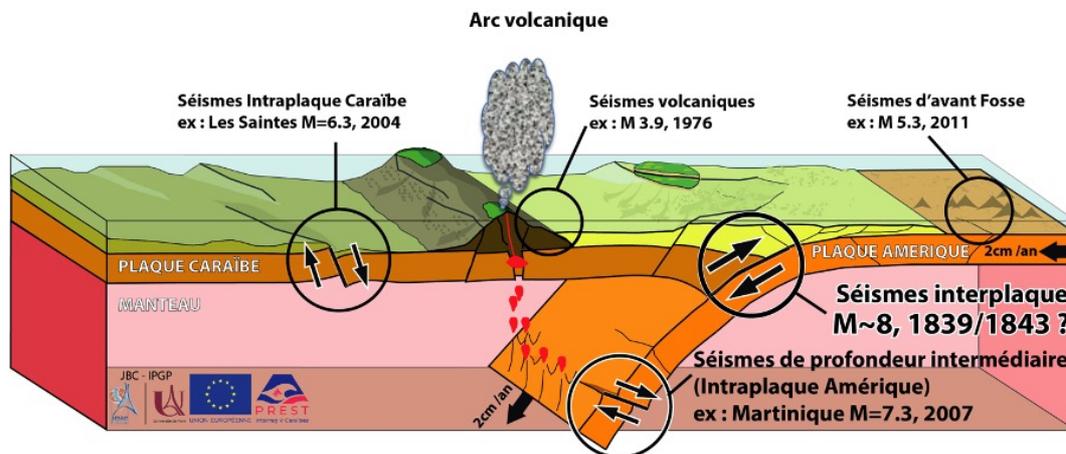


Figure 35. Croquis schématique du cadre tectonique de la subduction des Petites Antilles, avec les différents types de séismes (interplaques vs intraplaques).

Dans leur étude, les auteurs constatent que l'interface des plaques tectoniques présente actuellement un faible degré de blocage (**Figure 36**). Cela implique que les mega-séismes interplaques sont peu probables et/ou très rares dans cette région. Les séismes historiques de 1839 et 1843 n'ont peut-être pas eu lieu le long de l'interface, mais pourraient plutôt s'être produits plus profondément dans la plaque plongeante (séisme de profondeur intermédiaire, Figure 2), comme les grands séismes récents de $M > 7$ en 1953 et 2007 qui se sont produits profondément dans la plaque descendante. Cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de risque sismique dans les Petites Antilles, les séismes intraplaques peuvent aussi être très dangereux et causer beaucoup de dégâts, selon leur magnitude et l'endroit où ils se produisent. Une meilleure compréhension des variations temporelles du couplage intersismique doit aussi être explorée dans de futures études de la mécanique des subductions.

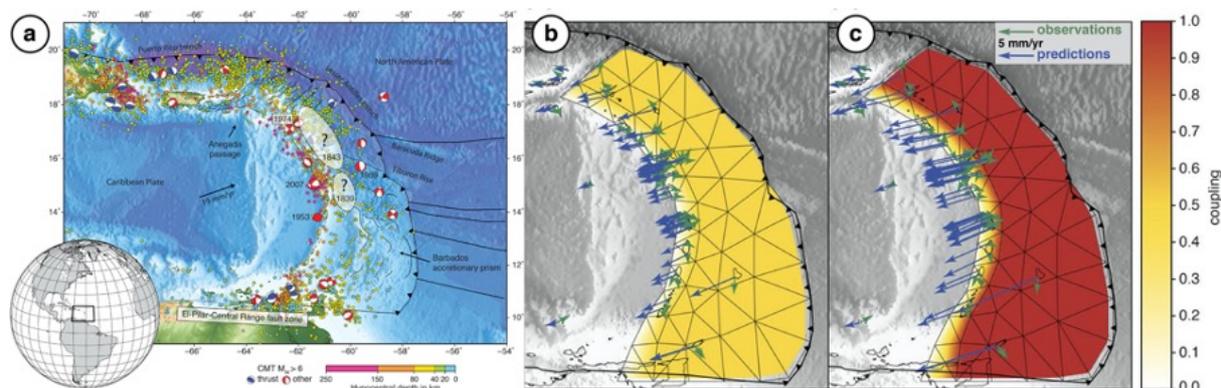


Figure 36. a : Carte tectonique des Petites Antilles, indiquant les limites de plaques, la sismicité et la zone proposée pour les séismes de 1839 et 1843, à l'interface de subduction. b et c : deux modèles de couplage présentent les vitesses GPS simulées (flèches bleues) résultant de deux scénarios de blocage différents, que l'on peut comparer avec les vitesses GPS mesurées (flèches vertes). En b, la faille est bloquée à 50 % jusqu'à 65 km (couplage de 0.5), tandis qu'en c elle est bloquée à 100 % (couplage de 1.0). Les deux modèles prédisent des vecteurs dirigés vers l'ouest de quelques mm/an (vecteurs bleus) qui ne sont pas observés dans les données GPS (vecteurs verts). Le maximum qui peut être acceptable est un blocage partiel (moins de 40%) jusqu'à 20 km de profondeur (proche de la fosse).

Référence :

van Rijsingen¹, E., Calais^{1,2}, R. Jolivet¹, J.B. de Chabaliér³, J. Jara¹, J., S. Symithe⁴, R. Robertson⁵ and G.A. Ryan⁶, Inferring Interseismic Coupling along the Lesser Antilles Arc: A Bayesian Approach, (2020), Solid Earth, 126, e2020JB020677. <https://doi.org/10.1029/2020JB020677>

Une expérience de socio-sismologie en Haïti

Les approches de réduction des risques sismiques appliquent classiquement un modèle descendant dans lequel les informations scientifiques sont traitées pour fournir des mesures et des règles de mitigation des risques compréhensibles par tous, tout en protégeant les utilisateurs finaux des informations initiales, souvent complexes. Il existe d'autres modèles communautaires, rarement appliqués à grande échelle, qui reposent sur les observations et les expériences précieuses, mais non scientifiques, des populations locales. Malgré les efforts de réduction des risques basés sur ces deux approches, les changements de comportement ou de politiques visant à réduire le risque sismique sont lents, voire inexistant, en particulier dans les pays en développement. Nous présentons ici l'étape initiale d'un projet qui vise à tester, par le biais d'une expérience de sismologie participative en Haïti - un pays frappé par un tremblement de terre dévastateur en janvier 2010 (**Figure 37**) - si l'implication du public ou de la communauté par la production et l'utilisation d'informations sismiques peut améliorer la sensibilisation aux tremblements de terre et, peut-être, induire des initiatives de protection à la base. Cette expérience est rendue possible par le lancement récent de stations sismologiques Raspberry Shake (**Figure 38**) très bon marché et prêtes à l'emploi, par la facilité relative d'accès à Internet, même dans les pays en développement comme Haïti, et par la familiarité de tous avec les réseaux sociaux comme moyen de diffusion de l'information. Nos premiers résultats indiquent que 1) les données sismiques collectées sont de qualité suffisante pour la détection et la caractérisation en temps réel de la sismicité régionale, 2) les citoyens sont en demande d'informations sur les tremblements de terre et font confiance aux scientifiques, même s'ils semblent voir les tremblements de terre à travers la double lentille de la tectonique et de la magie/religion, 3) la motivation des hôtes des stations sismiques a permis de transmettre des données sans interruption pendant plus d'un an, y compris durant la crise politique majeure de l'automne 2019 et la situation actuelle du COVID19. À ce stade encore précoce du projet, nos observations indiquent que la sismologie citoyenne dans un contexte de développement a le potentiel d'engager le public tout en collectant des informations sismologiques scientifiquement pertinentes.

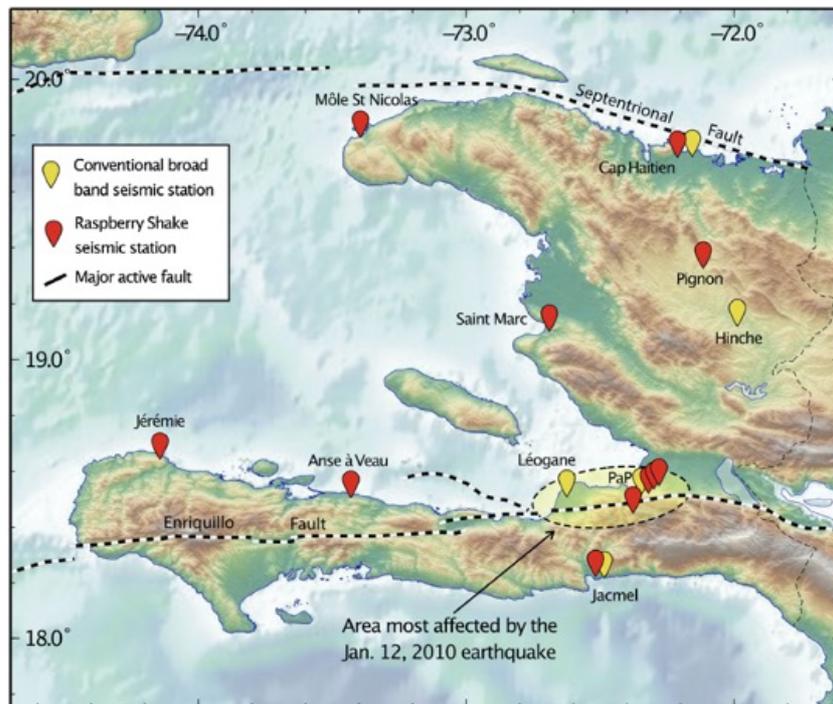


Figure 37. Carte d’Haïti montrant les principales failles actives (pointillés), la zone la plus affectée par le séisme de magnitude 7.1 du 12 janvier 2010, les localisations des stations sismologiques large bande conventionnelles et des stations Raspberry Shake installée dans le cadre de ce projet.



Figure 38. Exemple de station Raspberry Shake in Jérémie (Figure 1) avec son hôte à droite, M. Guild Mézile, un agriculteur. L’instrument est installé sur le sol de sa maison, avec un accès à l’électricité grâce à un générateur, et à l’internet.

Référence :

Calais, E., Boisson, D., Symithe, S., Prépetit, C., Pierre, B., Ulyse, S., Hurbon, L., Gilles, A., Théodat, J.M., Monfret, T., Deschamps, A., Courboux, F., Chèze, J., Peix, F., Bertrand, E., Ampuero, J.P., Mercier de Lépinay, B., Balestra, J., Berenguer, J.L., Boissu, R., Fallou, L. And Clouard, V., (2020). A Socio-Seismology Experiment in Haiti, *Front. Earth Sci.*, 25 September 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.542654><https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.542654/full>

Analyse de la crise sismo-volcanique de 2018 à la Soufrière de Guadeloupe : Une éruption phréatique avortée ou signe avant-coureur ?

Après 25 ans d'augmentation progressive, l'activité du volcan de La Soufrière de Guadeloupe a atteint son plus haut niveau d'énergie sismique le 27 avril 2018, avec le plus gros séisme volcano-tectonique (VT) ressenti (M_L 4,1 ou M_W 3,7), depuis la crise éruptive phréatique de 1976-1977. Cet événement a marqué le début d'un essaim sismique (**Figure 39**) de 180 événements (2 ressentis) survenant après trois essaims précédents les 3-6 janvier (70 événements), 1^{er} février (30 événements, 1 ressenti) et 16-17 avril (140 événements, 1 ressenti).

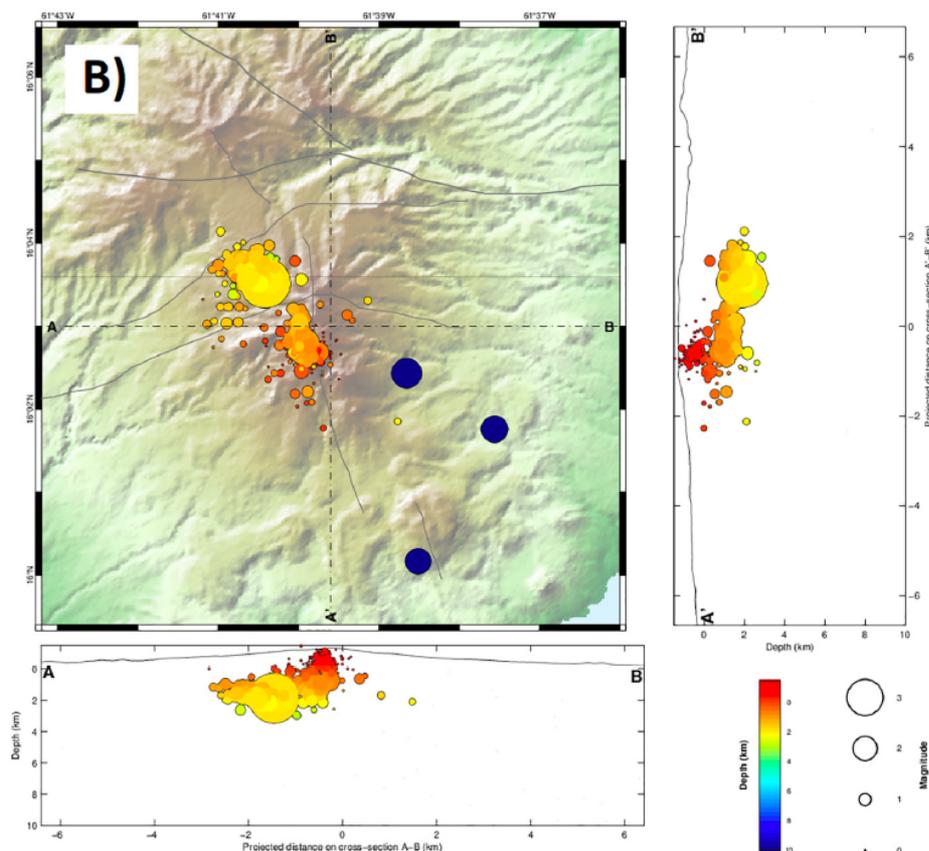


Figure 39. Sismicité de la Soufrière de Guadeloupe du 1^{er} janvier au 31 juillet 2018.

De nombreux événements étaient des VT hybrides avec des codas à longue période, situés à 2-4 km sous le sommet du volcan et regroupés dans un rayon de 2 km le long d'une faille régionale NW-SE qui traverse La Soufrière. La libération d'énergie élastique a augmenté avec chaque essaim, tandis que le temps entre les événements s'est raccourci. Dans le même temps, les fractures du sommet ont continué à s'ouvrir et les anomalies thermiques à s'étendre. L'activité fumerolienne du sommet a augmenté de manière significative jusqu'au 20 avril, avec une température maximale de 111,4 °C et une vitesse de sortie des gaz de 80 m/s, avant de diminuer à ~95 °C et ~33 m/s le 25 avril. Les compositions des gaz ont révélé des rapports C/S et CO₂/CH₄ croissants et indiquent des conditions P-T hydrothermales qui ont atteint le point critique de l'eau pure. Des analyses MultiGAS répétées des panaches fumeroliens ont montré une augmentation des rapports CO₂/H₂S et des teneurs en SO₂ associée à la réactivation des fractures de dégazage (T = 93 °C, H₂S/SO₂ ≈ 1). Bien qu'aucune preuve directe de migration du magma n'ait été détectée, nous attribuons les phénomènes ci-dessus à un apport accru de fluides magmatiques profonds qui ont chauffé et pressurisé le système hydrothermal de La Soufrière (**Figure 40**), déclenchant une hydro-fracturation engendrant des

séismes, et des changements probables des propriétés hydrauliques profondes (perméabilité) et des voies de drainage, qui ont finalement permis la baisse des flux des fumerolles.

Bien que cette injection de fluide magmatique ait été modulée par le système hydrothermal, la libération d'énergie sismique sans précédent et les conditions de point critique des fluides hydrothermaux suggèrent que la séquence d'événements de 2018 peut être considérée comme une éruption phréatique avortée. Si une séquence similaire se répétait, nous pensons qu'une activité explosive phréatique pourrait résulter de la perturbation du système hydrothermal peu profond qui est actuellement responsable de 3-9 mm/an de déplacements horizontaux radiaux dans un rayon de 1 km du dôme. Un autre risque potentiel est l'effondrement partiel du flanc SO du dôme, déjà affecté par l'étalement basal au-dessus d'une surface de détachement héritée d'effondrements antérieurs. Enfin, l'augmentation de l'alimentation en fluide magmatique mise en évidence par les indicateurs géochimiques en 2018 est compatible avec le réapprovisionnement en magma du réservoir crustal de 6-7 km de profondeur qui alimente La Soufrière et, par conséquent, avec une évolution potentielle de l'activité du volcan vers des conditions magmatiques.

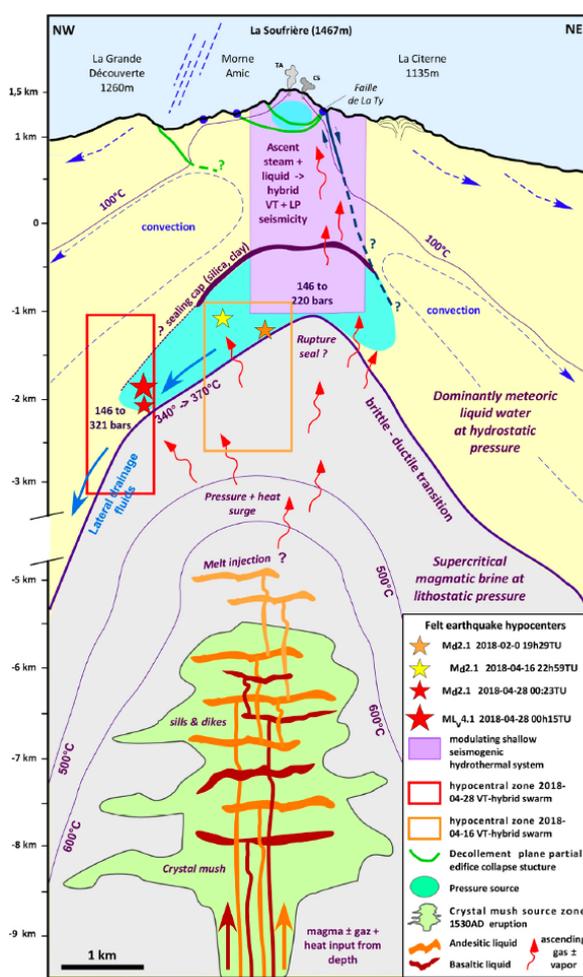


Figure 40. Modèle conceptuel de la Soufrière de Guadeloupe et de l'épisode sismo-volcanique de février-avril 2018. Le modèle conceptuel résume l'évolution des processus géophysiques et géochimiques, y compris l'accumulation de pressions interstitielles de dérivation thermique.

Référence :

Moretti, R., J.-C. Komorowski, G. Ucciani, S. Moune, D. Jessop, J.B. de Chabaliér, F. Beauducel, M. Bonifacie, A. Burtin, M. Vallee, S. Deroussi, V. Robert, D. Gibert, T. Didier, T. Kitou, N. Feuillet, P. Allard, G. Tamburello, T. Shreve, J.-M. Saurel, A. Lemarchand, M. Rosas-Carbajal, P. Agrinier, A. Le Friant and M. Chaussidon. (2020). The 2018 unrest phase at La Soufrière of Guadeloupe (French West Indies) andesitic volcano: Scrutiny of a failed but prodromal phreatic eruption. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 393 (2020) 106769, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106769>.

Bibliographie

Boudon, G., Le Friant, A., Villemant, B., and Viodé J.-P., 2005, Martinique, In *Volcanic Hazard Atlas of the Lesser Antilles* by J. Lindsay et al., 126-145.

Boudon, G., and Balcone-Boissard, H., 2021, Volcanological evolution of Montagne Pelée (Martinique): A textbook case of alternating Plinian and dome-forming eruptions. *Earth-Science Reviews*, doi :10.1016/j.earscirev.2021.103754.

Corbeau J., O. Gonzalez, N. Feuillet, **A.-M. Lejeune, F.R. Fontaine**, V. Clouard, J.-M. Saurel and the **OVSM team**, 2021, A significant Increase in Interplate Seismicity near Major Historical Earthquakes Offshore Martinique (FWI), *Bulletin of the Seismological Society of America*, <https://doi.org/10.1785/0120200377>.

Deparis, J.D., Jongmans, D., Cotton, F., Baillet, L., Thouvenot, F., and D. Hantz, 2007, Analysis of rock-fall seismograms in the western Alps, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 98, 1781-1796.

Fontaine, F. R., Roul, G., Michon, L., Barruol, G., and Di Muro, A., 2014, The 2007 eruptions and caldera collapse of the Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island) from tilt analysis at a single very broadband seismic station, *Geophysical Research Letters*, 41, 2803-2811, doi : 10.1002/2014GL059691.

Gadalia, A., Baltassat, J. M., Bouchot, V., Caritg, S., Coppo, N., Gal, F., and Zammit, C., 2014, Compléments d'exploration géothermique en Martinique: conclusions et recommandations pour les zones de la Montagne Pelée, des Anses d'Arlet, des Pitons du Carbet et du Lamentin, 2014. *Rapport final BRGM/RP-FR*, 227.

Hibert, C., 2012, Apport de l'écoute sismique pour l'étude des éboulements du cratère Dolomieu, Piton de la Fournaise (île de la Réunion), *Ph.D. thesis*, 195 pp., Inst. de Phys. du Globe de Paris, Paris.

Hirn, A., Girardin, N., Viodé, J. P., and Eschenbrenner, S., 1987, Shallow seismicity at Montagne Pelée volcano, Martinique, Lesser Antilles. *Bulletin of volcanology*, 49(6), 723-728.

Rousseau, N. 1999, Study of seismic signal associated with rockfalls at 2 sites on the Réunion Island (Indian Ocean): Mahavel Cascade and Soufriere cavity, *Ph.D. thesis*, 134 pp., Inst. de Phys. du Globe de Paris, Paris.

Yamada, M., H. Kumagai, Y. Matsushi, and T. Matsuzawa, 2013, Dynamic landslide processes revealed by broadband seismic records, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 2998-3002, doi:10.1002/grl.50437.