

**Dossier de  
Demande d’octroi d’un Permis Exclusif de Recherches  
de gîtes géothermiques en Martinique,  
dit « Permis de la Montagne Pelée »**

Permis portant sur les Communes suivantes du département de la Martinique : Saint-Pierre, Le Prêcheur, Grand’Rivière, Macouba, Basse-Pointe, L’Ajoupa-Bouillon, le Morne-Rouge,

**3<sup>ème</sup> Partie –  
Mémoire technique**

Mars 2024  
Incluant modifications de septembre 2025

**CARiGEN**  
c/o GAZ DOM HOLDING,  
ZI de Champigny,  
97224 DUCOS



### III.1. INTRODUCTION

En référence au décret n°2019-1518 du 30 décembre 2019 relatif aux titres d'exploration et d'exploitation des gîtes géothermiques, Article 5, cette 3ème partie du dossier de demande d'octroi d'un Permis Exclusif de Recherches de gîtes géothermiques dit Permis de la Montagne Pelée, déposée par la société CARIGEN, constitue « le mémoire technique qui justifie les limites du périmètre du titre sollicité, compte tenu, notamment, de la constitution géologique de la région. Il fournit des renseignements sur les travaux déjà effectués et leurs résultats ».

Le permis de la Montagne Pelée est localisé sur les flancs de l'édifice volcanique de la Montagne Pelée au nord du département de la Martinique (Figure 5 et Figure 6). Il a une superficie de 132 km<sup>2</sup>.

Le périmètre de ce PER s'appuie sur une analyse des données disponibles concernant l'histoire géologique du massif volcanique et sur les résultats de campagnes d'exploration géothermique menées par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) au cours des vingt dernières années.

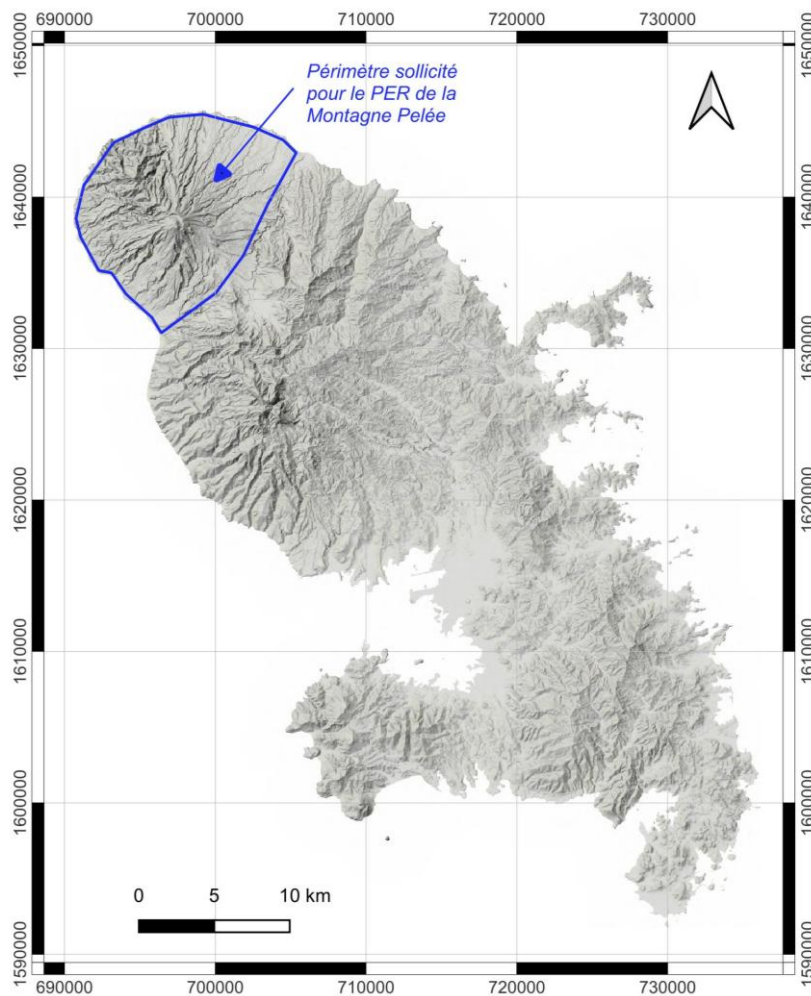


Figure 5 : Localisation du Permis Exclusif de Recherches de gîtes géothermiques de la Montagne Pelée dans l'île de la Martinique.

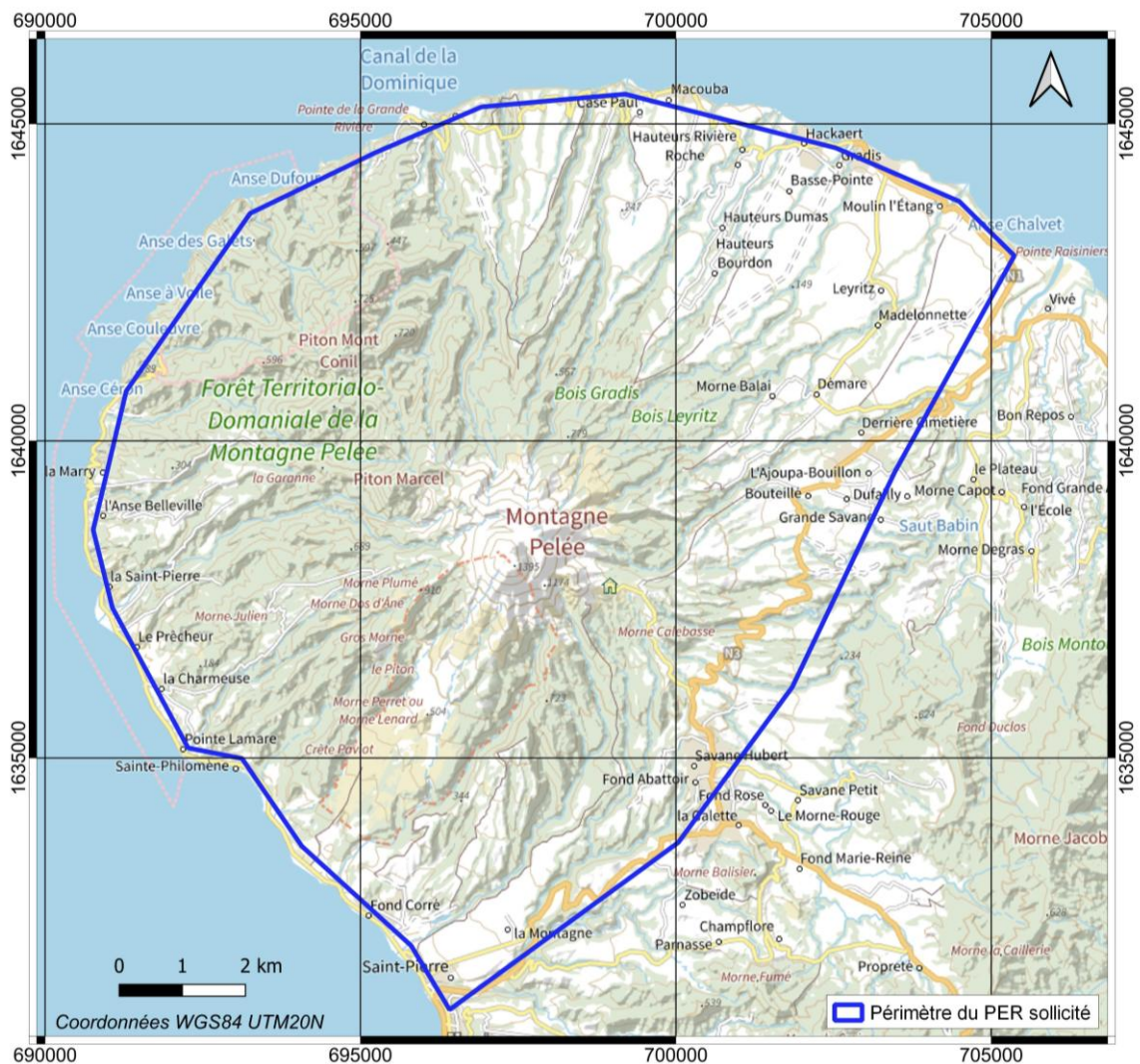


Figure 6 : Périmètre retenu pour le PER de la Montagne Pelée reporté sur une carte de l’IGN (source : Géoportail).

### III.2. PRESENTATION RAPIDE DE LA MARTINIQUE

La Martinique est l’une des îles de l’arc volcanique insulaire des Petites Antilles, résultant de la subduction de la plaque Atlantique sous la plaque Caraïbe. Son édification a démarré il y a environ 25 millions d’années avec la mise en place de laves que l’on retrouve aujourd’hui au niveau de la Presqu’île de la Caravelle et du sud martiniquais (Figure 7). Progressivement, l’activité volcanique va migrer vers l’ouest et le nord de l’île.

Le seul massif volcanique actif aujourd’hui est celui de la Montagne Pelée dont la dernière éruption remonte à 1902-1905 et 1929-1932. Les formations de la Montagne Pelée recouvrent les formations du massif volcanique du Mont Conil qui occupe l’extrémité nord de la Martinique et dont l’activité est datée entre 0,55 et 0,13 Ma. Au sud, les formations volcaniques de la Montagne Pelée recouvrent le massif volcanique des Pitons du Carbet qui s’est édifié dans la partie centrale de l’île et dont l’activité a pris fin il y a  $337\,000 \pm 5\,000$  ans (Samper et al, 2008), et le volcan bouclier du Morne Jacob dont l’activité est datée entre 5,5 et 1,5 Ma.

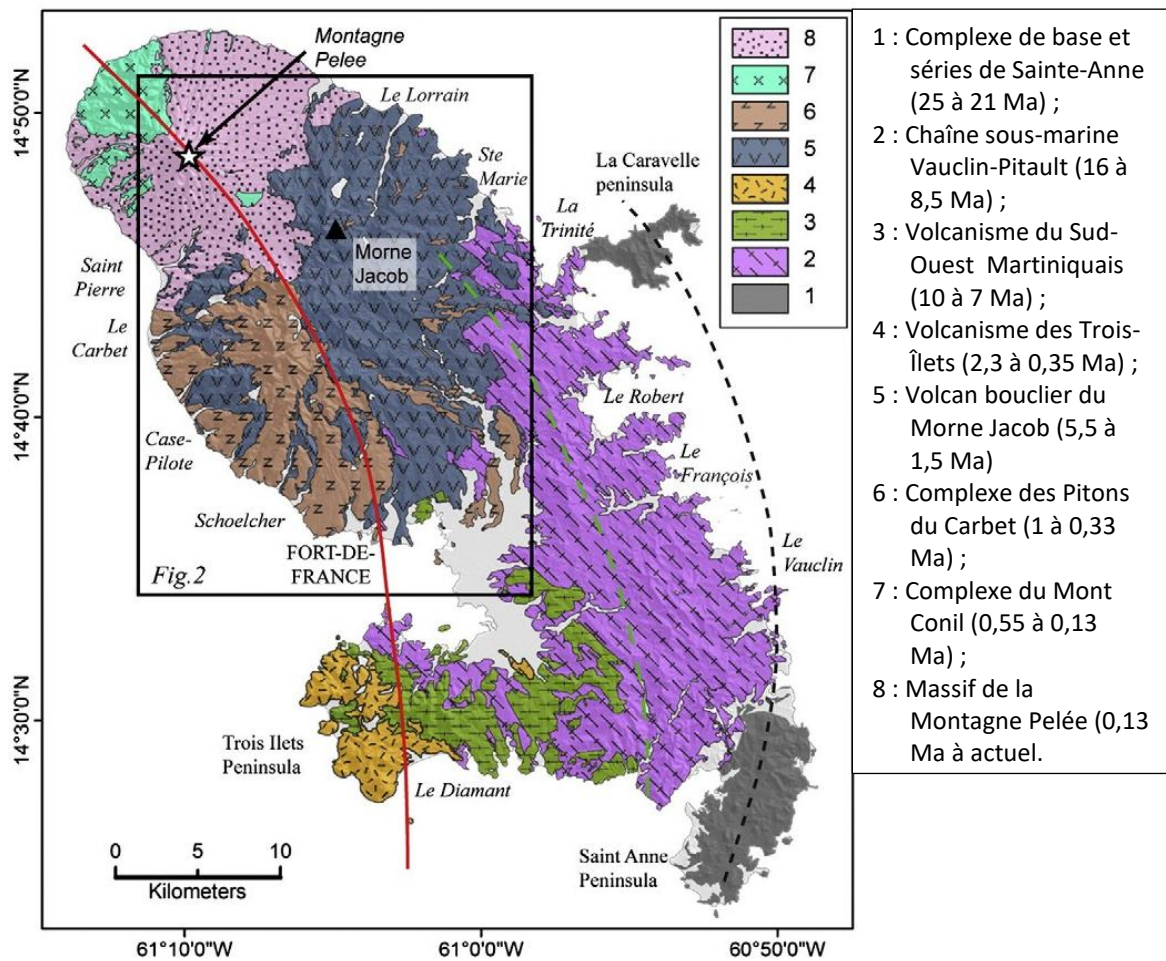


Figure 7 : Carte géologique synthétique de la Martinique et âge (Ma : million d'années) des différentes phases volcaniques (tiré de Germa et al., 2010).

### III.3. CONSTITUTION GÉOLOGIQUE DE LA ZONE DU PER

#### III.3.1 Résumé de l'édification du massif volcanique de la Montagne Pelée

La cartographie détaillée du volcan de la Montagne Pelée a été initiée dans les années 1980. Ces travaux ont abouti à la publication de la carte géologique au 1/25 000 de la Montagne Pelée (Westercamp et Traineau, 1983) puis à la publication de la carte géologique de la Martinique au 1/50 000 (Westercamp et al., 1990 ; Figure 8). Ces travaux avaient permis de reconstituer les principales étapes de l'édification du volcan en distinguant trois stades :

- L'Edifice ancien daté entre 400 000 ans et 200 000 ans B.P. ;
- L'Edifice intermédiaire daté entre 100 000 ans et 19 500 ans B.P. ;
- L'Edifice récent ayant débuté il y a 13 500 ans B.P.

Ces travaux avaient également permis d'établir une échelle chronostratigraphique des éruptions récentes de la Montagne Pelée. Ainsi, au cours de l'activité de l'édifice récent, une vingtaine d'éruptions ont été identifiées. Il s'agit soit d'éruptions similaires à celle de 1902-05 et 1929-1932 ayant donné lieu à la mise en place d'écoulements pyroclastiques de type nuées ardentes associés à l'édification (et la destruction) de dômes de lave, soit d'éruptions de type ponceuse à cheminée

ouverte ayant donné lieu à des retombées de cendres et lapilli (horizons plinien) et la mise en place d'écoulements pyroclastiques de cendres et ponces.

Les dernières éruptions de 1902-05 et 1929-32 ont plus particulièrement concernée le flanc sud-ouest du volcan. Les écoulements pyroclastiques de nuées ardentes ont été chenalisées dans la vallée de la Rivière Blanche. Les dômes de lave de 1902 et de 1929 se sont édifiés à l'intérieur de la caldeira de l'Etang Sec.

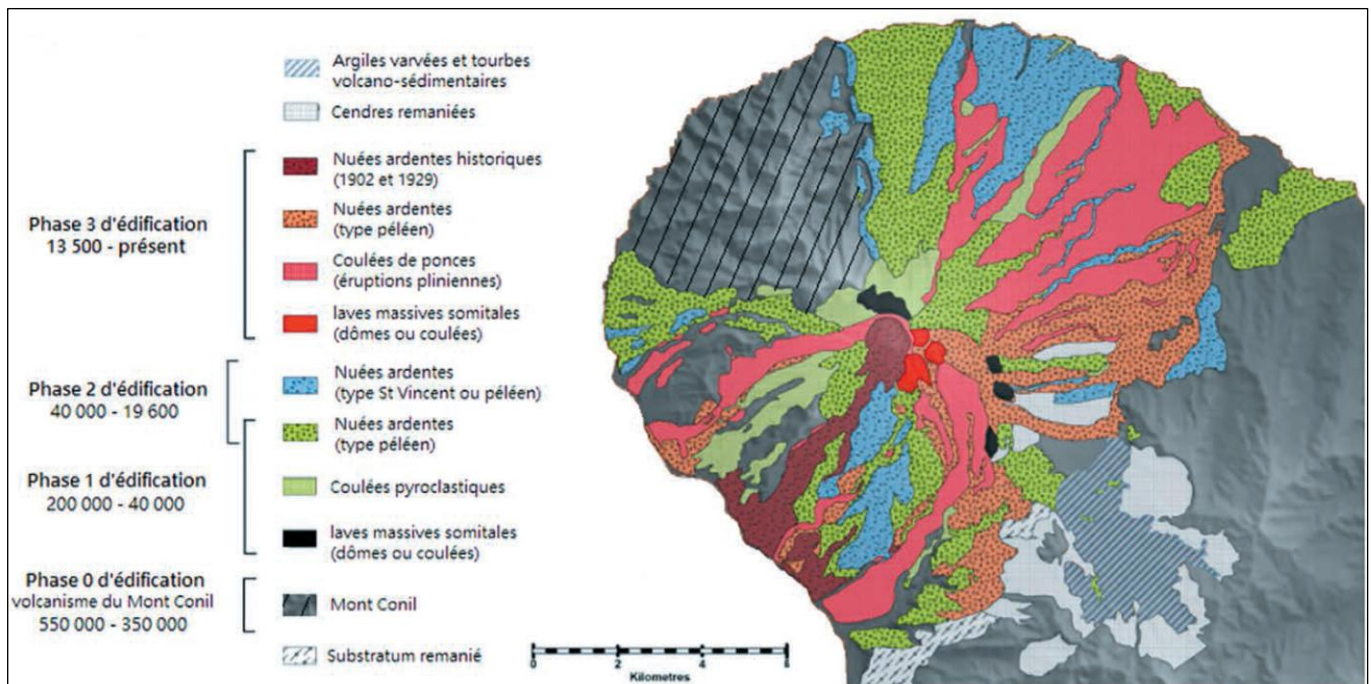


Figure 8 : Carte géologique simplifiée de la Montagne Pelée (source : Dossier de candidature à l'Inscription sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco).

### III.3.2 Les structures volcaniques

La carte géologique de la Montagne Pelée au 1/20 000 (Westercamp et Traineau, 1983) et la carte géologique au 1/50 000 de la Martinique publiée en 1990 (Westercamp et al., 1990) avaient conclu à l'existence de structures caldériques dans la partie sommitale du volcan, avec (Figure 9) :

- La caldeira de l'Etang-Sec, aujourd'hui comblée par les dômes de lave de 1902 et 1929 ;
- Un rebord morphologique au sommet du volcan, interprété comme un témoin de la caldeira dite de Macouba, associée à de volumineuses éruptions de nuées ardentes de type Saint-Vincent, datées vers 25 000 ans B.P. ;
- Un trait morphologique arqué sur le flanc sud du volcan, interprété comme le possible témoin d'une caldeira appartenant à l'édifice ancien de la Montagne Pelée.

Des travaux plus récents ayant bénéficié du retour d'expérience de l'éruption du volcan Mont Saint-Helens aux USA en 1980 ont mis en évidence plusieurs épisodes d'effondrements sectoriels qui ont affecté le flanc sud-ouest du volcan (Le Friant *et al.*, 2003 ; Figure 10) :

- Un premier effondrement daté entre 200 000 et 100 000 ans ;
- Un second effondrement daté vers 25 000 ans B.P. ;
- Un troisième effondrement daté vers 9 000 ans B.P.

Ces effondrements sont délimités par des cicatrices qui constituent des discontinuités importantes au sein de l'édifice. La caldera de l'édifice ancien qui avait été proposée sur les cartes géologiques au 1/20 000 et 1/50 000 de la Montagne Pelée (Westercamp et Traineau, 1983) correspond à l'une de ces cicatrices (voir Figure 10).

Ces structures volcaniques peuvent jouer un rôle important dans la circulation des fluides hydrothermaux sur le pourtour du cône sommital, notamment au niveau de la Haute Rivière Claire qui a été le siège d'éruptions phréatiques importantes en 1792 et 1851. Toutefois, elles ne sont pas enracinées profondément comme le sont des calderas sommitales consécutives à la vidange de la chambre magmatique.

La caldeira de l'Étang-Sec et les conduits éruptifs successifs emboîtés les uns dans les autres constituent également des zones privilégiées de circulations de fluides froids descendantes et de fluides chauds ascendantes.

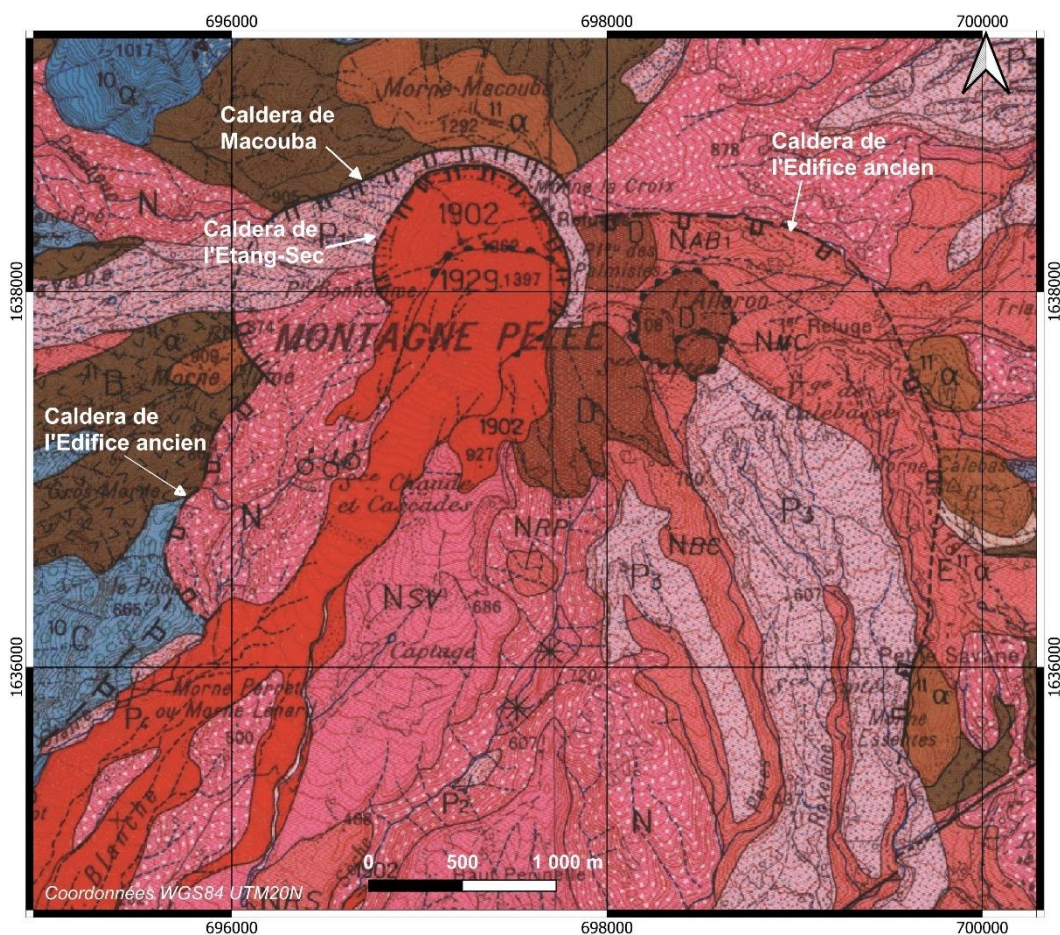


Figure 9 : Les structures caldériques individualisées sur les cartes géologiques de la Montagne Pelée au 1/20 000 et 1/50 000.

### III.3.3 Les structures tectoniques

Il y a très peu d'indices de fracturation tectonique au niveau de l'édifice volcanique de la Montagne Pelée. Le rebord morphologique de près de 100 m de puissance visible entre Saint Pierre et Morne Rouge avait été interprété initialement comme la trace d'un accident tectonique important comportant plusieurs tronçons de failles de direction générale NE-SW sur la carte

géologique au 1/50 000 (Figure 8). Cette interprétation n'est plus retenue aujourd'hui. Ce rebord morphologique serait la cicatrice de l'effondrement sectoriel ancien (voir Figure 10).

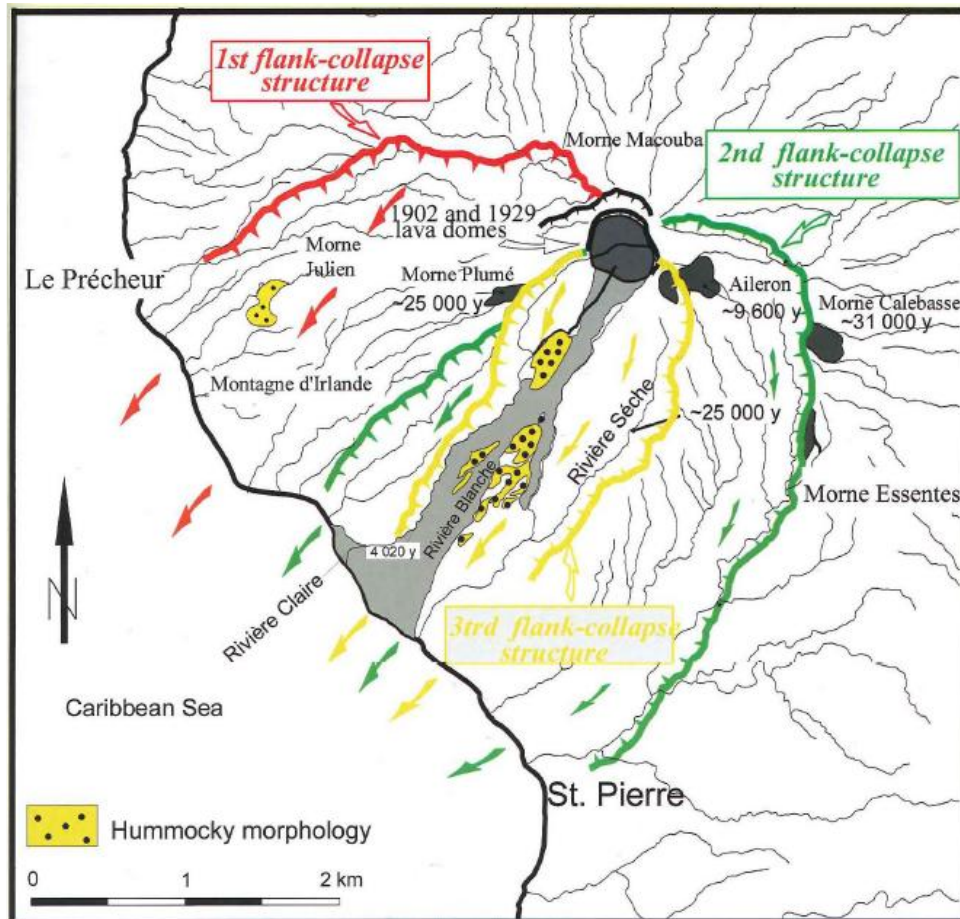


Figure 10 : Les cicatrices des effondrements sectoriels ayant affecté le flanc sud-ouest du volcan (d'après Le Friant et al., 2003).

### III.3.4 La pétrographie des laves de la Montagne Pelée

Les laves émises par la Montagne Pelée appartiennent à la série calco-alcaline. Leurs compositions varient depuis des basaltes jusqu'aux dacites (Figure 11). Toutefois, les andésites sont les plus nombreuses. Leurs caractéristiques pétrographiques (différenciation poussée, hétérogénéité, présence de faciès plutoniques et/ou de cumulats) plaident en faveur d'une chambre magmatique à l'aplomb de la partie sommitale du volcan.

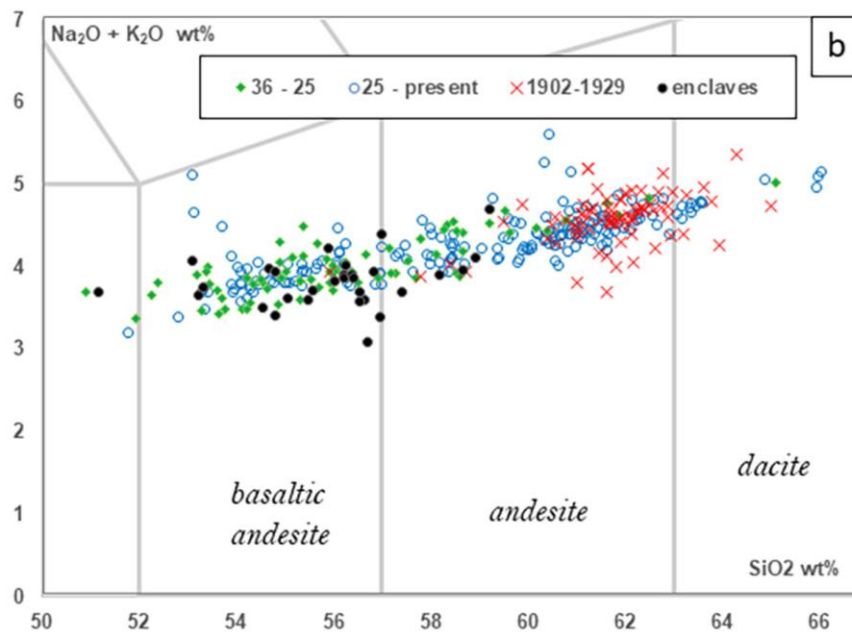


Figure 11 : Pétrographie des laves récentes de la Montagne Pelée dans le diagramme Alcalins-Silice (d'après Boudon et Balcone-Boissard, 2021).

### III.4. HYDROGÉOLOGIE DE LA ZONE DU PER

#### III.4.1 Pluviométrie

La Montagne Pelée bénéficie d'une pluviométrie importante mais contrastée en fonction du relief et des vents dominants. Le maximum de précipitation est observé au sommet du volcan et sur le flanc sud-est au niveau de Morne Rouge avec des valeurs annuelles comprises entre 5000-7000 mm selon les années (Figure 12). Le minimum de précipitation s'observe au niveau de la côte Caraïbe avec moins de 2 000 mm par an.

#### III.4.2 Cours d'eau

En lien avec la pluviométrie importante, l'édifice de la Montagne Pelée comporte environ 20 cours d'eau pérennes prenant leur source à proximité du sommet, plus particulièrement sur le flanc est du volcan qui est le plus arrosé (Figure 13). Sur ce flanc est, les principaux cours d'eau sont :

- La Rivière de Grand-Rivière ;
- La Rivière Macouba ;
- La Rivière de Basse-Pointe ;
- La Rivière La Falaise ;
- La Rivière Capot.

Sur les flancs ouest et sud, les cinq principaux cours d'eau sont :

- La Rivière du Prêcheur ;
- La Rivière Claire ;
- La Rivière Sèche ;
- La Rivière des Pères ;
- La Rivière La Roxelane.

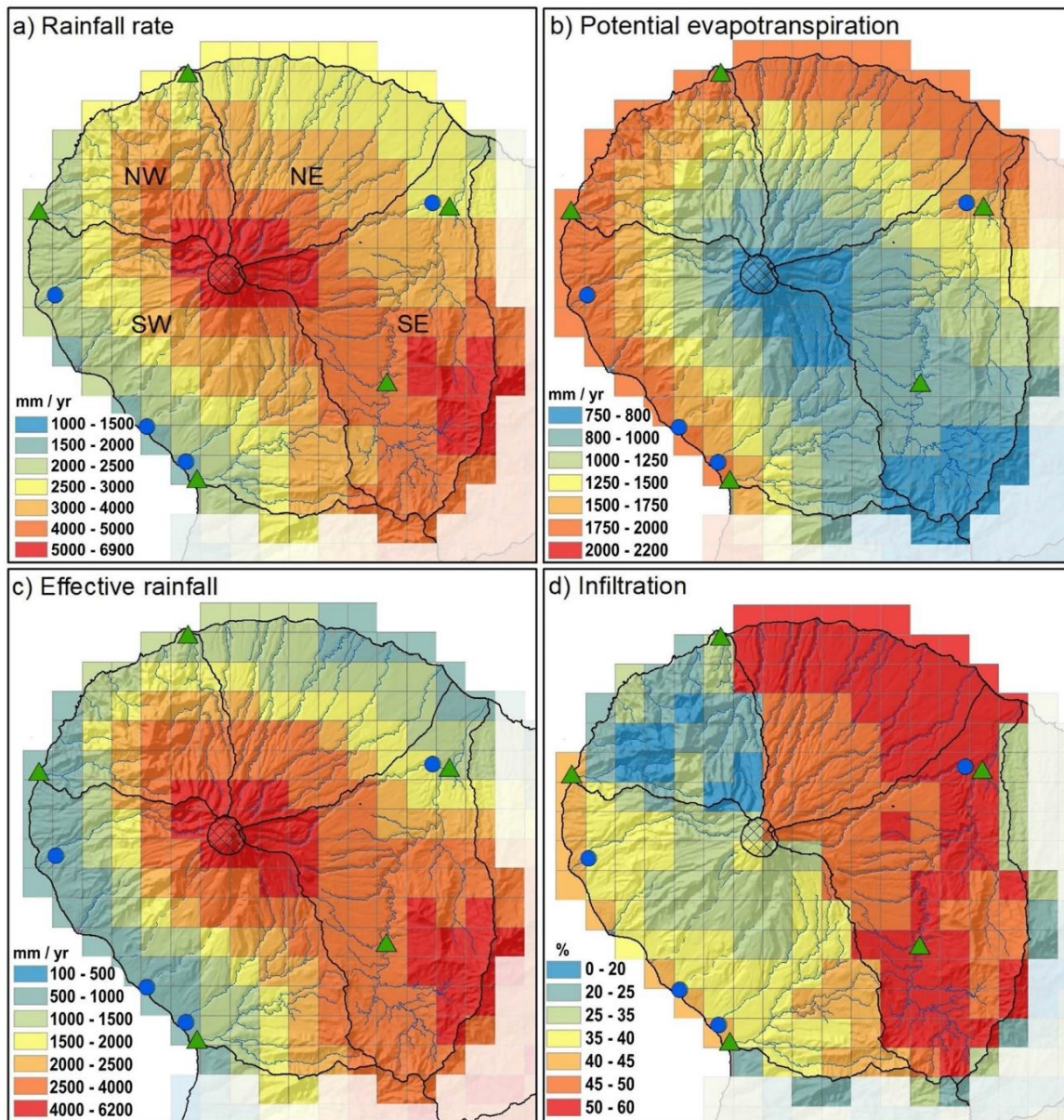


Figure 12 : Bilan hydrologique de l'édifice volcanique de la Montagne Pelée établi pour la période 1991-2017 en individualisant des cellules de 1 km<sup>2</sup> (d'après Vittecoq et al., 2023).

	Area (km <sup>2</sup> )	Rainfall (mm)	PET (mm)	Effective rainfall (mm)	Infiltration (mm)	Runoff (mm)	% Infiltration	Infiltration (Mm <sup>3</sup> )
NW	26.2	3,586	1,478	2,246	820	1,420	37%	22
NE	39.8	3,417	1,470	2,050	1,052	994	51%	42
SW	65.9	3,227	1,271	2,109	745	1,358	35%	49
SE	58.7	4,275	1,079	3,216	1,652	1,556	52%	97
Summit	1.3	6,571	754	5,813	-	-	-	-
Volcano scale	190.6	3,639	1,282	2,456	1,099	1,351	45%	209

Tableau 2 : Résultats du bilan hydrologique de la Montagne Pelée au niveau des cinq zones délimitées sur la Figure 12 (d'après Vittecoq et al., 2023).



A noter dans ce quadrant sud-ouest la contamination de l'aquifère développé à la base des dépôts de nuées ardentes de 1902 et 1929 (au-dessus des formations de l'édifice ancien qui joue le rôle d'aquitard) par les fluides hydrothermaux déchargés par les sources thermales présentes dans la Rivière Chaude. Cet aquifère réchauffé vient se déverser en mer entre les embouchures de la Rivière Claire et Rivière Sèche et donne lieu à des sources thermales sous-marines.

La partie sommitale du volcan est caractérisée par une pluviométrie abondante et des pluies efficaces élevées (, estimées par Vittecoq et al. (2023) entre 7,5 et 12 millions de m<sup>3</sup>. Une fraction importante doit s'infiltrer à travers les fissures des dômes de laves et au niveau des rebords de la caldera de l'Etang-Sec et ainsi alimenter le système hydrothermal profond.

### **III.5. LES TRAVAUX D'EXPLORATION GEOTHERMIQUE REALISES SUR LA ZONE DU PER**

#### **III.5.1 Historique des travaux d'exploration**

Dès 1970, l'intérêt géothermique de la Montagne Pelée avait été souligné en raison de la présence des sources thermales dans le haut de la Rivière Chaude (Cormy et al., 1970).

En 1977, le BRGM effectua un inventaire des sources thermales de la Martinique dans le but de sélectionner des zones d'intérêt pour y réaliser des campagnes d'exploration (Lopoukhine et Mouret, 1979). Cet inventaire incluait les sources chaudes de la Montagne Pelée.

La première campagne d'exploration géothermique multidisciplinaire sur la Montagne Pelée fut réalisée par le BRGM entre 1981 et 1984. Elle incluait des travaux de prospection en géologie (Chovelon, 1984), géochimie des fluides (Iundt, 1984), géophysique (Barthes et Fabriol, 1984). En 1989, Traineau et al. (1989) ont publié une synthèse de ces travaux.

En 2002-2003, le BRGM mena une seconde campagne d'exploration géothermique sur la Montagne Pelée. Des campagnes d'explorations géologique (Genter et Roig, 2003), géochimique (Sanjuan et al., 2003a et 2003b) et géophysique (Baltassat et al., 2003) se succédèrent et apportèrent de nombreux résultats complémentaires à ceux fournis par les études précédentes.

Enfin, en 2012-2013, le BRGM mena une troisième campagne d'exploration géothermique pluridisciplinaire sur la Montagne Pelée en mettant en œuvre des méthodes géologique, géochimique et géophysique (Gadalia et al., 2014)

Les résultats de ces différentes campagnes d'exploration géothermique sont résumés ci-après en abordant successivement :

- la cartographie des manifestations hydrothermales de surface ;
- la géochimie des fluides hydrothermaux;
- les résultats des campagnes de géophysique.

#### **III.5.2 Cartographie des manifestations hydrothermales de surface**

Les manifestations hydrothermales de surface sont considérées comme étant des indices de remontées de fluides depuis un réservoir géothermique profond. C'est la raison pour laquelle leur identification et leur cartographie sont systématiques lors de campagnes d'exploration géothermique.

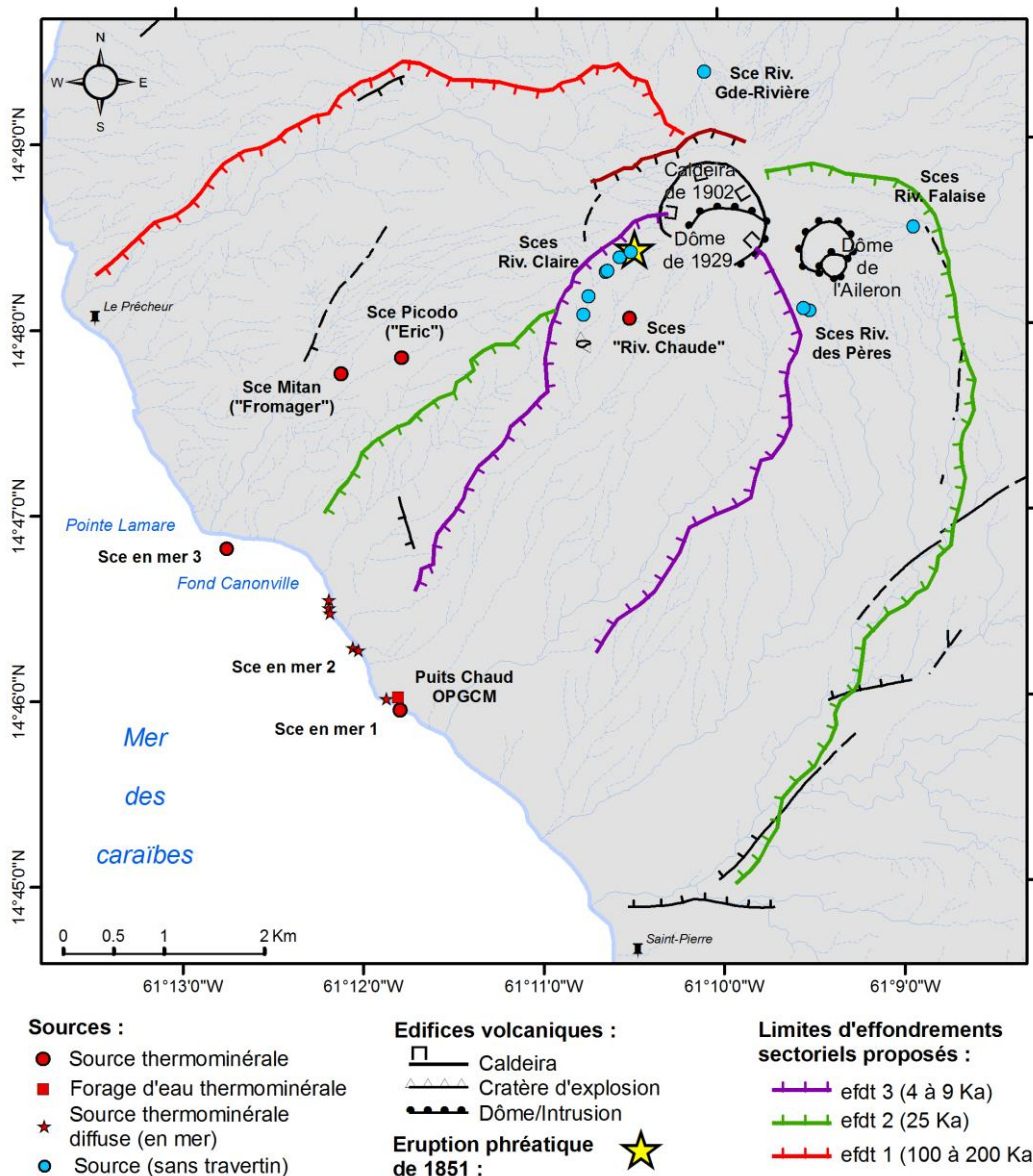


Figure 14 : Cartographie des manifestations hydrothermales de surface observées sur le flanc sud-ouest de la Montagne Pelée (tiré de Traineau et al., 2013).

*Le tracé des structures d'effondrement sectoriel ayant affecté le flanc sud-ouest de l'édifice volcanique est tiré de Le Friant et al. (2003).*

A la Montagne Pelée, les manifestations hydrothermales de surface sont relativement discrètes, comparées à d'autres volcans de l'arc antillais. Il s'agit essentiellement de sources thermominérales auxquelles on peut adjoindre le site de l'éruption phréatique de 1851. Ces manifestations peuvent être regroupées en plusieurs ensembles (Figure 14) :

- ⇒ Les sources chaudes de la Rivière Chaude ;
- ⇒ Les manifestations hydrothermales de la Haute Rivière Claire ;
- ⇒ Les sources thermales de la Rivière Picodo et de la rivière Mitan ;
- ⇒ Les sources thermales sous-marines et le puits chaud en bord de mer au niveau de la coulée de la Rivière Blanche ;
- ⇒ Les sources en périphérie des dômes.

### III.5.2.1 Les sources chaudes de la Rivière Chaude

Il s'agit du principal groupe de sources thermo-minérales connu sur la Montagne Pelée. Il est localisé dans le cours supérieur de la Rivière Chaude au pied des dômes historiques et à une altitude de 600-650 m environ (Figure 15).

Il s'agit d'une zone d'émergences dispersées sur une distance de plusieurs centaines de mètres avec des sources qui émergent dans le lit de la rivière et des sources ou suintements sur la paroi en rive droite (Figure 16). Ces émergences sont marquées par des précipitations ferrugineuses abondantes. Le mélange des eaux thermales avec l'eau de la rivière conduit à la précipitation de dépôts de carbonates de teinte beige (Figure 16).

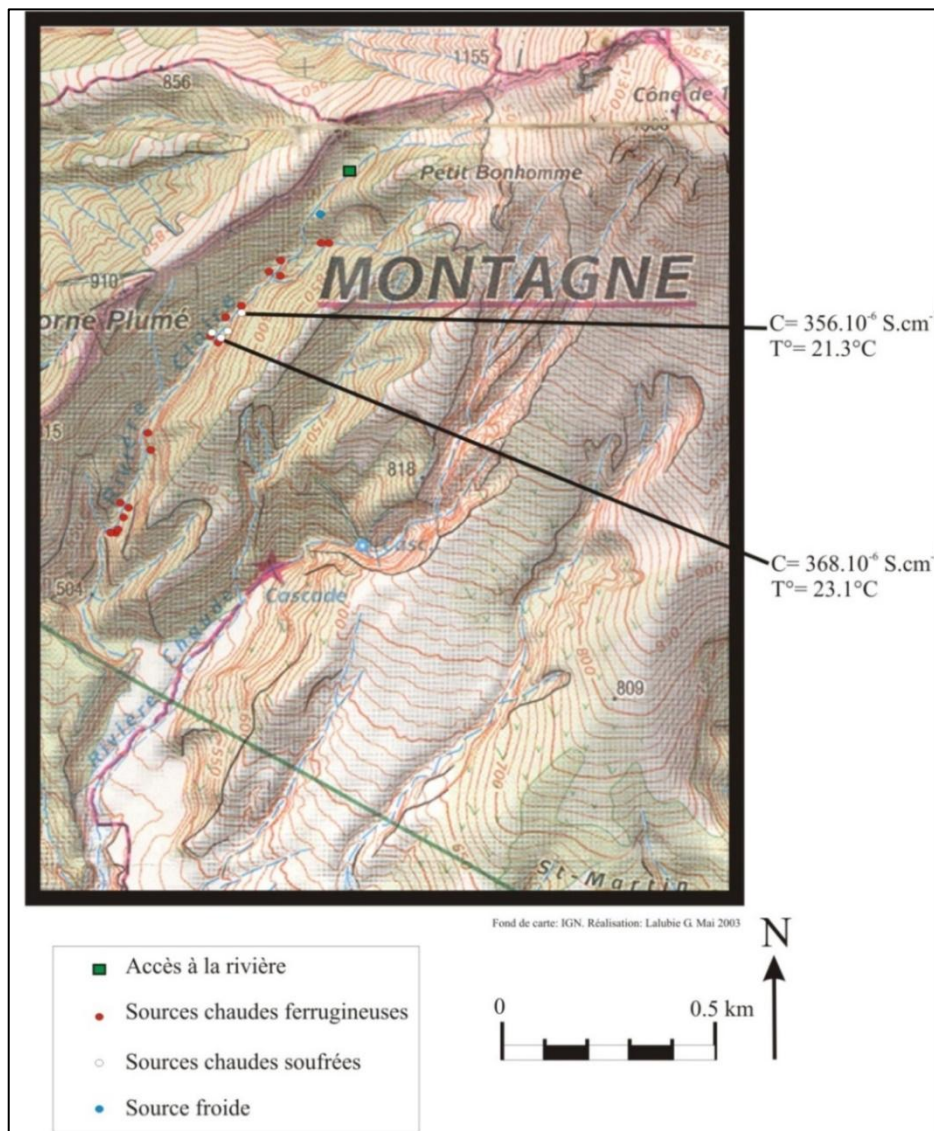


Figure 15 : Extrait de la carte topographique au 1/25 000 de l'IGN montrant le cours de la haute Rivière Claire ainsi que la localisation des émergences établie par G. Lalubie lors de sa reconnaissance en mars 2003 (in Sanjuan et al., 2003). L'étoile indique la localisation supposée de l'éruption phréatique de 1851.



Figure 16 : (gauche) Exemple d'émergences thermales sur les parois encaissées de la Rivière Chaude soulignées par des dépôts d'hydroxydes de fer.) (droite) Précipités carbonatés de teinte beige (travertins) visibles dans le lit vif de la Rivière Chaude en aval des Sources Chaudes.

Il n'y a aucun contrôle structural visible au niveau de l'affleurement. Les suintements sur la paroi de la gorge proviennent de la décharge d'un niveau aquifère constitué par une formation pyroclastique à blocs et cendres de lave grise non vésiculée de type nuée ardente entaillée par la Rivière Chaude. Traineau *et al.* (1989) avaient considéré le rôle possible de la bordure méridionale de la caldeira de Macouba masquée par les dépôts récents (voir Figure 9). Les fluides thermaux remonteraient le long de cette discontinuité et viendraient alimenter les formations aquifères superficielles au sein du cône sommital.

Lors de la campagne d'exploration du BRGM en 2012, la température des émergences variait entre 25,1 °C (la température de la rivière) et 36,8 °C. Leur conductivité s'échelonnait entre 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (eau de la rivière) et 1 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Le débit global des émergences a été évalué par ailleurs à 10-20 l/s (Vittecoq *et al.*, 2012).

Historiquement, il est important de noter que ces Sources Chaudes n'étaient pas connues avant l'éruption de 1902-05. D'après Lacroix (1904), ces sources chaudes seraient apparues fin avril 1902 sous la forme d'un jet d'eau important situé à mi-hauteur entre le fond de la haute vallée de la Rivière Blanche et le barrage de l'Étang Sec au sommet du volcan à une altitude de 700 m environ ; ce qui correspond assez bien à leur localisation actuelle dans ce qui est aujourd'hui la Rivière Chaude.

Ces sources chaudes, tout comme un puits chaud de bord de mer, font l'objet d'un suivi thermométrique et géochimique régulier de la part de l'observatoire de la Montagne Pelée. Ce suivi montre un déclin progressif de leur température depuis 1963 (Figure 17).

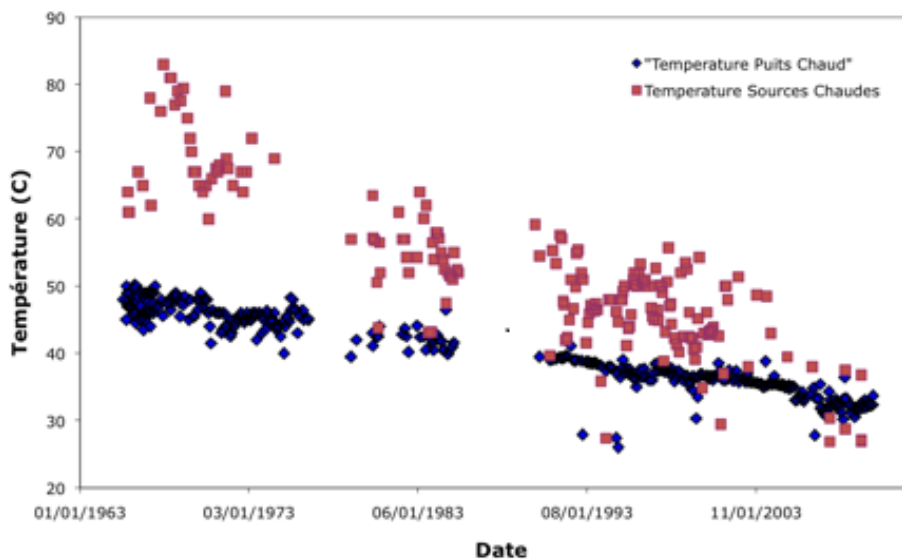


Figure 17 : Graphe montrant l'évolution des températures d'émergence des Sources Chaudes de la Rivière Chaude et du puits chaud situé en bord de mer enregistrées par l'Observatoire Volcanologique de la Montagne Pelée entre 1963 et 2008 (V. Clouard, IPGP, comm. pers., 2012).

### III.5.2.2 Les manifestations hydrothermales de la Haute Rivière Claire

Ce secteur est important dans la mesure où des sources chaudes et des solfatares y étaient connues dans le passé et qu'il a été le siège en 1851 et en 1792 de deux épisodes d'éruptions phréatiques.

Une première éruption phréatique aurait eu lieu le 22 janvier 1792, accompagnée par un tremblement de terre (Lacroix, 1904). Les visiteurs décrivent la présence de plusieurs soufrières et l'abondance du soufre sans toutefois localiser avec précision le site de l'éruption dans la Rivière Claire. Ils décrivent également des sources chaudes déchargeant une eau noirâtre, sulfureuse. Cette description pourrait se rapporter à une activité fumerollienne consécutive à une explosion phréatique.

Le second épisode éruptif a eu lieu en 1851. Il a été initié par un accroissement des dégagements de gaz sulfureux ressenti par les habitants du Prêcheur au printemps 1851. L'origine de ces dégagements provenait d'une soufrière située aux sources de la Rivière Claire (Figure 15). Une première explosion a eu lieu le 5 août 1851, projetant des cendres jusqu'à Saint-Pierre. Une autre explosion plus violente a eu lieu le 9 août 1851, localisée dans le haut ravin de la haute vallée de la Rivière Claire, proche donc de celui de l'explosion du 5 août. De nouvelles explosions eurent lieu en octobre-novembre 1851, puis l'activité déclina avec une solfatare active jusqu'en 1855. Lacroix (1904) rapporte des témoignages sur la présence de sources chaudes sulfureuses dans la Rivière Claire en 1889 et 1898.

Ces deux éruptions phréatiques témoignent donc de l'existence d'un système hydrothermal à l'aplomb de ce secteur de la Haute Rivière Claire. L'existence de manifestations hydrothermales avant 1792 semble également démontrer la pérennité d'un aquifère hydrothermal dans la partie sommitale du volcan.

Une reconnaissance de la Haute Rivière Claire a été effectuée par le BRGM en mars 2003 (Sanjuan *et al.*, 2003). De nombreuses émergences ou groupes d'émergences ont été observés entre 500 et

850 m d'altitude (Figure 15). Le type d'émergence s'apparente à celui observé pour les Sources Chaudes de la Rivière Chaude à savoir la plupart du temps des suintements à travers les parois de la vallée constituées de formations pyroclastiques et de colluvions. Beaucoup sont soulignées par des précipitations ferrugineuses. Quelques-unes ont également déposé des dépôts blancs laiteux accompagnés par une forte odeur de soufre entre 650-670 m d'altitude. Les formations lithologiques sont également altérées. Les températures mesurées étaient relativement faibles et variaient entre 21 °C (température de l'eau de la rivière) et 30 °C. De même, les conductivités étaient faibles avec des valeurs comprises entre 200 et 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La position structurale de la haute Rivière Claire est particulière. Elle correspond plus ou moins à la trace des cicatrices des second et troisième effondrements sectoriels définis par Le Friant et al. (2003) et datés respectivement à 25 000 ans BP et 9 000 ans BP (Figure 14). Il est donc possible que la remontée des fluides hydrothermaux en surface soit facilitée par cette discontinuité structurale.

### **III.5.2.3** Les sources de la Rivière Picodo et de la Rivière Mitan

Des sources thermo-minérales sont observées dans les Rivières Picodo et Mitan à la bordure sud de la Grande Savane sur le flanc ouest du volcan (Figure 14).

Dans la Rivière Picodo (Figure 18), une douzaine d'émergences sont visibles sur une distance de 100 m environ et à une altitude de 220 m environ (Sanjuan et al., 2003 ; Traineau et al., 2013). Il s'agit à la fois de suintements au niveau de la paroi de la gorge et de petites sources émergeant dans le lit de la rivière ou au milieu de colluvions situés en rive gauche. Elles ont des débits très faibles. La plupart sont soulignées par des précipités ferrugineux. En 2012, l'émergence la plus chaude délivrait une eau limpide sans précipité à une température de 35,3 °C et une conductivité de 1 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . L'eau de la rivière en amont des sources était à 24°C et avec une conductivité de 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cette température de 35,3°C est proche de celle de la source qui était captée autrefois pour alimenter un établissement thermal puisque Sambuc (1869) indique 37 °C. Toutefois, la source qui alimentait l'établissement thermal devait avoir un débit bien supérieur à celui observé en 2012.

Il n'y a pas de contrôle structural visible ni de contrôle lithologique particulier de ces émergences. Les suintements au niveau de la paroi de la gorge se font à travers la matrice cendreuse grossière des dépôts de nuées ardentes qui se comportent comme un aquifère. Il est possible que cet aquifère soit développé au-dessus des formations volcaniques du Mont Conil qui joueraient le rôle d'aquitard.

Des sources thermo-minérales sont également observées dans la Rivière Mitan qui est voisine et parallèle à la Rivière Picodo (Figure 18). Elles émergent entre 140 m et 170 m d'altitude dans des conditions similaires à celles observées dans la Rivière Picodo. Leurs débits sont très faibles. Leurs températures varient entre 25°C et 28°C et leur conductivité entre 225 et 637  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sanjuan et al., 2003).

L'origine de ces sources thermo-minérales reste discutée. Aucune structure tectonique ou volcano-tectonique n'est répertoriée à proximité de ces sources pour envisager la remontée en surface de fluides hydrothermaux provenant d'un réservoir profond. L'hypothèse d'un écoulement au sein d'un aquifère alimenté en amont par des venues hydrothermales est donc privilégié. Un lien avec les éruptions phréatiques et les sources de la Rivière Claire qui existaient avant l'éruption de 1902 est envisageable. Le dénivelé entre le site présumé de l'éruption de 1851 dans la Haute Rivière Claire et les sources thermales de la Rivière Picodo est d'environ 600 m sur une distance de l'ordre de 3 km (Figure 14). La comparaison des compositions chimiques et isotopiques des fluides hydrothermaux présents dans la haute vallée de la Rivière Claire et au

niveau de la Rivière Picodo ne permet cependant pas de valider cette hypothèse (Sanjuan *et al.*, 2003).

Enfin, il est important de rappeler que ces sources existaient avant l'éruption de 1902 et qu'elles ne semblent pas avoir été affectées par les éruptions de 1902 et 1929. Ce qui suggère une origine distincte de celle des sources de la Rivière Chaude.

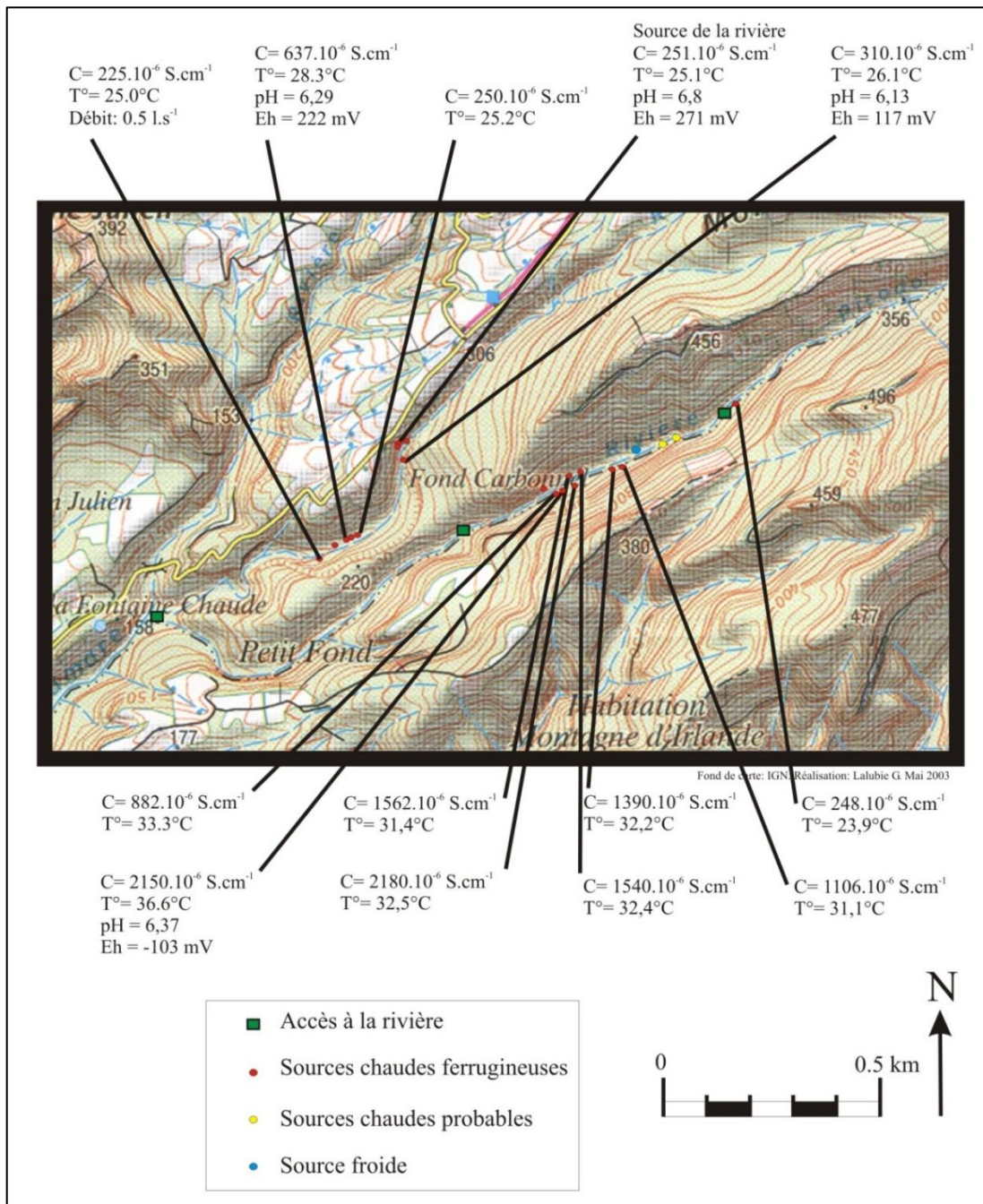


Figure 18 : Localisation des sources thermo-minérales dans les Rivières Picodo et Mitan (d'après Sanjuan *et al.* (2003) et Traineau *et al.* (2013)).

### III.5.2.4 Les sources thermales du bord de mer

De longue date, des sources chaudes sont connues en bord de mer et en mer à proximité du rivage au niveau de la coulée de la Rivière Blanche (Figure 14 et Figure 19). En 2012, la température des sources a été mesurée entre 28°C et 31°C et leur conductivité variaient entre 13 et 52 mS/cm.

Ces sources sont reliées au déversement en mer de la nappe alluviale de la Rivière Claire développée au sein des dépôts des nuées ardentes de 1902 et 1929. Cette nappe est alimentée en altitude par la Rivière Chaude et par les alimentations souterraines à l'origine des Sources Chaudes, comme l'ont souligné Traineau et al. (1989), Sanjuan et al. (2003) et plus récemment Vittecoq et al. (2023).

La présence de cette nappe alluviale réchauffée est attestée par un puits chaud foré à proximité de la Source 1 et qui est utilisé pour un suivi thermométrique réalisé par l'Observatoire Volcanique pour la surveillance de la Montagne Pelée (cité par Sanjuan *et al.*, 2003). Ce suivi depuis près de 50 ans montre un refroidissement de 50°C à 30°C qui, bien que moins rapide, est similaire à celui observé pour les Sources Chaudes de la Rivière Chaude (Figure 17). Cela renforce l'hypothèse d'un lien entre les deux.

Une source chaude ponctuelle (source 2 de la Figure 19) a été reconnue en mer par 15 m de fond au large de Sainte Philomène en février 2012 (Vittecoq et al., 2012). Il est plus difficile de relier cette dernière à la nappe alluviale de la Rivière Claire du fait de sa position excentrée. Par contre, on remarque qu'elle se situe dans le prolongement de la crête de la Montagne d'Irlande qui est considérée par Le Friant et al. (2003) comme la cicatrice nord du second effondrement sectoriel qui a affecté le flanc sud-ouest du volcan vers 25 000 ans B.P. (Figure 14). Elle pourrait servir de drain aux fluides hydrothermaux.

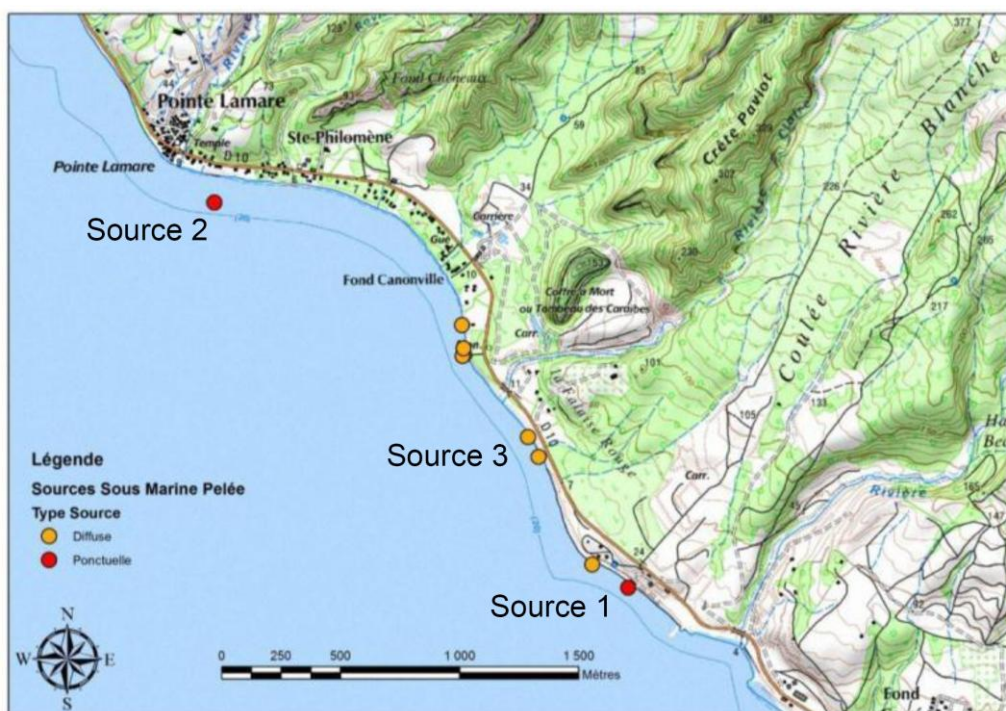


Figure 19 : Localisation des sources thermo-minérales connues en bord de mer et en mer entre la coulée de la Rivière Blanche et la Pointe Lamare (d'après Vittecoq et al., 2012).

### **III.5.2.5** Les sources en périphérie des dômes

Les différentes campagnes d'exploration géothermique réalisées sur la Montagne Pelée ont mis en évidence quelques sources froides à légèrement tièdes, peu minéralisées et précipitant des hydroxydes de fer. Ces eaux sont donc susceptibles d'avoir été mises en contact avec des eaux thermales. C'est la raison pour laquelle elles sont présentées ici. Elles ont en commun d'avoir été observées en périphérie des dômes de 1902 et 1929 pour des altitudes allant de 670 m à 865 m (Figure 14 et Figure 20) :

- dans le haut de la Rivière des Pères, sous le dôme de l'Aïleron ;
- dans le haut de la Rivière La Falaise ;
- dans le haut de la Rivière de Grand-Rivière.

#### **Les sources du haut de la Rivière des Pères**

Des émergences ont été observées dans un bras droit de la haute vallée de la Rivière des Pères entre 700 et 755 m d'altitude environ sur les pentes du cône sommital (Figure 20 ; Lalubie, 2012 ). D'un point de vue géologique, elles se situent dans des formations pyroclastiques récentes qui ont comblé la paléo-vallée commune des Rivières des Pères – La Roxelane. Ces types de formations récentes peuvent constituer de bons aquifères. La plupart de ces émergences sont des suintements soulignés par des précipités beiges à rougeâtres d'hydroxydes de fer. Deux sources se distinguent en particulier :

- une source artésienne (jaillissante) vers 750 m d'altitude, ayant une température (22,6 °C) et une conductivité (333 µS/cm) significativement supérieures à celles de la rivière (18,7 °C ; 80 µS/cm) ;
- une source avec un fort débit (1 l/s) à l'altitude de 700 m environ ayant une température de 20,4 °C et une conductivité de 157 µS/cm.

#### **La source de la Haute Rivière La Falaise**

Une source précipitant des hydroxydes de fer a été observée à 670 m d'altitude dans un affluent droit de la Rivière La Falaise (Lalubie, 2012 ; Figure 20). Cette source, qui émerge dans le lit de la rivière, a un débit faible (6-12 L/mn). Sa température et sa conductivité étaient respectivement de 20,4 °C et 87 µS/cm, proches des caractéristiques de l'eau de la rivière (20,3 °C ; 67 µS/cm). Le caractère thermal de cette source n'est pas évident et seul son précipité ferrugineux la distingue d'une source d'eau froide superficielle. Du point de vue géologique, elle est localisée au sein des dépôts récents de nuées ardentes et en contrebas du dôme de lave massive de l'Aïleron. Cette configuration est très similaire aux sources ferrugineuses observées dans le haut de la Rivière des Pères et éloignées de 1 km seulement.

#### **Les sources du haut de la Rivière de Grand-Rivière**

Des émergences thermales ont été mises en évidence dans le haut de la Rivière de Grand-Rivière sur le flanc nord du volcan (Sanjuan et al., 2003). Il s'agit principalement d'une source thermale localisée à l'altitude de 865 m juste sous le Morne Macouba (Figure 20). Son débit est significatif avec environ 15 L/mn. Sa température est de 27,1 °C (19 °C pour la rivière) et sa conductivité de 353 µS/cm (contre 60 µS/cm pour la rivière). Une légère odeur est perceptible et un dégagement de gaz a lieu à un rythme irrégulier.

Entre 580 m et 400 m d'altitude, de nombreux suintements soulignés par des précipités ferrugineux tapissent les parois des gorges de la rivière. Le débit de ces suintements est malheureusement insuffisant pour mesurer des valeurs de température et de conductivité représentatives.

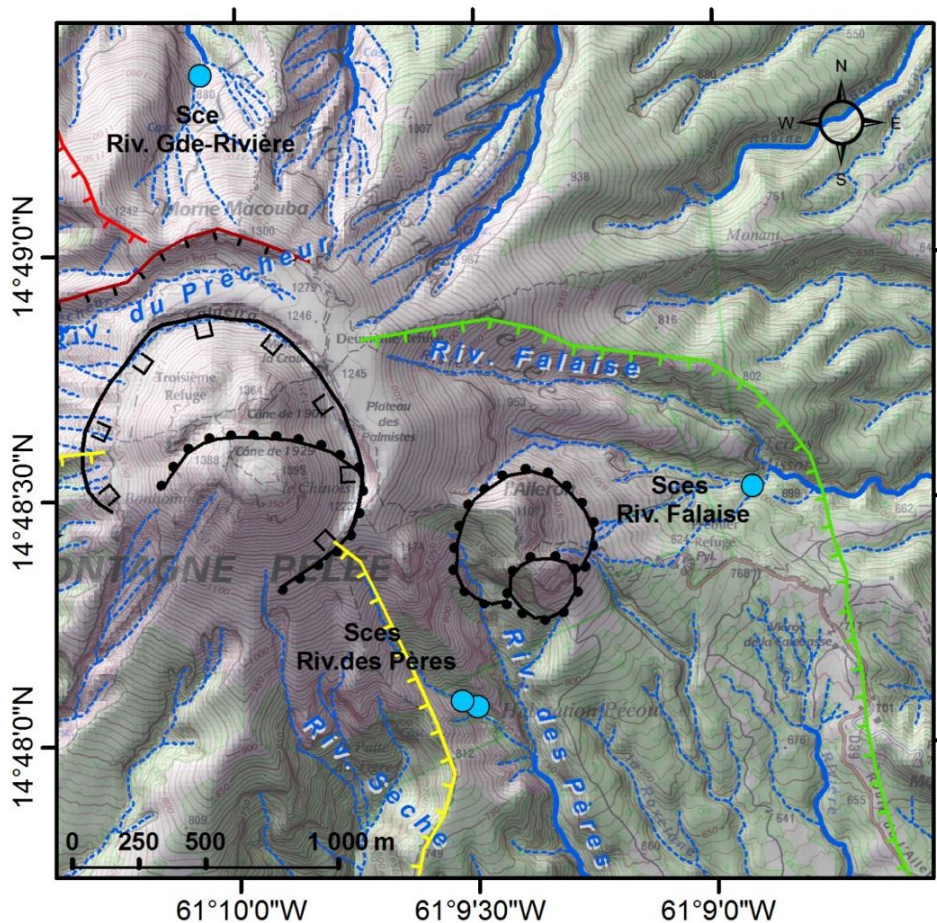


Figure 20 : Localisation des sources thermales dans la Haute Rivière des Pères et la Haute Rivière La Falaise (d’après Lalubie, 2012) et dans la Haute Rivière de Grand-Rivière (tiré de Sanjuan et al., 2003).

### III.5.2.6 Synthèse

Comme indiqué en introduction de ce chapitre, les manifestations hydrothermales de surface sont relativement discrètes sur la Montagne Pelée. L’essentiel des manifestations hydrothermales actuelles et historiques sont localisées à proximité du cône sommital. Les deux exceptions sont les sources thermales des Rivières Picodo et Mitan ainsi que les sources de bord de mer sur le flanc ouest du volcan. Les sources de bord de mer sont interprétées comme résultant du déversement en mer de la nappe alluviale de la Rivière Claire possédant une composante thermique supposée acquise en amont, au niveau des Sources Chaudes. L’origine des sources thermales des Rivières Picodo et Mitan reste discutée.

Ce panorama exhaustif des manifestations hydrothermales de surface suggère que le réservoir géothermal profond serait développé à l’aplomb de la partie sommitale du volcan, en lien avec les conduits éruptifs et structures de caldeira emboîtées.

L’absence de manifestations de surface sur le flanc est du volcan ne signifie pas que le réservoir géothermal profond y est absent. L’importante couverture des dépôts pyroclastiques récents peut masquer d’éventuelles remontées de fluides. La localisation préférentielle des sources thermo-minérales sur le flanc sud-ouest peut-être dictée par la dissymétrie de l’édifice causée par à la succession de plusieurs effondrements sectoriels.

Point de prélèvement	ech.	T émerg. °C	pH	Eh <sub>brut</sub> mV	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	Alc. mg/l HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS g/l	B.I. %	Cl/Br pondéral
Source Riv. Chaude (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP4	51,4	6,40	-43	263	25,5	35,9	13,5	68,1	621	153	143	1,33	-1,93	> 340
Source Riv. Chaude (2 <sup>ème</sup> émergence)	MP5	39,6	6,47	-63	220	21,6	31,6	12,1	51,5	531	121	134	1,13	0,14	> 258
Source Riv. Chaude (3 <sup>ème</sup> émergence)	MP7	38,0	6,58	n.a.	212	23,0	29,0	13,4	51,6	491	123	115	1,06	2,41	> 258
Source Riv. Claire (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP8	22,9	6,23	-19	24,0	3,9	35,7	8,5	12,3	97	78,0	133	0,39	1,04	> 123
1 <sup>ère</sup> source chaude sous-marine	MP2	33,0	7,00	57	8060	240	299	872	14500	180	2311	26,6	26,54	-3,69	290
2 <sup>ème</sup> source chaude sous-marine	MP3	36,0	6,65	-105	3320	103	141	362	5960	219	888	75,5	11,09	-3,38	271
Puits chaud bord de Mer (Puits OVSM)	MP1	36,4	6,55	-125	213	13,9	34,3	25,9	237	282	96,6	103	1,01	1,08	293
Source Riv. Picodo	MP10	36,6	6,37	-103	268	33,3	95,4	50,6	451	440	60,5	181	1,59	1,04	316
Source Riv. Mitan	MP9	28,3	6,29	222	60,8	14,6	51,6	18,5	78,1	185	65,0	120	0,63	-2,48	473
Rivière L'Étang (au niveau du pont)	MP6	24,4	7,15	140	16,3	2,4	13,1	4,0	12,7	69	14,6	76,3	0,21	-2,26	> 64
Source haut Rivière Grande Rivière	MP11	27,1	6,29	-68	21,1	4,2	24,5	17,0	9,2	200	12,7	106	0,40	-2,39	> 920
Eau de mer	Mer	28,5	8,19	-32	11400	309	390	1200	20200	143	2626	0,19	36,34	-0,77	301

Tableau 3 : Sélection d'analyses chimiques représentative des eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée (tiré de Sanjuan et al., 2003).

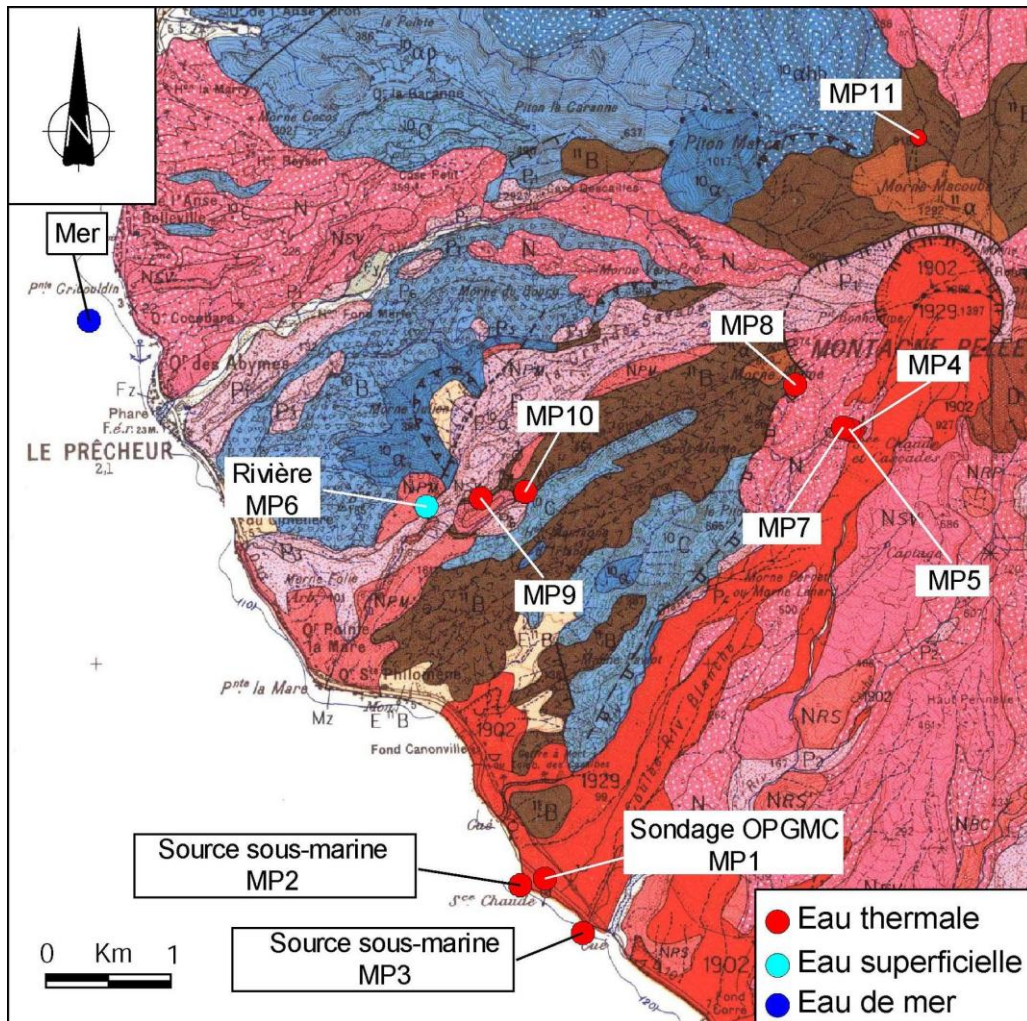


Figure 21 : Localisation d'échantillons représentatifs des eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée dont les analyses sont fournies dans le Tableau 3 (tiré de Sanjuan et al., 2003).

### III.5.3 Géochimie des fluides hydrothermaux

Les eaux délivrées par les sources thermo-minérales ont été prélevées et analysées lors des différentes campagnes d'exploration (voir la synthèse rédigée par Gadalia et al., 2013). La composition chimique de ces eaux renseigne sur leur origine et sur les caractéristiques d'un éventuel réservoir géothermal profond.

#### III.5.3.1 Faciès géochimiques des eaux thermo-minérales

Le Tableau 3 fournit une sélection d'analyses chimiques représentatives des eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée, dont les points de prélèvement sont indiqués sur la Figure 21 (d'après Sanjuan et al., 2003). L'ensemble des analyses disponibles des eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée qui ont été compilées par Gadalia et al. (2013) sont reportées dans le diagramme triangulaire de classification des eaux géothermales HCO<sub>3</sub>-Cl-SO<sub>4</sub> de Giggenbach (1991) et le diagramme triangulaire Na-K-Ca (Figure 22 et Figure 23).

Globalement, ces eaux ont un faciès bicarbonaté sodique HCO<sub>3</sub>-Na à l'exception des eaux délivrées par les sources en bord de mer qui ont un faciès chloruré sodique Na-Cl trahissant une forte contribution d'eau de mer. Ces eaux bicarbonatées peu minéralisées (< 1,5 g/L) sont positionnées dans le champ des eaux périphériques de réservoir où domine l'ion bicarbonate HCO<sub>3</sub> dans le diagramme de classification triangulaire Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> de Giggenbach (1991). Ce type d'eaux se forme généralement en périphérie ou à l'aplomb de réservoir géothermal haute température, par mélange entre le gaz CO<sub>2</sub> provenant du dégazage du fluide géothermal profond et les eaux superficielles.

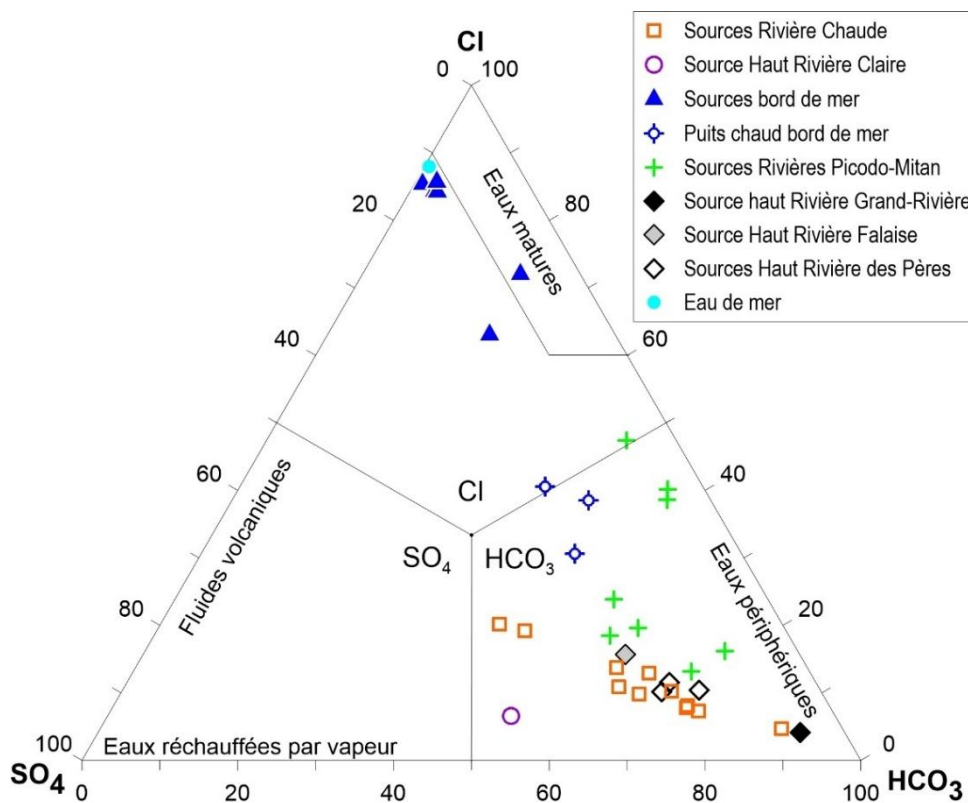


Figure 22 : Compositions chimiques des eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée reportées dans le diagramme de classification triangulaire Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> de Giggenbach (1991) (d'après Gadalia et al., 2013).

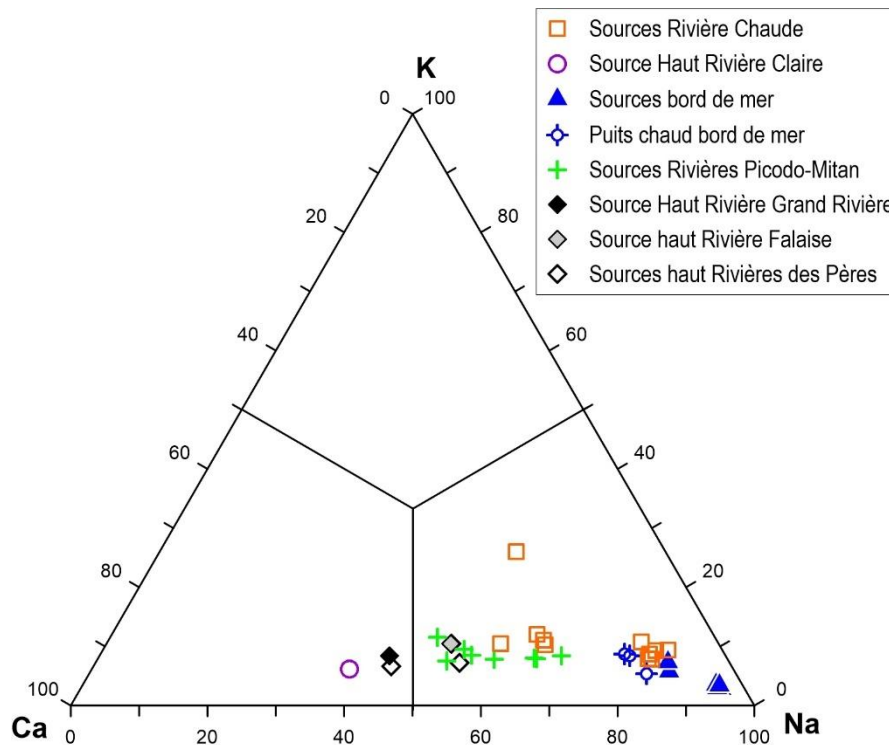


Figure 23 : Compositions chimiques des eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée reportées dans le diagramme triangulaire Na-K-Ca.

Dans le détail, des différences sont perceptibles entre les différents ensembles de sources thermo-minérales. Les eaux carbo-gazeuses délivrées par les sources de la Rivière Chaude au pied du cône sommital ont un faciès bicarbonaté sodique, une salinité faible (1 à 1,4 g/L) et des valeurs de pH comprises entre 6,4-6,6. Depuis 1934, date des premières analyses, leurs compositions ont évolué vers le pôle bicarbonaté. Elles précipitent des carbonates lors de leur mélange avec les eaux froides superficielles de la Rivière Chaude (Figure 16).

Les eaux délivrées par les sources en périphérie du cône sommital (hauts de la Rivière de Grand-Rivière, de la Rivière Falaise et de la Rivière des Pères) sont proches des eaux des sources de la Rivière Chaude. Il s'agit d'eaux bicarbonatées calco-sodiques faiblement minéralisées.

L'eau de la source du haut de la Rivière Claire (MP8) a un faciès bicarbonaté-sulfato-calcique. Ce faciès trahit la contribution de gaz H<sub>2</sub>S ou de vapeur d'eau riche en H<sub>2</sub>S en lien probable avec la proximité du site de l'éruption phréatique de 1851 et l'activité d'une solfatare.

Les eaux délivrées par les sources des Rivières Picodo et Mitán se singularisent par la présence de chlorures (faciès bicarbonaté chloruré sodique) qui indiquerait une faible contribution d'eau de mer (< 2,5 % d'après Sanjuan et al., 2003).

Les eaux de la nappe alluviale présente dans le puits chaud utilisé par l'OVSM pour son suivi reflètent un mélange entre les eaux bicarbonatées sodiques des sources de la Rivière Chaude, des eaux superficielles et l'eau de mer.

### III.5.3.2 Géothermométrie et équilibre eau-roche

Les eaux délivrées par les sources thermo-minérales de la Montagne Pelée sont très peu minéralisées (0,2 à 1,5 g/l de salinité totale ; Tableau 3). Dans le diagramme Na-K-Mg de

Giggenbach (1988), les points représentatifs de ces sources tombent dans le domaine des eaux immatures à partiellement équilibrées (Figure 24). Parallèlement, on note l'absence d'enrichissement de ces eaux en  $^{18}\text{O}$ . Cela peut être interprété comme l'indice d'un rapport eau/roche élevé et/ou par une circulation rapide des eaux en profondeur. Néanmoins, l'application des différents géothermomètres conduit à des estimations de température en profondeur comprises entre 120-130°C et 180-200°C selon les sources (Tableau 4).

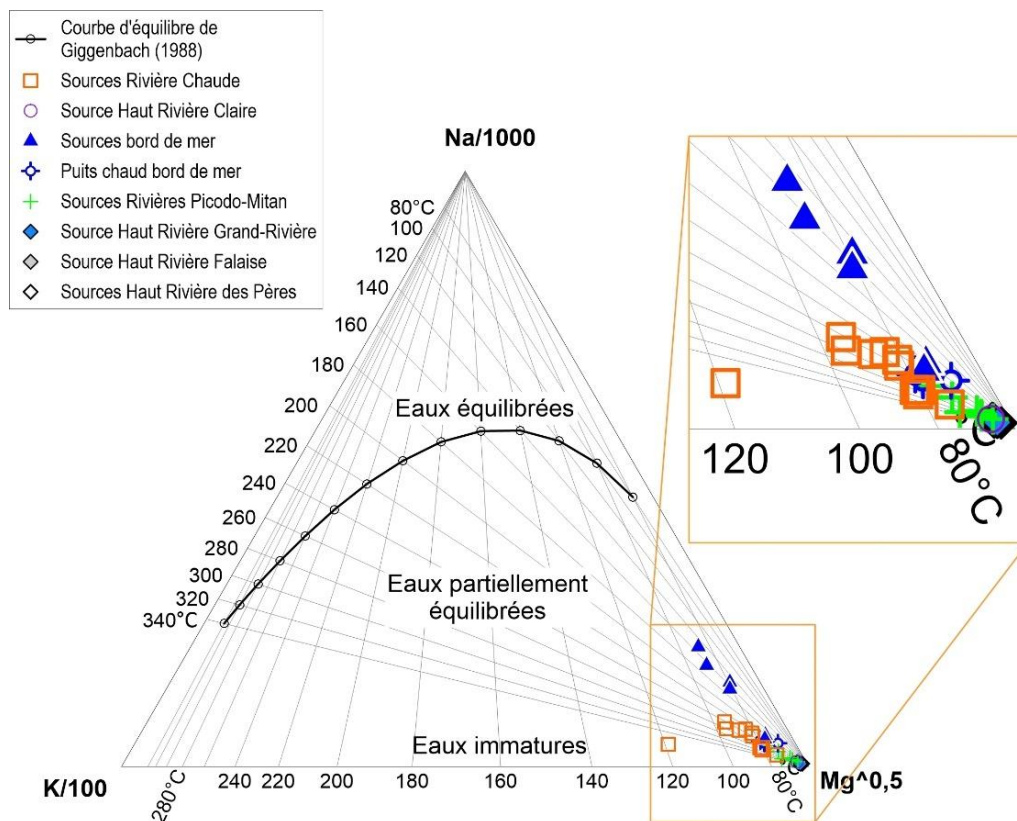


Figure 24 : Compositions chimiques des eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée reportées dans le diagramme triangulaire Na-K-Mg de Giggenbach (1988) (d'après Gadalia et al., 2013).

Sources	Géothermomètres appliqués	Température d'équilibre estimée (°C)
Sources de la Rivière Chaude	Na-K-Ca, <u>Sr-K</u> , Na-Li (Fouillac), <u>Ca-K</u>	180-200
Source haut Rivière Claire	Na-K-Ca, Qz	> 155-165
Sources Rivière Picodo	Na-K-Ca, Sr-K, Qz, $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O}-\text{SO}_4)$	155-180
Sources Rivière Mitan	Sr-K	145-165
Source haut Rivière Grand-Rivière	Na-K-Ca, Na-Li (Kh)	>140-180
Source haut Rivière Falaise	Na-Li(F), Rb-Na	130-150
Sources haut Rivière des Pères	Qz, Rb-Na, Na-Li (F)	120-130

Tableau 4 : Synthèse des calculs géothermométriques sur les eaux thermo-minérales de la Montagne Pelée (d'après Gadalia et al., 2013).

Les eaux des sources de la Rivière Picodo et de la Rivière Mitan se démarquent légèrement des eaux des sources de la Rivière Chaude. Elles ont des teneurs supérieures en magnésium et des rapports Cl/Li supérieurs ; ce qui suggère un degré d'interaction avec la roche plus faible et des températures d'équilibre en profondeur plus faibles et/ou des mélanges avec des eaux superficielles plus importants. Elles pourraient provenir d'un réservoir différent ou d'une portion périphérique du même réservoir affectée par de légères infiltrations d'eau de mer (Sanjuan et al., 2003).

L'absence d'enrichissement en  $^{18}\text{O}$  de ces eaux notée par Gadalia et al. (2013) est aussi symptomatique d'une circulation rapide des fluides en profondeur et d'une faible interaction eau-roche au sein d'un réservoir, ou d'un ratio eau/roche élevé.

### **III.5.3.3** Modèle hydrogéochimique

Les auteurs ayant abordé la géochimie des eaux thermo-minérales et l'hydrogéologie de la Montagne Pelée (Sanjuan et al., 2003 ; Gadalia et al., 2013) arrivent à des conclusions identiques. Ces eaux proviennent de mélanges entre un fluide géothermal profond et des eaux superficielles. Les différents groupes de sources montrent toutefois des particularités qui suggèrent la présence d'un réservoir chimiquement zoné voire l'existence de deux réservoirs distincts. Un premier réservoir serait développé à l'aplomb du cône sommital à la faveur des structures associées aux conduits éruptifs et ayant une température de l'ordre de 180-200°C. Un second réservoir (ou une extension du premier réservoir) serait développé sur le flanc sud-ouest à l'aplomb de la rivière Picodo et aurait une température légèrement plus faible (145-180°C)

### **III.5.4** Campagnes de prospection géophysique

Plusieurs campagnes de prospection géophysique ont été menées dans le cadre de l'exploration géothermique de la Montagne Pelée. Lors de la dernière campagne menée en 2013, 55 sondages magnétotelluriques ont été réalisés sur l'ensemble du massif volcanique afin d'obtenir un modèle 3D de la distribution de la résistivité en profondeur (Coppo et al., 2014). Les résultats de levés géophysiques hélicoptères dont ceux du projet MartEM réalisé en 2013 ont également été pris en compte.

En résumé, l'interprétation des sondages MT met en évidence un épais horizon conducteur (résistivité  $\rho < 15 \text{ Ohm.m}$ ) dont le toit est situé à 500 m de profondeur environ qui suit globalement la topographie (Figure 25 et Figure 26). Il est assimilé à des formations volcaniques anciennes de la Montagne Pelée ayant subi une altération météorique et/ou une altération hydrothermale de type argileuse. Il pourrait constituer la couverture argilisée surmontant un réservoir géothermal haute température ayant une résistivité plus élevée.

A l'aplomb du flanc SSE du sommet du volcan, on observe une remontée en forme de dôme de l'horizon résistant dans l'horizon conducteur (zone marquée R2 sur les Figure 25 et Figure 26). Cette disposition est typique des zones de circulations ascendantes de fluides géothermaux profonds (upflow zone) dans le modèle d'interprétation de la résistivité de Johnston et al. (1992) et pourrait témoigner de conditions de perméabilité propices au développement d'un réservoir.

Une autre observation importante à noter est l'interruption de l'horizon conducteur sous le flanc sud-ouest de l'édifice volcanique, bien visible sur le profil P11 de la Figure 26 et notée R1. Elle coïncide avec une discontinuité orientée NW-SE visible sur la carte de la Figure 25 et notée F1. D'autres discontinuités ayant une ampleur moindre affectent l'horizon conducteur.

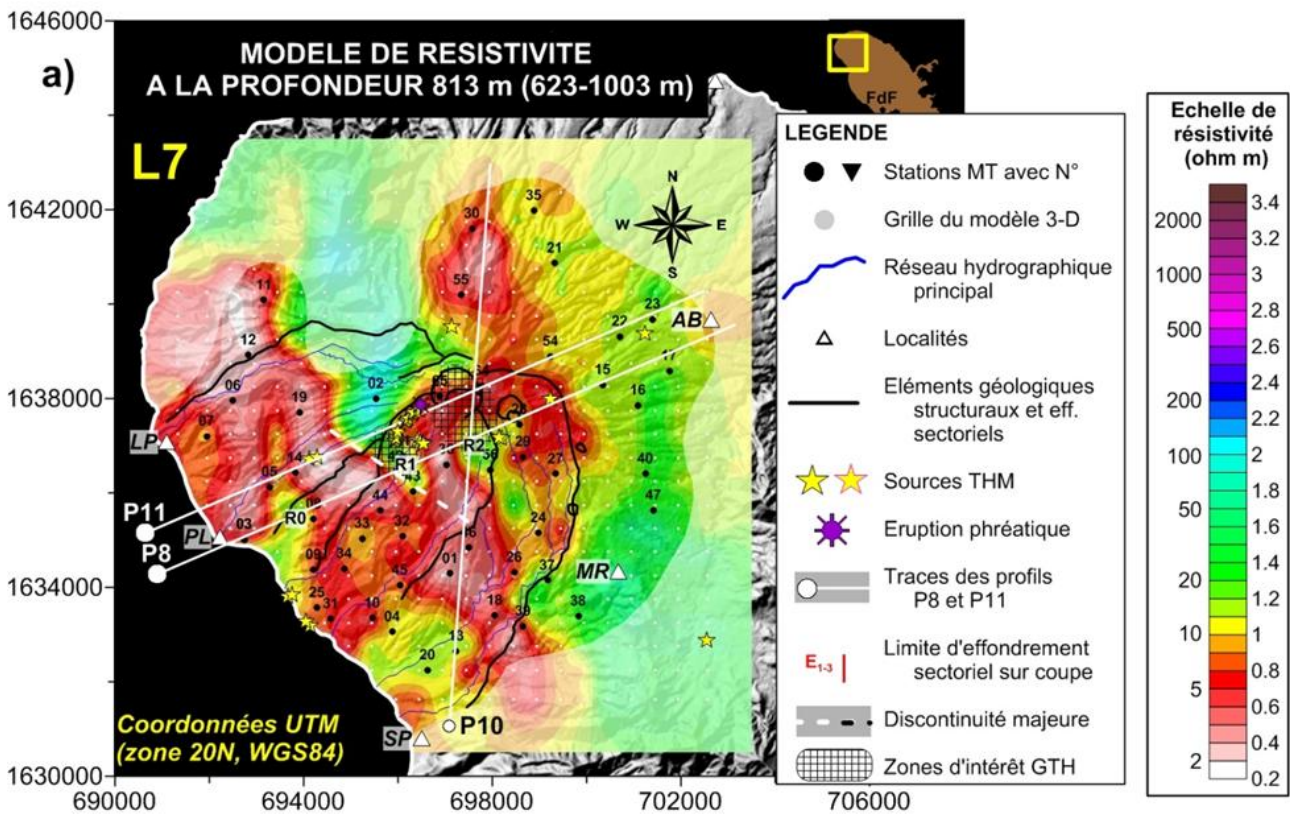


Figure 25 : Carte de la résistivité à la profondeur de 800 m environ montrant l'extension d'une couche conductrice épaisse assimilable à une couverture argilisée de réservoir géothermal.

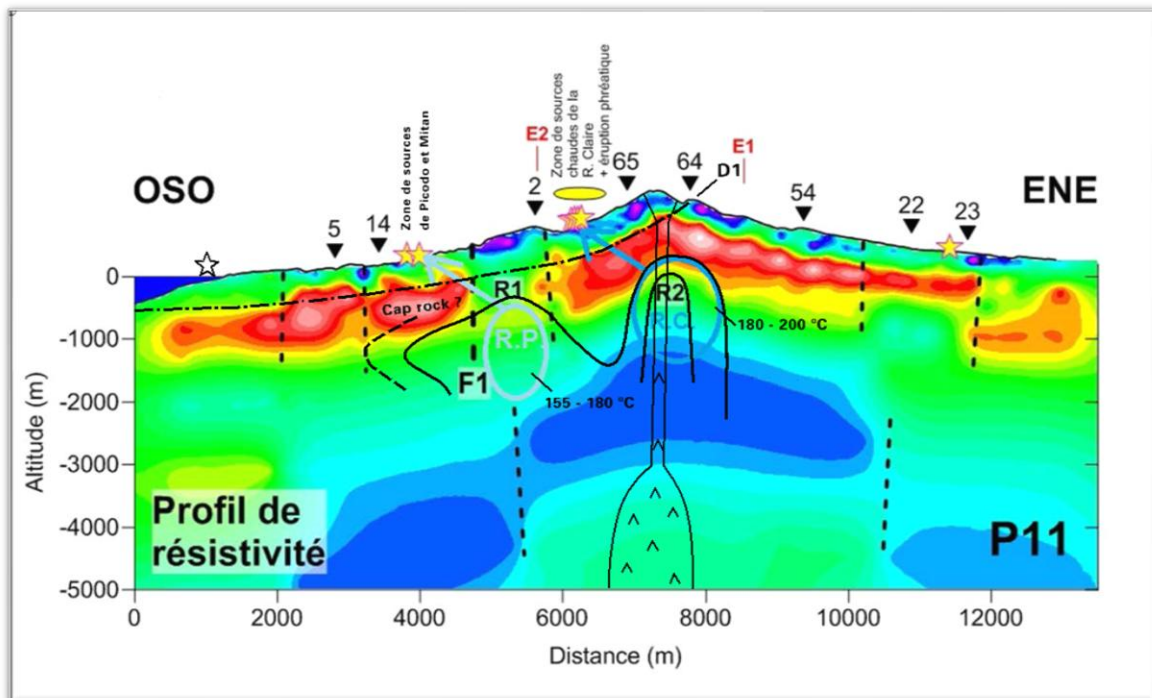


Figure 26 : Section verticale selon le profil P11 (voir Figure 25) montrant la distribution de la résistivité électrique ainsi que les principales discontinuités suggérées.

La discontinuité F1 est proche de la limite sud de la caldeira ancienne qui avait été proposée par Westercamp et Traineau (1983). Elle correspond également à une anomalie positive de la PS (Polarisation Spontanée) mise en évidence par Zlotnicki et al. (1998), qui pourrait être l'indice de circulations de fluides chauds ascendantes. La direction NW-SE de cette discontinuité n'est pas fortuite puisqu'elle correspond à l'axe d'alimentation magmatique profonde en Martinique. Elle affecte d'ailleurs la structure résistive profonde visible sur le profil P11 de la Figure 26. Bien que la nature exacte de cette discontinuité F1 ne soit pas déterminée, et bien que cette interruption de l'horizon conducteur se soit pas réellement expliquée, la combinaison de ces deux observations détermine une seconde zone d'intérêt pour l'exploration de la ressource géothermale.

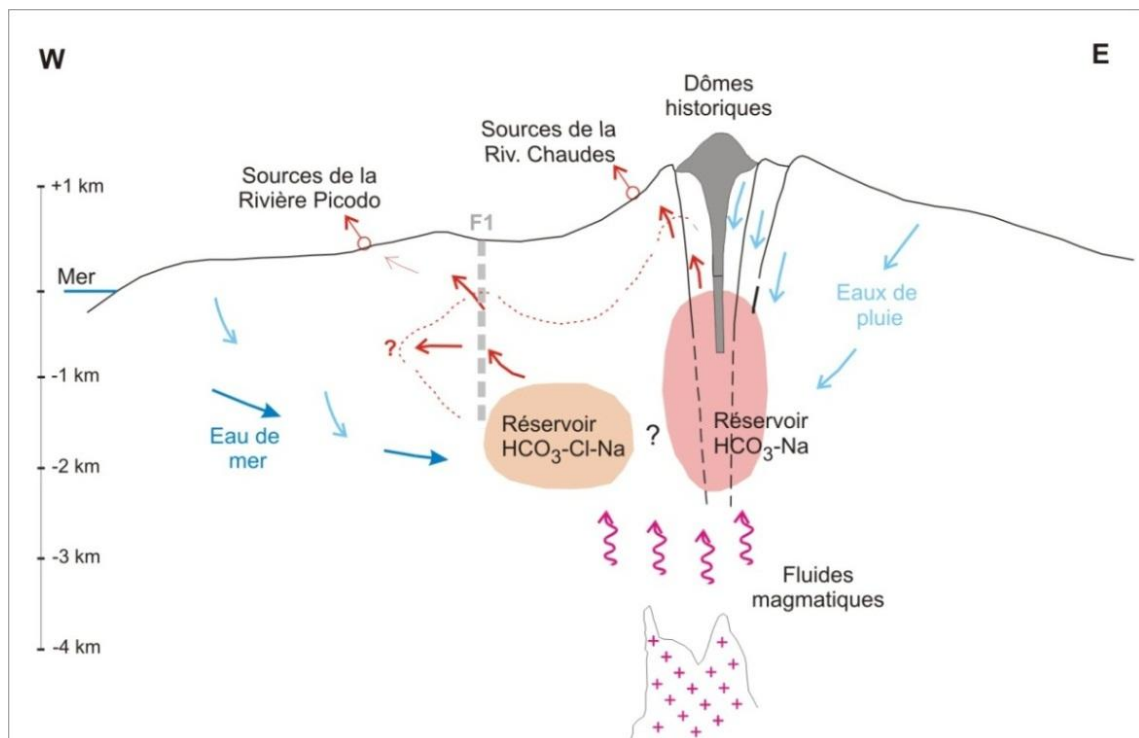


Figure 27 : Modèle conceptuel du système géothermal de la Montagne Pelée proposé par Gadalia et al. (2014).

### III.5.5 Modèle conceptuel du système géothermal de la Montagne Pelée

La distribution des sources thermo-minérales, les caractéristiques géochimiques des eaux thermo-minérales, les résultats des prospections géophysiques et en particulier la distribution des résistivités en profondeur, ont conduit Gadalia et al. (2014) à élaborer un modèle conceptuel du système géothermal de la Montagne Pelée. Ce modèle conceptuel est représenté sur la Figure 27.

La source de chaleur envisagée est une intrusion magmatique à l'aplomb du cône sommital, associée aux dernières éruptions de 1902 et 1929. Le système géothermal serait alimenté par des infiltrations d'eaux météoriques et marginalement par des infiltrations d'eau de mer qui seraient réchauffées par les fluides magmatiques issus de l'intrusion en cours de refroidissement.

Un réservoir à dominante bicarbonaté sodique  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  serait développé au sein du complexe central de conduits magmatiques et de calderas emboîtées de la Montagne Pelée et le toit serait

situé à environ 1 km de profondeur d'après le modèle de résistivité (réservoir RC de la Figure 26). Sa position pourrait être légèrement décentrée vers le sud par rapport au cône sommital actuel. Sa température est estimée de l'ordre de 180-200°C. Des fuites de ce réservoir le long des structures volcaniques sommitales se mélangent avec des eaux superficielles et donnent naissance aux aquifères qui alimentent les émergences de la Rivière Chaude ainsi que les sources thermales en périphérie du cône sommital (haut de la Rivière de Grand-Rivière, haut de la Rivière des Pères, haut de la Rivière Falaise). Ce réservoir a été affecté par les éruptions de 1902 et 1929 et il aurait contribué aux éruptions phréatiques de 1851 et 1792.

Le modèle conceptuel envisage un second réservoir de type bicarbonaté-chloruré sodique (réservoir RP de la Figure 26). Il serait localisé latéralement par rapport au sommet dans la mesure où (1) il alimente les sources des Rivières Picodo et Mitán situées sur le flanc sud-ouest du volcan et (2) il ne semble pas avoir été affecté par les éruptions de 1902 et 1929. La localisation de ce réservoir coïnciderait avec la discontinuité (F1) mise en évidence par la géophysique. Elle créerait des conditions de perméabilité favorables au sein du substratum et permettrait la circulation des fluides jusqu'en surface. Ce réservoir serait alimenté par des eaux météoriques avec une faible contribution d'eau de mer ; ce qui le différencie du réservoir central précédent. Sa température est également légèrement inférieure et estimée de l'ordre de 155-180°C.

Ce modèle à deux réservoirs rend compte des différences observées au niveau de la géochimie des eaux délivrées par les sources de la Rivière Chaude d'une part et les sources des Rivières Picodo et Mitán d'autre part. Toutefois, il n'est pas exclu qu'il s'agisse simplement du reflet d'une zonation chimique au sein d'un même réservoir.

### **III.5.6 Données nouvelles apportées par la crise microsismique en cours à la Montagne Pelée**

A partir d'avril 2019, des microséismes superficiels (0-2 km de profondeur) et de magnitude faible (< 2) ont été enregistrés sous le sommet de la Montagne Pelée (OVSM-IPGP, 2020). Parallèlement, depuis fin 2019, des phénomènes de dépérissement de la végétation sont observés sur le flanc sud-ouest du volcan, entre la Rivière Claire et la Rivière Chaude, à proximité des sites des éruptions phréatiques de 1792 et 1851. Ce dépérissement est attribué à des émanations diffuses de gaz CO<sub>2</sub> à travers le sol.

Ces phénomènes se sont poursuivis en 2020 et 2021. Au cours de l'année 2021, l'activité microsismique s'est amplifiée. Des fissures dans le sol sont apparues au niveau des zones de dépérissement de la végétation sur le flanc sud-ouest du volcan. Des mesures de gaz ont révélé des concentrations en CO<sub>2</sub> pouvant atteindre de 5 000 à 7 800 ppm. Des dégazages en mer ont été signalés entre Saint-Pierre et le Prêcheur, suggérant une augmentation de l'activité du système hydrothermal au sein de la montagne Pelée (OVSM-IPGP, 2021). A l'inverse, en 2022 et 2023, l'ensemble de ces manifestations semblent avoir déclinées.

Ces phénomènes de microsismicité superficielles et d'émanations de gaz en surface sont attribués à la microfracturation et la migration de fluides hydrothermaux au sein du système hydrothermal de la Montagne Pelée. La localisation des microséismes sur le flanc sud-ouest du cône sommital (Figure 28) coïncide avec la localisation du réservoir de type bicarbonaté sodique HCO<sub>3</sub>-Na telle que suggérée par les données de résistivité (voir Figure 25 et Figure 26). C'est une bonne indication de la présence d'un réservoir géothermal à l'aplomb de la zone sommitale du volcan.

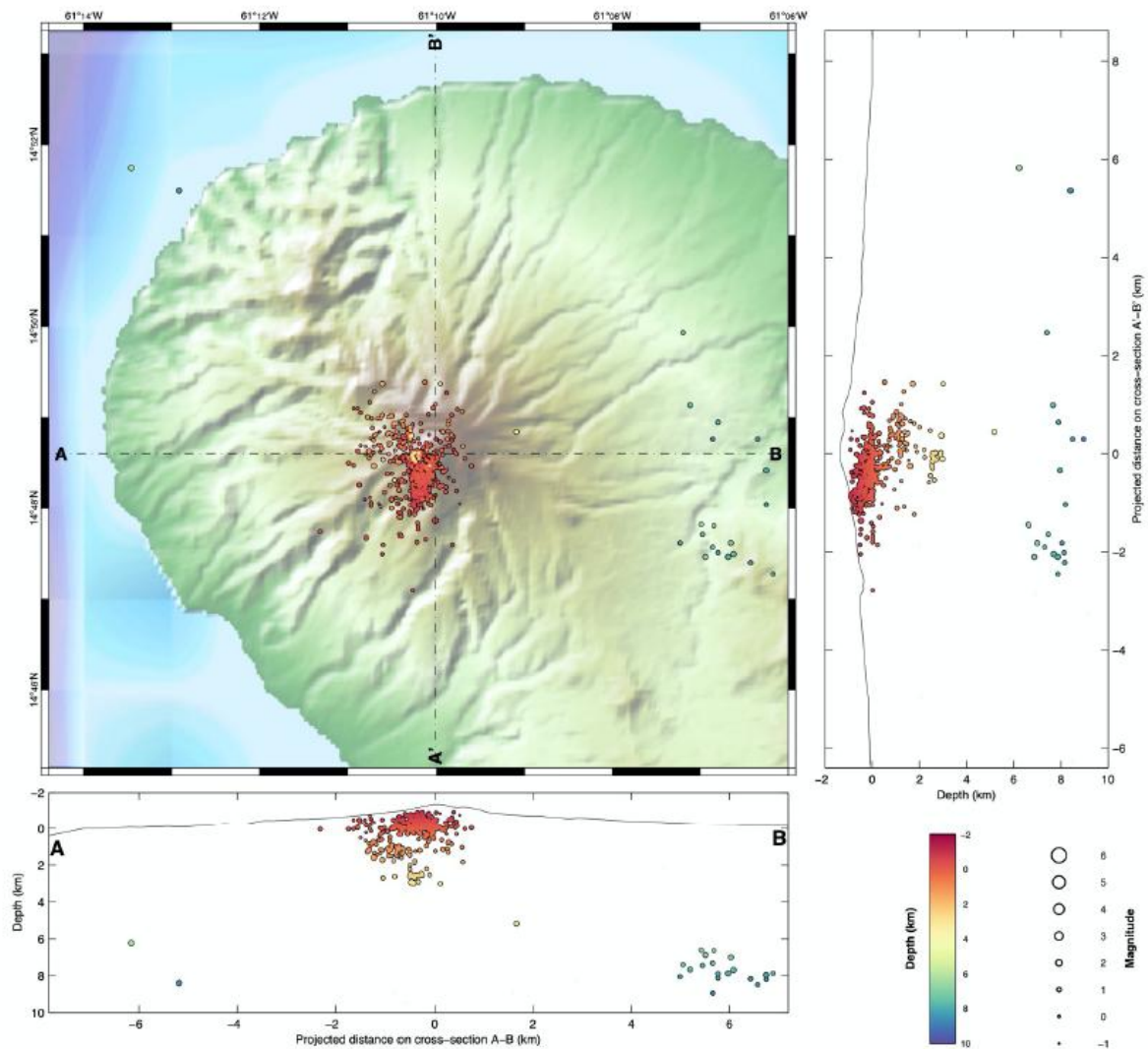


Figure 28 : Carte et profils de localisation des microséismes superficiels enregistrés par l'OVSM-IPGP au cours de l'année 2021 (OVSM-IPGP, 2021).

### III.6. JUSTIFICATION DU PERIMETRE DU PERMIS SOLLICITE

La délimitation du périmètre sollicité pour le Permis Exclusif de Recherches de gîtes géothermiques de la Montagne Pelée repose sur la prise en compte des données suivantes :

- La localisation des indices favorables à l'existence d'une ressource géothermale ;
- L'extension possible du système hydrothermal ;
- Les surfaces concernées par d'éventuelles futures prospections géophysiques ;
- La possibilité de réinjecter à distance des zones de production pour éviter les percées thermiques ;
- La nécessité de protéger les droits du concessionnaire sur la ressource mise en évidence.

### **III.6.1 La localisation des indices favorables**

La Figure 29 montre les éléments favorables à l'existence d'une ressource géothermale à la Montagne Pelée. Il s'agit :

- Des sources thermales ;
- des deux zones de remontée (« doming ») de l'horizon résistant dans l'horizon conducteur, notées R1 et R2 (cf. la discussion au § III.5.4) ;
- de la discontinuité géophysique F1 ;
- du site probable des éruptions phréatiques de 1792 et 1851.

Ces éléments sont situés dans la partie sommitale du volcan et sur son flanc sud-ouest.

### **III.6.2 Extension possible du système hydrothermal**

Les systèmes hydrothermaux développés au sein d'appareils volcaniques ayant une topographie accentuée comme la Montagne Pelée peuvent donner lieu à des écoulements latéraux des fluides (outflow zones) au sein de structures volcaniques ou volcano-tectoniques profondes sur des distances de plusieurs kilomètres à partir d'un réservoir profond. Même si de telles structures n'ont pas été clairement mises en évidence sur les autres flancs du volcan, cette éventualité ne peut pas être écartée à ce stade de l'exploration.

C'est la raison pour laquelle le périmètre du permis doit être nettement plus large que la zone contenant les indices favorables.

NB : Il s'agit d'écoulements latéraux profonds sous la couverture argilisée du réservoir. Les écoulements superficiels au niveau de la nappe alluviale de la Rivière Blanche qui se déverse en mer ne sont pas concernés ici.

### **III.6.3 Les besoins en surface pour d'éventuelles futures prospection géophysiques**

Les méthodes de prospection géophysique (profils électriques, sondages magnétotelluriques, ...) nécessitent de déborder largement la zone à explorer pour obtenir des résultats fiables et limiter les « effets de bord ».

C'est la raison pour laquelle il convient de définir un périmètre du permis suffisamment large pour inclure les surfaces prospectées.

### **III.6.4 La possibilité de réinjecter à distance des puits de production**

L'exploitation de la ressource géothermale va nécessiter l'individualisation de zones d'extraction du fluide géothermal et de zones de réinjection du fluide refroidi après valorisation. Il est nécessaire de prévoir une distance minimale entre zone de réinjection et zone d'extraction pour limiter le risque de percée thermique. A titre d'exemple, les puits de production peuvent se situer à une distance de 1 à 2 km des puits de production.

Il est donc important d'anticiper cet espacement lors de la définition du périmètre du permis.

### **III.6.5 La nécessité de protéger les droits du concessionnaire**

Les systèmes géothermiques haute température sont des systèmes dynamiques avec des écoulements naturels de fluides comme indiqué ci-avant. La coexistence de plusieurs concessionnaires au niveau d'un même réservoir peut être la source d'interférences et de conflits.

C'est la raison pour laquelle il est prudent d'inclure la totalité de l'extension connue ou supposée d'un système géothermal à l'intérieur d'un même permis.

### III.6.6 Délimitation du périmètre sollicité pour le Permis de la Montagne Pelée

Sur la base des arguments présentés ci-avant, le périmètre qui est sollicité pour le Permis de la Montagne Pelée englobe l'ensemble de l'édifice volcanique. Il est présenté sur la Figure 29. Sa surface est de 132 km<sup>2</sup>.

Ce Permis de la Montagne Pelée est restreint au domaine terrestre. En effet, il n'y a pas de données qui justifierait son extension au domaine marin.

La limite sud et sud-est du Permis suit approximativement les contacts entre l'édifice de la Montagne Pelée, l'édifice des Pitons du Carbet et l'édifice du Morne Jacob.

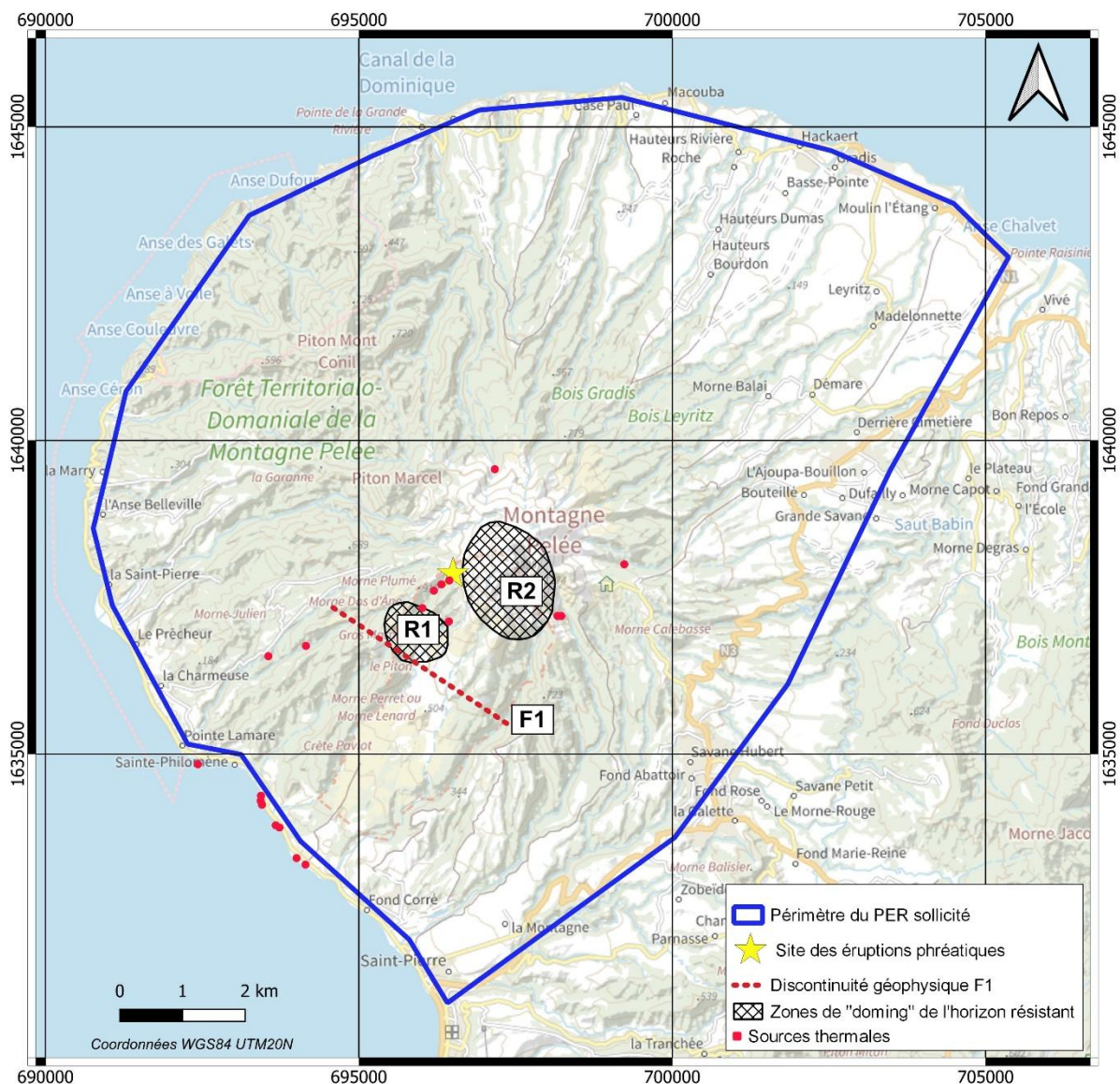


Figure 29 : Périmètre sollicité pour le Permis Exclusif de Recherches de la Montagne Pelée.