Projet BD GTH DOM : Vers une plateforme d'information sur l'exploration géothermique de haute température en contexte volcanique dans les îles d'Outre-mer - Rapport final

Bernard Sanjuan Sanjuan, Mariane Peter-Borie, Juliette Stephan-Perrey, Adrien Quentin, Christelle Loiselet

▶ **To cite this version:**

Bernard Sanjuan Sanjuan, Mariane Peter-Borie, Juliette Stephan-Perrey, Adrien Quentin, Christelle Loiselet. Projet BD GTH DOM : Vers une plateforme d'information sur l'exploration géothermique de haute température en contexte volcanique dans les îles d'Outre-mer - Rapport final. [Rapport Technique] BRGM/RP-70567-FR, BRGM. 2021, 182 p. hal-03357021

HAL Id: hal-03357021
https://brgm.hal.science/hal-03357021

Submitted on 28 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Document public

Projet BD GTH DOM : Vers une plateforme d'information sur l'exploration géothermique de haute température en contexte volcanique dans les îles d'Outre-mer

Rapport final

BRGM/RP-70567-FR
Mars 2021

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Projet BD GTH DOM : Vers une plateforme d'information sur l'exploration géothermique de haute température en contexte volcanique dans les îles d'Outre-mer

Rapport final

BRGM/RP-70567-FR
Mars 2021

Étude réalisée dans le cadre des actions d'appui aux politiques publiques du BRGM relatives à la convention ADEME-BRGM 2005C0030

B. Sanjuan, M. Peter, J. Stephan-Perrey, A. Quentin, Ch. Loiselet

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : Ch. Dezayes	Nom : M. Philippe
Fonction : Correspondante Scientifique RP, APP DGR	Fonction : Responsable de l'unité « Géothermies et Stockage d'Energie » (DGR/GSE)
Date : 01/04/2021	Date : 13/04/2021
Signature :	Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : base de données, plateforme d'information numérique, exploration géothermique, Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe, Guadeloupe, Martinique, Réunion, Mayotte.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Sanjuan B., Peter-Borie M., Stephan-Perrey J., Quentin A., Loiselet Ch. (2021) - Projet BD GTH DOM : Vers une plateforme d'information sur l'exploration géothermique de haute température en contexte volcanique dans les îles d'Outre-mer. Rapport final BRGM/RP-70567-FR, 182 p., 96 fig., 4 ann.

© BRGM, **2021**, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

A l'heure de la transition énergétique, qui devrait voir se développer la géothermie de haute température dans les îles volcaniques françaises d'Outre-mer pour produire de l'électricité et à l'aube de la création d'un Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe, en Guadeloupe, dans le cadre du projet INTERREG V - Caraïbes, il apparaît plus qu'opportun de constituer une plateforme d'information numérique, qui soit dédiée à l'exploration géothermique sur ces territoires et les autres îles de la Caraïbe. La base de données, qui sera le principal pilier de cette plateforme, rassemblera les principaux résultats de tous les travaux d'exploration géothermique haute température (jusqu'ici dispersés et à différents degrés de structuration et d'archivage), et permettra de les structurer et de les archiver pour une diffusion facilitée et une conservation durable.

Cette plateforme de données et de services numériques donnera un accès public tant national qu'international aux différentes entités et acteurs qui auront besoin de les utiliser pour développer la géothermie haute température sur ces territoires. Elle cherchera à être aussi exhaustive que possible en matière d'information et de réponse aux besoins exprimés par ses utilisateurs, mais également conviviale et réactive (mise à jour régulière de la base). Elle se devra d'impulser et de mobiliser les parties prenantes et les partenaires autour de la structuration de la filière géothermie dans la Caraïbe et dans le cadre du Centre d'Excellence. Elle contribuera au positionnement de la Guadeloupe au cœur de cette structuration. Elle servira aux travaux préparatoires nécessaires des groupes d'investisseurs qui souhaiteront venir développer de nouveaux projets de géothermie sur ces territoires, ainsi qu'aux instances publiques locales et nationales qui soutiendront de tels projets. Etant donné la complexité d'un tel projet, la mise en place de cette plateforme doit se faire en plusieurs étapes et doit impérativement passer par une phase préliminaire de préparation. Ce sont les résultats et les conclusions de cette phase préliminaire de pré-projet, financée dans le cadre de la convention ADEME-BRGM n°2005C0030, qui sont présentés dans ce rapport.

Cette étude de pré-projet a permis, dans un premier temps, de dresser un inventaire aussi exhaustif que possible des travaux et des données d'exploration géothermique haute température disponibles dans les îles françaises d'Outre-mer de la Guadeloupe, la Martinique, La Réunion et Mayotte, puisque ce sont autour de 900 références bibliographiques qui ont pu être répertoriées et sont maintenant gérées par le logiciel de gestion de recherche bibliographique Mendeley Desktop qui permet de trier les références à la demande suivant les différents besoins. Pour initier la base de données de la plateforme, ce sont, d'abord, ces îles qui ont été ciblées mais, tirant parti de l'expérience française, des réunions d'échange avec les partenaires du Centre d'Excellence de Géothermie des autres îles de la Caraïbe (Dominique, Montserrat, Sainte Lucie, etc.) seront ensuite menées pour inventorier et intégrer leurs propres données dans cette base.

Ces travaux d'exploration géothermique concernent plusieurs disciplines telles que la géologie (litho-stratigraphie, géologie structurale, volcanologie, pétrographie, minéralogie, études des altérations hydrothermales, datations…), la géochimie des roches et des fluides, la thermométrie des sols, l'analyse des gaz ou d'éléments comme le mercure ou l'arsenic dans les sols, la géophysique (gravimétrie, magnétisme, sismique, méthodes électriques, magnéto-telluriques…), l'hydrogéologie, la modélisation géologique-3D, la modélisation thermo-hydrodynamique, chimique, mais abordent aussi déjà quelques études d'impact environnemental et sociétal. Ils font, la plupart du temps, l'objet de campagnes d'acquisition de données de surface, mais peuvent aussi être menés sur des sondages (de mesures de gradient thermique, par exemple) ou des forages profonds, lorsque ceux-ci sont disponibles, notamment à Bouillante, en Guadeloupe, au Lamentin, en Martinique, ou au Grand Brûlé et dans le cirque de Salazie, à La Réunion.

Pour chacune de ces îles, il existe des travaux d'exploration d'ensemble des régions et des études de synthèse qui indiquent les régions les plus favorables pour le développement de la géothermie de haute température, et qui sont à même de faciliter la collecte des données les plus intéressantes. Dans notre inventaire, il a été aussi très important de faire référence à des travaux très structurants comme ceux qui ont conduit à la réalisation de SIG (Système d'Information Géographique), de cartes et de profils de synthèse, ainsi qu'à la conceptualisation de modèles de fonctionnement de systèmes géothermiques, voire à des modèles géologiques-3D qui ont mobilisé de nombreuses données géo-scientifiques pour leur réalisation.

A l'issue de cet inventaire, la deuxième partie de cette étude est consacrée à :

- l'élaboration de la stratégie de mise en place de la plateforme d'information, constituée de données et de services numériques sur l'exploration géothermique haute température en contexte volcanique non seulement dans les îles françaises d'Outre-mer, mais aussi dans les autres îles voisines de la Caraïbe ;
- l'évaluation technique et financière des actions à mener dans le futur projet en fonction de la stratégie élaborée et des choix réalisés.

Cette plateforme d'information numérique, qui sera associée au Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe, aura pour objectif de proposer une infrastructure numérique permettant de documenter, diffuser et promouvoir un catalogue de données relevant du domaine d'application de l'exploration géothermique haute température. Etant donné que cette plateforme a pour vocation d'intégrer les principales îles françaises d'Outre-mer concernées, mais aussi la plupart des autres îles volcaniques de la Caraïbe, elle sera construite en langue anglaise. Comme elle vise à founir des outils pour la capitalisation, la consultation et la mise à disposition des données à destination des principaux acteurs nationaux et internationaux et qu'à ce stade, il reste important de préciser les besoins des utilisateurs afin d'orienter les services et les fonctionnalités y répondant, il est proposé d'opérer en deux étapes dans le futur projet. La première étape sera constituée de deux phases.

Dans la phase 1, après avoir complété l'inventaire des études et des données avec celles concernant les autres îles voisines de la Caraïbe, on procèdera à :

- la mise en œuvre du catalogage des données de cet inventaire qui permettra d'identifier les jeux de données *via* des métadonnées associées suivant des standards, afin d'offrir des métadonnées interopérables pour faciliter leurs échanges et leurs consultations ;
- la capitalisation et au stockage des données issues de cet inventaire (numérisation et stockage sous une forme permettant leur exploitabilité dans un périmètre défini de la plateforme) ;
- la mise à disposition d'un portail pilote de consultation et de visualisation de la donnée comportant 3 onglets principaux : *Catalogue des données* ; *Services de diffusion de la donnée* et *Visualisation de la donnée*.

La phase 2 se concentrera sur l'étude et le recueil de besoins des utilisateurs de la plateforme, afin de déterminer les services sur la donnée à mettre en place pour les utilisateurs (administrateur de la donnée, fonctionnalité de traitement sur la donnée, etc…).

La deuxième étape sera entièrement consacrée à la mise en place de la plateforme numérique finale. Elle ne pourra être détaillée techniquement et budgétée qu'à l'issue de la phase 2, car l'analyse des besoins des utilisateurs et leur prise en compte vont impacter fortement la complexité du service sur la donnée et la mise en oeuvre de la représentation (visualisation, par exemple) de son contenu, qui demandent la mise en place de l'exposition des données sous la forme de protocoles standardisés et une étape de configuration de l'interface utilisateur.

Sommaire

1. Introduction 15

1.1. ENJEUX 15

1.2. PRINCIPAUX OBJECTIFS 16

2. Inventaire des données disponibles 17

2.1. ILE DE LA GUADELOUPE 17
2.1.1. Nature des travaux 20
2.1.2. Etudes d'exploration sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones 35
2.1.3. Principales études de synthèse 37
2.1.4. Principaux projets d'exploration géothermique récents dans la région de Bouillante 38
2.1.5. Principaux projets d'exploration géothermique dans la région de Vieux Habitants - Soufrière 40

2.2. ILE DE LA MARTINIQUE 42
2.2.1. Nature des travaux 43
2.2.2. Etudes d'exploration sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones 62
2.2.3. Principales études de synthèse 65
2.2.4. Principaux projets d'exploration géothermique récents 65

2.3. ILE DE LA REUNION 70
2.3.1. Nature des travaux 72
2.3.2. Etudes d'exploration sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones 86
2.3.3. Principales études de synthèse 87
2.3.4. Principaux projets d'exploration géothermique récents 88

2.4. ILE DE MAYOTTE 92
2.4.1. Nature des travaux 93
2.4.2. Principaux projets d'exploration géothermique récents 103

3. Choix de la stratégie à mener et évaluation des futures actions 105

3.1. ELABORATION DE LA STRATEGIE DE MISE EN PLACE D'UNE PLATEFORME DE DONNEES ET DE SERVICES NUMERIQUES SUR L'EXPLORATION GEOTHERMIQUE EN CONTEXTE VOLCANIQUE INSULAIRE 105
3.1.1. Principaux objectifs et phasage de la stratégie 105
3.1.2. Quelques exemples de plateformes d'information sur la donnée géoscientifique 106

3.2. EVALUATION DES FUTURES ACTIONS POUR LA MISE EN PLACE ET LA MISE EN OEUVRE DE LA PLATEFORME D'INFORMATION NUMERIQUE 109
3.2.1. Description des actions pour la mise en place de la stratégie élaborée 109

3.2.2. Evaluation budgétaire pour la réalisation de la plateforme d'information numérique 113

4. Conclusion 115

5. Bibliographie 119

Liste des figures

Figure 1 - Vue d'ensemble de la centrale géothermique haute température de Bouillante, en Guadeloupe (unités B1 et B2, et canal de rejet en mer d'une partie des eaux de production). Historique de cette centrale et synthèse des principaux événements (dates clés). 18

Figure 2 - Contexte géodynamique de l'arc volcanique des Petites Antilles et carte de localisation des principales zones explorées pour la géothermie de haute température, en Guadeloupe. 19

Figure 3 - Carte de localisation des principales failles et sources thermales sur l'île de Basse Terre en liaison avec l'activité volcanique récente. Les failles qui sont associées à une activité volcanique récente (en rouge) et à des systèmes hydrothermaux connus (en vert) sont soulignées (Bourdon *et al.*, 2008). 21

Figure 4 - Carte de localisation des principales zones de fuites directes de fluide géothermal profond (250-260°C) mises en évidence par la géochimie des eaux des sources thermales terrestres et sous-marines de la région de Bouillante (Sanjuan et Brach, 1997 ; Traineau *et al.*, 1997 ; Sanjuan, 2001a). 22

Figure 5 - Mise en évidence d'une zone à forte ébullition près de Pointe à Lézard, à partir du suivi sismique à large bande (stations LB1 à LB6) installé dans la région de Bouillante par le BRGM en 2004 (Douglas et al., 2006 ; Jousset, 2011). 22

Figure 6 - Carte des principales zones d'intérêt géothermique de haute température au nord de Bouillante et représentation en 3D des principales failles, manifestations hydrothermales et émanations d'hélium, ainsi que du profil électrique réalisé par le BRGM (Sanjuan *et al.*, 2005b). 23

Figure 7 - La structure de résistivité du champ géothermique de Bouillante est résumée par deux profils MT 2D principaux Sud - Nord (tracés en rouge, l'un le long de la côte et l'autre plus dans les terres) comparés avec le dipôle-dipôle électrique réalisé par le BRGM en 2004 (tracé en bleu ; Sanjuan *et al.*, 2005b ; Bourgeois and Debeglia, 2008). Ces profils ont été choisis en se basant sur la distribution des stations MT et AMT les plus proches du profil électrique et ont été obtenus par inversion 2D à grande échelle, malgré le faible nombre de stations de mesure (croix noires). Les deux profils montrent une succession de couches résistantes - conductrices - résistantes communément associées aux zones volcaniques et géothermiques de haute température. Les zones qui n'ont pas pu être interprétées à partir des mesures sont en blanc (Gailler *et al.*, 2014). 24

Figure 8 - La vue de gauche est une carte de la résistivité apparente HTEM à 400 m de profondeur interpolée en 1 D, à partir des mesures de la campagne GuadEM menée sur la baie de Bouillante par le BRGM. Les lignes rouges représentent l'isotherme de 250°C à 1100 et 1500 m en dessous du niveau de la mer et utilisent les corrélations avec les mesures de résistivité MT acquises en 3D par ORMAT. La vue de droite montre une superposition des données HTEM avec celles du profil MT, localisé le long de la côte, et met en évidence une bonne convergence entre les deux séries de données (Owen *et al.*, 2018). 24

Figure 9 - Carte simplifiée du champ géothermique de haute température de Bouillante (Traineau *et al.*, 2015). 25

Figure 10 - Modèle conceptuel de fonctionnement du champ géothermique de Bouillante (Lachassagne *et al.*, 2009). 25

Figure 11 - Profil thermique conceptuel Nord-Sud du champ géothermique de Bouillante (Sanjuan *et al.*, 2008), à partir des données de Sanjuan *et al.* (2004b). 26

Figure 12 - Modèle conceptuel de fonctionnement du système géothermique de Bouillante suivant une coupe N-S, basé sur des données de forages et d'exploration de surface (Bouchot *et al.*, 2010). 26

Figure 13 - Carte de localisation des forages et modèle géologique 3D du réservoir géothermique de Bouillante actuellement exploité, réalisé avec le logiciel EarthVision® (Dynamic Graphics). Les cinq premières vues du modèle géologique correspondent aux différentes unités lithologiques simplifiées, les trois vues suivantes à la distribution des températures et aux anomalies thermiques profondes, et les trois dernières vues au volume du réservoir suivant différentes prises d'angle (Sanjuan *et al.*, 2004b). 27

Figure 14 - Modèle géologique 3D du champ géothermique de Bouillante, réalisé avec le logiciel Geomodeller (Calcagno *et al.*, 2013) et les données provenant principalement de Thinon *et al.* (2009) et Bouchot *et al.* (2013). 28

Figure 15 - Carte de localisation des sources thermales du massif volcanique de La Soufrière et de la région de Gourbeyre (Bourdon *et al.*, 2008 ; Sanjuan *et al.*, 2008). 29

Figure 16 - Carte de localisation du massif volcanique de La Grande Découverte - La Soufrière et des principales structures volcano-tectoniques, sources thermales et fumerolles autour du dôme de lave de La Soufrière (Villemant *et al.*, 2005 ; 2014) 29

Figure 17 - Vues du haut : localisation du profil dipôle-dipôle Moscou - Soufrière - Etang Salé, réalisé par le BRGM, en 1985, et coupe de résistivité apparente obtenue après inversion 2D ; vue du bas : coupe interprétative de résistivité apparente superposée au MNT (Gailler *et al.*, 2011). 30

Figure 18 - Modèle conceptuel du système hydrothermal de La Soufrière (Barat, 1982). 30

Figure 19 - Coupe schématique E-O montrant le fonctionnement probable des systèmes hydrothermaux profond et superficiel associés à La Soufrière et la forte compartimentation des zones de circulation dans l'édifice (Villemant *et al.*, 2005) 31

Figure 20 - Evolution des systèmes magmatiques et hydrothermaux superficiels du volcan de La Soufrière, depuis la crise volcano-sismique de 1976-1977 (Villemant *et al.*, 2014). 31

Figure 21 - Vue du haut à droite : carte de localisation de la campagne de mesures MT réalisée par TERANOV, dans le cadre du programme GEOTREF. Le trait noir indique le profil sectoriel utilisé pour les vues suivantes (Raguenel et al., 2019). Vues suivantes : coupes de résistivité établie entre La Soufrière et Bouillante. a) Coupe extraite du modèle MT 3D. b) Premier modèle conceptuel de circulation avec des chambres magmatiques sous Bouillante et La Soufrière. c) Second modèle sans chambre magmatique sous Bouillante. d) Variante du second modèle, mais avec des transferts latéraux plus superficiels (Navelot, 2018). 32

Figure 22 - a) coupe géologique simplifiée, utilisée pour la modélisation. La position de quelques sources chaudes est indiquée ; b) numérisation des différentes unités, avec rajout d'un réservoir magmatique en profondeur ; c) maillage de la géométrie en éléments triangulaires, et résultats du champ thermique après un calcul où circulation des fluides et transferts de chaleur sont couplés (Sanjuan *et al.*, 2008). 33

Figure 23 - Résultats de simulations thermiques faites sur une coupe Soufrière - Bouillante (voir fig. 21), après 15000 ans. a) Avec une seconde source de chaleur magmatique sous Bouillante ; b) Conduits verticaux fortement perméables ; c) Couches horizontales fortement perméables ; d) Conduits verticaux et couches horizontales fortement perméables (Raguenel *et al.*, 2019) 34

Figure 24 - Carte de synthèse des zones plus ou moins favorables, d'après les contraintes identifiées à de futures investigations pour des projets de géothermie de haute température (Legendre *et al.*, 2014). 34

Figure 25 - Carte de localisation des principales sources thermales et zones explorées sur l'île de la Martinique (Mouret, 1979). 42

Figure 26 - Arborescence du SIG-MARTINIQUE, avec des données en géologie, géophysique (anomalie de Bouguer complète et planche sur le modèle de résistivité à la profondeur 47,5 m, par exemple), en géochimie des fluides (carte des températures à partir des mesures in situ et de la littérature, carte de concentration en CO_2 à 1 m de profondeur dans les sols, par exemple), en hydrogéologie (Gadalia *et al.*, 2014). 44

Figure 27 - Carte de localisation des trois sondages d'exploration géothermique (pointe Desgras, Habitation Carrère et Californie) de la plaine du Lamentin et des sources thermales avoisinantes échantillonnés par le BRGM en 2001 (Traineau, 2001 ; Sanjuan *et al.*, 2002). 45

Figure 28 - Carte de synthèse montrant la localisation des forages d'exploration géothermique réalisés dans la plaine du Lamentin, avec les isothermes 40 et 80°C à 100 m de profondeur, tracés à partir des mesures de forage, et coupe NO-SE interprétative proposée pour ce système géothermique de basse température, à partir des données de terrain et de forages (Traineau, 2001 ; Sanjuan *et al.*, 2002). 46

Figure 29 - Carte litho-structurale de la région de la plaine du Lamentin réalisée pour le modèle géologique 3D, indiquant les failles majeures qui impactent les grands ensembles volcaniques et sédimentaires (Gadalia *et al.*, 2017 ; Labeau, 2018). 47

Figure 30 - Carte de résistivité apparente à la fréquence 32 Hz et pseudo-section NNO-SSE de résistivité apparente CSEM pour le profil P5 de la plaine du Lamentin (Gadalia *et al.*, 2014). 47

Figure 31 - Carte des structures volcano-tectoniques et des manifestations hydrothermales du massif des Pitons du Carbet (Gadalia *et al.*, 2014). 48

Figure 32 - Esquisse géologique et structurale du massif des Pitons du Carbet avec les stéréogrammes des structures relevées sur le terrain, d'après la carte géologique au 1/50 000 de la Martinique (Westercamp *et al.*, 1989) et des travaux plus récents (Gadalia *et al.*, 2014). 48

Figure 33 - Profil de résistivité N-S P9 résultant de l'inversion des stations MT situées sur les Pitons du Carbet (Coppo *et al.*, 2014 ; Gadalia *et al.*, 2017). 49

Figure 34 - Modèle conceptuel des systèmes hydrothermaux des pitons du Carbet et de la plaine du Lamentin suivant une coupe NO-SE (Gadalia *et al.*, 2017). 49

Figure 35 - Schéma de synthèse des travaux du BRGM de 2003 représentant les zones prioritaires pour l'implantation de forages d'exploration géothermique de haute température en Martinique (Sanjuan *et al.*, 2003b). 50

Figure 36 - Carte de synthèse du massif de La Montagne Pelée. Les manifestations hydrothermales répertoriées ainsi que le tracé des structures d'effondrement sectoriel ayant affecté le flanc sud-ouest de l'édifice volcanique (Le Friant *et al.*, 2003) sont localisées (Gadalia et al., 2014). 51

Figure 37 - Comparaison des informations de polarisation spontanée (PS), de résistivité (MT), de sismicité (vitesse) et de gravimétrie (densité) acquises dans la région de La Montagne Pelée (Gadalia *et al.*, 2014). 51

Figure 38 - Carte de synthèse des principales observations géophysiques sur le massif volcanique de La Montagne Pelée (Gadalia *et al.*, 2014). 52

Figure 39 - Modèle hydrodynamique de La Montagne Pelée (Barat, 1982). 52

Figure 40 - Coupe verticale conceptuelle du massif volcanique de La Montagne Pelée, suggérant le fonctionnement du système hydrothermal associé à ce strato-volcan de type andésitique. Les échelles verticales et horizontales sont identiques (Traineau *et al.*, 1989). 53

Figure 41 - Modèle conceptuel de circulation des eaux souterraines du massif volcanique de La Montagne Pelée (Gadalia *et al.*, 2014). 53

Figure 42 - Carte et coupe interprétative OSO-ENE du système hydrothermal associé au massif volcanique de La Montagne Pelée indiquant les réservoirs cibles (Gadalia *et al.*, 2014). RC : réservoir central alimentant les sources de la rivière Chaude ; RP : réservoir périphérique alimentant les sources de la rivière Picodo. 54

Figure 43 - Schéma conceptuel proposé pour le système hydrothermal associé au massif volcanique de La Montagne Pelée (Gadalia *et al.*, 2014). 54

Figure 44 - Carte de localisation des sources et des affleurement affectés par une altération hydrothermale, repérés dans la zone des Anses d'Arlet (Gadalia *et al.*, 2014). 55

Figure 45 - Cartographie géologique simplifiée de la zone d'étude, suite aux observations de surface, et localisation des principaux appareils volcaniques identifiés (cercles noirs), avec interprétation d'un axe volcano-tectonique NNO-SSE (Darnet *et al.*, 2020). 55

Figure 46 - Représentations en plan et en coupes (P1 à P7) de la distribution des résistivités et des densités (P7) sur la zone des Anses d'Arlet (Gadalia *et al.*, 2014 ; Darnet *et al.*, 2020). 56

Figure 47 - Vue du haut : carte d'implantation des stations MT de 2014 (cercles verts) et des stations CSEM/MT de 2019 (cercles rouges). Les flèches rouges représentent les émetteurs électromagnétiques CSEM. Vue du bas : cube de resistivité obtenu après inversion 3D des données CSEM acquises en 2019. L'anomalie bleue est interprétée comme un paleo-réservoir géothermal, développé sous une paléo-caprock (anomalie très conductrice rouge-oranger) (Darnet *et al.*, 2020). 57

Figure 48 - Modèle conceptuel de circulation des eaux souterraines de la zone des Anses d'Arlet (Gadalia *et al*., 2014). 58

Figure 49 - Modèle conceptuel proposé pour le système géothermique de Petite Anse dans la zone des Anses d'Arlet (Gadalia *et al.*, 2014). 58

Figure 50 - Site de la plaine du Lamentin. Vue du haut : coupe verticale passant par les forages d'exploration de Californie (LA-03) et d'Habitation Carrère (LA-02) ainsi que certains forages de mesure de gradient de température (LA-1, LA-6, LA-11 et LA-12), issue de la modélisation 3D avec GeoModeller. La partie en gris représente le socle indéfini. Vues suivantes : modèle 3D comprenant le socle indéfini (en gris), avec les douze failles supposées et les différentes séries superposées simplifiées, qui constituent le sous-sol de la plaine du Lamentin (séries volcaniques Vauclin Pitault et SW Gros Ilet, série sédimentaire Fort de France, séries volcaniques Morne Jacob et trois Ilets, séries du Carbet et des alluvions anciennes) (Gadalia *et al.*, 2017 ; Labeau, 2018). 59

Figure 51 - Site des Anses d'Arlet. Vue du haut : coupe orientée NO-SE. A gauche, coupe géologique des résultats de l'interprétation sur GeoModeller. A droite, le corps plutonique massif (anomalie jaune à rouge) est marqué par une anomalie très résistante de la MT, entre 100 et 160 Ω.m, tandis que l'anomalie en vert comprenant des valeurs entre 85 et 100 Ω.m, représente une zone de transition riche en dykes, en bordure du corps massif. Vue du bas : modèle 3D du système géothermique des Anses d'Arlet réalisé avec le logiciel GeoModeller (Jacob, 2020 ; Darnet *et al.*, 2020). 60

Figure 52 - Modélisation thermo-hydrodynamique avec le logiciel COMPASS (Labeau, 2018). Vues du haut : maillage grossier du modèle géologique ne considérant qu'une seule faille (ici, celle dite Nord-Lamentin), qui présente l'avantage de se prolonger en partie sous la baie de Fort-de-France (fig. 26) et localisation des quatre forages d'exploration et des trois sources de chaleur considérées pour la modélisation. Vue du milieu : géothermes mesurés à partir des forages LA-01, LA-02, LA-03 et LA-101.

Vues suivantes : résultats des simulations de géothermes pour les trois positions de source de chaleur. 61

Figure 53 - Vue du haut : carte des secteurs d'intérêt potentiel pour la géothermie sur l'île de La Réunion (Dezayes *et al.*, 2015). Vues du bas : à gauche, carte de localisation du forage d'exploration profond du Grand Brûlé (SR-1), et de celui envisagé sur la plaine des Sables, tous les deux dans la région du Piton de La Fournaise. A droite, carte de localisation du forage d'exploration profond dans le cirque de Salazie, associé au Piton des Neiges (SLZ-1). 71

Figure 54 - Directions structurales identifiées à La Réunion et discontinuités majeures de la croûte océanique (Michon *et al.*, 2007 ; Dezayes *et al.*, 2015). 72

Figure 55 - Directions d'intrusions préférentielles au Piton des Neiges (Chaput, 2013 ; Dezayes *et al.*, 2015). 73

Figure 56 - Calderas emboîtées proposées pour le Piton de La Fournaise (Merle *et al.*, 2010), à gauche, et directions d'intrusions préférentielles, à droite (Chaput *et al.*, 2014a ; Dezayes *et al.*, 2015). Les zones en vert correspondent aux surfaces glissées, lors de certaines éruptions, dont le glissement est attribué à l'injection de sills dans un plan de détachement, comme observé au Piton des Neiges. 73

Figure 57 - Log litho-stratigraphiques et de température des forages profonds d'exploration du Grand Brûlé (SLR-1) et de Salazie (SLZ-1) (PB Power, 2002). 74

Figure 58 - Carte géologique synthétique de La Réunion (PB Power, 2002). 75

Figure 59 - Carte de localisation des principales sources thermales de La Réunion (PB Power, 2002). 75

Figure 60 - Carte de localisation des principales sources thermales du Piton des Neiges (Bhavani *et al.*, 2020). 76

Figure 61 - Carte des gradients PS (échelle de couleur en mV/m) de la zone entre le Piton de La Fournaise et le haut de la Plaine des Sables/Plaine des Cafres comparée avec la localisation des principaux sites émissifs (PP : Plaine des Palmistes ; HC : Haut Plaine des Cafres ; PE : Piton de l'Eau ; PR : Plaine des Remparts ; PS : Plaine des Sables ; FE : Fond de la rivière de l'Est ; PB : Piton de Bert ; TR : Nez coupé de Tremblet), tirée de Lénat et al. (2003b). Ces auteurs ont compilé plus de 8000 données PS acquises entre 1981 et 2003, au cours de 11 campagnes de terrain. La base de données, sous forme d'un fichier Excel dans les archives de la Région Réunion, rassemble un peu plus de 7000 points, qui forment la base de la cartographie PS présentée par ces auteurs et dans le rapport PB Power (2005). 76

Figure 62 - Carte d'anomalie de Bouguer résiduelle à la densité 2,67. Les figurés des points distinguent les différentes campagnes d'acquisition (Gailler et Lénat, 2012 ; Dezayes *et al.*, 2015). 77

Figure 63 - Carte illustrant la qualité des sondages (A)MT. Les profils MT des différents rapports PB Power sont représentés par des traits noirs, les profils gravimétriques du rapport Lénat *et al.* (2003a) par des traits blancs (Dezayes *et al.*, 2015). 77

Figure 64 - Carte de localisation des profils MT et coupe NE-2 passant par le Piton des Neiges (PB Power, 2002). 78

Figure 65 - Coupes MT correspondant aux profils WE-1 et SE-2 (PB Power, 2002). 79

Figure 66 - Structures de résistivité associées au Piton de La Fournaise extraite de Lénat *et al.* (2002) (PB Power, 2002). 80

Figure 67 - Coupe interprétative du cirque de Salazie, qui intègre les observations d'affleurement et les logs de forages (Chaput, 2013) et qui est comparée aux données MT de PB Power (2002) et données REUN-EM. Les échelles de couleur des coupes de résistivité sont inversées (Dezayes *et al.*, 2015). 81

Figure 68 - Coupes de résistivité de PB Power 2002 et 2003 issues de l'inversion 2D des données MT (incluant les sondages Phoenix pour 2003) traversant le cirque de Salazie du NO au SE, à proximité du forage profond d'exploration géothermique SLZ-1. Une morphologie typique à celle d'un modèle de réservoir géothermique est soulignée par un trait noir dans la vue du bas (Dezayes *et al.*, 2015). 82

Figure 69 - Inversion MT 2D à travers le massif du Piton des Neiges (Salazie-Cilaos en haut ; Cilaos vers Bébour-Bélouves, puis plaine des Palmistes, en bas). La ligne noire épaisse représente le toit du complexe hypovolcanique dense du Piton des Neiges obtenu par inversion 3D des données gravimétriques les plus complètes (Gailler et Lénat, 2012 ; Dezayes *et al.*, 2015). 83

Figure 70 - Coupe interprétative du massif du Piton des Neiges dans les cirques de Cilaos et de Salazie (Gérard et Stieljes, 1979). 83

Figure 71 - Section verticale N-S à travers les cirques de Salazie et de Cilaos, qui illustre le modèle conceptuel de fonctionnement du système hydrothermal à partir des données acquises. Les corps intrusifs mis en place en bordure de la caldeira récente constitueraient les principales discontinuités pour la circulation des fluides en profondeur (Sanjuan *et al.*, 2001). 84

Figure 72 - Modèle conceptuel du fonctionnement du système hydrothermal associé au Piton des Neiges (extrait de Bhavani et al., 2020, où davantage de détails et de commentaires sont donnés). 84

Figure 73 - Coupe interprétative du massif du Piton de La Fournaise (Gérard et Stieljes, 1979). 85

Figure 74 - Schéma des circulations d'eau du Piton de La Fournaise (Violette, 1993) et modèle conceptuel du système hydrothermal associé (Lénat et Bachèlery, non publié). 85

Figure 75 - Modèle conceptuel d'une ressource géothermique possible au niveau de la plaine des Sables, sur le flanc ouest du Piton de La Fournaise (PB Power, 2003b ; 2005) 85

Figure 76 - Localisation de la zone de dégagement gazeux de CO_2, d'origine magmatique, située sur une plage près et à l'est de l'aéroport (Traineau *et al.*, 2006). 92

Figure 77 - Schéma volcano-structural de l'ile de Mayotte (d'après Stieltjes, 1988) 93

Figure 78 - Extrait de la carte géologique de Mayotte au 1/50 000 (Stieltjes, 1988) montrant la géologie de Petite Terre. Les dépôts de cendres et ponces trachytiques des appareils de Dziani et de La Vigie sont représentés en brun foncé et clair. Les appareils stromboliens ponctuels (points bleus sur fond blanc) sont contemporains ou antérieurs. La barrière corallienne est représentée en rose clair (Traineau *et al.*, 2006) 94

Figure 79 - Extrait de la carte bathymétrique de Mayotte (Audru *et al.*, 2006) montrant un large ravinement en relation avec un effondrement sectoriel potentiel et un collapse d'origine volcanique, très probablement associés au volcanisme strombolien de Petite Terre, marqué par les anomalies. 94

Figure 80 - Localisation des observations remarquables et des points de prélèvements réalisés durant la campagne de reconnaissance de Petite Terre (Traineau *et al.*, 2006). 95

Figure 81 - Limites de la zone de dégagement gazeux de CO_2, située sur une plage près et à l'est de l'aéroport (Sanjuan *et al.*, 2008). Vue du haut : points d'observation et de prélèvements (G1, G2, G3, G4 et G5). Vue du bas : estimations des débits de CO_2, analyses de radon et des valeurs isotopiques du carbone-13 (en noir) et du rapport $^3He/^4He$ (en bleu). 96

Figure 82 - Diagramme reliant les rapports $CO_2/^3He$ et les valeurs isotopiques en carbone-13 du CO_2 des échantillons de gaz prélevés sur la plage située près de l'aéroport (Sanjuan *et al.*, 2008). Ce diagramme a été proposé par Sano et Marty (1995) pour évaluer la contribution des 3 composants généralement présents dans les zones de subduction, à savoir les MORB, les sédiments organiques et les carbonates marins. 97

Figure 83 - Distribution spatiale des émissions de CO_2 par le sol (méthode de la chambre d'accumulation). On remarquera la présence d'émissions d'intensité modérée sur l'alignement SE-NO des cônes basaltiques. Note : l'échelle d'intensité (jusqu'à 2 ordres de grandeur plus élevés) sur le platier ne correspond pas à celle à terre (extrait de Bulletin n° 4 REVOSIMA) (Darnet *et al.*, 2019). 97

Figure 84 - Résultats analytiques concernant plusieurs sorties de gaz du lac Dziani acquis en août 2016. Vue du haut : compositions chimiques et isotopiques de ces sorties, qui montrent la prédominance de CO_2 (extrait d'ANR-Dziani Team ; Milesi et al., submitted). Vue du bas : rapports isotopiques $^3He/^4He$ de ces sorties indiquant une signature magmatique claire (extrait Moreira, IPGP) (tiré de Darnet *et al.*, 2019) 98

Figure 85 - Carte du champ magnétique réduit au pôle de l'île de Mayotte, avec superposition des édifices volcaniques et indication des principales anomalies magnétiques et de leur polarité (Pajot *et al.*, 2007) 99

Figure 86 - Carte d'anomalie de Bouguer en densité 1,8 de l'île de Mayotte (Pajot *et al.,* 2007). 99

Figure 87 - Panneau de résistivité inversé, corrigé de l'effet de la mer en prenant en compte la topographie 3D de l'île comparé au profil gravimétrique réalisé par Pajot et al. (2007). Les lettres G et M désignent, respectivement, les anomalies gravimétriques et magnétiques, MT4 le sondage MT du même nom (Sanjuan *et al.*, 2008). 100

Figure 88 - Carte de localisation des épicentres (± 5 km) des séismes volcano-tectoniques, avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RéNaSS, IPGS) entre le 1er et le 15 octobre 2019 (15 jours) (échelle temporelle de couleur) et coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (précision variant entre ± 5 km et ± 15 km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles). L'étoile rouge indique le site éruptif nouvellement identifié le 16 mai 2019, et l'étoile orange le deuxième site éruptif identifié le 17 juin 2019. (© OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RéNaSS, IPGS / REVOSIMA) (tiré de Darnet *et al.*, 2019). 101

Figure 89 - Section verticale interprétative entre Mamoudzou et Petite Terre selon un profil orienté ONO- ESE, montrant la géologie et les écoulements de fluides supposés dans le substratum (échelle verticale triplée par rapport à l'échelle horizontale pour mieux visualiser les reliefs) (Traineau *et al.*, 2006) 101

Figure 90 - Section verticale interprétative orientée N-S à travers l'île de Petite Terre et montrant la géologie du substratum et les liens entre dégagements gazeux et activité magmatique récente. Les formations carbonatées récifales sur lesquelles reposent les formations volcaniques récentes de Petite Terre sont probablement envahies par l'eau de mer et peuvent constituer un écran aux remontées d'éventuels fluides géothermaux profonds. Cette section, tirée de Traineau et al. (2006), a été reprise en tenant compte des nouveaux résultats obtenus au cours d'une nouvelle étude (Sanjuan *et al.*, 2008). 102

Figure 91 - Exemple d'interface utilisateur de la plateforme d'information sur les géorisques permettant une consultation de la donnée et de l'information dédiées, ainsi que sa visualisation depuis un visualiseur Web (https://www.georisques.gouv.fr). 106

Figure 92 - Exemple d'un visualiseur cartographique Web, ici, des entités hydrogéologiques nationales (selon les référentiels hydrogéologiques français, la BD Lisa, https://bdlisa.eaufrance.fr/carte). 107

Figure 93 - Plateforme de diffusion des données et des informations en lien avec la géothermie (https:/www.geothermies.fr.viewer). Cette plateforme permet de consulter ces données par l'intermédiaire d'un visualiseur cartographique. 107

Figure 94 - Plateforme internationale de gestion et de diffusion des données géologiques (cartes géologiques), à l'échelle du globe. Cette plateforme permet de : (1) mettre à disposition la donnée dans un système unifié régi par un standard des données géologiques, GeoSciML (IUGS-CGI, https://geosciml.org), à l'aide d'un catalogue de données : (A) http://onegeology-geonetwork.brgm.fr/geonetwork3/srv/eng/catalog.search#home ; (2) consulter la donnée à travers des services standardisés (wms/wfs) et visualiser la donnée par une application de visualiseur Web dédié : (B) http:portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal. 108

Figure 95 - Diagramme de cas d'utilisation, conception macro-fonctionnelle du portail pilote de la phase 1, à titre d'illustration. 110

Figure 96 - Représentation synthétique du processus de capitalisation de la donnée et de sa gestion dans la plateforme d'information numérique sur l'exploration géothermique de haute température dans les îles volcaniques, qui sera associée au Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe. 112

Liste des annexes

Annexe 1 - Références bibliographiques pour l'île de la Guadeloupe 121

Annexe 2 - Références bibliographiques pour l'île de la Martinique 149

Annexe 3 - Références bibliographiques pour l'île de La Réunion 163

Annexe 4 - Références bibliographiques pour l'île de Mayotte 177

1. Introduction

1.1. ENJEUX

De nombreux départements d'Outre-mer français tels que la Guadeloupe, la Martinique, La Réunion et Mayotte possèdent un environnement volcanique *a priori* favorable à l'existence de ressources géothermiques de haute température (HT) nécessaire à la production d'électricité. Ces départements constituant des zones non interconnectées (ZNI), dotées de ressources hydroélectriques limitées, et ne possédant pas de ressources énergétiques fossiles propres, la géothermie représente une source d'énergie locale non intermittente dont le développement peut contribuer significativement à répondre à la demande croissante en électricité et peut avoir un impact bénéfique sur l'économie de ces îles et sur leur environnement. La loi sur la Transition énergétique et la croissance verte, votée en 2015, et son article 215 soulignent notamment l'intérêt de développer cette filière en Outre-mer en identifiant les moyens nécessaires et à mettre en oeuvre pour soutenir la recherche, le développement de techniques d'exploration et le lancement de projets industriels, ainsi que l'exportation d'entreprises de cette filière.

Si, depuis les années 70, de nombreux travaux d'exploration géothermique ont été réalisés sur toutes ces îles, notamment par le BRGM, et ont été complétés, très récemment, en Guadeloupe, par le programme de recherche GEOTREF (plateforme d'innovation pour l'exploration et le développement de la géothermie dans les réservoirs fracturés, 2014-2020) qui a été soutenu par l'Etat français, au travers de financements d'Investissements d'Avenir, seule l'expérience concluante menée à Bouillante, en Guadeloupe, a vu le jour et a pu montrer que la géothermie a toute sa place dans le mix énergétique qui assure l'alimentation en électricité de ces îles.

Pour atteindre les objectifs de la loi sur la Transition énergétique et la croissance verte qui visent une autonomie des îles françaises d'ici 2030 consistant à valoriser, en priorité, toutes leurs ressources d'énergies renouvelables locales, il semble primordial de développer des projets de géothermie. Sur la base des seuls prospects identifiés, les perspectives devraient permettre de couvrir au moins 20% de la consommation d'électricité annuelle sur la plupart de ces territoires (Sanjuan *et al.*, 2011). En évaluant un coût de 3 M€ par mégawatt installé, ces auteurs avaient estimé que cela représenterait un investissement de l'ordre de 500 M€, dont une partie concerne des dépenses locales (génie civil, sous-traitance technique…). En fonctionnement, ces centrales généreraient un chiffre d'affaires annuel de l'ordre de 150 à 200 M€, avec un impact fort sur l'emploi local. L'enjeu n'est donc pas seulement environnemental et politique, mais aussi économique. Par ailleurs, le développement de la géothermie pourrait être, bien sûr, assez facilement transposable à de nombreuses îles voisines de la Caraïbe, comme La Dominique, Sainte Lucie, ou Montserrat…Sachant que le risque d'échec d'un forage est l'un des principaux freins au développement de la géothermie, il semble primordial de porter un intérêt tout particulier aux campagnes d'exploration géothermique de surface et d'acquérir des informations aussi complètes, renseignées, organisées et pertinentes que possible.

Etant donné la création d'un Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe, en Guadeloupe, dans le cadre du projet INTERREG V - Caraïbes, il apparaît opportun de constituer une base de données qui rassemble les principaux résultats de tous les travaux d'exploration géothermique (jusqu'ici dispersés et à différents degrés de structuration et d'archivage), permette de les structurer et de les archiver pour une conservation durable, et donne un accès public tant national qu'international aux différentes entités qui auront besoin de les utiliser pour développer la géothermie sur ces territoires. Cette base de données constituera le pilier principal de la plateforme d'information numérique, qui sera dédiée à l'exploration géothermique haute température sur ces territoires.

1.2. PRINCIPAUX OBJECTIFS

Au vu de la complexité d'un tel projet, la mise en place d'une plateforme d'information, composée de données et de services numériques, dédiée à l'exploration géothermique de haute température en contexte volcanique, destinée aux principaux acteurs de la géothermie sur ces territoires, doit se faire en plusieurs étapes. Elle doit impérativement passer par une phase préliminaire constituée :

- d'un état des lieux des données existantes sur chaque île (inventaire le plus exhaustif possible) ;
- de l'élaboration d'une stratégie, de choix de logiciels, de capacité de stockage, d'archivage et de procédures pour construire, alimenter et faire vivre la plateforme ;
- d'une évaluation des actions à mener sur les données existantes pour pouvoir les intégrer dans la base de données en fonction de la stratégie élaborée et des choix qui auront été faits.

Ce n'est qu'après la réalisation de cette phase préliminaire que le programme technique du projet pourra être déterminé dans sa globalité et qu'une enveloppe financière pourra être estimée.

C'est la réalisation de cette phase préliminaire, financée dans le cadre de l'opération de Service public « Appui à l'ADEME pour le développement de la chaleur géothermie en France (année 2020) » de la Convention n°2005C0030 entre le BRGM et l'ADEME, qui est présentée dans ce rapport, en tenant compte qu'une telle plateforme d'information numérique se doit :

- d'être aussi exhaustive que possible en matière de documentation et de réponse aux besoins exprimés par les utilisateurs, mais également conviviale et réactive (mise à jour de la base, dès que de nouvelles données seront connues) ;
- d'impulser et de mobiliser les parties prenantes et les partenaires autour de la structuration de la filière géothermie dans la Caraïbe et dans le cadre du Centre d'Excellence ;
- de contribuer au positionnement de la Guadeloupe au cœur de cette structuration ;
- de contribuer aux travaux préparatoires nécessaires des groupes d'investisseurs tant nationaux qu'internationaux qui souhaiteront venir développer de nouveaux projets de géothermie sur ces territoires, ainsi que les instances publiques locales et nationales qui soutiendront de tels projets.

En ce qui concerne l'inventaire de cette phase préliminaire, nous nous sommes focalisés exclusivement sur les études et les données d'exploration géothermique disponibles dans les îles de la Guadeloupe, la Martinique, La Réunion et Mayotte de l'Outre-mer française, qui indiquent des indices favorables à la présence de ressources de haute température. Pour l'île de Tahiti, après la campagne de reconnaissance menée par le BRGM en 2007 (Gadalia *et al.*, 2007), il ressort que l'existence d'une ressource géothermique de haute température dans le sous-sol est très incertaine. Pour la Nouvelle-Calédonie, l'étude récemment menée en 2019-2020 (Jeampert *et al.*, 2019 ; 2020 ; Sanjuan *et al.*, 2020) confirme la plupart des résultats antérieurs (Cox *et al.*, 1982) avec l'existence de ressources géothermiques de basse température (jusqu'à 80-90°C) et l'absence d'indices pour celles de haute température.

Sur la base de l'expérience française, des discussions seront ensuite menées avec les partenaires du Centre d'Excellence de Géothermie des autres îles de la Caraïbe (Dominique, Montserrat, Sainte Lucie, etc.) pour inventorier et intégrer leurs propres données dans la base de données qui sera associée à la plateforme numérique.

2. Inventaire des données disponibles

Avant de procéder à la mise en place de la base de données, qui sera associée à la plateforme d'information numérique, il est impératif de réaliser un inventaire aussi exhaustif que possible des études et des données d'exploration géothermique disponibles. Comme indiqué précédemment, cet inventaire concerne uniquement les îles de la Guadeloupe, la Martinique, La Réunion et Mayotte, dans le cadre de cette phase préliminaire.

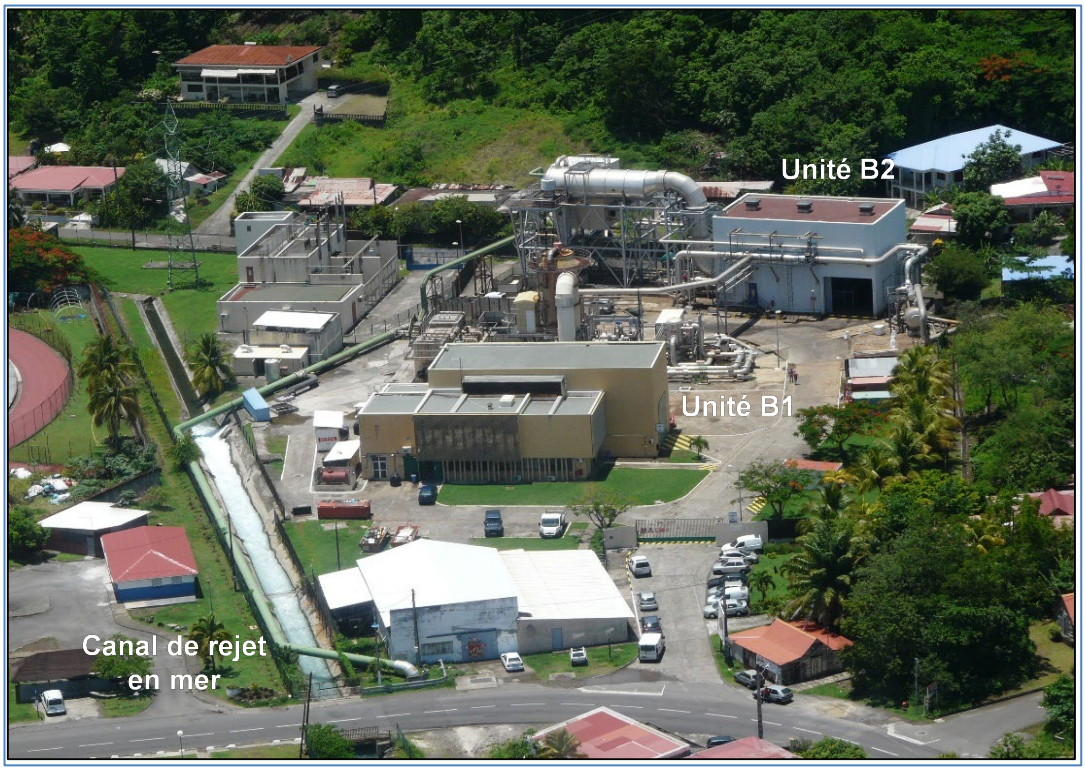
Toutes les références bibliographiques collectées au cours de cette étude sont gérées par le logiciel de gestion de recherche bibliographique Mendeley Desktop, qui permet de trier les références à la demande suivant les différents besoins. Pour chacune des quatre îles, environ 900 références ont été recensées et sont reportées en version simplifiée (chaque référence est réduite à son strict nécessaire) dans les annexes 1, 2, 3 et 4 de ce rapport. Pour éviter des erreurs liées à l'importation et à la concordance des champs, nous recommandons d'ouvrir la version la plus détaillée (BDGTHDOM_complet.bib, disponible en fichier numérique) qui intègre toutes les données relatives à chaque référence (dont le résumé, le lien, etc.) et qui fait plus de 500 pages, directement avec Mendeley Desktop, mais celle-ci peut être aussi importée dans n'importe quel logiciel de gestion bibliographique (Zotero, EndNote…). Pour commencer, ce fichier sera disponible sur demande écrite adressée aux deux premiers auteurs de ce rapport. Par la suite, il sera mis en ligne dans la plateforme d'information numérique.

2.1. ILE DE LA GUADELOUPE

Avec la seule centrale géothermique de haute température produisant de l'électricité depuis 1986, à Bouillante (fig. 1), c'est certainement cette île qui possède le nombre le plus important d'études et de données d'exploration géothermique existantes dans toute la Caraïbe. Parmi toutes les références bibliographiques qui sont reportées dans l'annexe 1 de ce rapport (435 références au total), on peut constater que les principaux travaux d'exploration géothermique ont démarré dès les années 70 (EURAFREP et BRGM), ont connu une pause entre 1985 et 1995, et ont ensuite redémarrer à partir de 1996 et se sont poursuivis jusqu'à nos jours.

Depuis 1996, la région de Bouillante, de l'Anse Thomas, au sud, jusqu'à la pointe de Malendure, au nord (fig. 2), a bénéficié de nombreux travaux de recherche, cofinancés par l'ADEME et le BRGM, pour développer, améliorer et accroître la production d'électricité de champs géothermiques haute température en milieu volcanique insulaire, comme celui de Bouillante.

Le programme de recherche GEOTREF, soutenu financièrement par les Investissements d'Avenir, entre 2014 et 2020, a permis, entre autres, de compléter les travaux d'exploration sur la zone du Permis de Recherche Vieux-Habitants - Soufrière qui, après Bouillante, sont les régions les plus étudiées de l'île, avec celle de Moscou (fig. 2). Ce programme a donné lieu à la réalisation d'une quinzaine de thèses, quelques post-doctorats et à plusieurs publications internationales et communications à congrès.



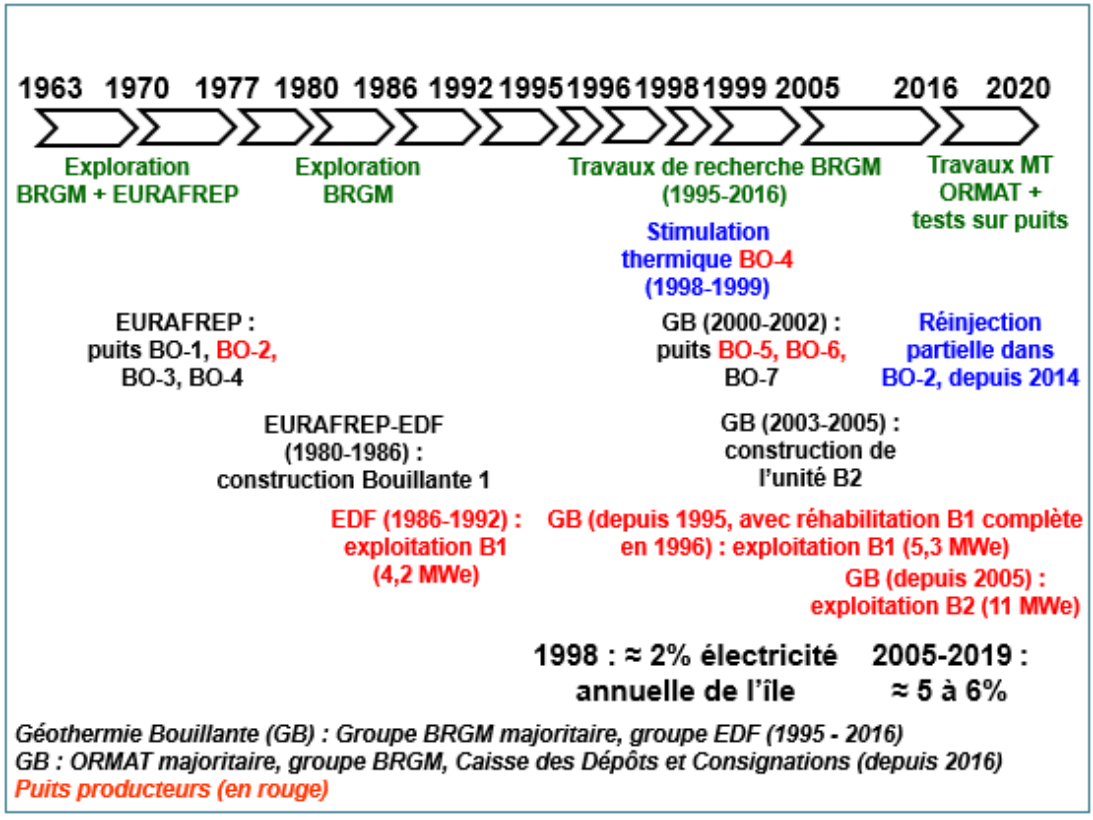


Figure 1 - Vue d'ensemble de la centrale géothermique haute température de Bouillante, en Guadeloupe (unités B1 et B2, et canal de rejet en mer d'une partie des eaux de production). Historique de cette centrale et synthèse des principaux événements (dates clés).

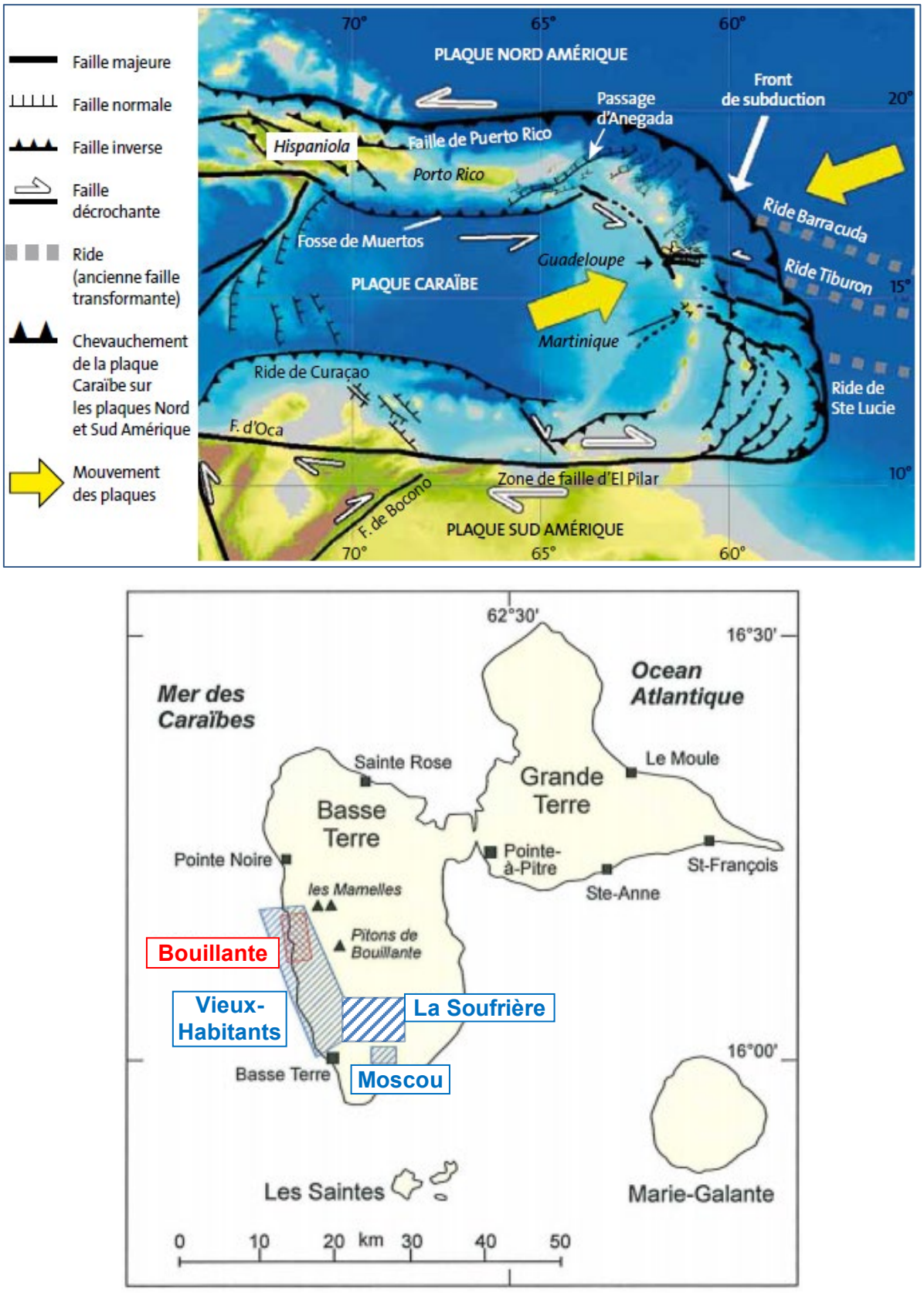


Figure 2 - Contexte géodynamique de l'arc volcanique des Petites Antilles et carte de localisation des principales zones explorées pour la géothermie de haute température, en Guadeloupe.

2.1.1. Nature des travaux

Il s'agit principalement de travaux d'exploration de surface en :

- géologie (carte géologique, géologie structurale, volcanologie, pétrographie, minéralogie, études des altérations hydrothermales, datations, etc.) ;
- thermométrie dans les sols (mesures de température à environ 1 m de profondeur), autour de la centrale géothermique de Bouillante ;
- analyse des gaz (chimiques et parfois isotopiques) et de certains éléments comme l'arsenic et le mercure dans les sols ;
- géochimie des roches, des eaux et des gaz (nouvelles analyses chimiques et isotopiques sur roches, eaux thermales terrestres et sous-marines, application des géothermomètres chimiques et isotopiques sur eaux thermales et gaz, etc.) ;
- géophysique (campagnes de mesures sismiques, gravimétriques, magnétiques, électriques, magnétotelluriques MT, etc.) ;
- hydrogéologie (principalement, dans la région de Bouillante).

Dans la région de Bouillante, où des sondages d'exploration et des forages profonds (les quatre premiers entre 1970 et 1977, et les trois autres en 2001) ont été réalisés, plusieurs types de données sont venues apporter des informations et des confirmations très importantes pour l'exploration géothermique de cette région :

- des mesures de gradient thermique réalisées dans les sondages destinés à ces mesures, dans les années 70 ;
- des profils de température et de pression en statique et en dynamique en fonction de la profondeur, dans les forages géothermiques profonds de production ;
- des informations litho-stratigraphiques, structurales (principales failles de circulation des fluides) et minéralogiques dans les forages de production ;
- des données minéralogiques et géochimiques provenant d'analyses de cutting sur certaines zones d'altération profondes ;
- la caractérisation géochimique des fluides profonds (eaux et gaz) des réservoirs géothermiques, d'après les analyses chimiques et isotopiques effectuées ;
- des informations sur les débits de production, les vitesses de circulation des fluides et le volume des réservoirs *via* des essais de production de forage, de tests de traçage chimique réalisés entre puits et du suivi de la production des forages d'exploitation.

Un SIG (Système d'Information Géographique), constitué de données sous format GDM ®BRGM concernant principalement les forages profonds et les failles, de données topographiques et bathymétriques (Modèle Numérique de Terrain - MNT, issu du MNT IGN de Guadeloupe) et de données sous format MapInfo/ArcGis (ensemble de données cartographiques, fonds topographiques Scans S5 IGN Bouillante - Vieux-Habitants, failles et forages, réseau hydrographique et bassins versants, sources et manifestations hydrothermales à terre et en mer, mesures de températures du sol en surface…), a été réalisé sur la région de Bouillante (Sanjuan *et al.*, 2004b). Un autre SIG a été créé au cours du projet concernant l'inventaire et la caractérisation des sources thermales de Guadeloupe (Bézelgues-Courtiade et Bès de Berc, 2007) et a été poursuivi avec l'inventaire des ressources géothermiques potentielles de la Guadeloupe (Bourdon *et al.*, 2008, fig. 3 ; Sanjuan *et al.*, 2008).

Des cartes et des profils de synthèse (Sanjuan, 2001a, fig. 4 ; Douglas et *al.*, 2006, fig. 5 ; Sanjuan *et al.*, 2005b, fig. 6 ; Gailler *et al.*, 2014, fig. 7 ; Owens *et al.*, 2018, fig. 8 ; Traineau *et al.*, 2015, fig. 9), ainsi que des modèles conceptuels du fonctionnement des systèmes géothermiques plus ou moins élaborés, suivant les régions et les données acquises (Fabriol et Ouzounian, 1985 ; Lachassagne *et al.*, 2009, fig. 10 ; Sanjuan *et al.*, 2008, fig. 11 ; Bouchot *et al.*, 2010, fig. 12), qui peuvent même être associés à des modèles géologiques 3D, notamment dans la région de Bouillante (réservoir géothermique actuellement exploité : Sanjuan *et al.*, 2004b, fig. 13 ; champ géothermique de Bouillante : Calcagno *et al.*, 2013, fig. 14), ont été réalisés.

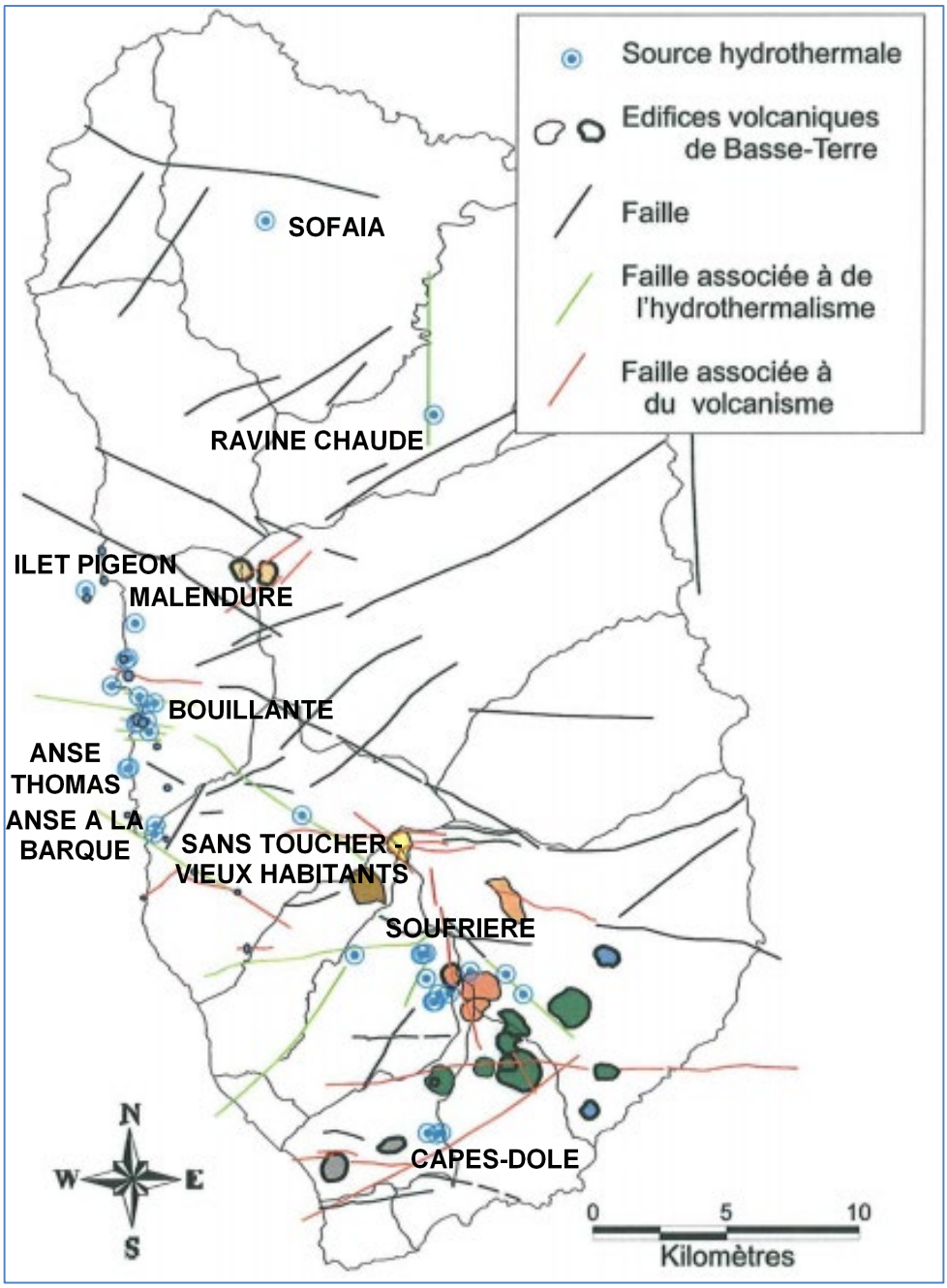


Figure 3 - Carte de localisation des principales failles et sources thermales sur l'île de Basse Terre en liaison avec l'activité volcanique récente. Les failles qui sont associées à une activité volcanique récente (en rouge) et à des systèmes hydrothermaux connus (en vert) sont soulignées (Bourdon et al., 2008).

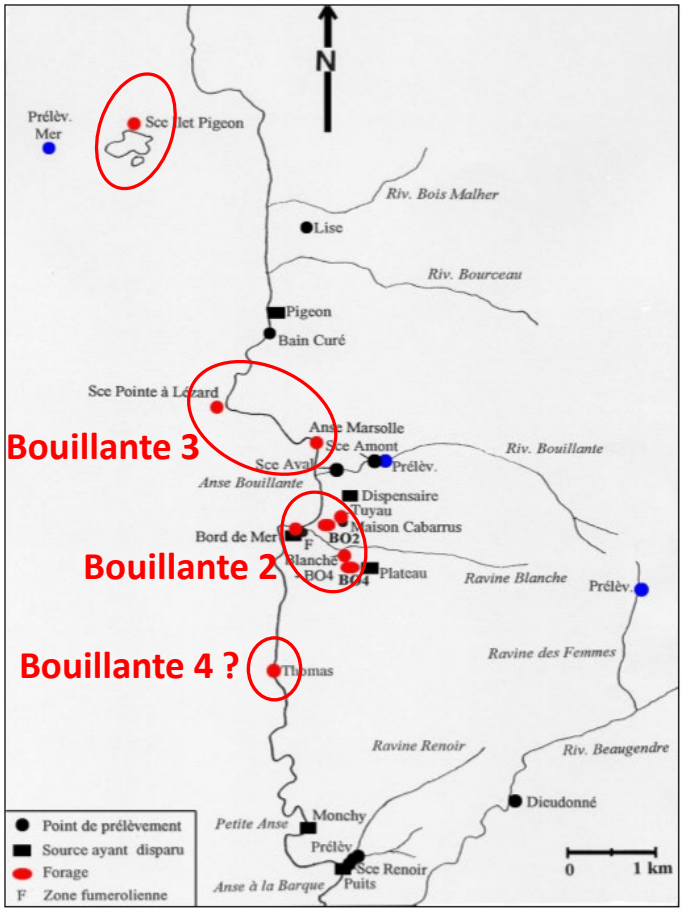


Figure 4 - Carte de localisation des principales zones de fuites directes de fluide géothermal profond (250-260°C) mises en évidence par la géochimie des eaux des sources thermales terrestres et sous-marines de la région de Bouillante (Sanjuan et Brach, 1997 ; Traineau et al., 1997 ; Sanjuan, 2001a).

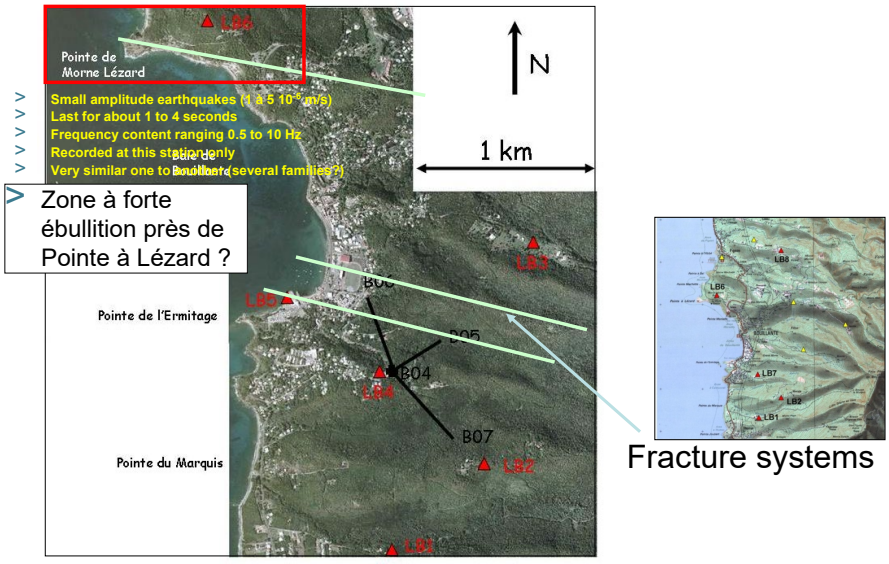
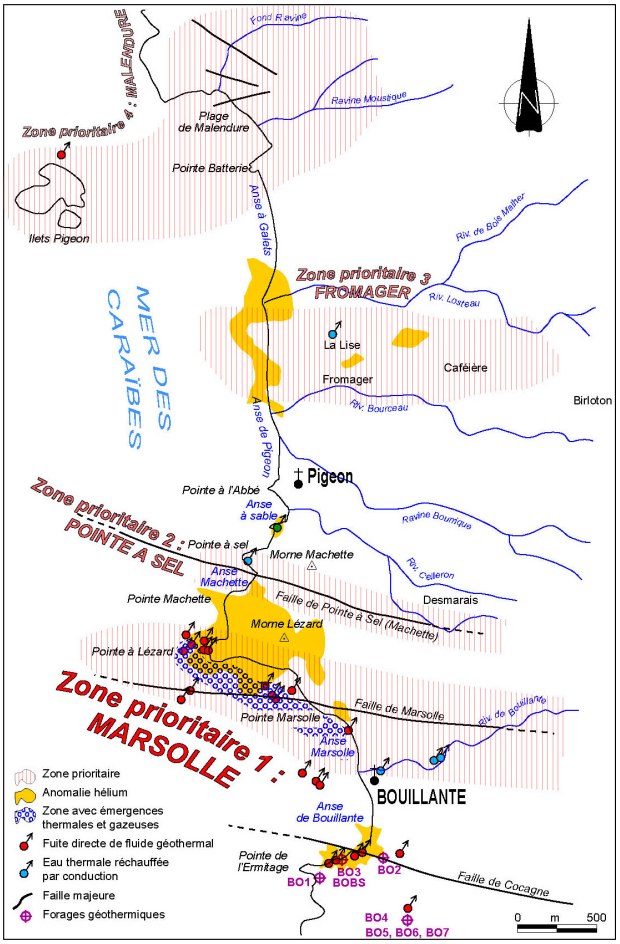


Figure 5 - Mise en évidence d'une zone à forte ébullition près de Pointe à Lézard, à partir du suivi sismique à large bande (stations LB1 à LB6) installé dans la région de Bouillante par le BRGM en 2004 (Douglas et al., 2006 ; Jousset, 2011).



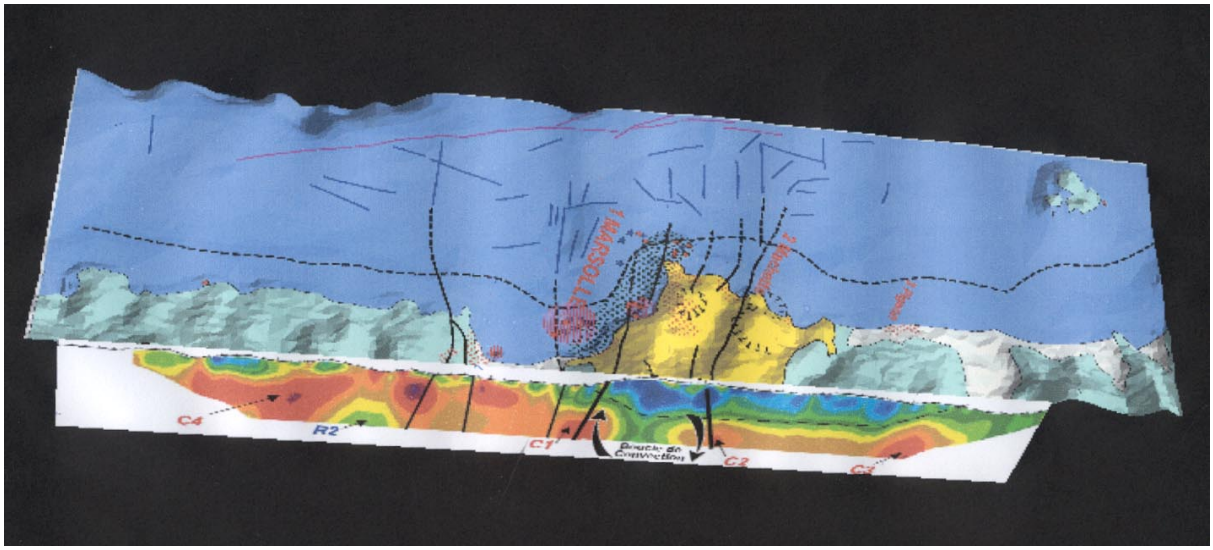


Figure 6 - Carte des principales zones d'intérêt géothermique de haute température au nord de Bouillante et représentation en 3D des principales failles, manifestations hydrothermales et émanations d'hélium, ainsi que du profil électrique réalisé par le BRGM (Sanjuan et al., 2005b).

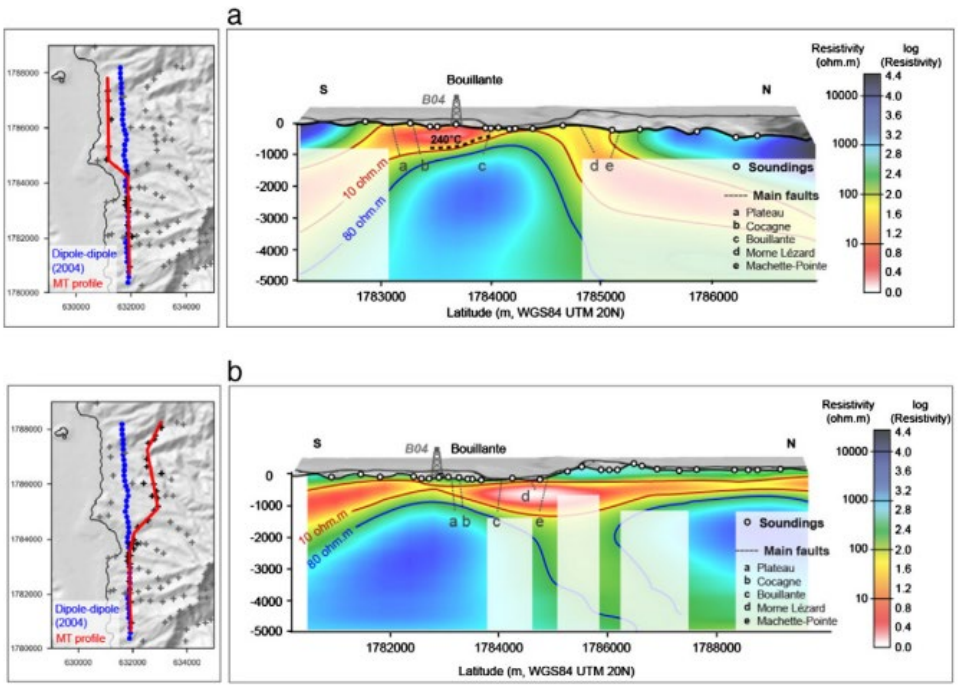


Figure 7 - La structure de résistivité du champ géothermique de Bouillante est résumée par deux profils MT 2D principaux Sud - Nord (tracés en rouge, l'un le long de la côte et l'autre plus dans les terres) comparés avec le dipôle-dipôle électrique réalisé par le BRGM en 2004 (tracé en bleu ; Sanjuan et al., 2005b ; Bourgeois and Debeglia, 2008). Ces profils ont été choisis en se basant sur la distribution des stations MT et AMT les plus proches du profil électrique et ont été obtenus par inversion 2D à grande échelle, malgré le faible nombre de stations de mesure (croix noires). Les deux profils montrent une succession de couches résistantes - conductrices - résistantes communément associées aux zones volcaniques et géothermiques de haute température. Les zones qui n'ont pas pu être interprétées à partir des mesures sont en blanc (Gailler et al., 2014).

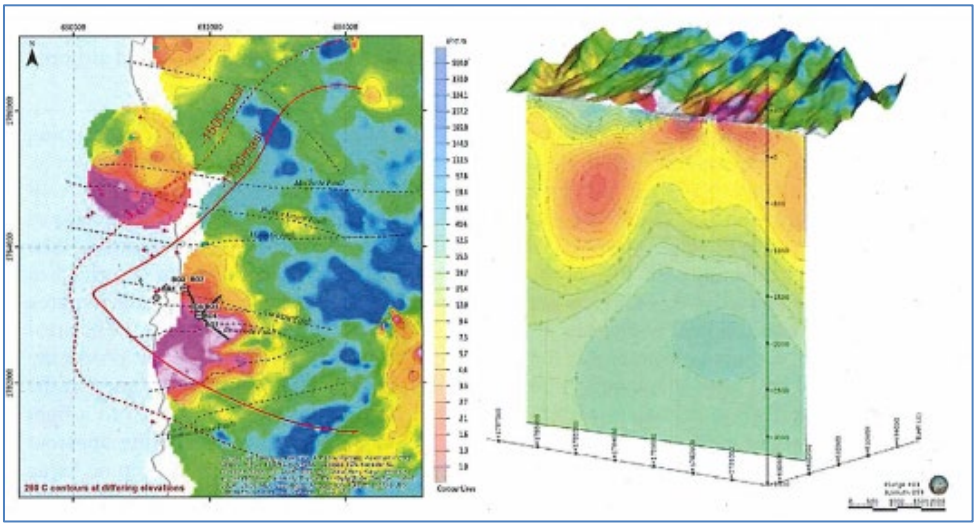


Figure 8 - La vue de gauche est une carte de la résistivité apparente HTEM à 400 m de profondeur interpolée en 1 D, à partir des mesures de la campagne GuadEM menée sur la baie de Bouillante par le BRGM. Les lignes rouges représentent l'isotherme de 250°C à 1100 et 1500 m en dessous du niveau de la mer et utilisent les corrélations avec les mesures de résistivité MT acquises en 3D par ORMAT. La vue de droite montre une superposition des données HTEM avec celles du profil MT, localisé le long de la côte, et met en évidence une bonne convergence entre les deux séries de données (Owen et al., 2018).

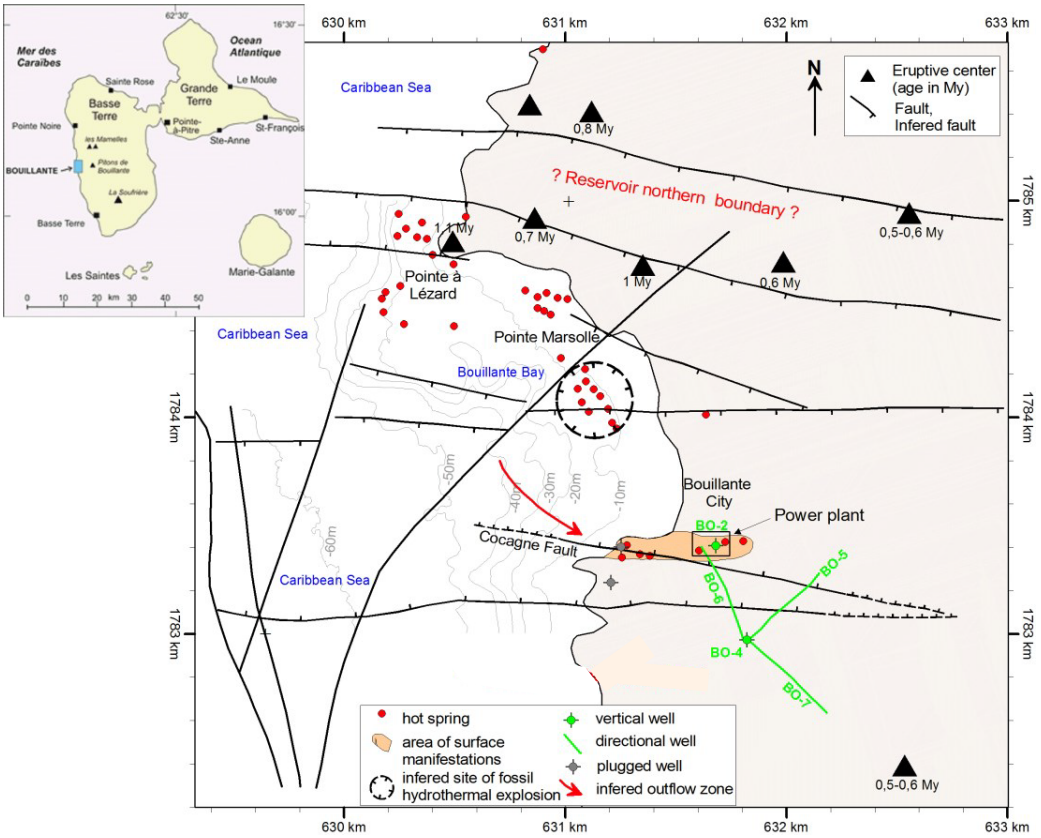


Figure 9 - Carte simplifiée du champ géothermique de haute température de Bouillante (Traineau et al., 2015).

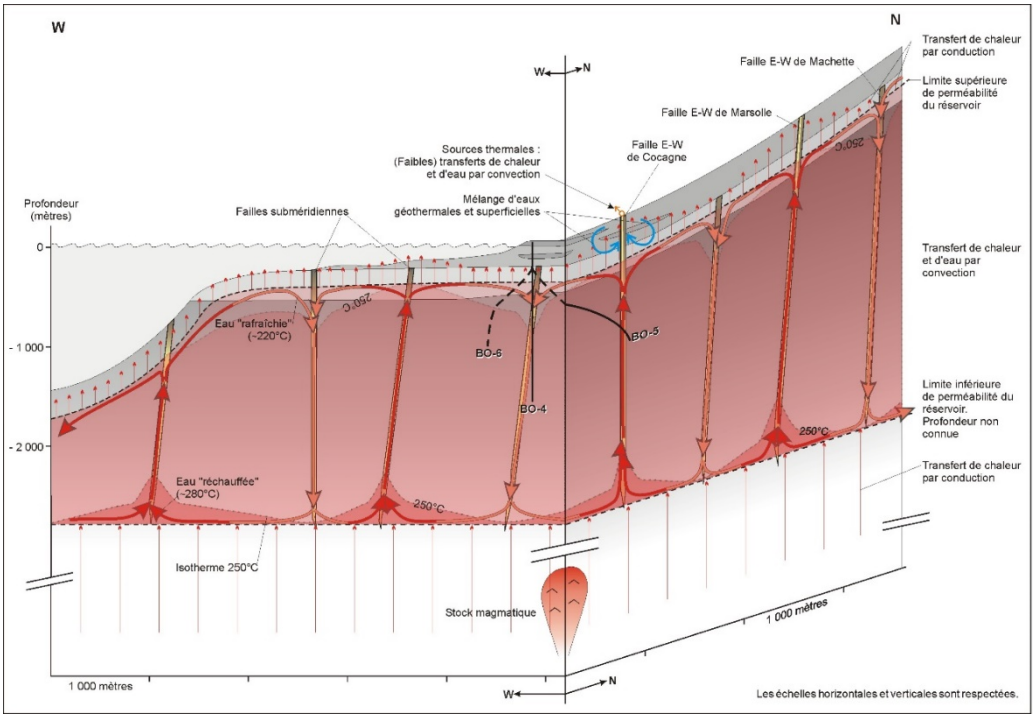


Figure 10 - Modèle conceptuel de fonctionnement du champ géothermique de Bouillante (Lachassagne et al., 2009).

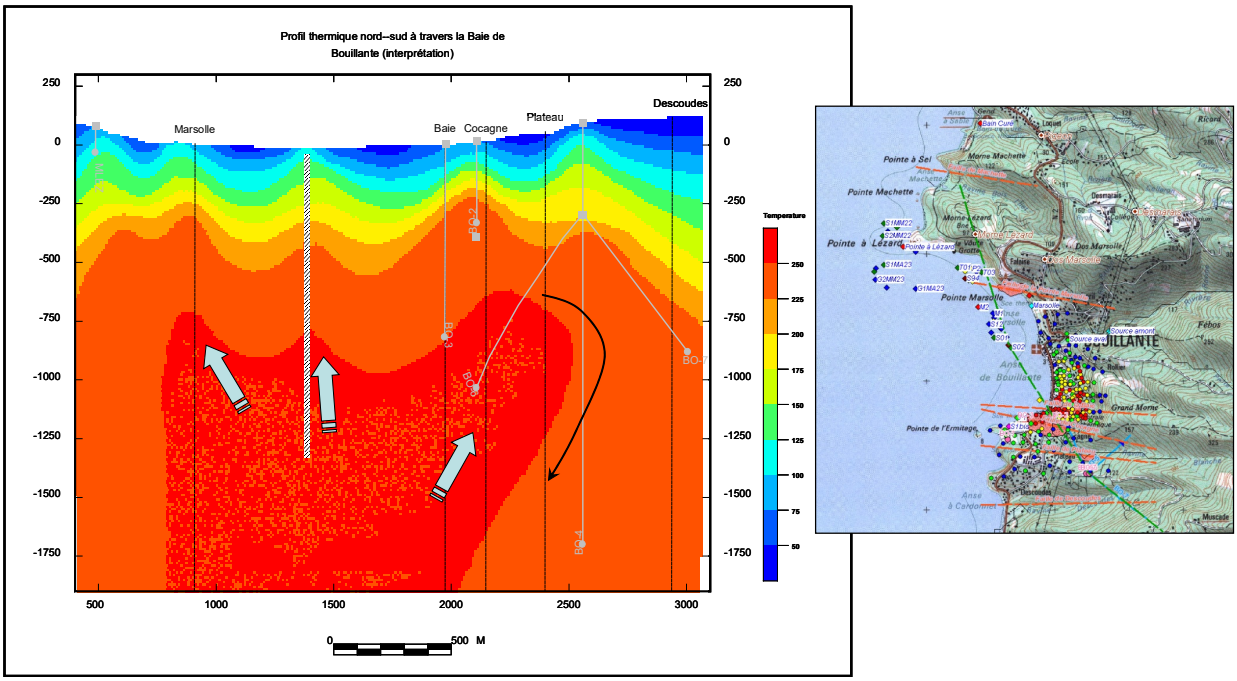


Figure 11 - Profil thermique conceptuel Nord-Sud du champ géothermique de Bouillante (Sanjuan et al., 2008), à partir des données de Sanjuan et al. (2004b).

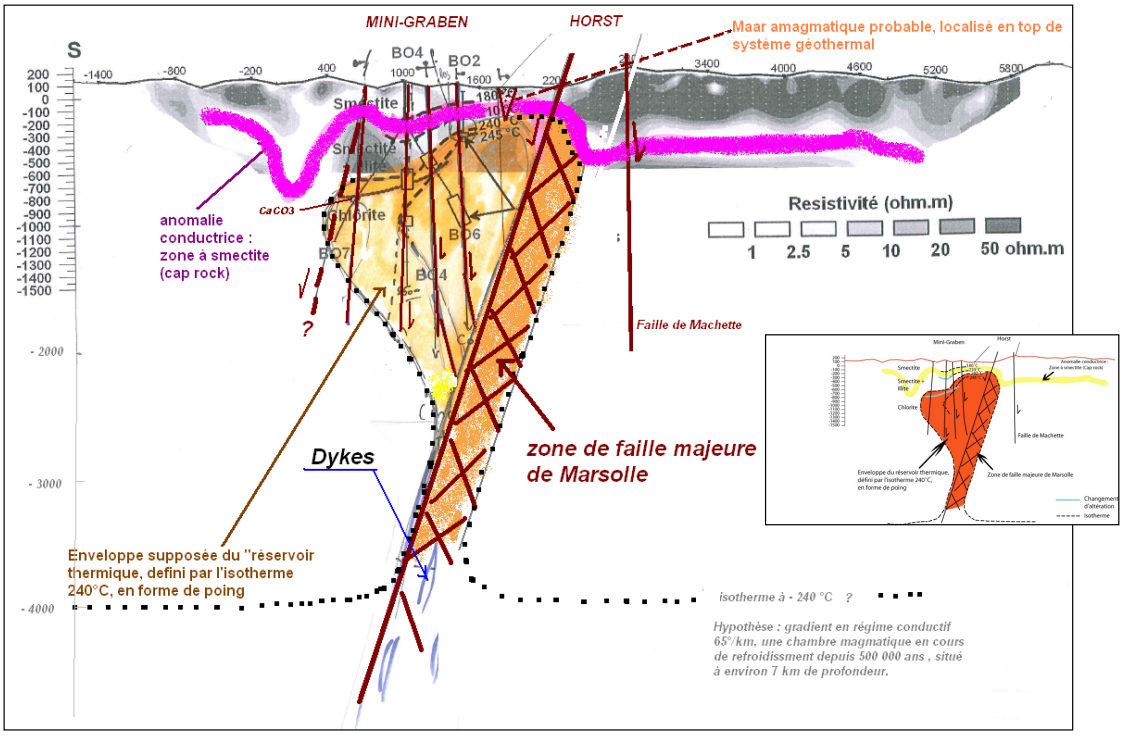


Figure 12 - Modèle conceptuel de fonctionnement du système géothermique de Bouillante suivant une coupe N-S, basé sur des données de forages et d'exploration de surface (Bouchot et al., 2010).

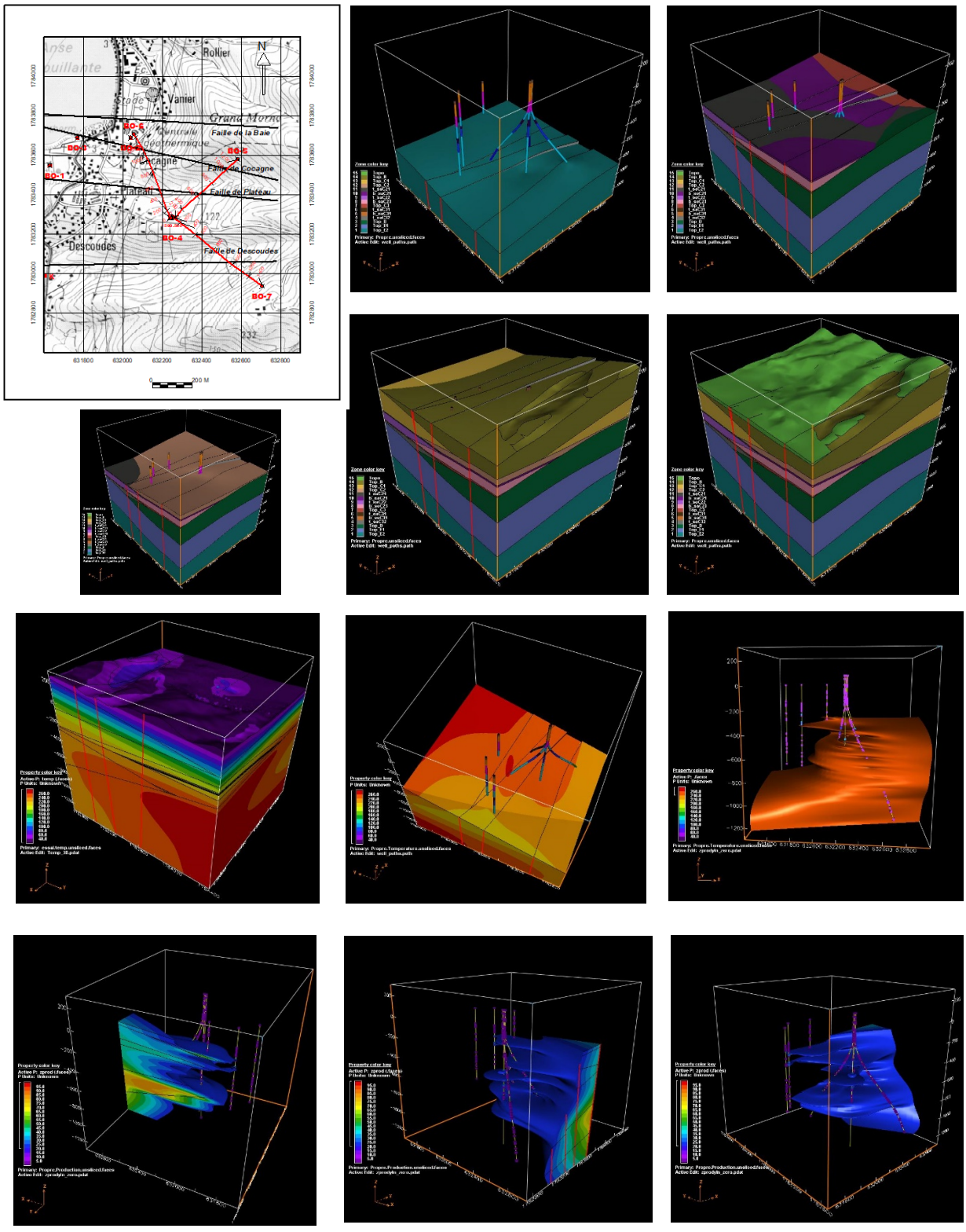


Figure 13 - Carte de localisation des forages et modèle géologique 3D du réservoir géothermique de Bouillante actuellement exploité, réalisé avec le logiciel EarthVision® (Dynamic Graphics). Les cinq premières vues du modèle géologique correspondent aux différentes unités lithologiques simplifiées, les trois vues suivantes à la distribution des températures et aux anomalies thermiques profondes, et les trois dernières vues au volume du réservoir suivant différentes prises d'angle (Sanjuan et al., 2004b).

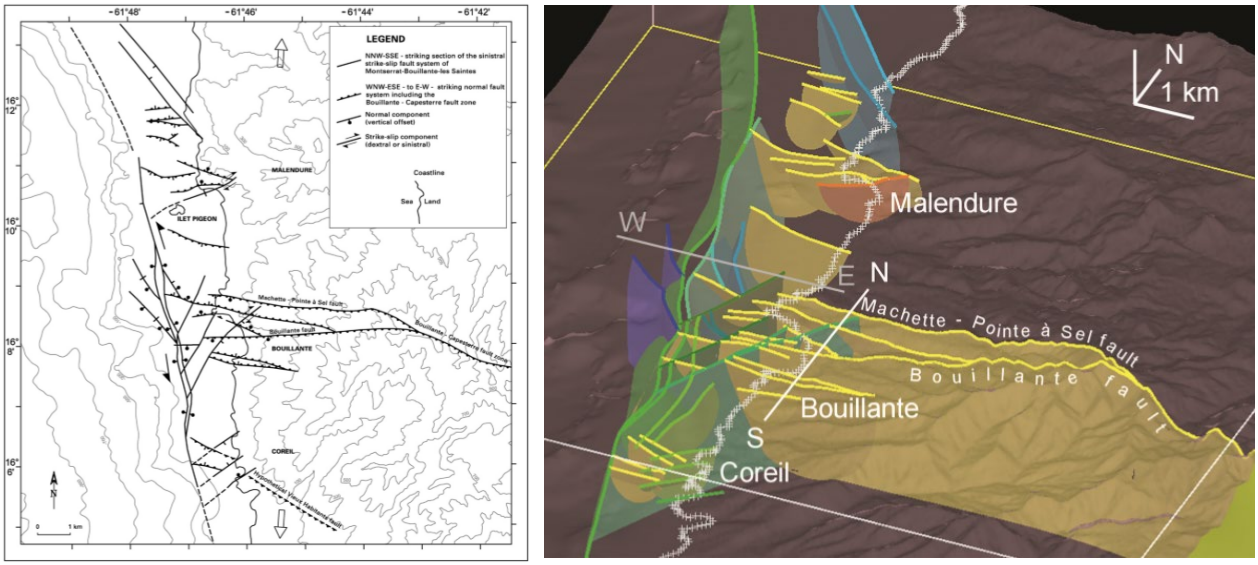


Figure 14 - Modèle géologique 3D du champ géothermique de Bouillante, réalisé avec le logiciel Geomodeller (Calcagno et al., 2013) et les données provenant principalement de Thinon et al. (2009) et Bouchot et al. (2013).

Les compositions chimiques et isotopiques des eaux de tous les forages géothermiques de Bouillante prélevées entre 1970 et 2013 (plus de 300 échantillons d'eau) viennent d'être intégrées, en 2020, dans une base de données européenne de géochimie des eaux de forages géothermiques en cours de construction, dans le cadre du projet européen H2020 REFLECT (www.reflect-h2020.eu).

Dans cette région, des modélisations hydrodynamiques, thermiques et chimiques ont aussi été faites dans le réservoir actuellement exploité par la centrale géothermique (Serra *et al.*, 2004 ; Azaroual *et al.*, 2005 ; Sbai, 2007 ; Sanjuan *et al.*, 2008 ; Lopez *et al.*, 2010, 2012 ; Hamm *et al.*, 2016).

De même que pour la région de Bouillante, des cartes et des profils de synthèse (Bourdon *et al.*, 2008; Sanjuan *et al.*, 2008, fig. 15 ; Villemant *et al.*, 2005, 2014 ; fig. 16 ; Gallier *et al.*, 2011, fig. 17), ainsi que des modèles conceptuels de fonctionnement du système hydrothermal associé au volcan de La Soufrière (Barat, 1982, fig. 18 ; Villemant *et al.*, 2005 ; 2014, figs. 19 et 20 ; Navelot, 2018 ; Raguenel *et al.*, 2019, fig. 21) ont été proposés.

Pour la région de Vieux-Habitants, les résultats obtenus sont moins intéressants (Bourdon *et al.*, 2008 ; Legendre *et al.*, 2014) d'un point de vue géothermique et ne seront pas illustrés dans ce rapport.

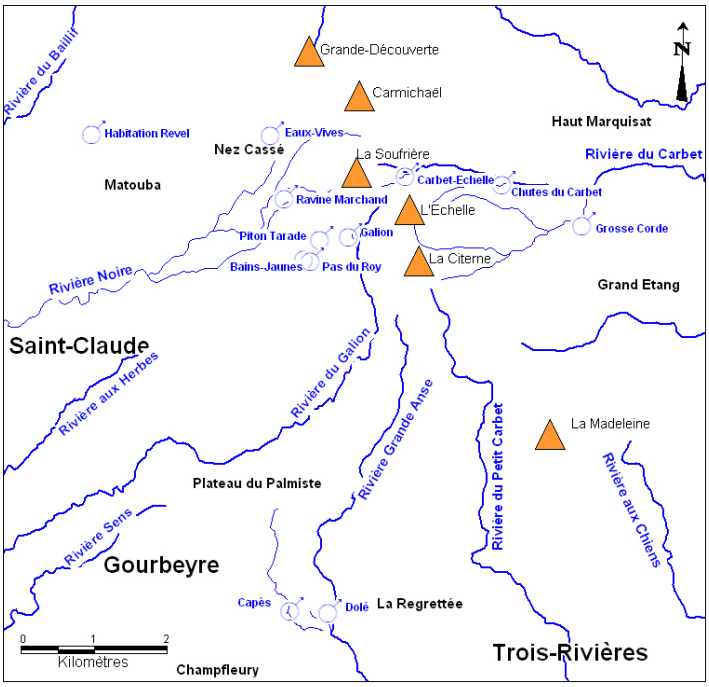


Figure 15 - Carte de localisation des sources thermales du massif volcanique de La Soufrière et de la région de Gourbeyre (Bourdon et al., 2008 ; Sanjuan et al., 2008).

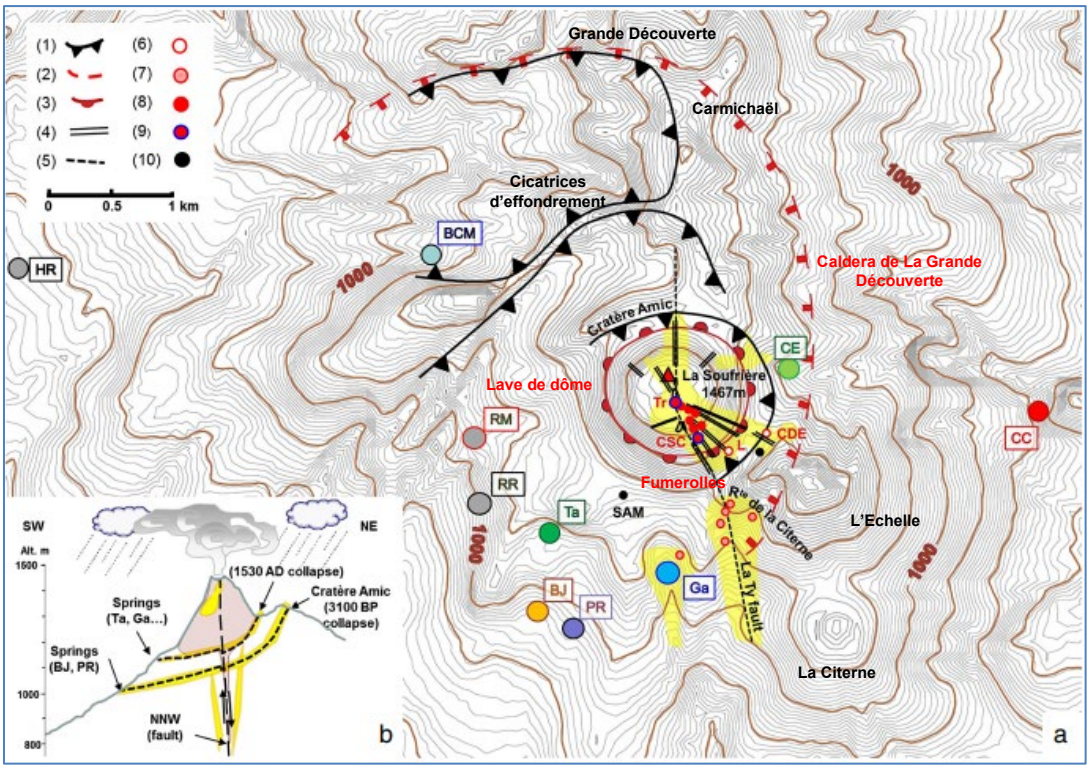


Figure 16 - Carte de localisation du massif volcanique de La Grande Découverte - La Soufrière et des principales structures volcano-tectoniques, sources thermales et fumerolles autour du dôme de lave de La Soufrière (Villemant et al., 2005 ; 2014)

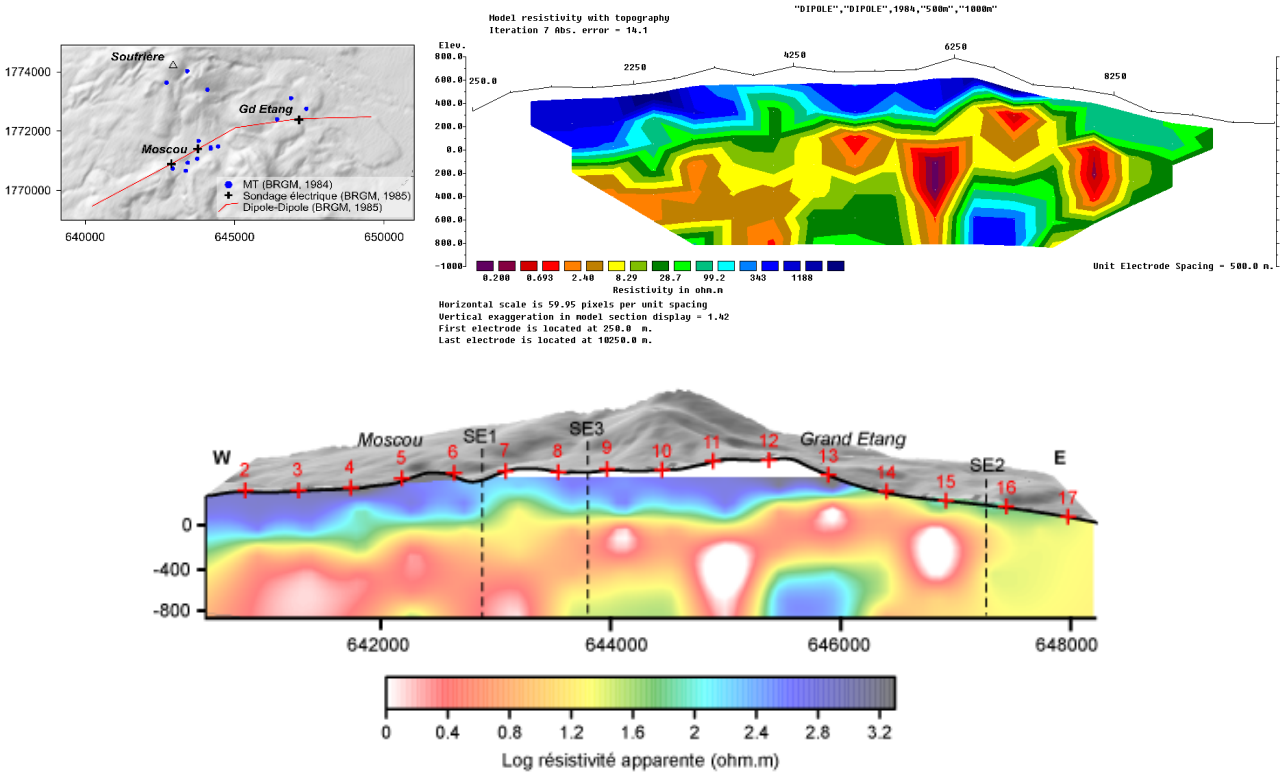


Figure 17 - Vues du haut : localisation du profil dipôle-dipôle Moscou - Soufrière - Etang Salé, réalisé par le BRGM, en 1985, et coupe de résistivité apparente obtenue après inversion 2D ; vue du bas : coupe interprétative de résistivité apparente superposée au MNT (Gailler et al., 2011).

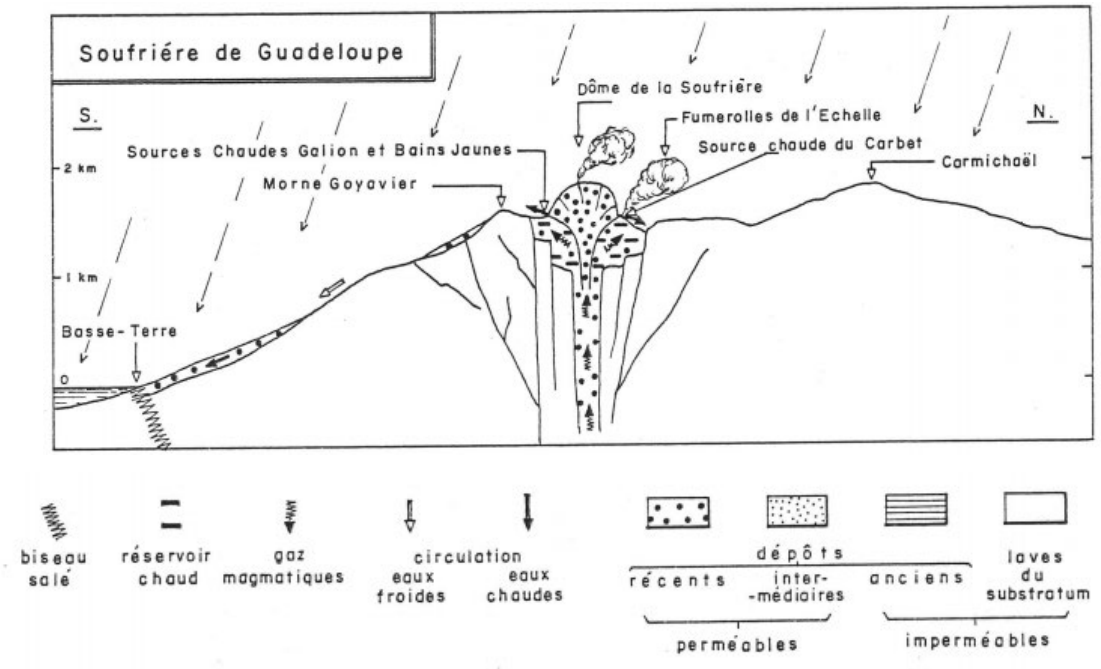


Figure 18 - Modèle conceptuel du système hydrothermal de La Soufrière (Barat, 1982).

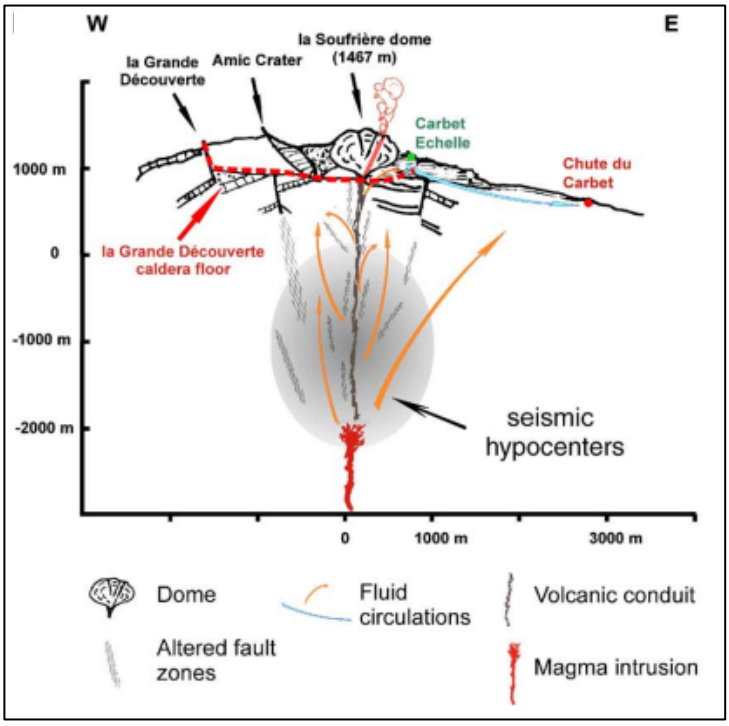


Figure 19 - Coupe schématique E-O montrant le fonctionnement probable des systèmes hydrothermaux profond et superficiel associés à La Soufrière et la forte compartimentation des zones de circulation dans l'édifice (Villemant et al., 2005).

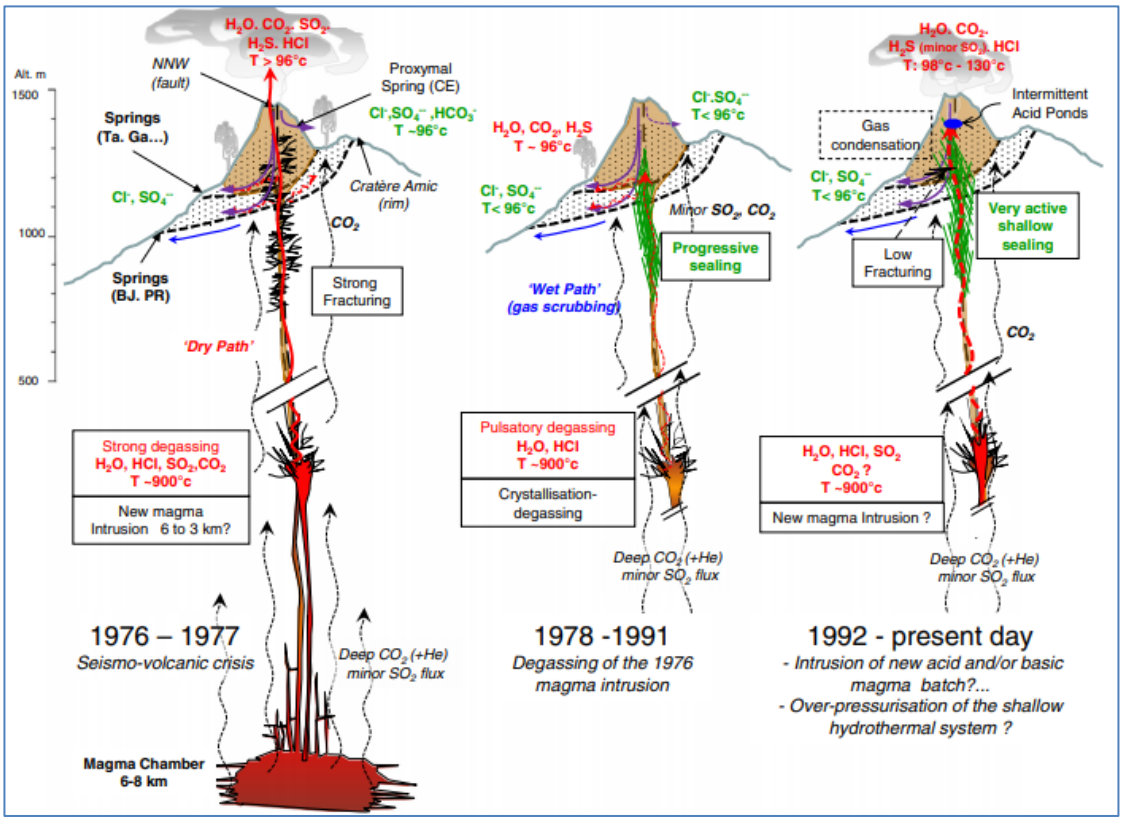


Figure 20 - Evolution des systèmes magmatiques et hydrothermaux superficiels du volcan de La Soufrière, depuis la crise volcano-sismique de 1976-1977 (Villemant et al., 2014).

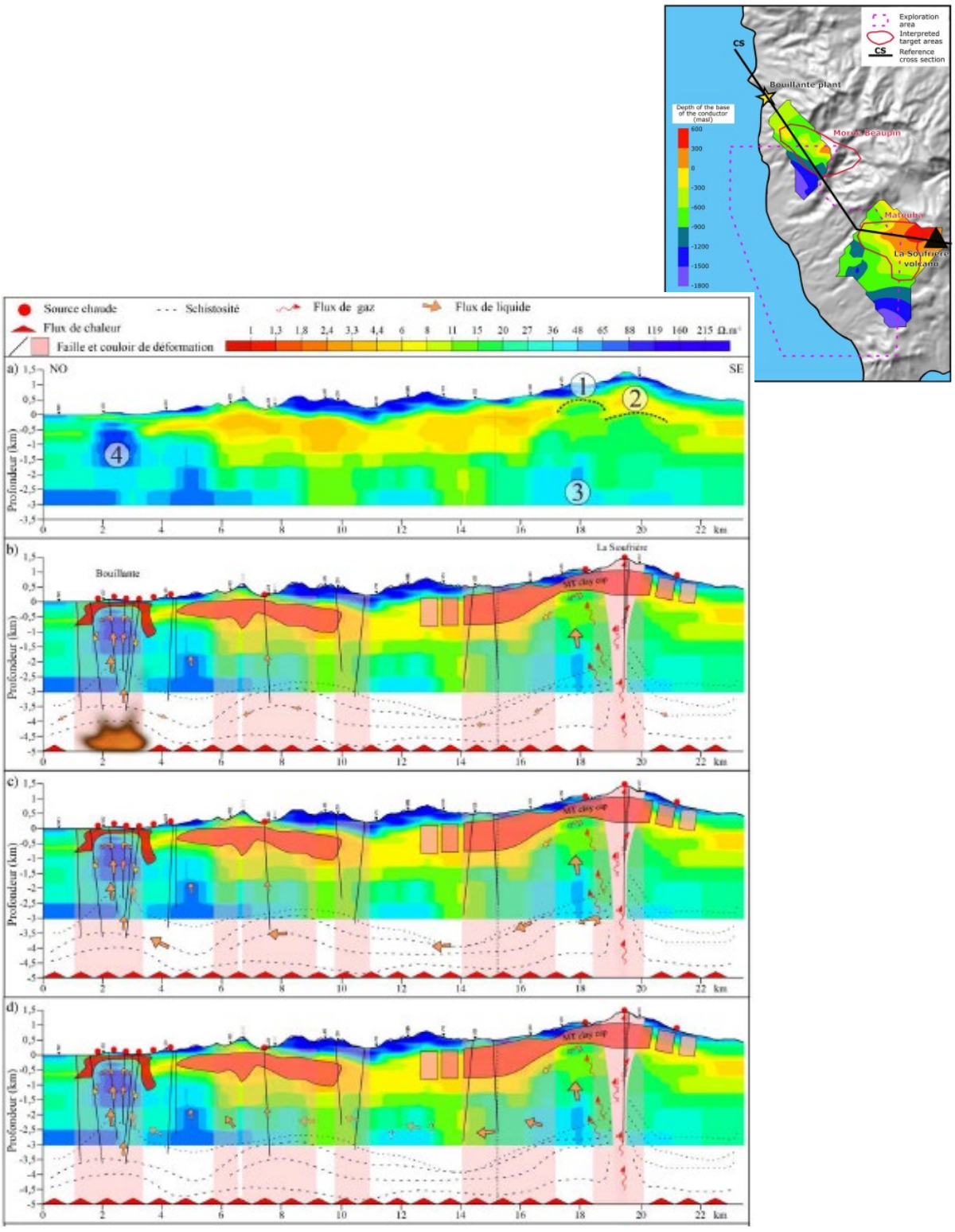


Figure 21 - Vue du haut à droite : carte de localisation de la campagne de mesures MT réalisée par TERANOV, dans le cadre du programme GEOTREF. Le trait noir indique le profil sectoriel utilisé pour les vues suivantes (Raguenel et al., 2019). Vues suivantes : coupes de résistivité établie entre La Soufrière et Bouillante. a) Coupe extraite du modèle MT 3D. b) Premier modèle conceptuel de circulation avec des chambres magmatiques sous Bouillante et La Soufrière. c) Second modèle sans chambre magmatique sous Bouillante. d) Variante du second modèle, mais avec des transferts latéraux plus superficiels (Navelot, 2018).

Des modélisations thermiques ont également été menées entre la région du massif volcanique de La Soufrière et le champ géothermique de Bouillante (Sanjuan *et al.*, 2008, fig. 22 ; Raguenel *et al.*, 2019, fig. 23).

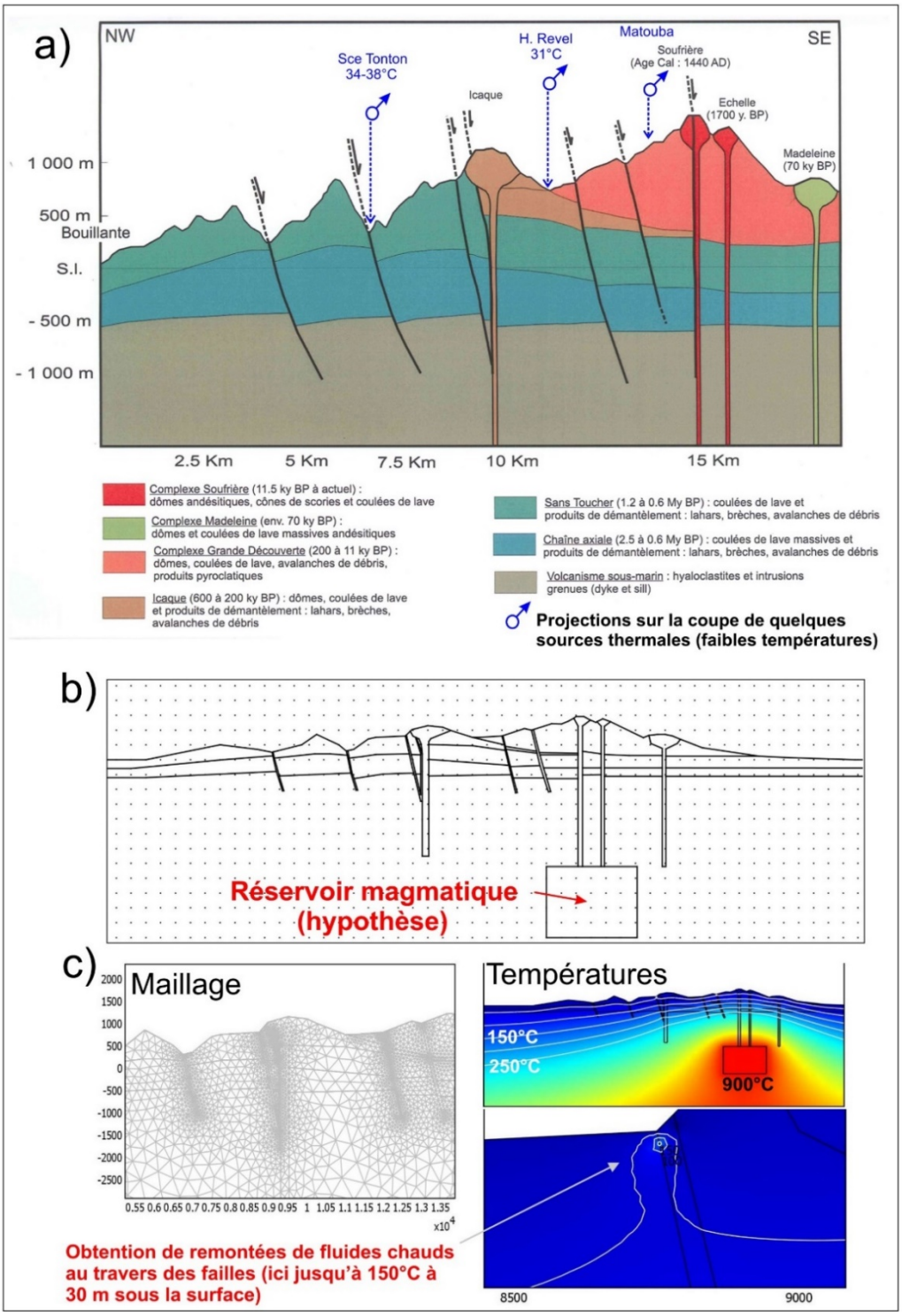


Figure 22 - a) coupe géologique simplifiée, utilisée pour la modélisation. La position de quelques sources chaudes est indiquée ; b) numérisation des différentes unités, avec rajout d'un réservoir magmatique en profondeur ; c) maillage de la géométrie en éléments triangulaires, et résultats du champ thermique après un calcul où circulation des fluides et transferts de chaleur sont couplés (Sanjuan et al., 2008).

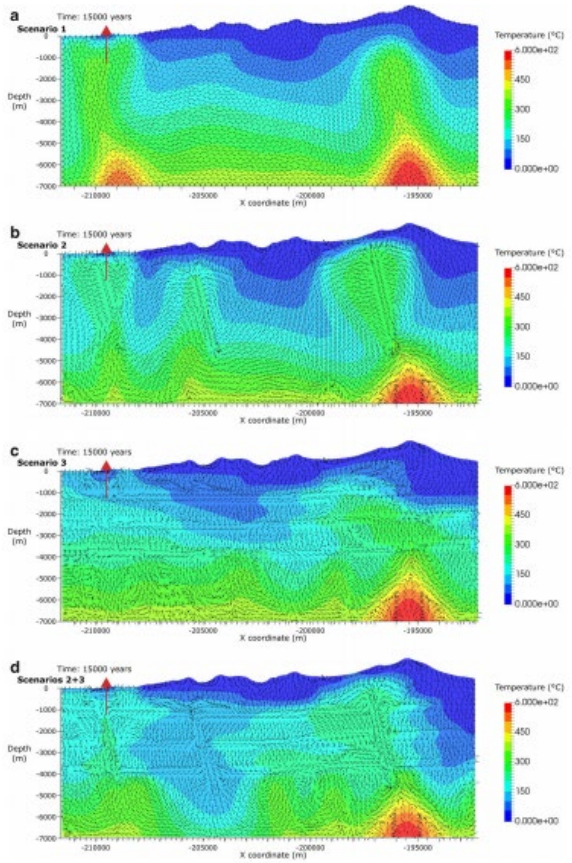


Figure 23 - Résultats de simulations thermiques faites sur une coupe Soufrière - Bouillante (voir fig. 21), après 15000 ans. a) Avec une seconde source de chaleur magmatique sous Bouillante ; b) Conduits verticaux fortement perméables ; c) Couches horizontales fortement perméables ; d) Conduits verticaux et couches horizontales fortement perméables (Raguenel et al., 2019).

Enfin, des travaux d'impact environnemental concernant le développement d'un champ géothermique de haute température et d'acceptabilité sociétale ont été lancés par l'ADEME pour Bouillante. Une première étude de ce type a aussi été faite au cours du projet GHEZAB de prospection géothermique du secteur de Vieux-Habitants par Patin *et al.* (2013, fig. 24 ; Legendre *et al.*, 2014).

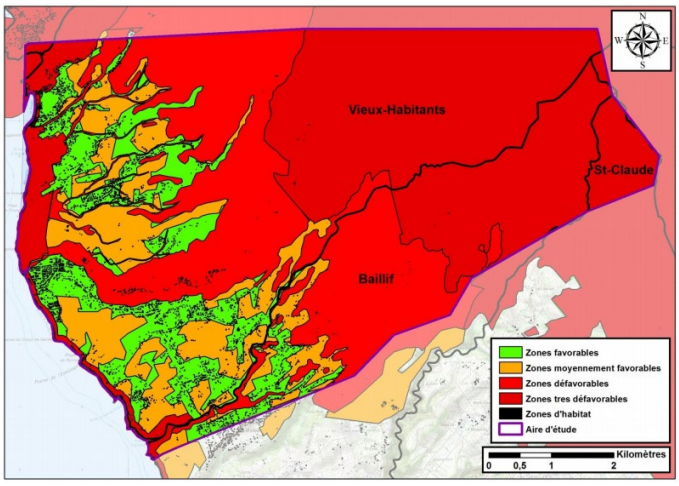


Figure 24 - Carte de synthèse des zones plus ou moins favorables, d'après les contraintes identifiées à de futures investigations pour des projets de géothermie de haute température (Legendre et al., 2014).

2.1.2. Etudes d'exploration sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones

Parmi les principales études d'exploration globales concernant l'ensemble de l'île ou plusieurs zones, on peut citer celles de :

- Goguel (1965) - Les recherches françaises d'énergie géothermique à la Guadeloupe ;
- Cormy *et al.* (1970) sur la prospection géothermique aux Antilles françaises: Guadeloupe et Martinique ;
- Westercamp et Mervoyer (1976) sur les séries volcaniques de la Martinique et de la Guadeloupe, Petites Antilles françaises ;
- Westercamp (1979) sur la diversité, le contrôle structural et l'origine du volcanisme récent dans l'arc insulaire des Petites Antilles ;
- Bouysse (1979) sur les caractères morphostructuraux et l'évolution géodynamique de l'arc insulaire des Petites Antilles (campagne Arcante 1) ;
- Dorel *et al.* (1979) sur les coupes sismiques des structures superficielles dans les Petites Antilles ;
- Gérard *et al.* (1981) sur une étude géophysique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles françaises ;
- Bouysse *et al.* (1983) sur la bathymétrie détaillée (seabeam) et les anomalies magnétiques dans les Antilles françaises : interprétation morpho-structurale de la vallée et de l'escarpement de la Désirade et des côtes occidentales de Basse Terre de Guadeloupe et de Martinique (Campagne Arcante 2- Thermosite, N.O. Jean-Charcot, décembre 1980) ;
- Barthes *et al.* (1984) sur la prospection géothermique de la région de Bouillante - Vieux Habitants ;
- Gadalia et Westercamp (1984) sur la prospection géothermique de la région de Bouillante - Vieux Habitants ;
- Gadalia (1984) sur l'exploration géologique des zones de Baillif, Vieux-Habitants et Moscou ;
- Iundt et Ouzounian (1984a) sur la prospection géothermique de la région de Bouillante - Vieux Habitants ;
- Iundt et Ouzounian (1984b) sur la comparaison entre les eaux thermales et les fluides de forages géothermiques dans la région de Bouillante ;
- Fabriol (1984) sur la prospection géothermique de la région de Bouillante-Vieux Habitants (Guadeloupe) : prospection des anomalies de mercure dans les sols ;
- Baubron et Sabroux (1984) sur des analyses des gaz dans les sols dans les zones de Bouillante et de Moscou ;
- Aubert *et al.* (1984) sur l'étude structurale de la Basse Terre à partir de profils magnétiques ;
- Gadalia (1985) - Cadre structural de l'activité hydrothermale des zones d'exploration de Bouillante et de Moscou ;
- Beauce (1985) sur l'écoute sismique passive sur l'île de la Guadeloupe (zones de Bouillante et de la Plaine de Moscou) ;

- Fabriol et Petiau (1985) sur des mesures magnéto-telluriques dans l'île de la Guadeloupe, zones de Bouillante et de la Plaine de Moscou ;
- Fabriol et Ouzounian (1985) sur la prospection géothermique des zones de Bouillante et de la Soufrière, modèle hydrogéochimique ;
- Gadalia (1985) sur la distribution du mercure et de l'arsenic dans les prospects de Bouillante et de Moscou ;
- Bouysse *et al.* (1985) sur le volcanisme sous-marin Néogène récent au large des côtes Caraïbes des Antilles françaises. Relations avec le volcanisme à terre et évolution du front volcanique ;
- Puvilland (1986) sur l'évaluation des ressources géothermiques de l'île de la Guadeloupe ;
- Grellet *et al.* (1988) sur le cadre général de la tectonique récente de la Guadeloupe ;
- Bouysse *et al.* (1988) sur la reconnaissance de structures tectoniques et volcaniques sous-marines de l'arc des Petites Antilles (Kick'em Jenny, Qualibou, Montagne Pelée, Nord-ouest de la Guadeloupe) ;
- Bouysse et Westercamp (1988, 1990) sur les effets de la subduction de rides océaniques sur l'évolution d'un arc insulaire : l'exemple des Petites Antilles ;
- Andreieff *et al.* (1989) sur la géologie de l'arc insulaire des Petites Antilles et l'évolution géodynamique de l'Est-Caraïbe ;
- Baubron (1990) sur la prospection géochimique par analyse des gaz des sols en vue de la localisation d'une fracture majeure sous recouvrement. Faille Montserrat-Marie Galante : secteur de Marie-Galante et Capesterre-Belle-Eau, Basse Terre ;
- Sanjuan et Brach (1997) sur l'étude hydrogéochimique du champ géothermique de Bouillante et des autres sources thermales de la Guadeloupe ;
- Van Soest *et al.* (1998) sur le traçage des contributions crustales et de plaques au magmatisme d'arc dans les îles des Petite-Antilles en utilisant la relation entre l'hélium et le carbone dans les fluides géothermaux ;
- Pedroni *et al.* (1999) sur les concentrations de He, Ne, Ar, et C des émanations géothermales dans l'arc des Petites Antilles ;
- Feuillet (2000) sur la sismo-tectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique ;
- Guennoc *et al.* (2001) sur le levé bathymétrique le long de la côte ouest de l'île de Basse Terre, Guadeloupe. Apport à la compréhension du contexte structural du champ géothermique de Bouillante ;
- Truffert *et al.* (2004) sur l'utilisation de MAGIS pour une application en exploration géothermique sur l'archipel de la Guadeloupe ;
- Thinon *et al.* (2004) sur le levé sismique et magnétique GEOBERYX03 le long de la côte ouest de l'Ile de Basse Terre. Apports à la compréhension du contexte structural du champ géothermique de Bouillante ;
- Thinon *et al.* (2010) sur l'étude de la baie de Bouillante (Basse Terre) : contribution de campagnes de géophysique à la compréhension du contexte structural de la Guadeloupe ;
- Mathieu *et al.* (2013) sur la structure et la morphologie de l'île de Basse Terre ;
- Legendre (2018) sur la cinématique des déformations fragiles dans la partie nord de l'arc des Petites Antilles ;

- Verati *et al.* (2018) sur le métamorphisme relié à l'arc dans l'archipel de Guadeloupe : premier rapport et conséquences ;
- Navelot (2018) et Navelot *et al.* (2018) sur les propriétés pétro-physiques de roches volcaniques et des impacts de l'altération hydrothermale dans l'archipel de Guadeloupe ;
- Favier (2019) sur Evolution spatio-temporelle de l'hydrothermalisme dans la plaque supérieure de l'arc des Petites-Antilles en Guadeloupe. Applications aux systèmes géothermaux ;
- Favier *et al.* (2019) sur l'évolution tectono-métamorphique des niveaux superficiels de la croûte dans les arcs volcaniques actifs. Renseignements provenant du complexe basal exhumé de Basse Terre, en Guadeloupe ;
- Raguenel (2019) et Raguenel *et al.* (2019).

2.1.3. Principales études de synthèse

Ces études ont commencé à partir des années 2000. On peut citer les travaux de :

- Sanjuan (1998) sur le bilan des données existantes sur les analyses in situ des gaz dans les sols de la région de Bouillante ;
- Traineau *et al.* (1999) sur le champ géothermique de Bouillante : synthèse préliminaire des travaux de recherche réalisés par le BRGM et la CFG dans le cadre du projet RPI "Développement du champ de Bouillante" ;
- Brombach *et al.* (2000) sur la géochimie des sources thermales et des fumerolles de l'île de Basse Terre ;
- Sanjuan (2001a) sur le champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe) : synthèse des travaux réalisés en géochimie avant 1999 ;
- Fabriol (2001) sur le champ géothermique de Bouillante : synthèse des études géophysiques ;
- Genter et Traineau (2004) sur la synthèse en géologie concernant l'exploration géothermique haute énergie dans les DOM ;
- Lachassagne et Maréchal (2004) sur la synthèse des connaissances hydrogéologiques, profondes et de sub-surface, sur le champ géothermique de Bouillante ;
- Bézelgues-Courtiade et Bès de Berc (2007) sur l'inventaire et la caractérisation des sources thermales de Guadeloupe, avec la réalisation d'un SIG ;
- Bourdon *et al.* (2008) sur l'inventaire des ressources géothermiques potentielles de la Guadeloupe, et Sanjuan *et al.* (2008) ;
- Gailler *et al.* (2013) sur les investigations concernant la croûte de l'île de la Guadeloupe et l'arc des Petites Antilles, à partir d'une nouvelle synthèse des données de terrain **;**
- Gailler *et al.* (2011, 2014) sur l'apport de la géophysique multi-méthodes à la connaissance de la Province géothermale haute température de Bouillante, mais aussi à la région Soufrière - Vieux-Habitants, et à l'ensemble de l'île.

Ces derniers travaux de synthèse (Gailler *et al.*, 2011 ; 2013 ; 2014) ont fait l'objet d'une compilation de l'intégralité des données géophysiques (électriques, magnétotelluriques, gravimétriques et magnétiques), acquises lors des quarante dernières années à terre comme en mer, à l'échelle de l'arc des Petites Antilles. Ils se sont focalisés sur l'archipel de Guadeloupe *sensu stricto*, avec un intérêt particulier pour la province géothermale de Bouillante, dans le cadre de l'exploitation géothermale.

Selon les formats originaux des documents géophysiques disponibles, les données ont été numérisées, parfois directement sur cartes ou sur graphiques (pour certaines données électriques et magnétotelluriques) en l'absence de valeurs numériques. Pour l'ensemble des méthodes géophysiques concernées, les données ont été géo-référencées, formant ainsi une base complète pouvant être aisément complétée au vue des campagnes futures. Il faut noter que la qualité de certains jeux de données reste discutable, et leur distribution relativement hétérogène car dépendante du relief et de la végétation dans un tel climat tropical. Cette synthèse constitue donc, en premier ordre, un guide essentiel à l'implantation des campagnes géophysiques à venir.

Concernant les données électriques, malgré certaines limitations relatives à l'absence de différents paramètres d'acquisition, les tenseurs MT ont été partiellement reconstruits pour fournir une interprétation quantitative des distributions de résistivités en profondeur. Les données gravimétriques et magnétiques ont été examinées en détail et corrigées selon les traitements standards par l'intermédiaire du logiciel Oasis Montaj (Geosoft). Ces dernières ont ensuite été interpolées pour fournir des cartes d'anomalies de Bouguer et d'anomalies magnétiques relativement précises, de l'archipel de Guadeloupe et son environnement immergé immédiat, et à une échelle plus locale, celle de la province géothermale de Bouillante. Chaque jeu de données a, par la suite, fait l'objet de modélisations diverses (3D, 2D, 2D ¾) sous contraintes géologiques, mais également des interprétations antérieures.

2.1.4. Principaux projets d'exploration géothermique récents dans la région de Bouillante

En dehors des activités de prospection géothermique menées sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones, principalement dans les années 70-85, de nombreux projets, notamment ceux cofinancés par l'ADEME et le BRGM, associés à l'augmentation de la production électrique de la centrale (de 4,5 à 11 MWe) et au développement du champ géothermique de Bouillante, ont vu le jour à partir de 1996, dans la région de Bouillante. Ces projets sont les suivants :

- projet de recherche scientifique BRGM S24 « Optimisation des exploitations géothermiques haute enthalpie » (1996) ;
- European project : « Enhancement of productivity oh high-enthalpy geothermal wells by cold water stimulation » (1997-1999) ;
- projet RPI n°76 en vue du développement du champ géothermique de Bouillante, en Guadeloupe, entre CFG Services agissant au nom et pour le compte de GEOTHERMIE BOUILLANTE S.A et le BRGM (1998-1999) ;
- projet R&D concernant des « Travaux scientifiques menés par le BRGM et la CFG sur le champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe) », dans le cadre de la convention établie entre GEOTHERMIE BOUILLANTE S.A. et l'ADEME (juillet 1999 - décembre 2001) ;
- projet R&D Géothermie Haute Enthalpie dans les DOM (GHEDOM), cofinancé par l'ADEME (2002-2008) ;

- projet RPI n°141 de « Reconnaissance du potentiel géothermique du secteur Nord de la baie de Bouillante, en Guadeloupe, par des méthodes d'exploration de surface », entre GEOTHERMIE BOUILLANTE S.A et le BRGM (2003-2005) ;
- projet R&D de « Valorisation des eaux chaudes de la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe » (VALOBOU), cofinancé par l'ADEME et le Conseil Régional de Guadeloupe (2003-2005) ;
- projet de service public sur l'inventaire des ressources géothermiques potentielles de la Guadeloupe, cofinancé par la région Guadeloupe (2004-2008) ;
- projet R&D GEOlogie, GEOchimie et GEOphysique à BOUillante (GEO3BOU), cofinancé par l'ADEME (2008-2013) ;
- projet R&D sur la compréhension, la modélisation et la gestion de la ressource géothermale d'origine volcanique dans les DOM (GHEMOD), cofinancé par l'ADEME (2008-2013) ;
- thèse de Doctorat de Christelle Dixit de l'Université des Antilles sur l'«Etude physico-chimique des fluides produits par la centrale géothermique de Bouillante (Guadeloupe) et des dépôts susceptibles de se former au cours de leur refroidissement. », cofinancée par l'ADEME et rattachée au projet GEOBOU, soutenue le 3 avril 2014 (2011-2014) ;
- thèse de Doctorat de Cédric Coppol de l'Université des Antilles sur le « Modèle hydrogéologique régional et fonctionnement du champ géothermique de Bouillante », cofinancée par la Région Guadeloupe et rattachée au projet GHEMOD, soutenue en 2015 (2011-2015) ;
- projet ANR Carnot de Lydie Gailler sur la construction d'un modèle géologique régional 3D entre « 0 et 10 km » de profondeur de la Province géothermique de Bouillante (côte-sous le vent, Guadeloupe), à partir d'une valorisation des données géophysiques régionales (2011-2012) ;
- programme élaboré par un groupe technique, composé de représentants du BRGM, de CFG Services et du groupe EDF (Direction SEI et Electricité de Strasbourg Géothermie - ESG). Valorisation du site géothermique de Bouillante en Guadeloupe (2012) ;
- projet de service public de reconnaissance préliminaire du potentiel Géothermique à Haute Energie de la zone Vieux-Habitants - Volcan du Sans-Toucher » (GHEZAB), cofinancé par l'ADEME et le FEDER (2012-2014) ;
- projet de service public d'acquisition géophysique héliportée de la Guadeloupe (2014) ;
- projet R&D sur l'évaluation de l'impact environnemental du développement de la filière géothermie haute énergie dans le mix énergétique des DROM et de définition des indicateurs environnementaux complémentaires qui prennent en compte la spécificité des DROM - Analyse du Cycle de Vie d'une centrale géothermique haute énergie dans le contexte des DROM (EVALGTHDOM), en partenariat avec MINES ParisTech/ ARMINES et en collaboration avec CFG Services et Géothermie Bouillante, cofinancé par l'ADEME (2012-2015) ;
- programme Opérationnel (PO) INTERREG IV - Espace Caraïbes pour la période 2007-2013, avec une participation du BRGM axée sur la communication concernant la géothermie (réalisation de films et d'interviews, participation au séminaire Géothermie Caraïbe 2 de fin de projet du 9 et 10 septembre 2015) (2012-2015) ;
- expertise d'appui au politiques publiques pour le compte de la DEAL Guadeloupe : avis du BRGM sur la pertinence de la révision des conditions d'exploitation de la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe (2015) ;

- projet R&D pour optimiser la réinjection partielle des fluides de production de la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe (ORBOU), cofinancé par l'ADEME (2014-2016) ;
- réalisation d'un profil MT-3D par ORMAT, en 2018, pour caractériser les ressources géothermiques de la région de Bouillante ;
- expertise d'appui au politiques publiques pour le compte de la DEAL Guadeloupe : avis du BRGM sur la pertinence de la révision des conditions d'exploitation de la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe (2020) ;
- Programme Opérationnel (PO) INTERREG V - Transition Energétique Caraïbes (TEC) pour la période 2014-2020, avec une participation du BRGM axée sur trois projets de recherche (travaux d'exploration en géophysique et en géochimie des fluides, étude de préfaisabilité sur la géothermie de surface), des actions de communications et le lancement du Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe (2020-2023).

Les travaux d'exploration géothermique de surface associés à ces projets ont porté principalement sur la géologie structurale (Genter *et al.*, 1997 ; Thinon *et al.*, 2010 ; Calcagno *et al.*, 2013 ; Sanjuan *et al.*, 2005b, 2013), le levé bathymétrique le long de la côte ouest de Basse Terre (Guennoc *et al.*, 2001), la caractérisation des formations volcaniques de la province géothermique de Bouillante (Gadalia, 2012), la caractérisation géochimique des manifestations hydrothermales de surface (Sanjuan et Brach, 1997, 2015 ; Traineau *et al.*, 1997, 2015 ; Sanjuan *et al.*, 2001 ; 2008 ; Genter et Traineau, 2004 ; Pays, 2005 ; Mas *et al.*, 2006 ; Bruzac, 2012) et leurs datations (Sanjuan *et al.*, 2008 ; Patrier *et al.*, 2013 ; Sanjuan *et al.*, 2013 ; Verati *et al.*, 2014), les analyses chimiques des gaz dans les sols (Sanjuan *et al.*, 2004a ; 2005b), des mesures de température dans les sols (Serres, 2012 ; Sanjuan *et al.*, 2013), la géophysique, notamment la sismique réflexion haute résolution en mer (Truffert *et al.*, 2004), le levé magnétique en mer et à terre (Thinon *et al.*, 2004 ; Bourgeois et Debeglia, 2008 ; Sanjuan *et al.*, 2008), le panneau électrique dipôle-dipôle (Sanjuan *et al.*, 2005b ; Bourgeois et Debeglia, 2008), la sismologie large bande (Jousset, 2006 ; 2011 ; Jousset and Douglas, 2007 ; Sanjuan *et al*., 2008), la géophysique aéroportée (Deparis *et al.*, 2014) et la réalisation d'un profil MT-3D en 2018 (Owens *et al.*, 2018).

Les travaux d'exploration géothermique menés à partir des forages profonds (profils de température et de pression en statique et en dynamique en fonction de la profondeur, informations litho-stratigraphiques, structurales et minéralogiques, caractérisation géochimique des fluides profonds des réservoirs géothermiques, détermination des débits de production, vitesses de circulation des fluides et volume des réservoirs, etc.) ont été principalement effectués, à partir de la réalisation des forages BO-5, BO-6 et BO-7, entre décembre 2000 et mai 2001 (Sanjuan *et al.*, 2000 ; 2001 ; 2002 ; 2004b ; 2008 ; 2013 ; Sanjuan et Delatre, 2016 ; Guillou-Frottier, 2003 ; Guisseau, 2005 ; Guisseau *et al.*, 2007 ; Millot *et al.*, 2010).

2.1.5. Principaux projets d'exploration géothermique dans la région de Vieux Habitants - Soufrière

La plupart des études effectuées uniquement sur cette zone ont été réalisées par les équipes de l'OVSG-IPGP ou dans le cadre du programme GEOTREF, depuis 2014, à l'exception de quelques travaux comme :

- la thèse de Pascaline (1980) sur les sources thermales de la Soufrière et de celle de Barat (1984) sur les circulations de fluides associées à ce volcan ;
- quelques anciennes études menées par le BRGM en géophysique, dont celle de Puvilland et Dore (1985) sur la reconnaissance géothermique par prospection électrique (dipôle-dipôle et sondage électrique) sur le site de Moscou ;

- les travaux d'exploration sur la zone de Vieux-Habitants conduits par le BRGM (projet GHEZAB ; Legendre *et al.*, 2014).

Parmi tous ces travaux, on peut citer :

- les bilans mensuels de l'activité volcanique et de la sismicité régionale de l'OVSG-IPGP ;
- les études de géologie structurale Zlotnicki *et al.* (1992), Feuillet (2000) et Feuillet *et al.* (2001 ; 2002 ; 2004 ; 2011) ;
- plusieurs travaux sur le suivi ou la caractérisation des eaux et des gaz des manifestations hydrothermales associées au volcan de La Soufrière (Allard *et al.*, 1983 ; 1998 ; Bigot et Hammouya, 1987 ; Bigot *et al.*, 1994 ; Villemant et Boudon, 1999 ; Villemant *et al.*, 2005 ; 2014 ; Bernard *et al.*, 2006 ; Ruzié *et al.*, 2013 ; Jean-Baptiste *et al.*, 2014) ;
- de nombreux travaux de géophysique dont les principaux sont, en plus du suivi sismique du volcan de La Soufrière effectué par l'OVSG-IPGP, le levé aéromagnétique de la Guadeloupe (Le Borgne et Le Mouël, 1976 ; Le Mouël *et al.*, 1979), des observations magnétiques sur le volcan de La Soufrière (Robach *et al.*, 1976 ; Pozzi *et al.*, 1979 ; Le Mouël *et al.*, 1984 ; Zlotnicki, 1986 ; Pham *et al.*, 1990), des observations et modélisations de glissement de flanc de volcan (Le Friant *et al.*, 2006), des mesures de tomographie électrique (Nicollin *et al.*, 2006, 2007), des campagnes de mesures VLF (Very Low-Frequency) pour évaluer l'état de l'activité hydrothermale de La Soufrière (Zlotnicki *et al.*, 2006), une étude de radiographie de La Soufrière par muons cosmiques (Lesparre *et al.*, 2012), un bilan de masse et de flux de chaleur de La Soufrière par imagerie infrarouge thermique aérienne (Beauducel *et al.*, 2014) ;
- les travaux de plusieurs thèses du programme GEOTREF et des publications qui les accompagnent.

2.2. ILE DE LA MARTINIQUE

Les premiers grands travaux d'exploration géothermique sur cette île ont démarré pratiquement en même temps qu'en Guadeloupe, dans les années 70. Ils ont été réalisés par EURAFREP et le BRGM. Si de nombreuses études ont eu lieu entre les années 1970 et 1990, une pause est constatée entre les années 1990 et 2000, avec un redémarrage des travaux d'exploration entre 2001 et 2005, puis entre 2012 et jusqu'à maintenant, comme le montrent les références bibliographiques reportées dans l'annexe 2 de ce rapport (184 références au total). Les régions les plus étudiées, et ce, dès les années 70, ont été la plaine du Lamentin, la zone de La Montagne Pelée - Morne Rouge, celles des Anses d'Arlet - Diamant et des Pitons du Carbet (fig. 25). La plupart de ces travaux ont été menés par le BRGM ou sa filiale CFG, avec des cofinancements de l'ADEME, de la Région Martinique et des fonds européens FEDER.

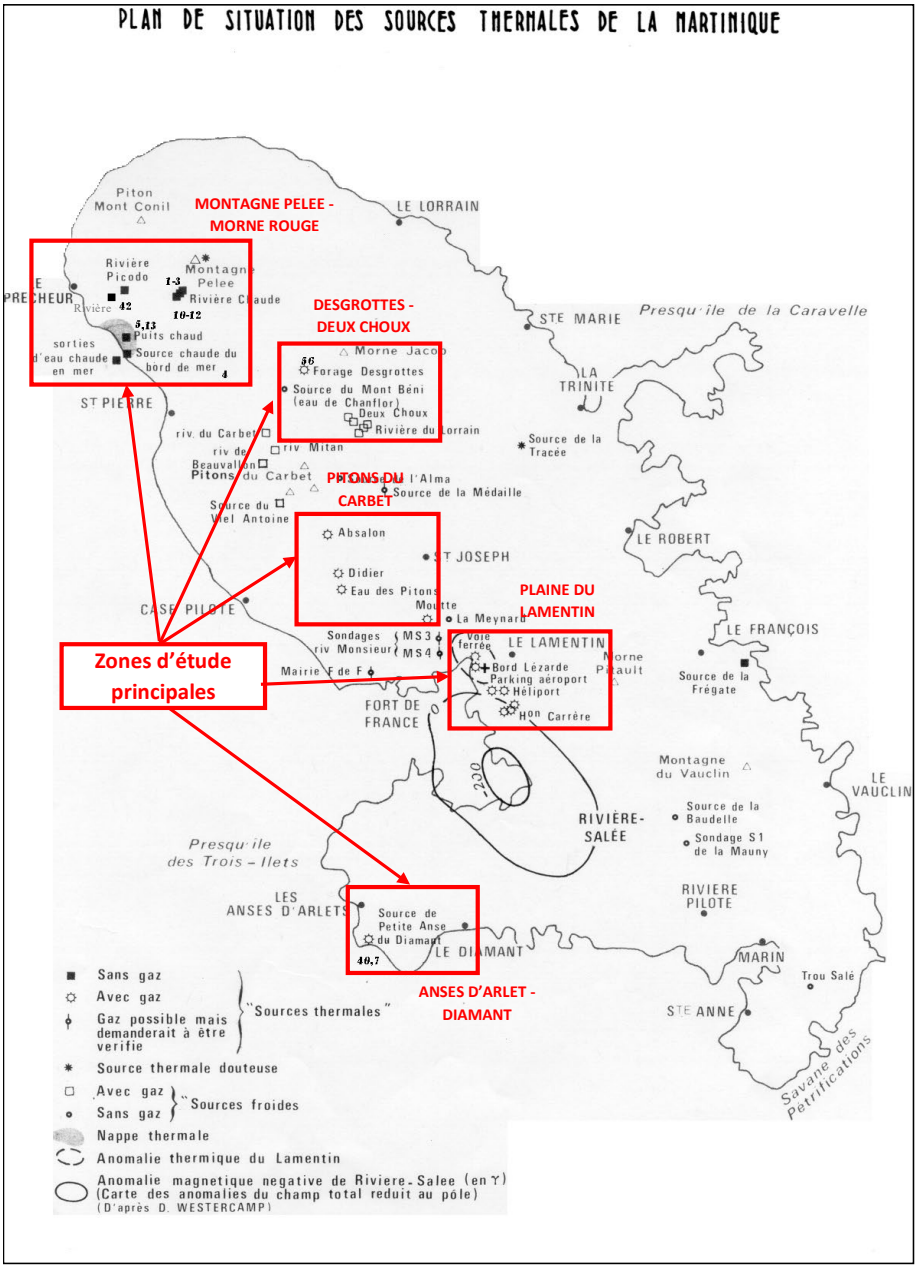


Figure 25 - Carte de localisation des principales sources thermales et zones explorées sur l'île de la Martinique (Mouret, 1979).

2.2.1. Nature des travaux

Comme pour l'île de la Guadeloupe, de nombreux travaux d'exploration de surface en géologie, géochimie, géophysique et hydrogéologie ont été menés en Martinique. Une campagne de sondages de gradient de température dans la plaine du Lamentin avait été également réalisée en 1969 (EURAFREP, 1969 ; Surcin, 1969), comme dans la région de Bouillante, en Guadeloupe.

Suite aux premiers travaux d'exploration et à cette campagne, le forage LA-101 avait été foré à 771 m de profondeur, en 1970, dans la plaine du Lamentin (EURAFREP, 1970 ; Surcin *et al.*, 1970). Sa température avait atteint un maximum de 93,5°C à 250 m de profondeur. Trois autres forages verticaux d'une profondeur proche de 1000 m (Pointe Desgras, Habitation Carrère et Californie) ont également été forés en 2001 dans cette région (Traineau, 2001) et ont confirmé la température indiquée par l'ancien forage LA-101, sans montrer de valeurs de température supérieures. Ces quatre forages sont les seuls ouvrages profonds de l'île.

Comme à Bouillante, en Guadeloupe, ces trois derniers forages profonds ont fait l'objet de travaux scientifiques accompagnant leur foration (Sanjuan *et al.*, 2001 ; 2002). La réalisation des puits profonds, dans la plaine du Lamentin, a permis d'obtenir des profils de température et de pression en fonction de la profondeur, quelques mesures de débit mais pas assez représentatives, des informations litho-stratigraphiques, structurales (principales failles de circulation des fluides) et minéralogiques, ainsi que des données minéralogiques et géochimiques provenant d'analyses de cutting sur certaines zones d'altération profondes. Les fluides profonds (eaux et gaz) des réservoirs géothermiques ont pu également être caractérisés d'après les analyses chimiques et isotopiques effectuées.

Une première collecte importante de données géoscientifiques numériques avait été réalisée dans le cadre du projet sur les travaux scientifiques associés à la réalisation des trois puits d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin (Traineau, 2001 ; Sanjuan *et al.*, 2002) et du projet sur les travaux de réévaluation du potentiel géothermique des régions de Morne Rouge-Montagne Pelée et de Diamant (Genter et Roig, 2003 ; Sanjuan *et al.*, 2003a, b, c ; 2005 ; Baltassat *et al.*, 2003). Le SIG-MARTINIQUE a été constitué et structuré au cours du projet sur les compléments d'exploration géothermique en Martinique (Gadalia *et al.*, 2014) pour regrouper et gérer toutes les données géoscientifiques obtenues sur l'ensemble des régions de l'île étudiées (fig. 26).

Les compositions chimiques et isotopiques des eaux des forages géothermiques profonds de la plaine du Lamentin ont aussi été intégrées, en 2020, dans la même base de données européenne de géochimie des eaux de forages géothermiques que celle utilisée pour les eaux des forages profonds de Bouillante, dans le cadre du projet européen H2020 REFLECT.

Des cartes et des coupes de synthèse, ainsi que des modèles conceptuels du fonctionnement des systèmes géothermaux plus ou moins élaborés suivant les régions et les données acquises (Plaine du Lamentin et Pitons du Carbet : Traineau, 2001 ; Sanjuan *et al.*, 2002, figs. 27 et 28 ; Gadalia *et al.*, 2017 ; Labeau, 2018, fig. 29 ; Gadalia *et al.*, 2014, figs. 30, 31 et 32 ; Coppo *et al.*, 2014, fig. 33 ; Gadalia *et al.*, 2017, fig. 34 ; Montagne Pelée - Morne Rouge : Sanjuan *et al.*, 2003b, fig. 35 ; Gadalia *et al.*, 2014, figs. 36, 37 et 38 ; Barat, 1982, fig. 39 ; Westercamp et Traineau, 1987 ; Traineau *et al.*, 1989, fig. 40 ; Gadalia *et al.*, 2014, figs. 41, 42 et 43 ; Anses d'Arlet : Gadalia *et al.*, 2014, fig. 44 ; Darnet *et al.*, 2020, figs. 45, 46 et 47 ; Gadalia *et al.*, 2014, figs. 48 et 49), qui peuvent même être associés à des modèles géologiques 3D, réalisés avec le logiciel GeoModeller, notamment dans la plaine du Lamentin (Gadalia *et al.*, 2017 ; Labeau, 2018 ; fig. 50) et dans la région des Anses d'Arlet (Jacob, 2020 ; Darnet *et al.*, 2020 ; fig. 51), ont été effectués.

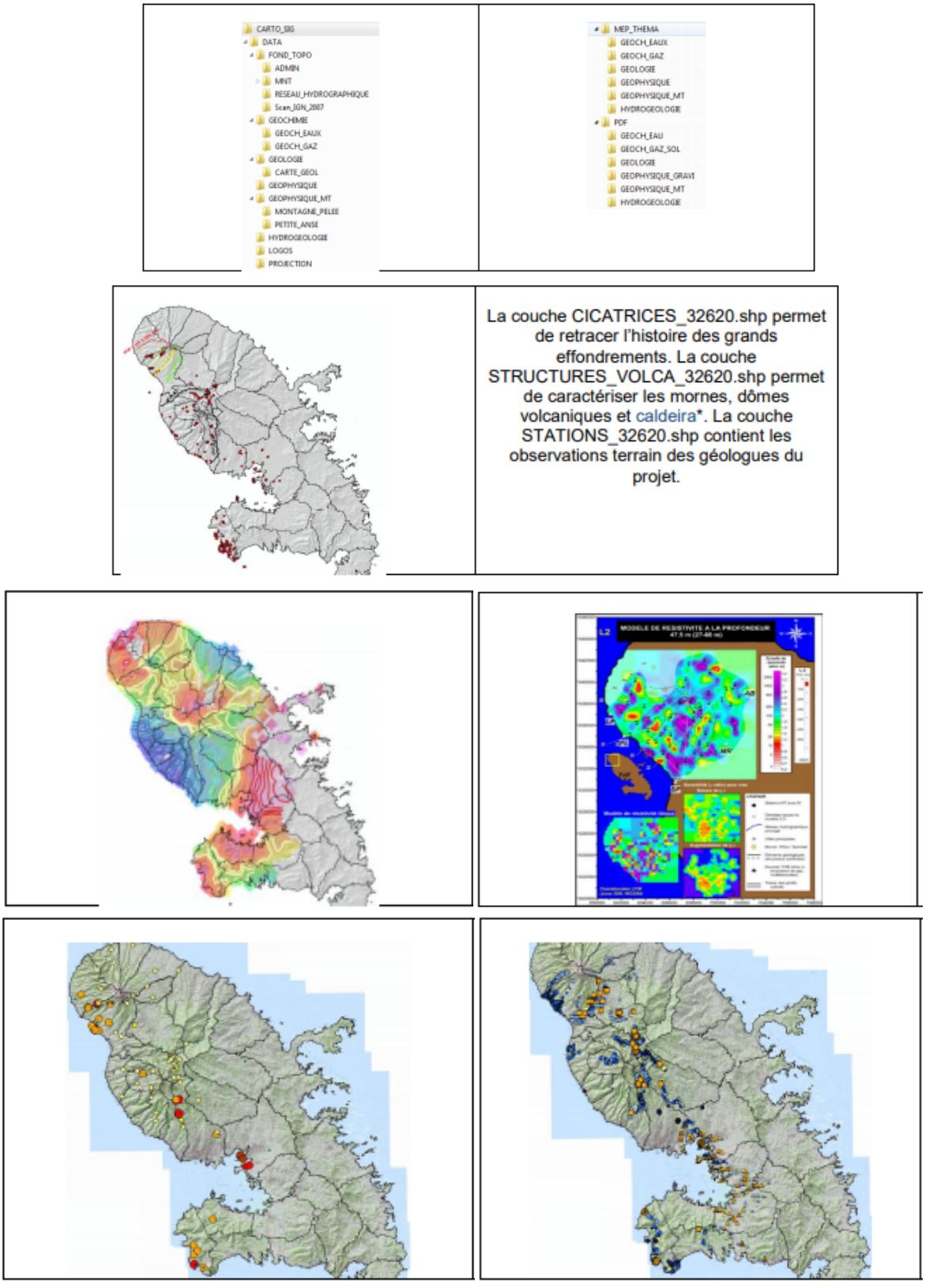


Figure 26 - Arborescence du SIG-MARTINIQUE, avec des données en géologie, géophysique (anomalie de Bouguer complète et planche sur le modèle de résistivité à la profondeur 47,5 m, par exemple), en géochimie des fluides (carte des températures à partir des mesures in situ et de la littérature, carte de concentration en CO_2 à 1 m de profondeur dans les sols, par exemple), en hydrogéologie. (Gadalia et al., 2014).

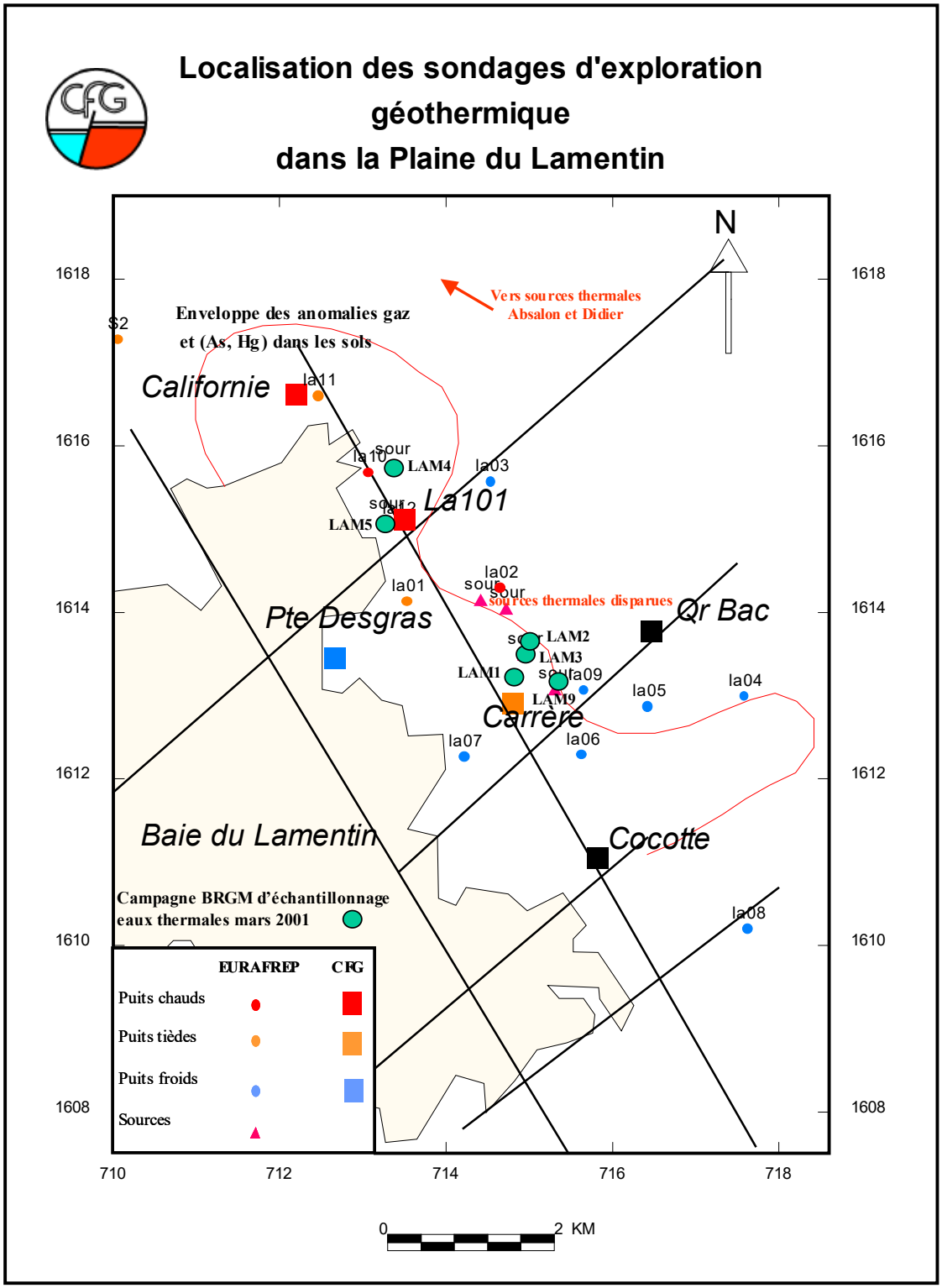


Figure 27 - Carte de localisation des trois sondages d'exploration géothermique (pointe Desgras, Habitation Carrère et Californie) de la plaine du Lamentin et des sources thermales avoisinantes échantillonnés par le BRGM en 2001 (Traineau, 2001 ; Sanjuan et al., 2002).

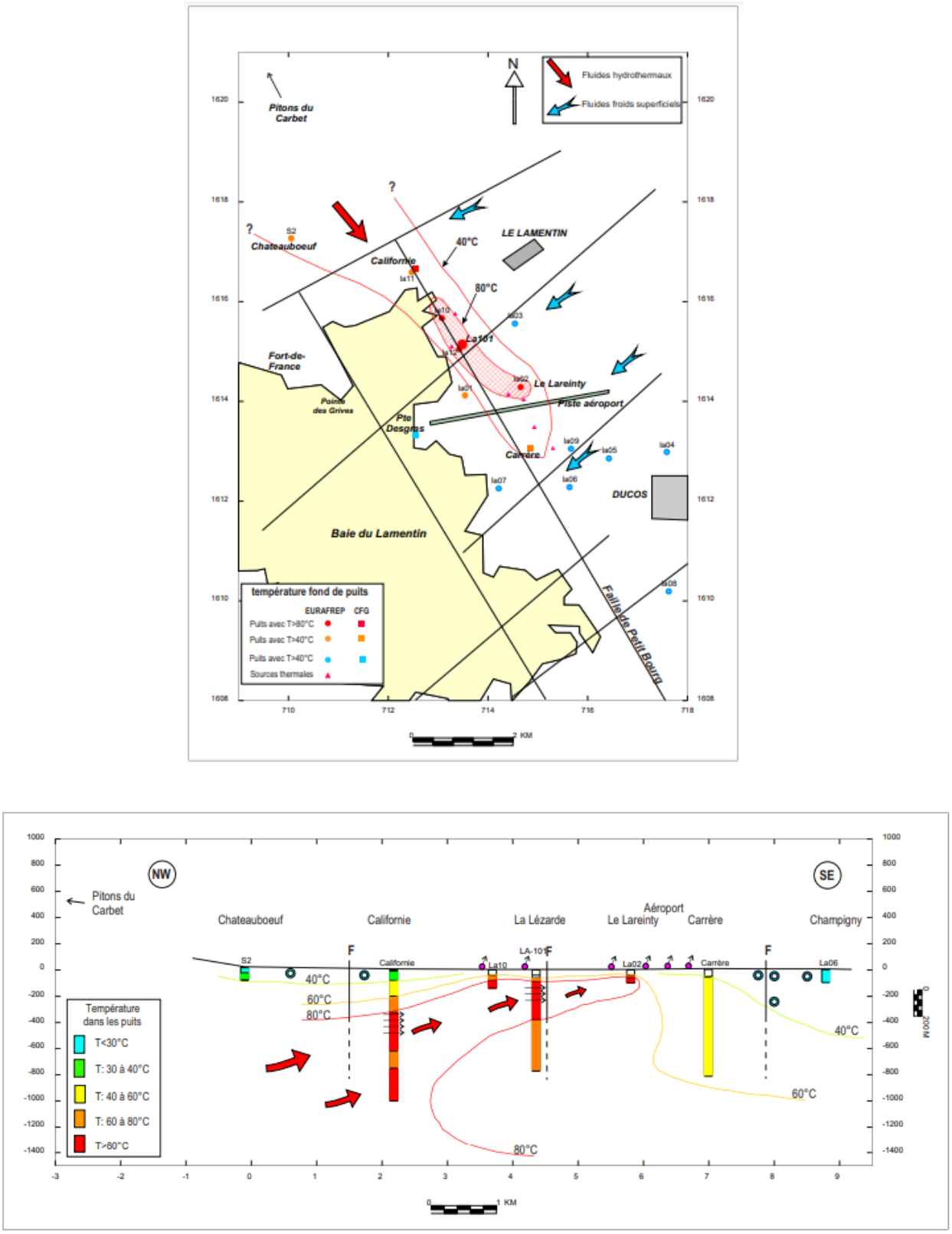


Figure 28 - Carte de synthèse montrant la localisation des forages d'exploration géothermique réalisés dans la plaine du Lamentin, avec les isothermes 40 et 80°C à 100 m de profondeur, tracés à partir des mesures de forage, et coupe NO-SE interprétative proposée pour ce système géothermique de basse température, à partir des données de terrain et de forages (Traineau, 2001 ; Sanjuan et al., 2002).

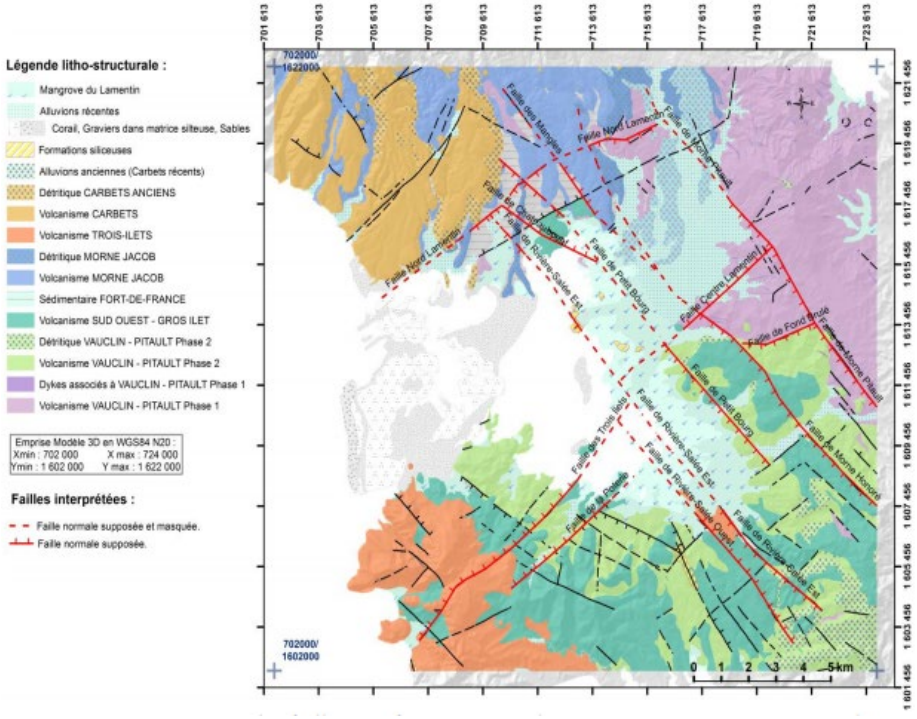


Figure 29 - Carte litho-structurale de la région de la plaine du Lamentin réalisée pour le modèle géologique 3D, indiquant les failles majeures qui impactent les grands ensembles volcaniques et sédimentaires (Gadalia et al., 2017 ; Labeau, 2018).

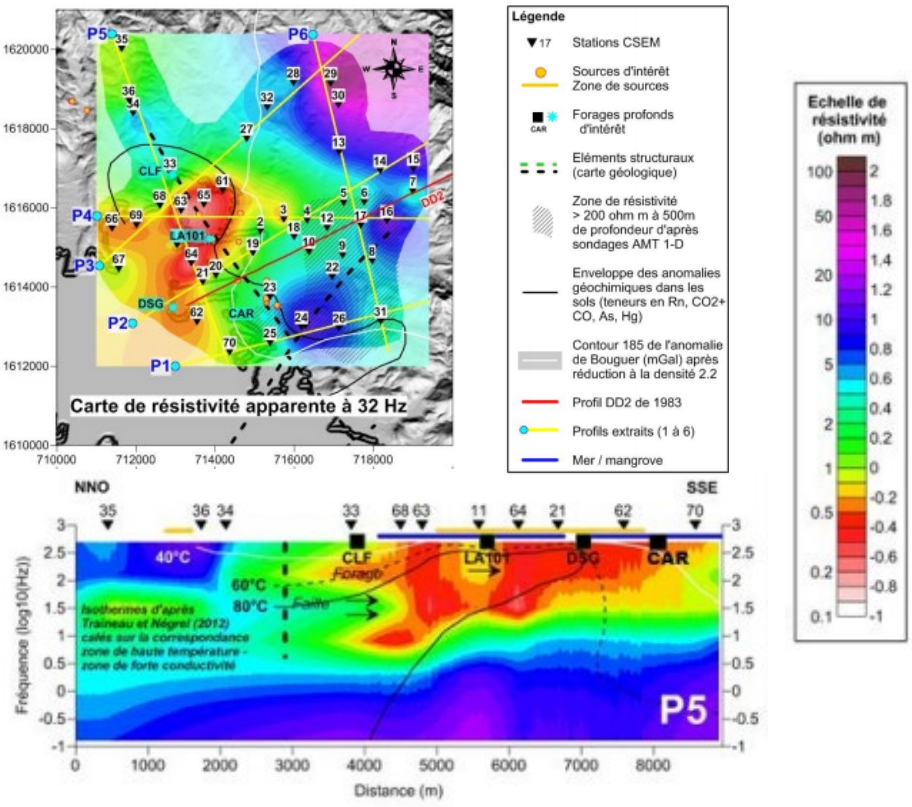


Figure 30 - Carte de résistivité apparente à la fréquence 32 Hz et pseudo-section NNO-SSE de résistivité apparente CSEM pour le profil P5 de la plaine du Lamentin (Gadalia et al., 2014).

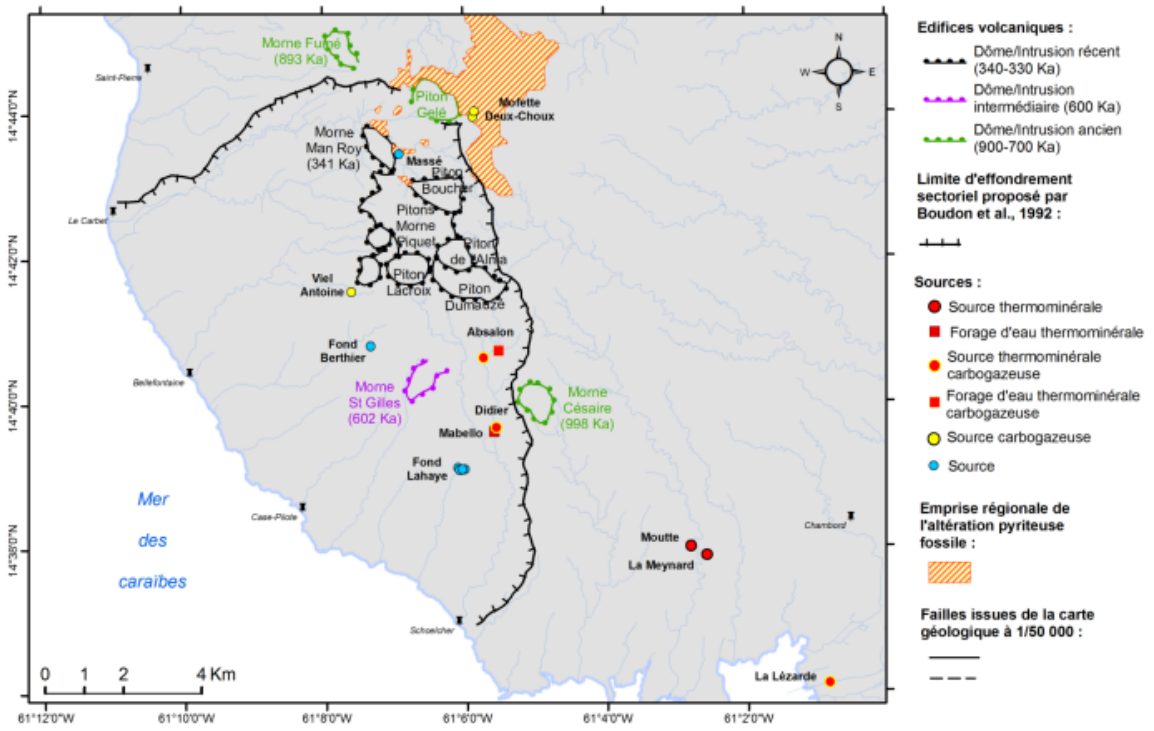


Figure 31 - Carte des structures volcano-tectoniques et des manifestations hydrothermales du massif des Pitons du Carbet (Gadalia et al., 2014).

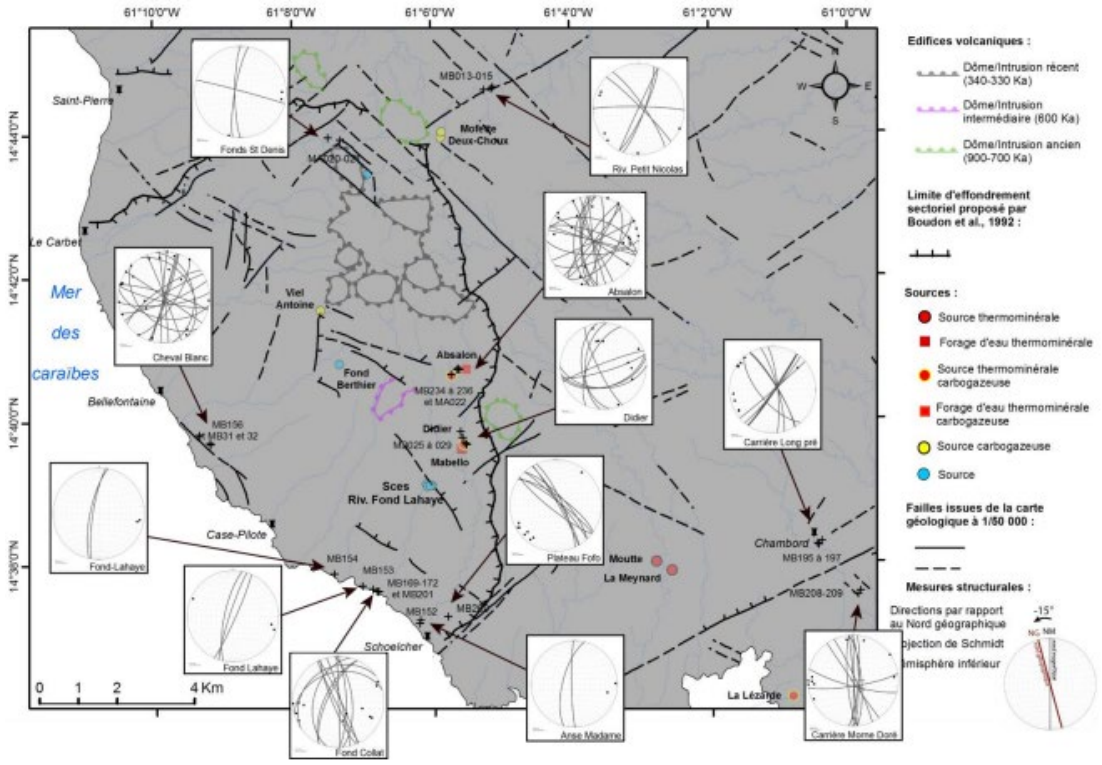


Figure 32 - Esquisse géologique et structurale du massif des Pitons du Carbet avec les stéréogrammes des structures relevées sur le terrain, d'après la carte géologique au 1/50 000 de la Martinique (Westercamp et al., 1989) et des travaux plus récents (Gadalia et al., 2014).

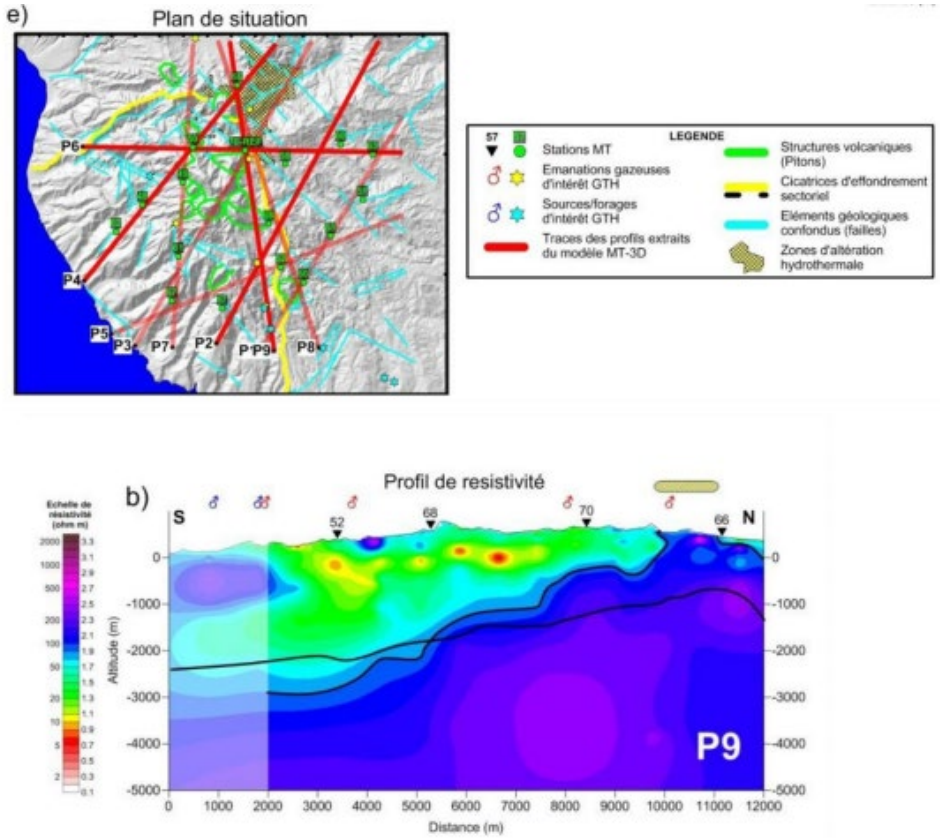


Figure 33 - Profil de résistivité N-S P9 résultant de l'inversion des stations MT situées sur les Pitons du Carbet (Coppo et al., 2014 ; Gadalia et al., 2017).

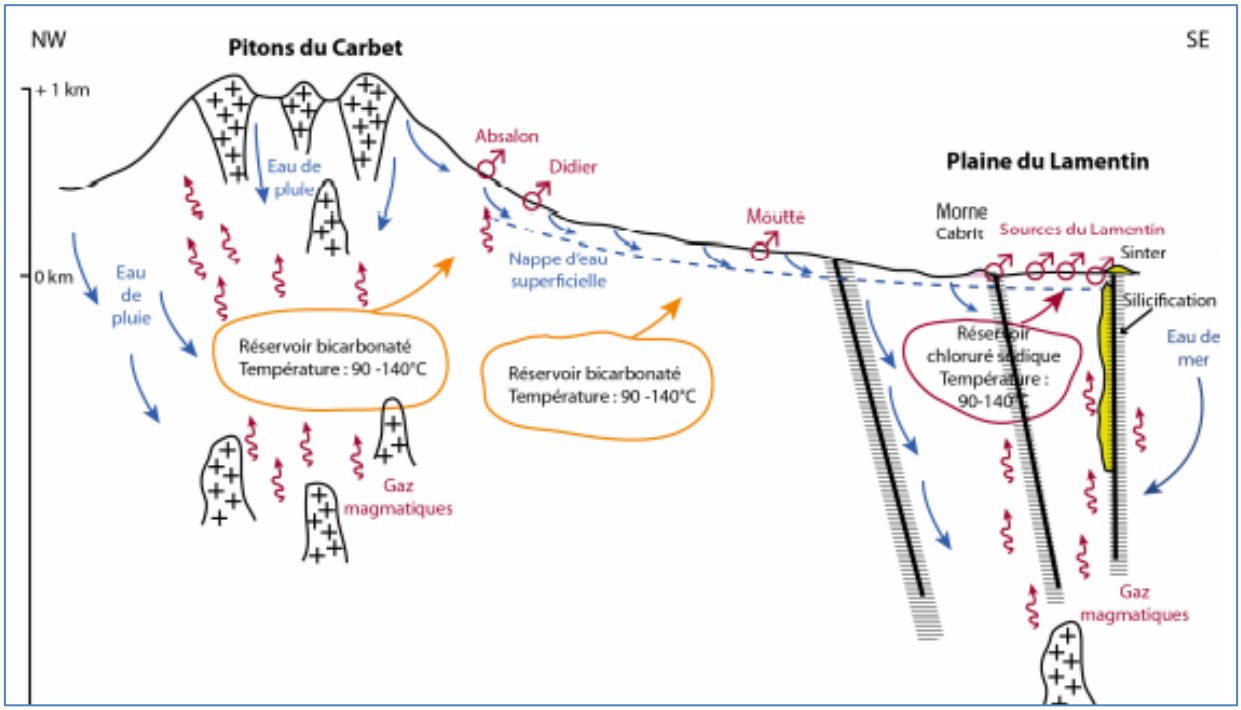


Figure 34 - Modèle conceptuel des systèmes hydrothermaux des pitons du Carbet et de la plaine du Lamentin suivant une coupe NO-SE (Gadalia et al., 2017).

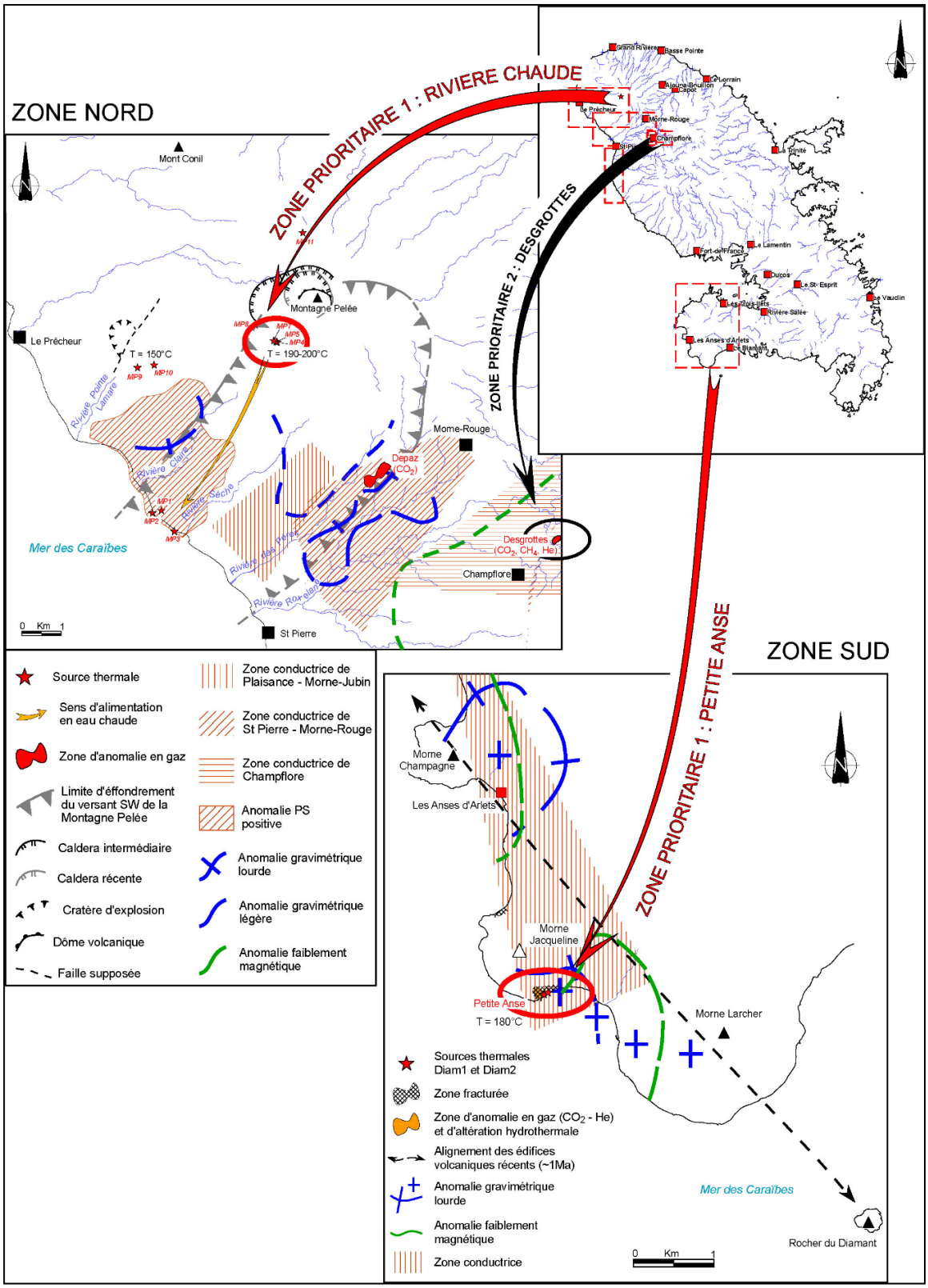


Figure 35 - Schéma de synthèse des travaux du BRGM de 2003 représentant les zones prioritaires pour l'implantation de forages d'exploration géothermique de haute température en Martinique (Sanjuan et al., 2003b).

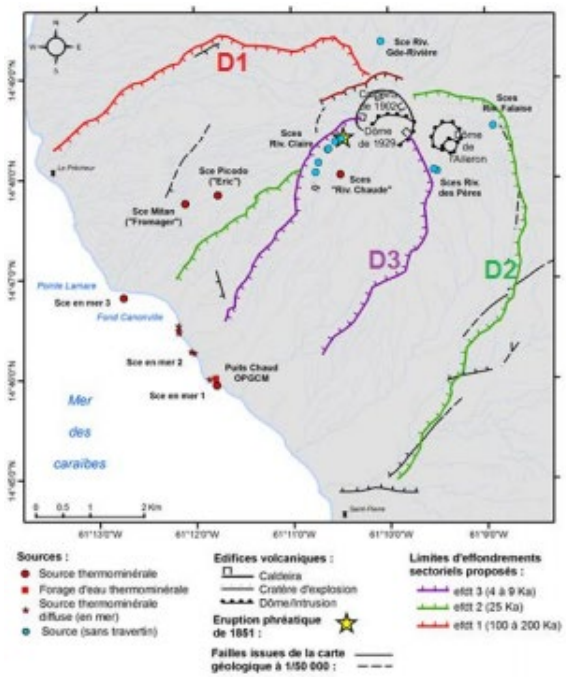


Figure 36 - Carte de synthèse du massif de La Montagne Pelée. Les manifestations hydrothermales répertoriées ainsi que le tracé des structures d'effondrement sectoriel ayant affecté le flanc sud-ouest de l'édifice volcanique (Le Friant et al., 2003) sont localisées (Gadalia et al., 2014).

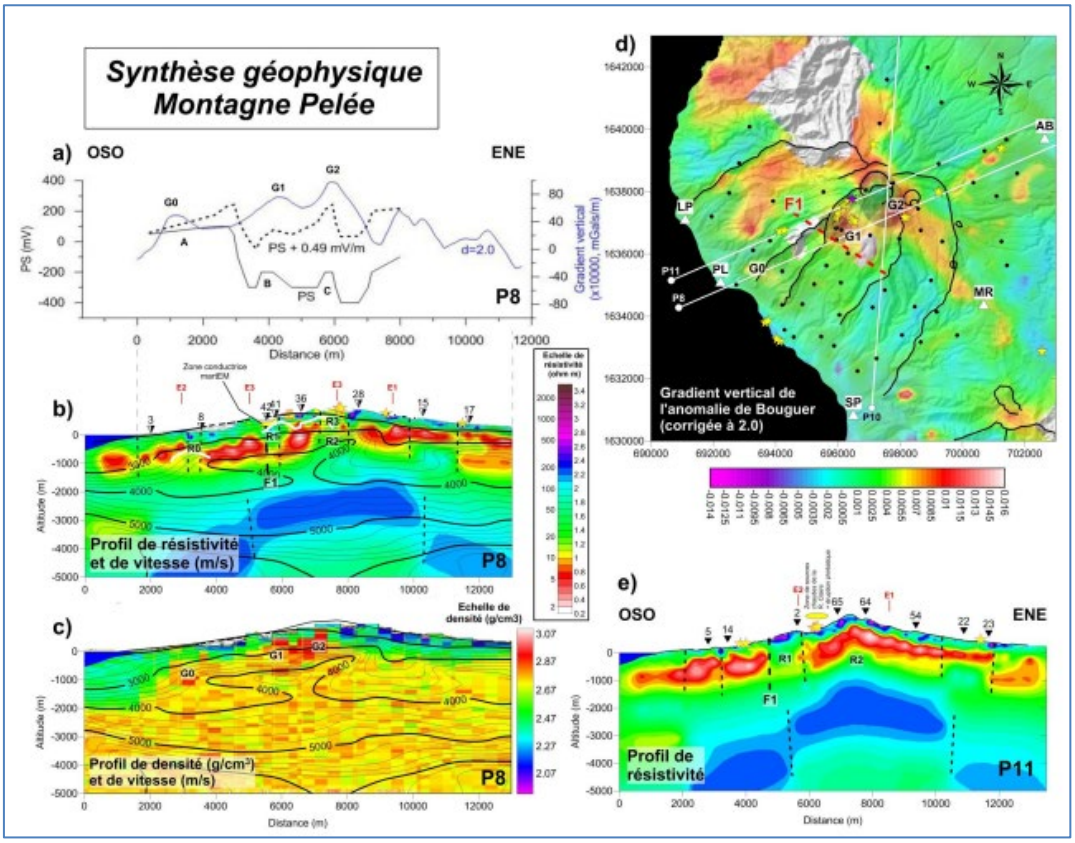


Figure 37 - Comparaison des informations de polarisation spontanée (PS), de résistivité (MT), de sismicité (vitesse) et de gravimétrie (densité) acquises dans la région de La Montagne Pelée (Gadalia et al., 2014).

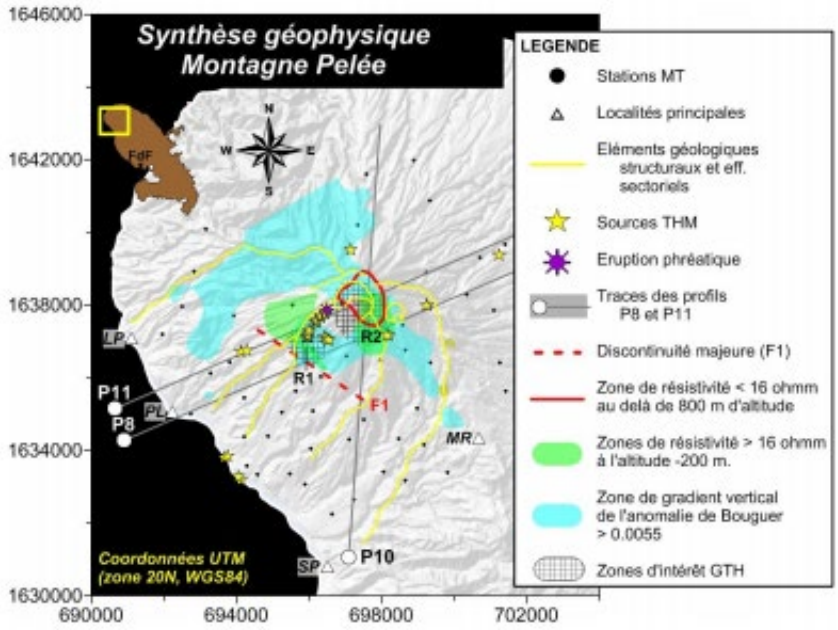


Figure 38 - Carte de synthèse des principales observations géophysiques sur le massif volcanique de La Montagne Pelée (Gadalia et al., 2014).

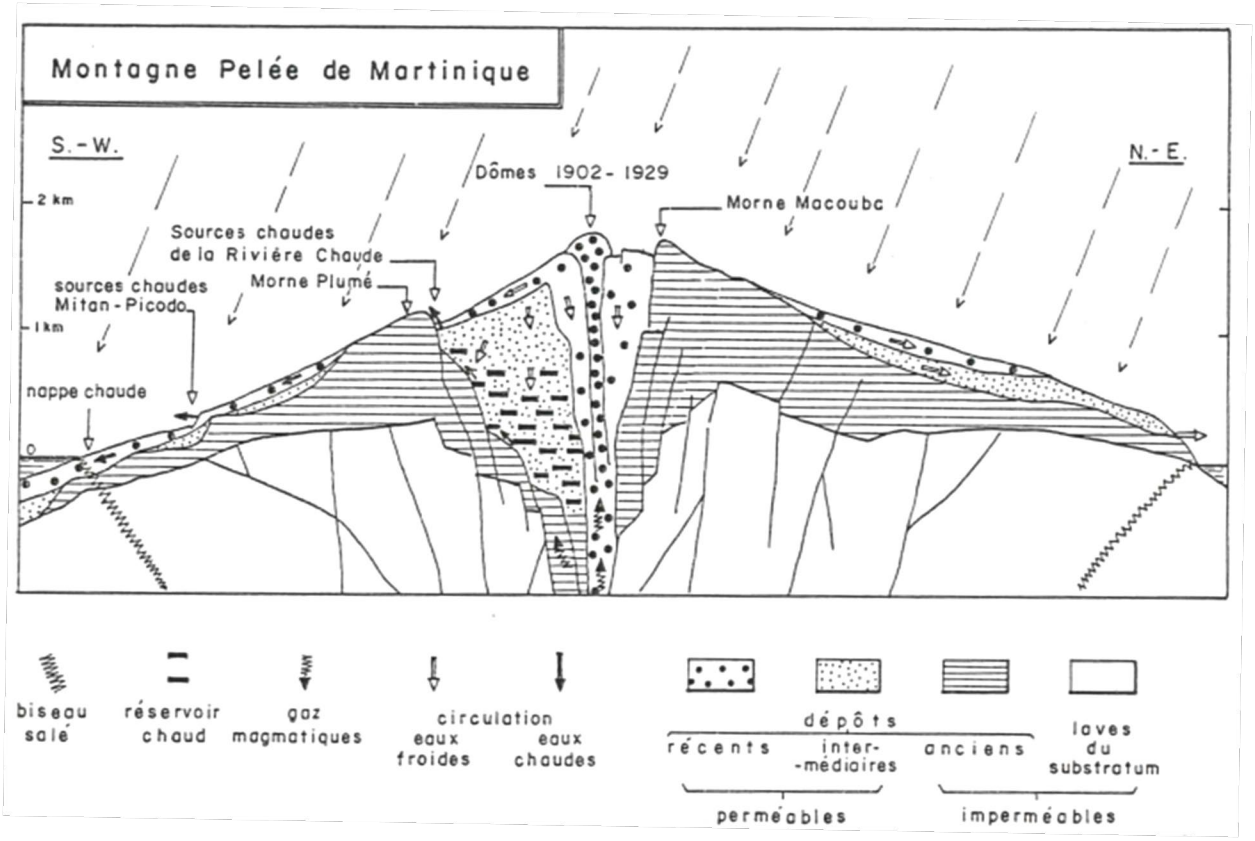


Figure 39 - Modèle hydrodynamique de La Montagne Pelée (Barat, 1982).

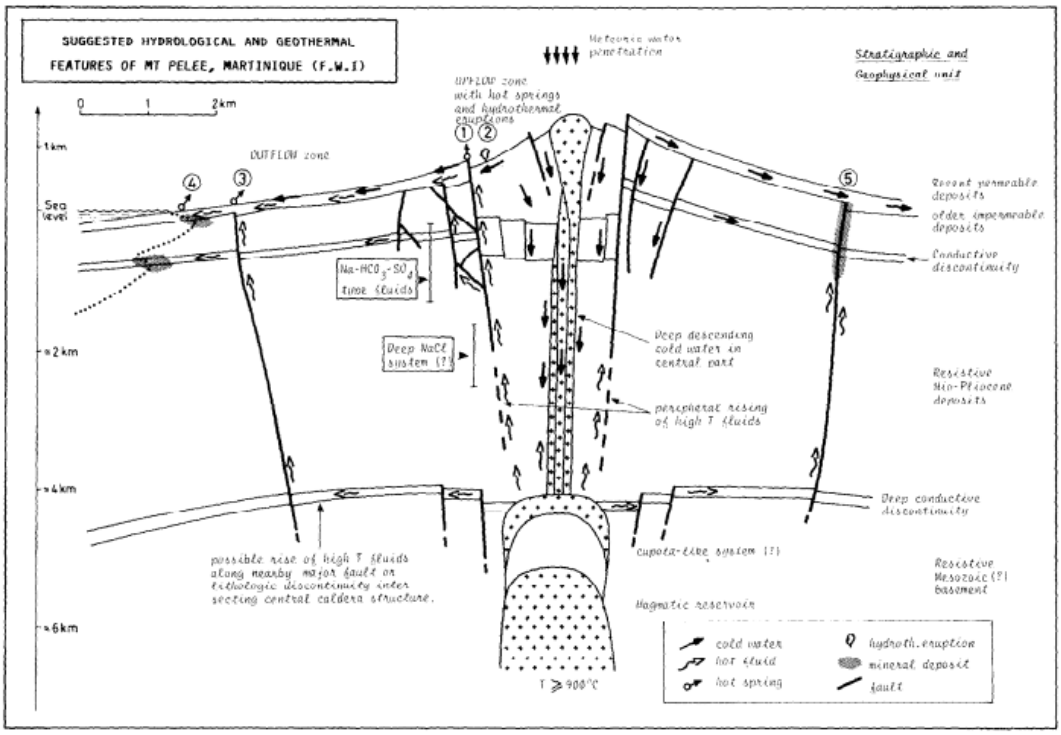


Figure 40 - Coupe verticale conceptuelle du massif volcanique de La Montagne Pelée, suggérant le fonctionnement du système hydrothermal associé à ce strato-volcan de type andésitique. Les échelles verticales et horizontales sont identiques (Traineau et al., 1989).

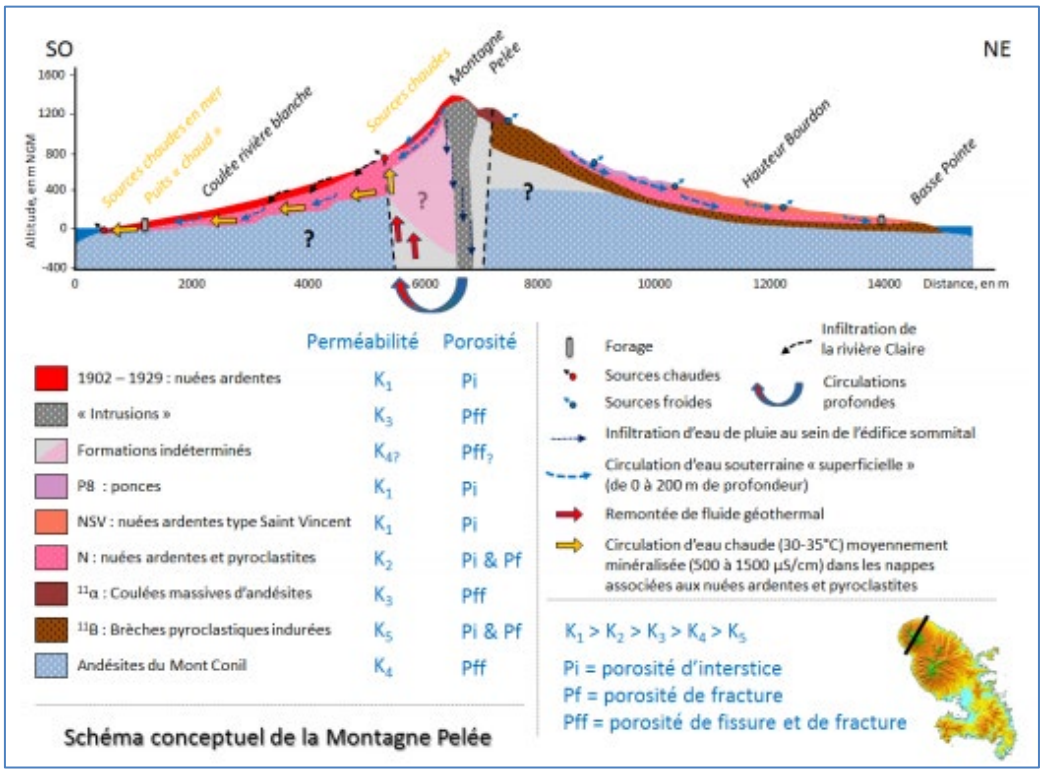


Figure 41 - Modèle conceptuel de circulation des eaux souterraines du massif volcanique de La Montagne Pelée (Gadalia et al., 2014).

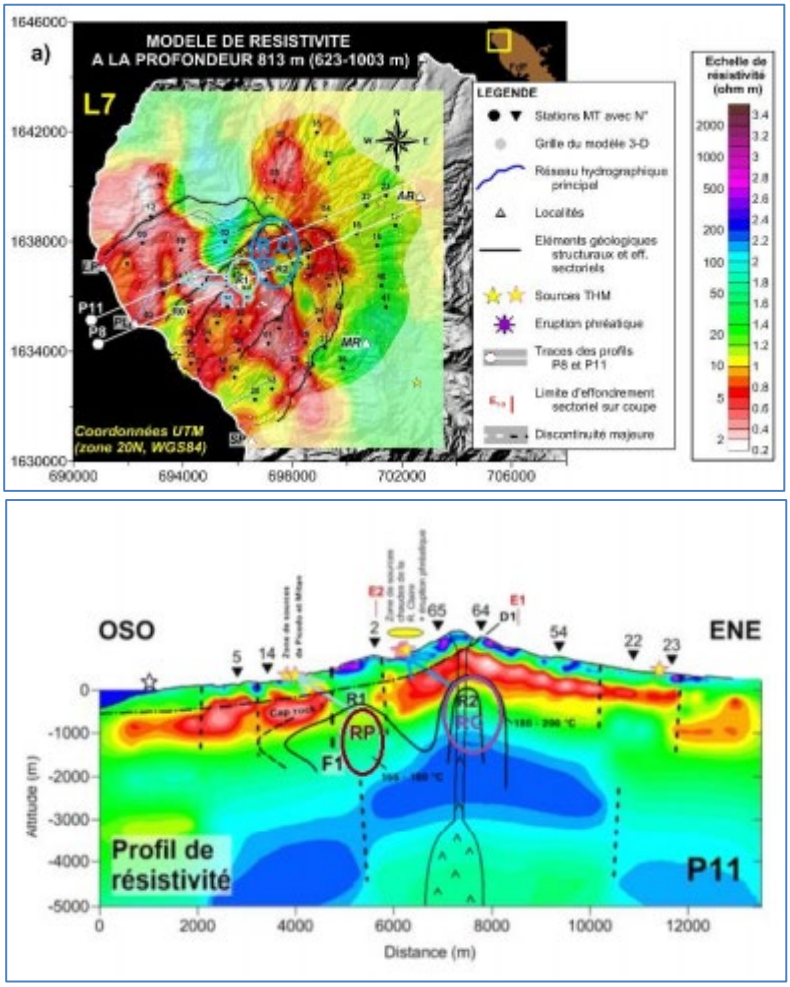


Figure 42 - Carte et coupe interprétative OSO-ENE du système hydrothermal associé au massif volcanique de La Montagne Pelée indiquant les réservoirs cibles (Gadalia et al., 2014). RC : réservoir central alimentant les sources de la rivière Chaude ; RP : réservoir périphérique alimentant les sources de la rivière Picodo.

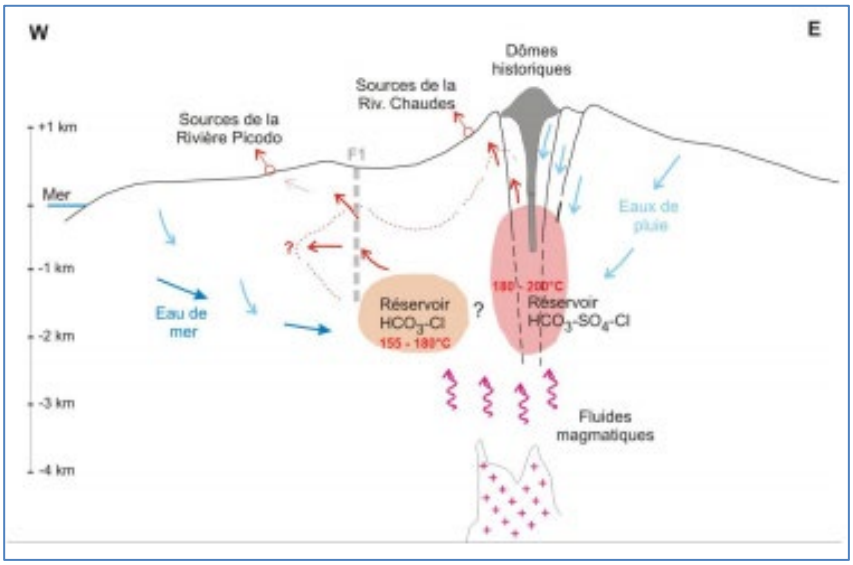


Figure 43 - Schéma conceptuel proposé pour le système hydrothermal associé au massif volcanique de La Montagne Pelée (Gadalia et al., 2014).

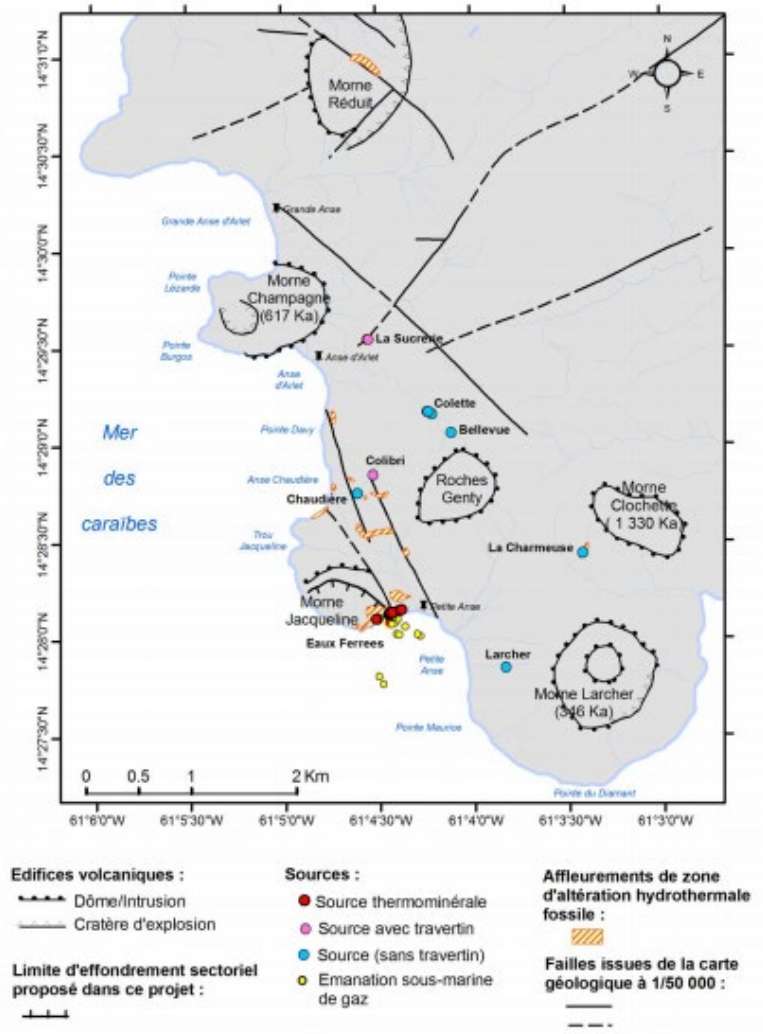


Figure 44 - Carte de localisation des sources et des affleurement affectés par une altération hydrothermale, repérés dans la zone des Anses d'Arlet (Gadalia et al., 2014).

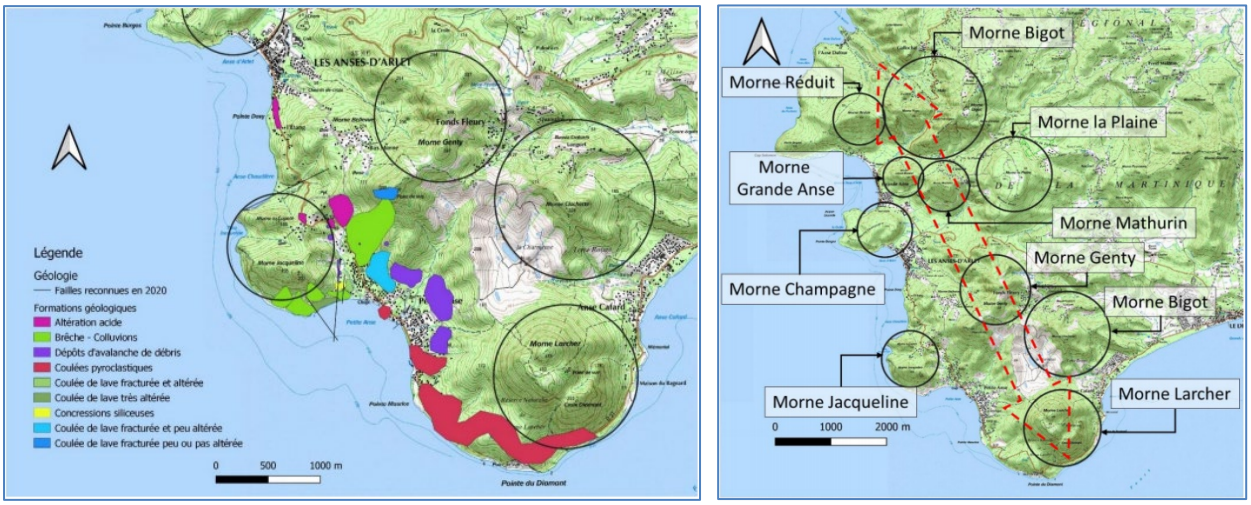


Figure 45 - Cartographie géologique simplifiée de la zone d'étude, suite aux observations de surface, et localisation des principaux appareils volcaniques identifiés (cercles noirs), avec interprétation d'un axe volcano-tectonique NNO-SSE (Darnet et al., 2020).

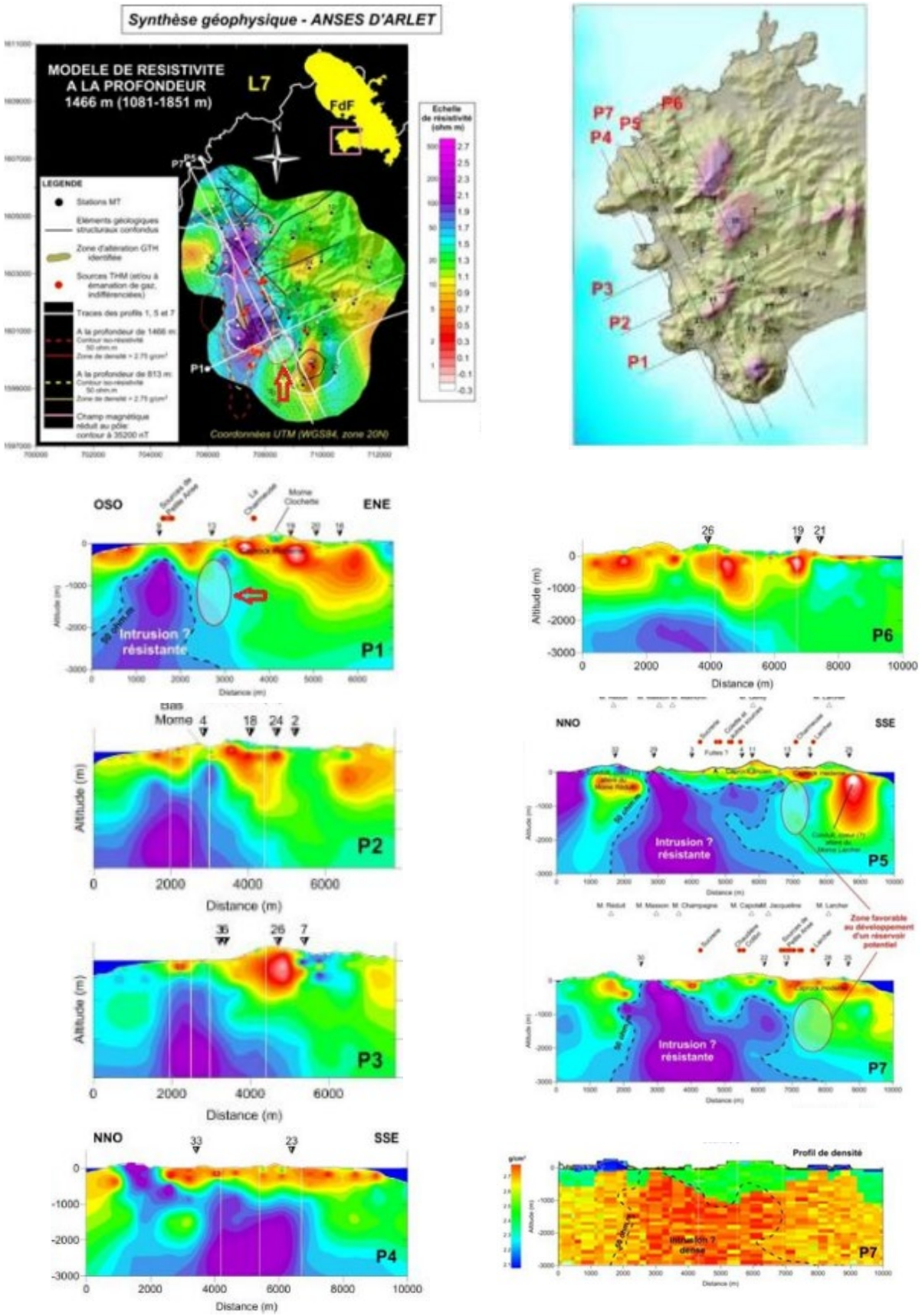
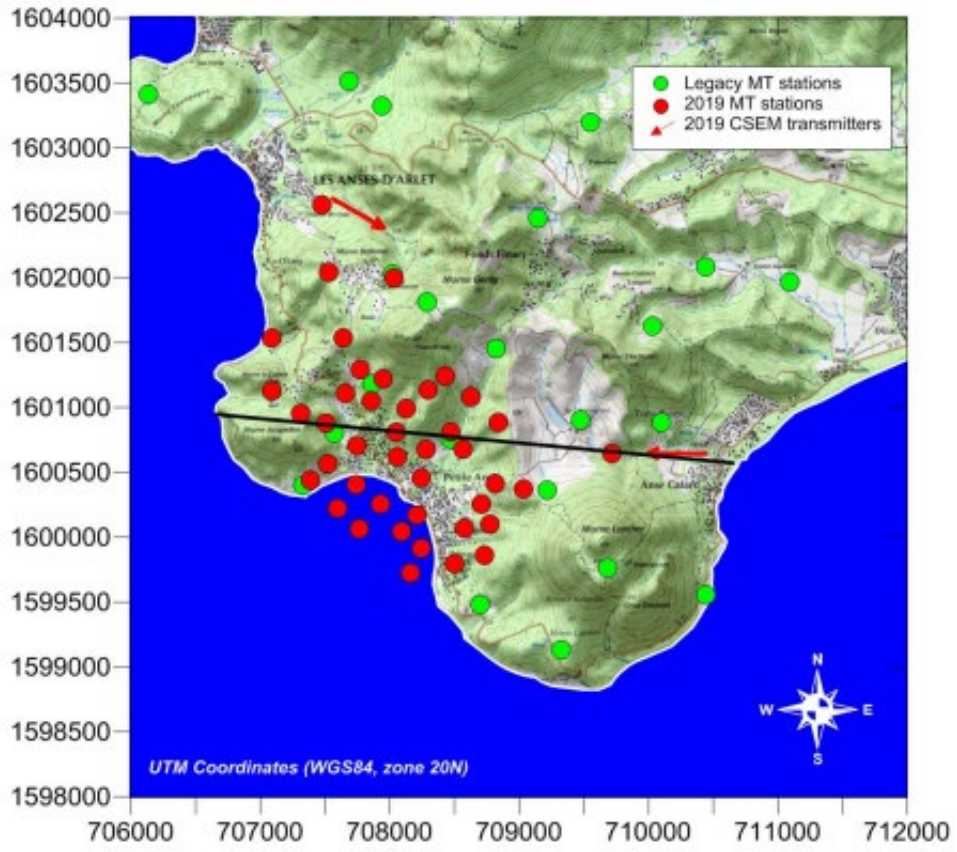


Figure 46 - Représentations en plan et en coupes (P1 à P7) de la distribution des résistivités et des densités (P7) sur la zone des Anses d'Arlet (Gadalia et al., 2014 ; Darnet et al., 2020).



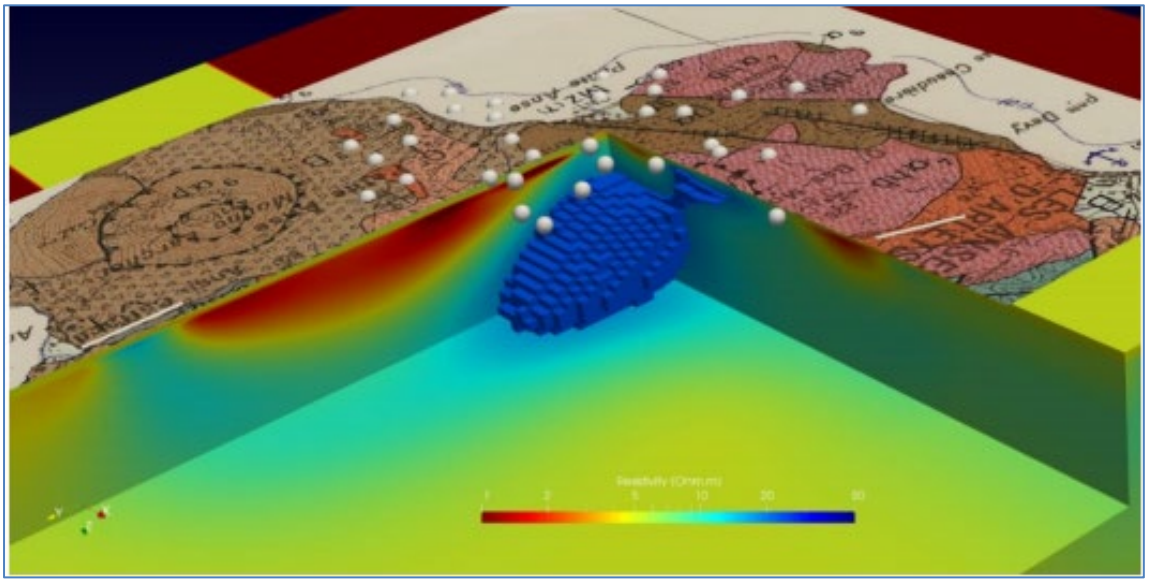


Figure 47 - Vue du haut : *carte d'implantation des stations MT de 2014 (cercles verts) et des stations CSEM/MT de 2019 (cercles rouges). Les flèches rouges représentent les émetteurs électromagnétiques CSEM. Vue du bas : cube de resistivité obtenu après inversion 3D des données CSEM acquises en 2019. L'anomalie bleue est interprétée comme un paleo-réservoir géothermal, développé sous une paléo-caprock (anomalie très conductrice rouge-oranger) (Darnet et al., 2020).*

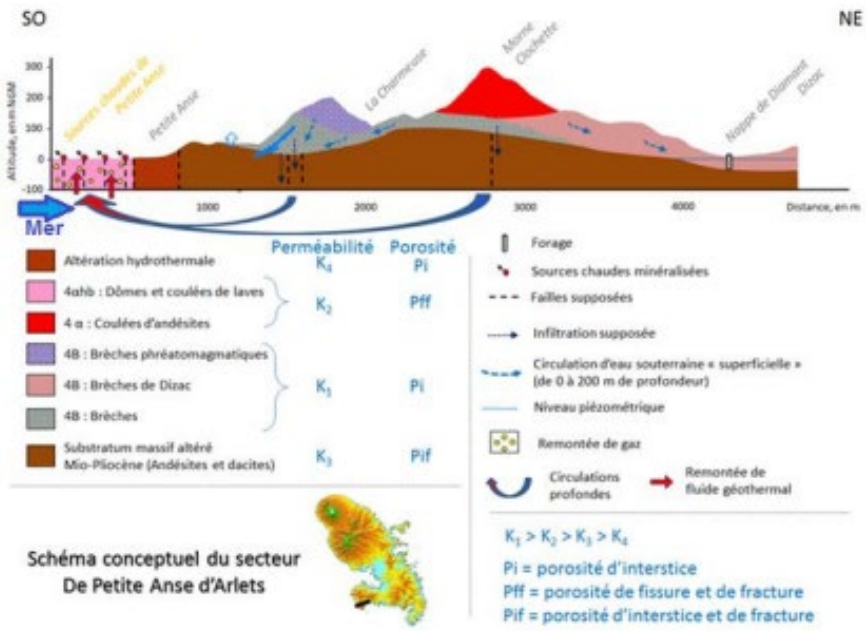


Figure 48 - Modèle conceptuel de circulation des eaux souterraines de la zone des Anses d'Arlet (Gadalia et al., 2014).

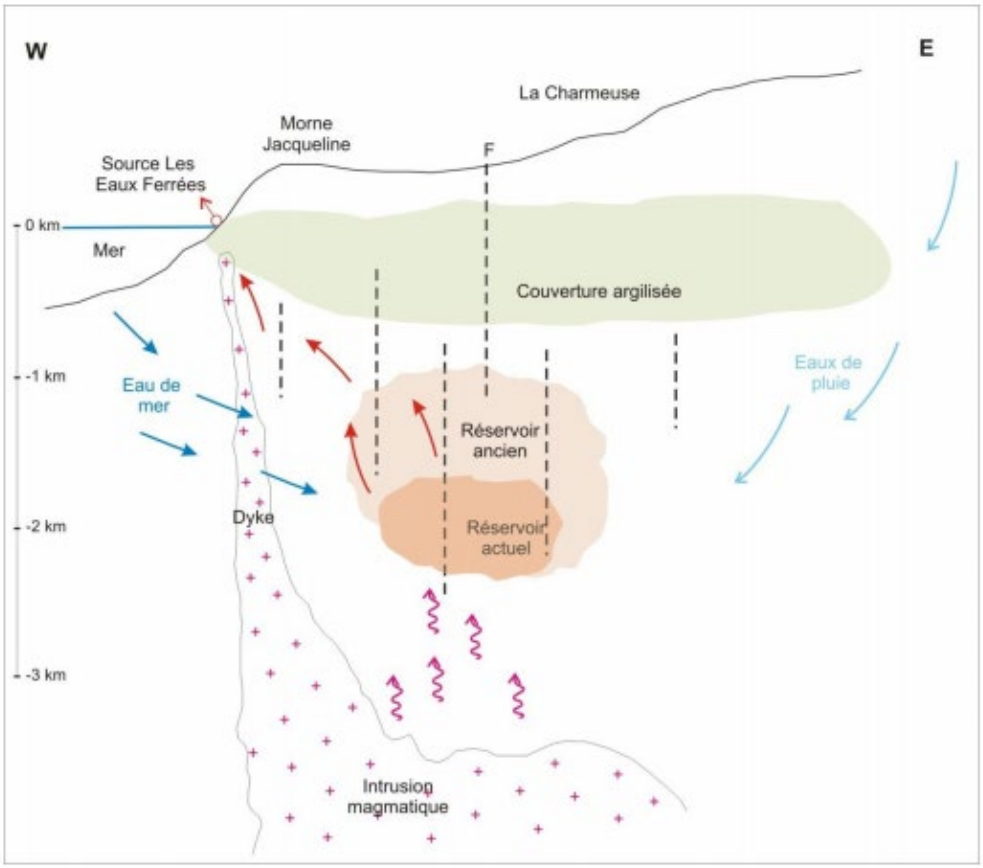


Figure 49 - Modèle conceptuel proposé pour le système géothermique de Petite Anse dans la zone des Anses d'Arlet (Gadalia et al., 2014).

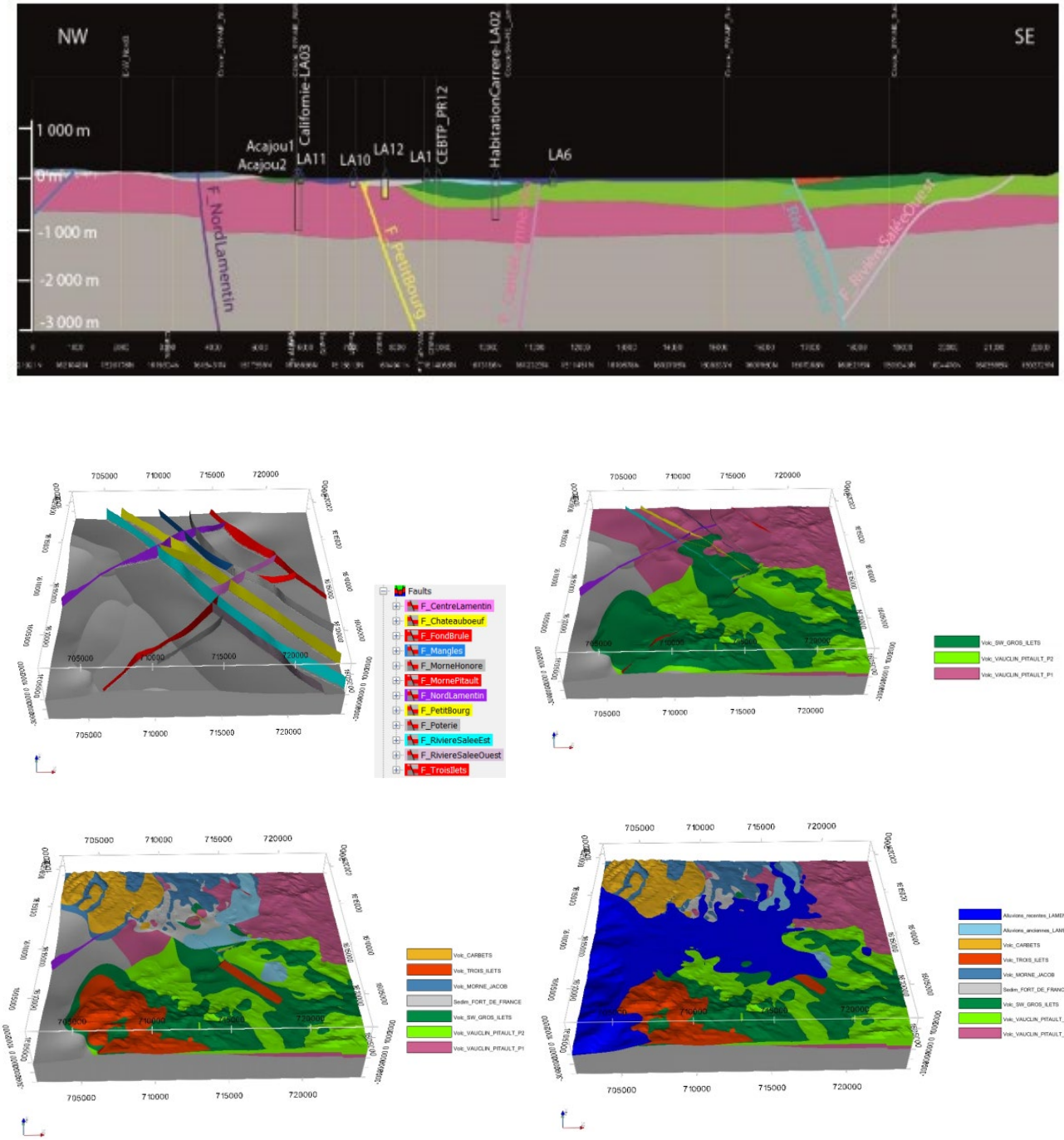
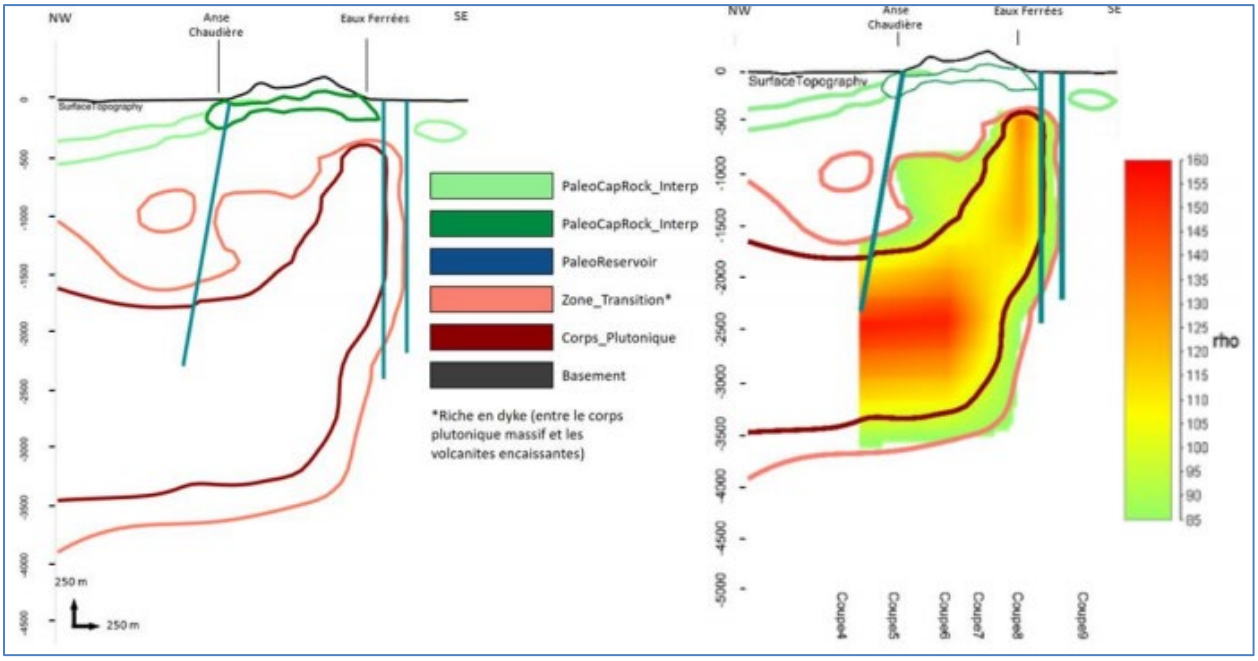


Figure 50 - Site de la plaine du Lamentin. Vue du haut : coupe verticale passant par les forages d'exploration de Californie (LA-03) et d'Habitation Carrère (LA-02) ainsi que certains forages de mesure de gradient de température (LA-1, LA-6, LA-11 et LA-12), issue de la modélisation 3D avec GeoModeller. La partie en gris représente le socle indéfini. Vues suivantes : modèle 3D comprenant le socle indéfini (en gris), avec les douze failles supposées et les différentes séries superposées simplifiées, qui constituent le sous-sol de la plaine du Lamentin (séries volcaniques Vauclin Pitault et SW Gros Ilet, série sédimentaire Fort de France, séries volcaniques Morne Jacob et trois Ilets, séries du Carbet et des alluvions anciennes) (Gadalia et al., 2017 ; Labeau, 2018).



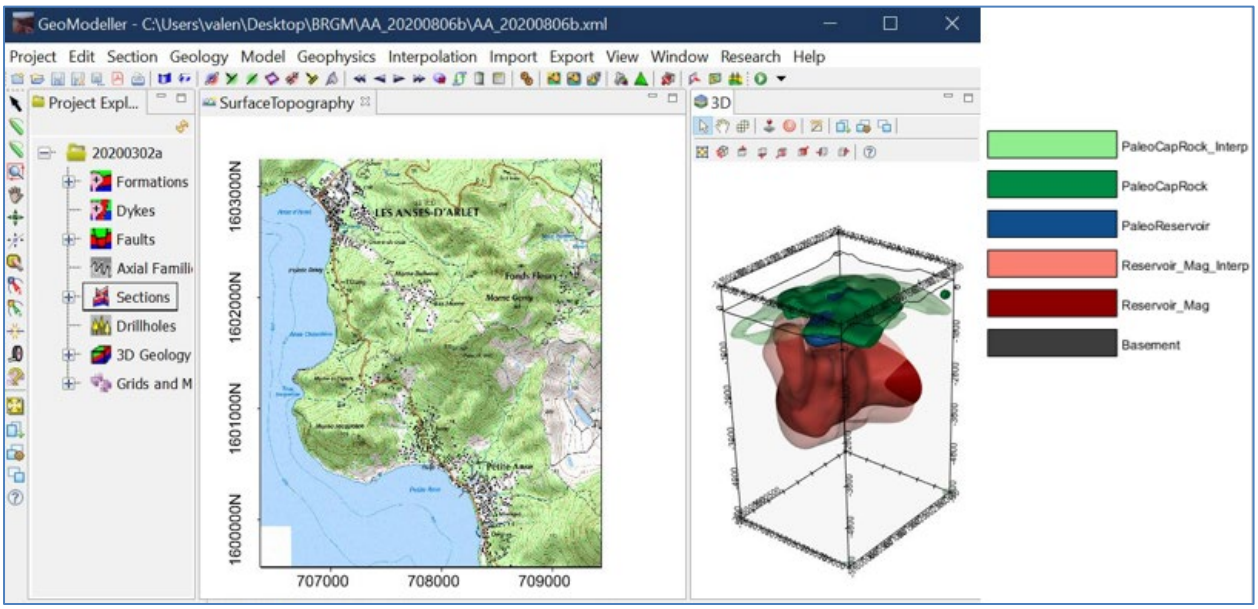
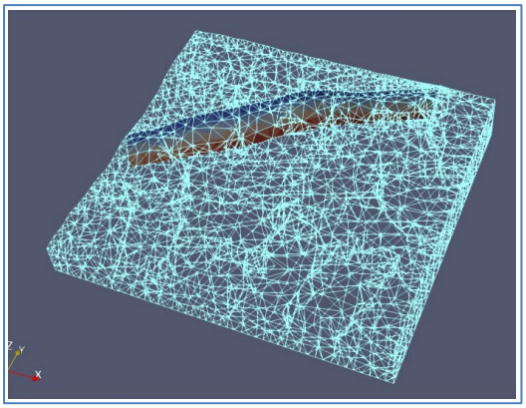
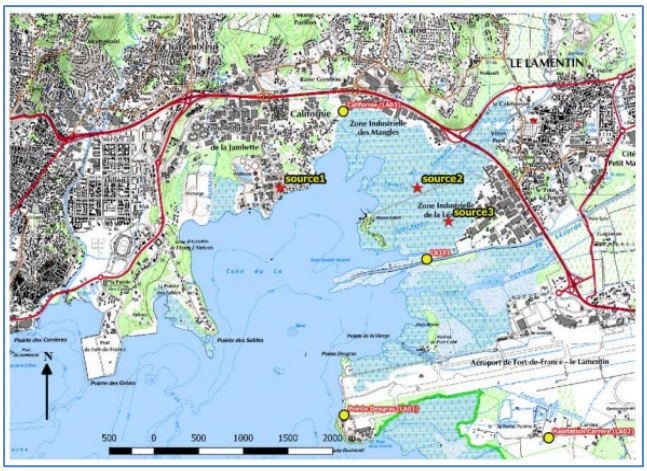
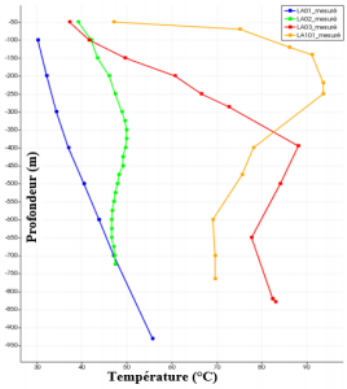


Figure 51 - Site des Anses d'Arlet. Vue du haut : coupe orientée NO-SE. A gauche, coupe géologique des résultats de l'interprétation sur GeoModeller. A droite, le corps plutonique massif (anomalie jaune à rouge) est marqué par une anomalie très résistante de la MT, entre 100 et 160 Ω.m, tandis que l'anomalie en vert comprenant des valeurs entre 85 et 100 Ω.m, représente une zone de transition riche en dykes, en bordure du corps massif. Vue du bas : modèle 3D du système géothermique des Anses d'Arlet réalisé avec le logiciel GeoModeller (Jacob, 2020 ; Darnet et al., 2020).

Dans la région de la plaine du Lamentin, des travaux de modélisation thermo-hydrodynamique ont commencé par être réalisés (fig. 52), dans le cadre d'un projet de service public sur la consolidation de l'exploration géothermique au Lamentin (Gadalia *et al.*, 2017 ; Lopez *et al.*, 2018) et de la thèse de Labeau (2018). Il en a été de même pour la région des Anses d'Arlet (Jacob, 2020 ; Darnet *et al.*, 2020).







Coordonnées des forages d'exploration dans le système WGS84 UTM 20N.

Forages d'exploration	X	Y
Pointe Desgras (LA01)	712936	1613490
Habitation Carrère (LA02)	715226	1613240
Californie (LA03)	712926	1616840
LA101	713861	1615210

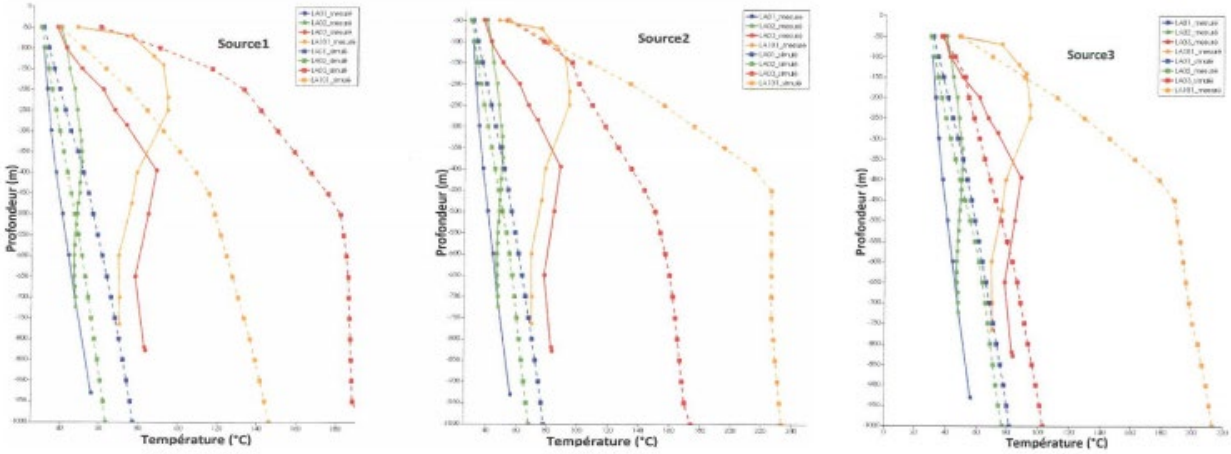


Figure 52 - Modélisation thermo-hydrodynamique avec le logiciel COMPASS (Labeau, 2018). Vues du haut : maillage grossier du modèle géologique ne considérant qu'une seule faille (ici, celle dite Nord-Lamentin), qui présente l'avantage de se prolonger en partie sous la baie de Fort-de-France (fig. 26) et localisation des quatre forages d'exploration et des trois sources de chaleur considérées pour la modélisation. Vue du milieu : géothermes mesurés à partir des forages LA-01, LA-02, LA-03 et LA-101. Vues suivantes : résultats des simulations de géothermes pour les trois positions de source de chaleur.

2.2.2. Etudes d'exploration sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones

Parmi les principales études d'exploration globales concernant l'ensemble de l'île ou plusieurs zones, on peut citer celles de :

- Sambuc (1869) sur l'étude concernant les eaux thermales de la Martinique ;
- De Reynal (1936) sur les sources thermales de la Martinique ;
- Cormy *et al.* (1970) sur la prospection géothermique aux Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique ;
- Westercamp (1972) sur la contribution à l'étude du volcanisme en Martinique, Petites Antilles ;
- Bellon *et al.* (1974) sur les données géochronométriques relatives au volcanisme martiniquais, Antilles françaises ;
- Cayol (1975) sur la contribution à l'étude hydrologique et hydrogéochimique de la Martinique ;
- Pelletier (1976) sur la contribution à l'étude du volcanisme d'arcs insulaires en Martinique ;
- Lopoukhine et Mouret (1977) sur l'étude géothermique des sources de la Martinique ;
- Westercamp (1978) sur une contribution à l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Martinique : relations entre les phénomènes hydrothermaux anciens et les structures volcano-tectoniques profondes et de surface ;
- Westercamp (1979) sur la diversité, le contrôle structural et l'origine du volcanisme récent dans l'arc insulaire des Petites Antilles ;
- Eschenbrenner *et al.* (1980) sur les coupes sismiques des structures superficielles dans les Petites Antilles - II : Martinique ;
- Gérard A. *et al.* (1981) sur l'étude géologique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles françaises ;
- Verzier et Westercamp (1982) sur les aspects hydrogéologiques des zones du Lamentin et de Morne Rouge ;
- Westercamp *et al.* (1982) sur les premiers éléments vers la sélection de sites géothermiques, en Martinique ;
- Iundt (1982) sur la prospection des teneurs en mercure dans les sols de la Martinique ;
- Bouysse *et al.* (1983) sur la bathymétrie détaillée (Seabeam) et anomalies magnétiques dans les Antilles françaises ;
- Bouysse et Guennoc (1983) sur les données sur la structure de l'arc insulaire des Petites Antilles entre Ste-Lucie et Anguilla ;
- Iundt (1984) sur la réévaluation géochimique du potentiel géothermique de l'île de la Martinique ;
- Barthes et Fabriol (1984) sur l'exploration géothermique par méthode magnétotellurique des zones de Morne Rouge et du Lamentin dans l'île de la Martinique ;
- Barthes *et al.* (1984) sur la recherche de cibles géothermiques dans l'île de la Martinique (zone de Morne Rouge et du Lamentin) par la méthode magnétotellurique ;
- Chovelon (1984a) sur le contexte géothermique des prospects du Lamentin et du Morne Rouge ;

- Chovelon (1984b) sur le cadre structural des minéralisations hydrothermales des prospects du Lamentin et du Morne Rouge ;
- Chovelon (1985) sur la distribution du mercure et de l'arsenic dans les prospects du Lamentin et du Morne Rouge - Montagne Pelée ;
- Chovelon et Marty (1985) sur les analyses des gaz dans les sols sur les zones du Lamentin et du Morne Rouge - Montagne Pelée ;
- Lafforgue *et al.* (1985) sur l'apport de l'étude des xénolites dans l'évaluation du potentiel géothermique et l'origine des dynamismes éruptifs : exemple de La montagne Pelée, Martinique, et du Sud de la Dominique ;
- Bouysse *et al.* (1985) sur le volcanisme sous-marin Néogène récent au large des côtes caraïbes des Antilles françaises. Relations avec le volcanisme à terre et évolution du front volcanique ;
- Chabellard *et al.* (1986) sur les déformations et régime de contraintes actuel et récent dans l'arc des Petites Antilles, entre Martinique et Antigua ;
- Bouysse et Westercamp (1988) sur les effets de la subduction des rides océaniques sur l'évolution d'un arc insulaire : l'exemple des Petites Antilles ;
- Grellet *et al.* (1988) sur le cadre général de la tectonique récente de la Martinique ;
- Andreieff *et al.* (1989) sur la géologie de l'arc insulaire des Petites Antilles et évolution géodynamique de l'Est Caraïbe ;
- Chabellard *et al.* (1989) sur le cadre géodynamique de l'arc des Petites Antilles ;
- Bouysse et Westercamp (1990) sur la subduction des rides asismiques Atlantiques et l'évolution du Cénozoïque Supérieur de l'arc des Petites-Antilles ;
- Van Soest *et al.* (1998) sur le traçage des contributions crustales et de plaques au magmatisme d'arc dans les îles des Petite-Antilles en utilisant la relation entre l'hélium et le carbone dans les fluides géothermaux ;
- Pedroni *et al.* (1999) sur les concentrations de He, Ne, Ar, et C des émanations géothermales dans l'arc des Petites Antilles ;
- Feuillet (2000) sur la sismo-tectonique des Petites Antilles. Liaison entre activité sismique et volcanique ;
- Terrier et Combes (2002) sur les failles actives et l'évaluation de l'aléa sismique : prise en compte des failles actives dans l'aménagement du territoire aux Antilles (Martinique et Guadeloupe). Partie 1 : identification des systèmes de failles actives dans l'archipel de la Guadeloupe et de l'île de la Martinique ;
- Gros (2002) sur les failles actives à faible fréquence de rupture en surface en Martinique ;
- Genter et Roig (2003) sur la réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant : étude géologique ;
- Baltassat *et al.* (2003) sur la réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant : étude géophysique ;
- Sanjuan *et al.* (2003b) sur la réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant : étude géochimique ;

- Sanjuan *et al.* (2003c) sur la réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant : principales conclusions et recommandations ;
- Sanjuan *et al.* (2005) sur l'exploration géothermique dans les zones de Montagne Pelée-Morne Rouge et Diamant : données géochimiques ;
- Germa (2008) sur l'évolution volcano-tectonique de l'île de la Martinique (arc insulaire des Petites Antilles) : nouvelles contraintes géochronologiques et géomorphologiques ;
- Labanieh (2009) sur la géochimie de l'île de la Martinique aux Petites Antilles ;
- Millot *et al.* (2010) sur les isotopes du lithium dans les systèmes d'arc insulaire : Guadeloupe, Martinique (French West Indies), avec une approche expérimentale ;
- Gadalia *et al.* (2011) sur la faisabilité et l'évaluation d'un programme de prospection et de valorisation géothermique en Martinique ;
- Gal (2012) sur les compléments d'exploration géothermique de la Martinique : suivi géochimique des gaz du sol, mesures de février, mars et juin 2012 ;
- Vittecoq et Gutierrez (2012) sur les compléments d'exploration géothermique de la Martinique. Volet hydrogéologie ;
- Martelet *et al.* (2012) sur les compléments d'exploration géothermique de la Martinique. Synthèse, retraitement et réinterprétation des données existantes pour la gravimétrie et le magnétisme ;
- MarTEM (2013) : rapport d'acquisition et traitement des données de géophysique, SkyTEM & Aarhus ;
- Traineau *et al.* (2013) sur les compléments d'exploration géothermique en Martinique : volet géologie ;
- Baltassat (2013) sur un complément d'exploration géothermique de la Martinique. Inventaire et réinterprétation des données électrique et électromagnétiques existantes ;
- Coppo *et al.* (2014) sur l'exploration géophysique (magnétotellurique et gravimétrie) du potentiel géothermique de la Martinique (Montagne Pelée, Anses d'Arlet, Pitons du Carbet et Lamentin) ;
- Deparis *et al.* (2014) sur l'acquisition géophysique héliportée électromagnétique de la Martinique ;
- Gadalia *et al.* (2014) sur les compléments d'exploration géothermique en Martinique. Volet géochimie des fluides ;
- Gadalia *et al.* (2014) sur les 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.
- Coppo *et al.* (2015) sur les recherches magnétotelluriques 3-D pour l'exploration géothermique, en Martinique.

2.2.3. Principales études de synthèse

Ces études de synthèse ont commencé à partir de 1979. On peut citer les travaux de :

- Mouret (1979b) sur la synthèse des connaissances sur les sources thermales de la Martinique ;
- Chovelon *et al.* (1985) sur la synthèse des données géothermiques acquises dans le cadre de la Convention 1983 : île de la Martinique ;
- CFG (1986) sur l'évaluation des ressources géothermiques de l'île de la Martinique. Synthèse géologique ;
- Sanjuan *et al.* (2003a) sur la synthèse des connaissances en géologie, géochimie des fluides et géophysique concernant le potentiel géothermique des régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant ;
- Gadalia *et al.* (2014) sur les 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, avec la réalisation d'un SIG.

2.2.4. Principaux projets d'exploration géothermique récents

Après la période importante de prospection géothermique menée sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones, dans les années 70-90, il a fallu attendre les années 2000 pour voir la reprise de travaux d'exploration en Martinique. Ceux-ci ont démarré dans la plaine du Lamentin, en 2001, avec la réalisation des trois forages profonds d'exploration, et les travaux d'accompagnement scientifique. Ils se sont ensuite poursuivis en 2003 dans les régions de La Montagne Pelée - Morne Rouge et des Anses d'Arlet. Ensuite, après une période de pause, ces travaux ont repris en 2012 et se sont poursuivis jusqu'à nos jours.

Les principaux projets d'exploration, qui ont été menés à partir de 2001, sont les suivants :

- projet de recherche de géothermie aux Antilles 2001-ENE-R04 (GHEDOM) sur les travaux scientifiques associés à la réalisation des trois puits d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin, en Martinique, cofinancé par l'ADEME Martinique (convention n°99.05.026) (2001-2002) ;
- projet de recherche de géothermie aux Antilles 2003-ENE-R04 (GHEDOM) sur les travaux de réévaluation du potentiel géothermique des régions de Morne Rouge-Montagne Pelée et de Diamant, cofinancé par la Région et l'ADEME Martinique, et les Fonds FEDER (conventions n°0144048 et n°01D100304, respectivement) (2001-2003) ;
- dans le cadre du précédent projet, à signaler une sous-traitance passée à Guillaume Lalubie pour aller faire des prélèvements d'échantillons de fluide sur des sources thermales de La Montagne Pelée difficiles d'accès, qui a été intégrée à la fois dans le projet précédent et dans la thèse de Guillaume Lalubie sur « Les cours d'eau du Massif de La Montagne Pelée : une approche multi-scalaire pour appréhender les risques hydro-volcano-géomorphologiques » (Université Antilles-Guyane) soutenue en 2010 ;
- projet de service public SIGESMAR sur un « Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Caractérisation physico-chimique naturelle des eaux souterraines », incluant l'étude de la qualité et de la vulnérabilité de la ressource, et cofinancé par la Région et la DIREN Martinique (2006-2008) ;

- projet de service public de faisabilité et évaluation d'un programme de prospection et de valorisation géothermique en Martinique, avec mise en place d'un comité de pilotage (Région et ADEME Martinique, BRGM, Observatoire Volcanologique et Sismologique de La Montagne Pelée (OVSMP) - IPGP, Université Antilles-Guyane / Département des Sciences Inter-Facultaires (UAG/DSI), Municipalités de Morne-Rouge, Anses d'Arlet, Lamentin, DEAL Martinique, Associations de Défense de l'Environnement ASSAUPAMAR et FEDAPE), cofinancé par la Région et l'ADEME Martinique (2010-2011) ;
- projet de service public sur des « 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 », cofinancé par le FEDER, l'ADEME, le Conseil Régional et le Syndicat Mixte d'Electricité de la Martinique (SMEM) (2012-2014) ;
- étude technico-économique d'un programme de mesures et de tests sur le puits d'exploration géothermique de Californie au Lamentin, en Martinique, proposée par CFG-Services, dans le cadre d'une sous-traitance dans le projet précédent (2013) ;
- projet de service public MAR_CONSOL_GTH (PSP15MAR10) sur la consolidation de l'exploration géothermique au Lamentin, en Martinique, cofinancé par l'ADEME Martinique, la Collectivité Territoriale de Martinique (CTM) et le SMEM (2015-2020) ;
- thèse de Doctorat de Yannis Labeau de l'Université des Antilles sur le « Couplage de la modélisation géologique 3D et de la modélisation hydro-thermique - Apport à la compréhension du système géothermique du Lamentin (Martinique) », réalisée avec le soutien du projet précédent et soutenue le 11 décembre 2018 (2015-2018) ;
- projet de service public sur l'« Etude d'implantation des forages d'exploration géothermique sur la zone de Petite Anse, aux Anses d'Arlet (Martinique) », cofinancé par l'ADEME Martinique, la CTM et SMEM (2019-2020) ;
- convention de la thèse LAMEM de Simon Védrine, entre le BRGM et le laboratoire Géosciences Océan (LCO) de l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), intitulée « Modélisation et inversion jointe de données électromagnétiques terrestres, aéroportées et marines pour la caractérisation de réservoirs géothermiques hautes températures en contexte volcanique insulaire.» (2020-2023).

Ces projets ont été menés principalement sur quatre régions de la Martinique.

a) Région de la plaine du Lamentin

Dans cette région, sans doute la zone la plus étudiée de la Martinique, les travaux d'exploration de surface des années 70-90, qui avaient uniquement pour cible cette région, correspondent à des études de géologie et de géologie structurale (Westercamp, 1982 ; Sauret, 1991 ; Genna, 1994), de géochimie des fluides (Fabriol et Ouzounian, 1985), de géophysique, notamment en magnétotellurique (Puvilland, 1985 ; Puvilland *et al.*, 1985) et d'hydrogéologie (Cottez et Deneufbourg, 1970 ; Cottez, 1971). Des sondages destinés à des mesures de gradients de températures avaient également été réalisés en 1969 (Surcin, 1969), ainsi que le forage profond d'exploration LA-101, en 1970 (Surcin *et al.*, 1970).

A partir de 2001, les principaux travaux menés uniquement sur cette région, qui sont associés aux projets mentionnés précédemment, sont les suivants :

- CFG (2001). Programme d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin, Martinique. Rapport final des travaux des trois sondages d'exploration réalisés à la pointe Desgras, Carrère et Californie ;

- Traineau (2001). Programme d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin, Martinique : rapport final des travaux des trois sondages d'exploration réalisés à la pointe Desgras, Carrère et Californie ;
- CFG (2002). Programme d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin, Martinique. Compte-rendu des travaux additionnels réalisés sur le puits de Californie (LA- 03) en mars 2002 ;
- Sanjuan *et al.* (2001). État d'avancement des travaux scientifiques accompagnant la foration des puits d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin (Martinique) ;
- Mas *et al.* (2001). Étude des altérations hydrothermales des forages du Lamentin (Martinique) ;
- Genter *et al.* (2002). Preliminary geological results of recent exploratory drillings in a geothermal fractured reservoir at Lamentin (French West Indies, Martinique) ;
- Sanjuan *et al.* (2002a). Travaux scientifiques associés à la réalisation des trois puits d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin (Martinique) ;
- Sanjuan *et al.* (2002b). Geochemical investigations during a new geothermal exploration phase in the Lamentin Plain (Martinique, French West Indies) ;
- Traineau et Négrel (2012). Evaluation préalable de la ressource géothermale du Lamentin, en Martinique ;
- Boy et Cotiche (2013). Etude technico-économique d'un programme de mesures et de tests sur le puits d'exploration géothermique de Californie au Lamentin, Martinique ;
- Girard *et al.* (2014). Geothermal exploration of the Lamentin area using Controlled-Source EM method (Martinique, Lesser Antilles, France) ;
- Gadalia *et al.* (2017). Consolidation de l'exploration géothermique au Lamentin ;
- Lopez *et al.* (2018). Geothermal Modeling in Complex Geological Systems with the ComPASS Code ;
- Labeau (2018). Couplage de la modélisation géologique 3D et de la modélisation hydrodynamique - Apport à la compréhension du système géothermique du Lamentin (Martinique) ;
- Gadalia *et al.* (2019). Multimodal geothermal exploration in the Lesser Antilles Arc at the Lamentin low-land (Martinique).

b) Région de La Montagne Pelée - Morne Rouge

Dans cette région, qui concerne le volcan actif de La Montagne Pelée, de nombreuses études ont porté uniquement sur ce volcan, parmi lesquelles celles de :

- Le Prieur (1854). Rapport sur les bouches de La Montagne Pelée à la Martinique ;
- Le Prieur *et al.* (1852) - Eruption 1851 de La Montagne Pelée ;
- Chrétien (1983). Identification et analyse des phénomènes précédant l'éruption du 8 mai 1902 de La Montagne Pelée (Martinique) d'après les documents d'époque ;
- Barat (1984). Étude du rôle des eaux souterraines dans le mécanisme des éruptions phréatiques. Application à La Montagne Pelée de Martinique et à La Soufrière de Guadeloupe ;

- Westercamp et Traineau (1987). Schéma hydrogéologique et géothermique d'un stratovolcan d'arc insulaire : exemple de La montagne Pelée, Martinique (Antilles françaises) ;
- Traineau *et al.* (1989). Case study of a volcanic geothermal system, Mount Pelée, Martinique ;
- Vincent *et al.* (1989). The primitive volcano of Mount Pelée : its construction and partial destruction by flank collapse, Martinique ;
- Zlotnicki *et al.* (1998) - Hydrothermal circulation beneath Mount Pelée inferred by self potential surveying. Structural and tectonic implications.

On trouve également des travaux de géophysique, qui ciblent uniquement la région de Morne Rouge :

- Benderitter (1983). Investigation audio-magnétotellurique et recherche d'une cible géothermique dans la région du Morne Rouge (Martinique) ;
- Benderitter (1985). Structure superficielle à signature géothermique mise en évidence par prospection géophysique à proximité de La montagne Pelée ;
- Benderitter (1987). Recherche par géophysique d'indices peu profonds en géothermie haute énergie. Un exemple à proximité de La Montagne Pelée (Martinique).

Contrairement à la région de la plaine du Lamentin, très peu de travaux d'exploration associés aux principaux projets mentionnés précédemment, réalisés à partir de 2003, ont été uniquement consacrés à cette région. A l'exception de l'étude de Lalubie (2003) sur les localisations, les analyses et les prélèvements des sources thermales, jusqu'alors inconnues, de La Montagne Pelée, les autres travaux étaient tous ciblés au moins sur deux régions, qui étaient souvent cette région et celle des Anses d'Arlet, voire celle des Pitons du Carbet.

En dehors de ces travaux, on peut citer des études récentes moins portées sur l'exploration géothermique, mais qui peuvent apporter des informations intéressantes, comme celles de :

- Deplus *et al.* (2001). Submarine evidence for large-scale debris avalanches in the Lesser Antilles Arc ;
- Pichavant et Martel (2002). Physical conditions, structure, and dynamics of a zoned magma chamber: Mount Pelée, Lesser Antilles Arc ;
- Le Friant *et al.* (2003). Large-scale flank collapse events during the activity of Montagne Pelée, Martinique, Lesser Antilles ;
- Boudon *et al.* (2007). Volcano flank instability in the Lesser Antilles arc: diversity of scale, processes, and temporal recurrence ;
- Boudon *et al.* (2013). Role of large flank-collapse events on magma evolution of volcanoes. Insights fromthe Lesser Antilles Arc.

c) Région des Anses d'Arlet

Cette région a principalement été explorée en géothermie par le BRGM et surtout, à partir de 2003, même si quelques travaux existaient déjà.

A partir de 2003, les principaux travaux d'exploration menés uniquement sur cette région, qui sont associés aux projets mentionnés précédemment, sont les suivants :

- Coppo *et al.* (2014). 3-D magnetotelluric inversion with coast effect modeling to assess the geothermal potential of Anses d'Arlet (Martinique, Lesser Antilles) ;
- Gadalia *et al.* (2015). The Petite Anse - Diamant geothermal system (Martinique Island, Lesser Antilles): Results of the 2012-2013 exploration ;
- Védrine (2019). Acquisition, traitement et inversion de mesures géophysiques électromagnétiques (MT et CSEM) à terre et en mer pour la caractérisation de la ressource géothermique aux Anses d'Arlets, en Martinique ;
- Jacob (2020). Intégration des connaissances géologiques et géophysiques dans un géomodèle 3D pour l'interprétation du système géothermique des Anses d'Arlet (Martinique) ;
- Darnet *et al.* (2020). Etude d'implantation des forages d'exploration géothermique sur la zone de Petite Anse, aux Anses d'Arlet (Martinique).

Comme déjà évoqué, la plupart des travaux d'exploration réalisés sur cette zone ont été menés parallèlement avec ceux conduits sur la zone de La Montagne Pelée - Morne Rouge, voire celle des Pitons du Carbet.

d) Région des Pitons du Carbet

Cette région a été beaucoup moins explorée pour la géothermie que les précédentes car les indices de surface y sont moins importants et a rarement fait l'objet d'études spécifiques. La plupart du temps, cette région a été examinée dans des études de prospection géothermique d'ensemble ou concernant plusieurs secteurs de l'île. On peut citer comme travaux d'intérêt géothermique :

- Roignon *et al.* (1988). Captage de CO_2 aux sources du Lorrain - Martinique. Géologie et prospection de CO_2 dans les gaz des sols ;
- Chéry (1994). Interprétation des résultats des analyses isotopiques dans le cadre de l'étude géochimique de la source carbo-gazeuse de Didier (Martinique).

2.3. ILE DE LA REUNION

Les premiers grands travaux d'exploration géothermique sur cette île ont démarré dans les années 80 et ont été réalisés, pour la plupart, par des équipes du BRGM. Ils avaient abouti à la réalisation de deux forages profonds d'exploration dans la zone du Grand Brûlé, près du Piton de La Fournaise, et dans le cirque de Salazie, associé au Piton des Neiges (fig. 51). Si ces forages ont apporté d'importantes informations pour la connaissance du sous-sol et pour celui de Salazie, une température de 192°C a été mesurée en fond de forage, à 2100 m de profondeur, ils n'ont, malheureusement, pas permis de mettre en évidence un réservoir haute température suffisamment perméable pour produire de l'électricité.

Suite à cet échec, un arrêt de l'exploration est constaté entre 1990 et 2000, avec un redémarrage des travaux d'exploration en 2001 par le BRGM, cofinancés par la Région Réunion et les Fonds européens FEDER, après une étude de synthèse des données géo-scientifiques existantes faite en 2000 par ce même organisme. Ces travaux, notamment en géophysique, ont ensuite été poursuivis par les Universités de La Réunion, de Clermont-Ferrand et de Paris VI et des compagnies étrangères comme PB Power, Phoenix Geophysics et Geosystem, jusqu'en 2005. Ils ont abouti, cette année-là, à la sélection d'une zone d'implantation de forages d'exploration, qui était la plaine des Sables, localisée entre le Piton Chisny et le rempart du Pas de Bellecombe, près du Piton de La Fournaise.

Malheureusement, ce projet de forages d'exploration n'a pas pu voir le jour en raison de l'annonce de l'abandon du projet « Plaine des Sables » par le Conseil Régional, en 2010, pour éviter d'être incompatible avec les exigences de protection environnementale de l'UNESCO et permettre d'inscrire le Parc National de La Réunion au patrimoine mondial. La zone concernée a dû être déclassée en zone tampon juste avant la présentation au Comité des Biens français du dossier d'inscription de La Réunion au patrimoine mondial. De plus, ce projet était désapprouvé par la plupart des usagers car implanté au cœur du Parc National, l'enjeu énergétique (3 à 4% de la production installée en 2007) a semblé bien faible comparé aux retombées touristique attendues par un classement à l'UNESCO.

En 2014, le BRGM, cofinancé par la DEAL et l'ADEME locale, en collaboration avec l'Université de La Réunion, réapparaît dans le paysage pour faire un SIG des principales données géo-scientifiques existantes et identifier les secteurs d'intérêt potentiel pour le développement de la géothermie sur l'île, hors cœur du Parc National (Dezayes *et al.*, 2015). Depuis cette étude, peu de travaux d'exploration géothermique d'ampleur sont à signaler, à l'exception d'une étude sur les manifestations hydrothermales autour du Piton des Neiges menée par l'université de La Réunion (Bhavani *et al.*, 2020). Les références bibliographiques reportées dans l'annexe 3 de ce rapport (210 références au total) permettent de retracer une bonne partie de cet historique.

Les régions les plus étudiées ont, bien sûr, été celles où les deux seuls forages profonds d'exploration ont été implantés :

- la région du piton de la Fournaise, et notamment la zone du Grand Brûlé, où a été implanté le premier forage profond (SR-1 ; fig. 53).
- la région des cirques associés au volcan du Piton des Neiges (Salazie, Cilaos et Mafate), et notamment, la zone de Salazie, où a été implanté le deuxième forage profond (SLZ-1 ; fig. 53) ;

D'autres régions, comme la plaine des Sables, la zone de Bébour-Bélouve, la plaine des Palmistes, la plaine des Cafres, Etang Salé, les rivières Langevin et Remparts, etc. (fig. 53), ont été beaucoup moins étudiées et pour certaines, mériteraient des études complémentaires.

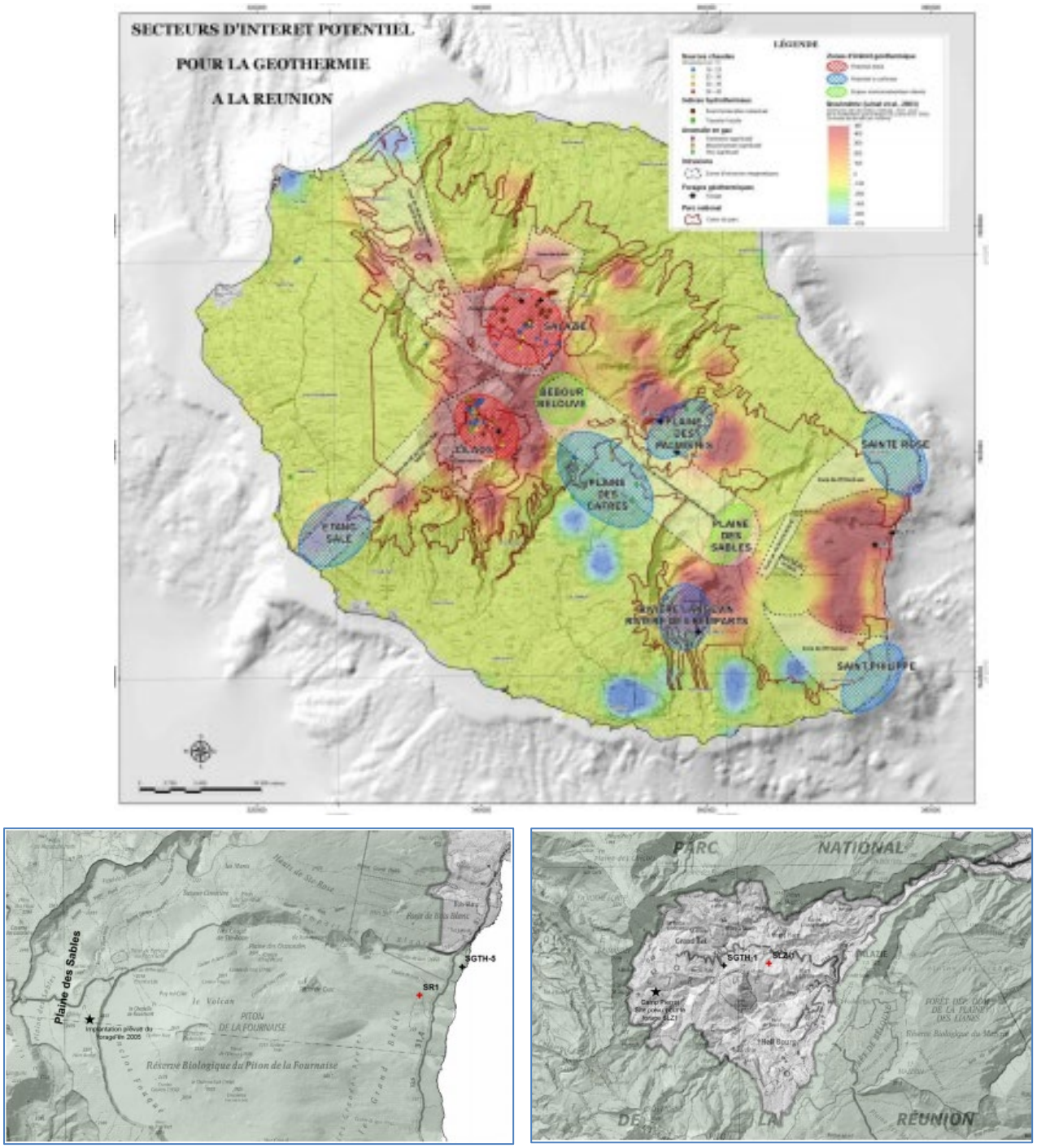


Figure 53 - Vue du haut : carte des secteurs d'intérêt potentiel pour la géothermie sur l'île de La Réunion (Dezayes et al., 2015). Vues du bas : à gauche, carte de localisation du forage d'exploration profond du Grand Brûlé (SR-1), et de celui envisagé sur la plaine des Sables, tous les deux dans la région du Piton de La Fournaise. A droite, carte de localisation du forage d'exploration profond dans le cirque de Salazie, associé au Piton des Neiges (SLZ-1).

2.3.1. Nature des travaux

Comme pour les deux autres îles, de nombreux travaux d'exploration de surface en géologie, géochimie, géophysique et hydrogéologie ont été menés à La Réunion, depuis les années 80. Une campagne de cinq sondages de mesure de gradient de température, entre 125 et 235 m de profondeur, a également été réalisée, entre 1980 et 1981, sur les sites de Salazie (1 sondage), plaine des Palmistes (2 sondages), rivière Langevin (1 sondage) et Piton de la Fournaise (1 sondage). Tous ces sondages ont montré un gradient thermique normal, à l'exception de celui de Salazie, qui a indiqué un gradient de 84°C/km.

Suite aux premiers travaux d'exploration et à cette campagne de sondages, deux forages profonds d'exploration ont été, respectivement, implantés au Grand Brûlé (3003 m de profondeur) et à Salazie (2108 m de profondeur), entre 1985 et 1986. Si ces forages ont permis d'obtenir des informations très intéressantes pour la plupart des disciplines, aucun des deux n'a été producteur, comme cela a déjà été mentionné. Le premier forage au Grand Brûlé a indiqué un gradient normal de température (144°C mesurés en fond de puits). Par contre, le second forage à Salazie a permis de mettre en évidence un gradient thermique anomal d'environ 90°C/km (192°C mesurés en fond de puits), proche de celui du sondage de gradient thermique.

Une première collecte importante de données géo-scientifiques numériques avait été réalisée dans le cadre du projet concernant les compléments d'étude géothermique dans l'île de La Réunion (Sanjuan *et al.*, 2001), puis dans le cadre de l'étude de synthèse faite par PB Power, en 2002. Néanmoins, c'est maintenant surtout le SIG constitué et structuré par Dezayes *et al.* (2015), qui fait référence pour regrouper et gérer toutes les données géo-scientifiques obtenues sur l'ensemble des régions de l'île étudiées, et qu'il faudra continuer à alimenter.

Des cartes et coupes de synthèse (Michon *et al.*, 2007, fig. 54 ; Chaput, 2013, fig. 55 ; Merle *et al.*, 2010 et Chaput *et al.*, 2014b, fig. 56 ; PB Power, 2002, figs. 57, 58 et 59 ; Bhavani *et al.*, 2020, fig. 60 ; Lénat *et al.*, 2003b, fig. 61 ; Gailler et Lénat, 2012, fig. 62 ; Dezayes *et al.*, 2015, fig. 63 ; PB Power, 2002, figs. 64, 65 et 66 ; Dezayes *et al.*, 2015, figs. 67, 68 et 69) ainsi que des modèles conceptuels du fonctionnement des systèmes géothermaux plus ou moins élaborés suivant les régions et les données acquises ont été réalisés (zones du Piton des Neiges : Gérard et Stieljes, fig. 70 ; Sanjuan *et al.*, 2001, fig. 71 ; Bhavani *et al.*, 2020, fig. 72 ; zones du Piton de La Fournaise : Gérard et Stieltjes, 1979, fig. 73 ; Violette, 1993, et Bachèlery et Lénat, non publié, fig. 74 ; PB Power, 2003b, 2005, fig. 75).

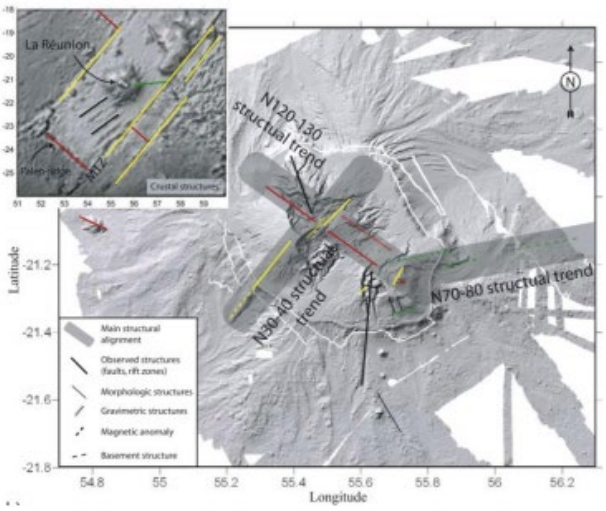


Figure 54 - Directions structurales identifiées à La Réunion et discontinuités majeures de la croûte océanique (Michon et al., 2007 ; Dezayes et al., 2015).

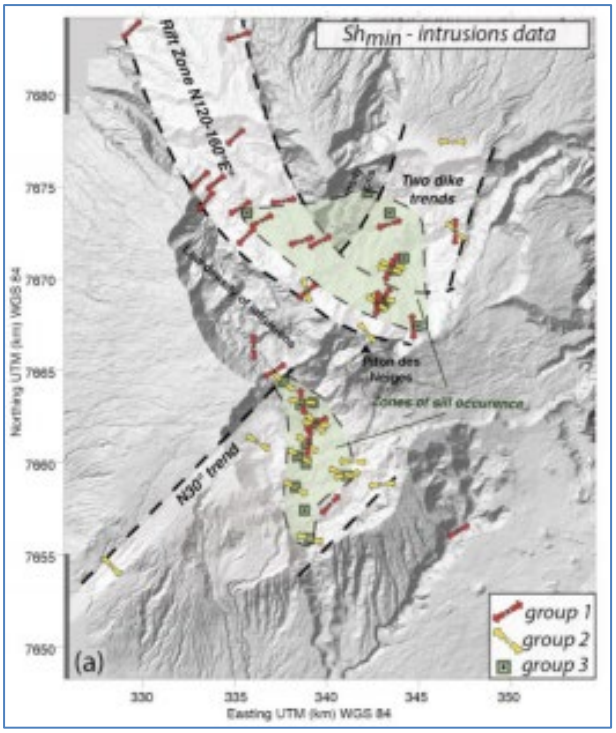


Figure 55 - Directions d'intrusions préférentielles au Piton des Neiges (Chaput, 2013 ; Dezayes et al., 2015).

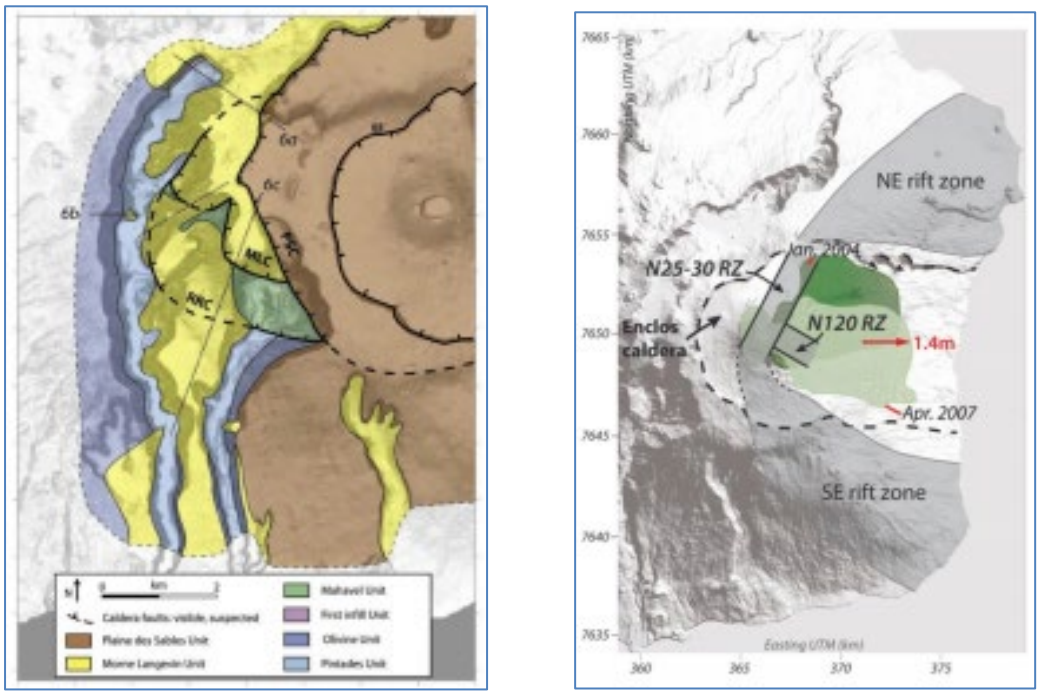


Figure 56 - Calderas emboîtées proposées pour le Piton de La Fournaise (Merle et al., 2010), à gauche, et directions d'intrusions préférentielles, à droite (Chaput et al., 2014a ; Dezayes et al., 2015). Les zones en vert correspondent aux surfaces glissées, lors de certaines éruptions, dont le glissement est attribué à l'injection de sills dans un plan de détachement, comme observé au Piton des Neiges.

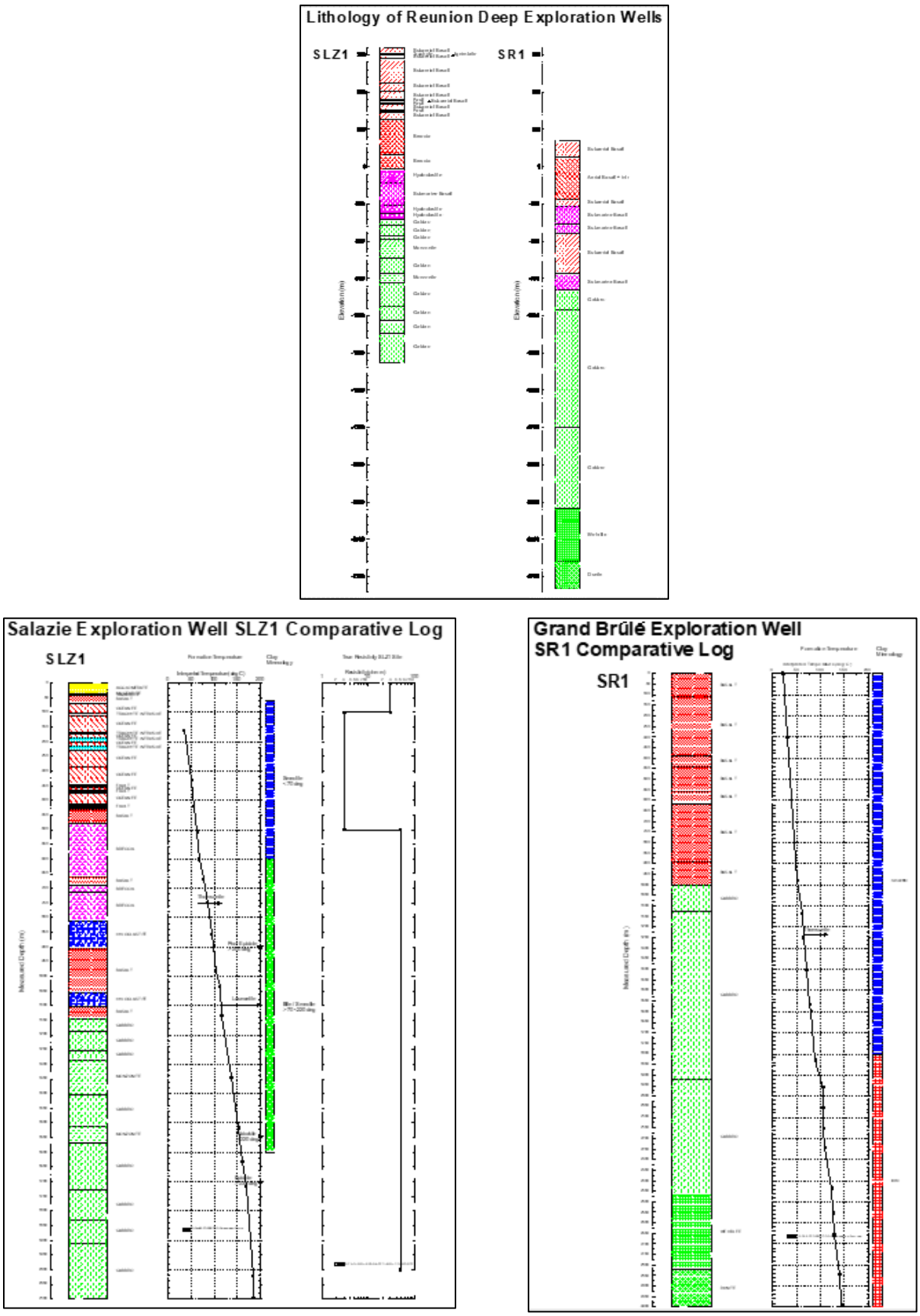


Figure 57 - Log litho-stratigraphiques et de température des forages profonds d'exploration du Grand Brûlé (SLR-1) et de Salazie (SLZ-1) (PB Power, 2002).

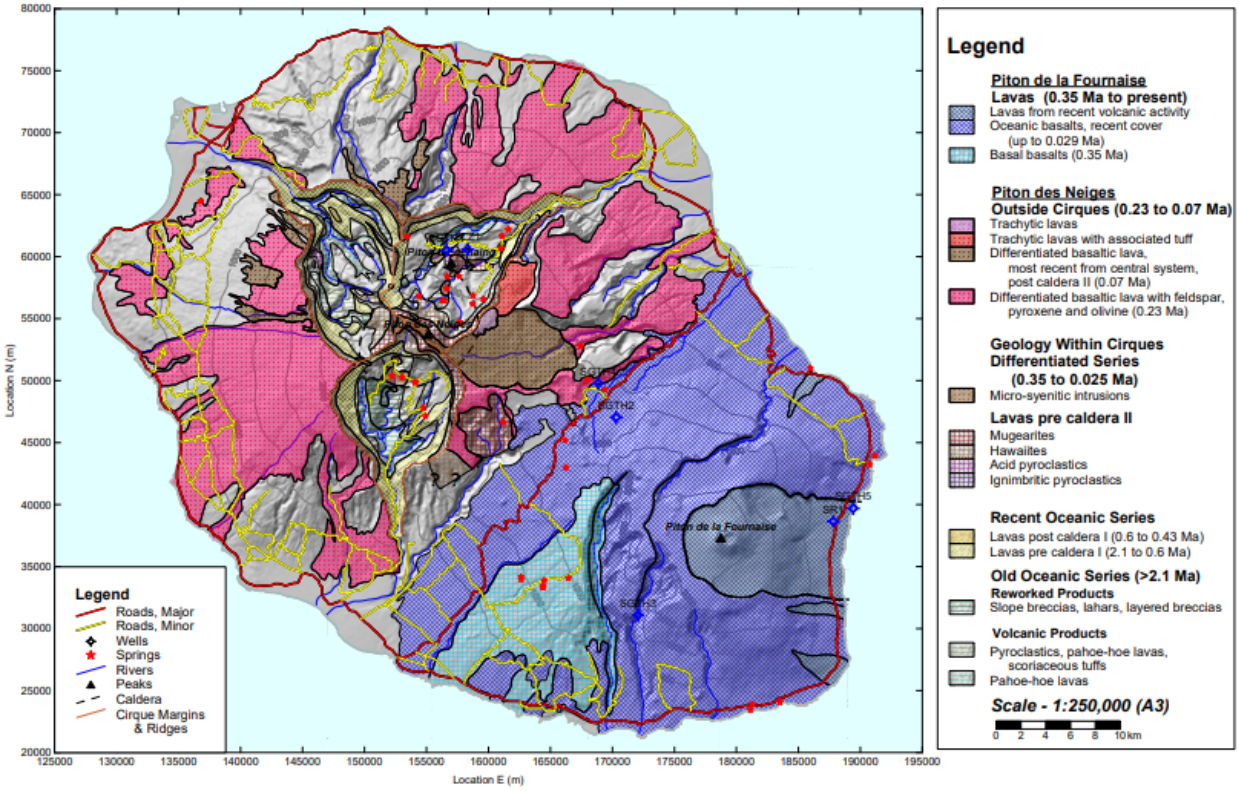


Figure 58 - Carte géologique synthétique de La Réunion (PB Power, 2002).

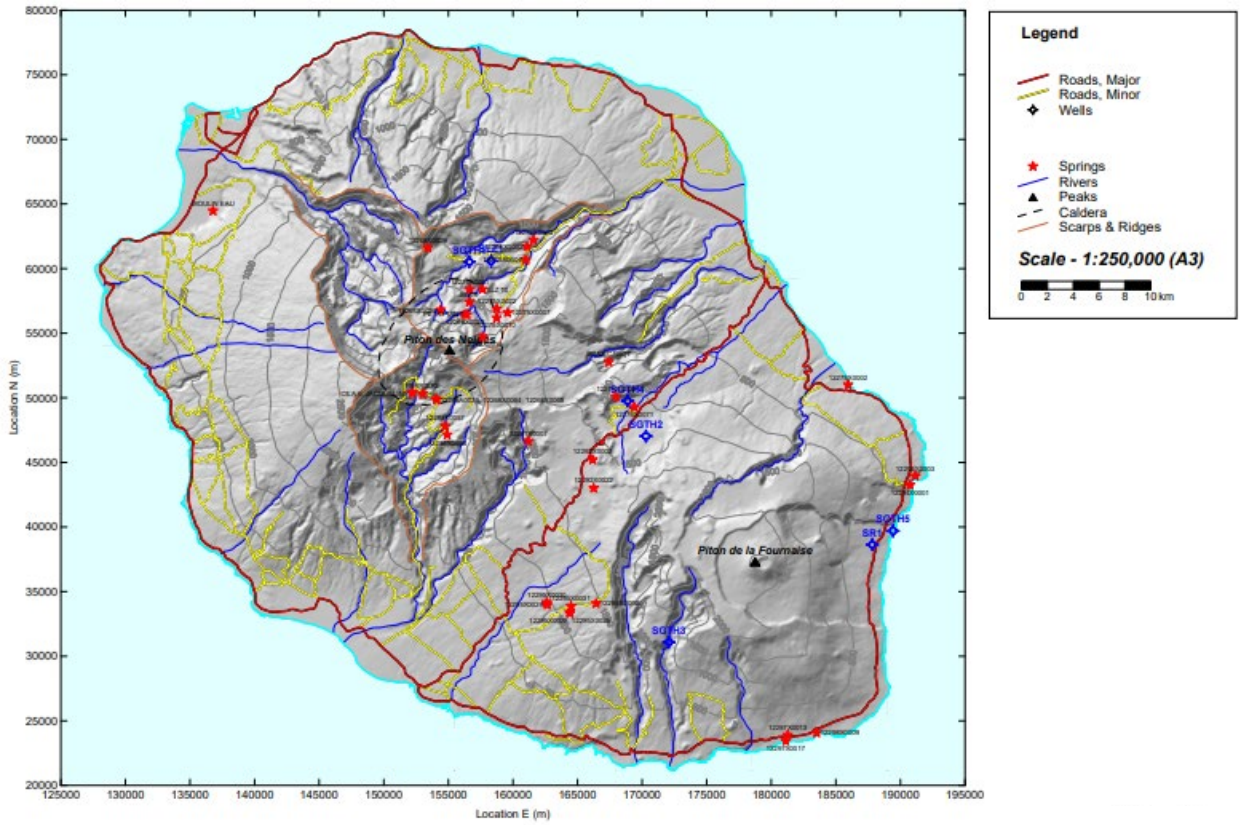


Figure 59 - Carte de localisation des principales sources thermales de La Réunion (PB Power, 2002).

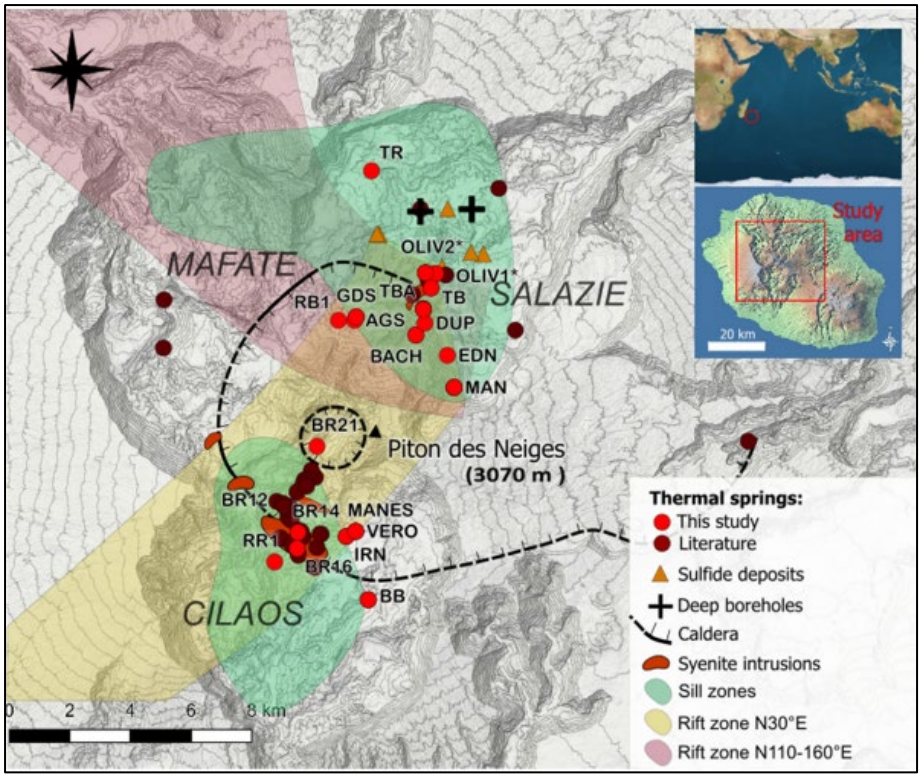


Figure 60 - Carte de localisation des principales sources thermales du Piton des Neiges (Bhavani et al., 2020).

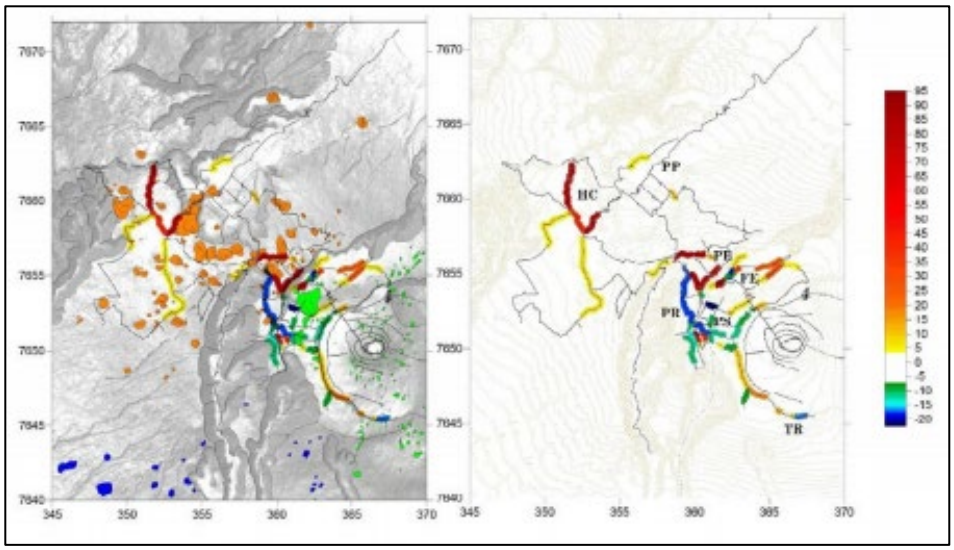


Figure 61 - Carte des gradients PS (échelle de couleur en mV/m) de la zone entre le Piton de La Fournaise et le haut de la Plaine des Sables/Plaine des Cafres comparée avec la localisation des principaux sites émissifs (PP : Plaine des Palmistes ; HC : Haut Plaine des Cafres ; PE : Piton de l'Eau ; PR : Plaine des Remparts ; PS : Plaine des Sables ; FE : Fond de la rivière de l'Est ; PB : Piton de Bert ; TR : Nez coupé de Tremblet), tirée de Lénat et al. (2003b). Ces auteurs ont compilé plus de 8000 données PS acquises entre 1981 et 2003, au cours de 11 campagnes de terrain. La base de données, sous forme d'un fichier Excel dans les archives de la Région Réunion, rassemble un peu plus de 7000 points, qui forment la base de la cartographie PS présentée par ces auteurs et dans le rapport PB Power (2005).

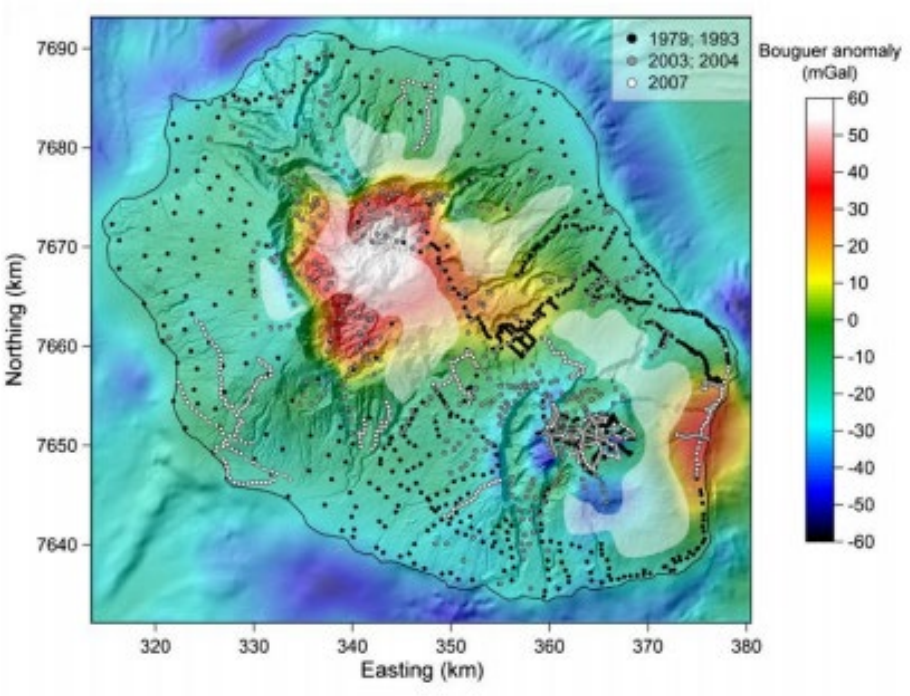


Figure 62 - Carte d'anomalie de Bouguer résiduelle à la densité 2,67. Les figurés des points distinguent les différentes campagnes d'acquisition (Gailler et Lénat, 2012 ; Dezayes et al., 2015).

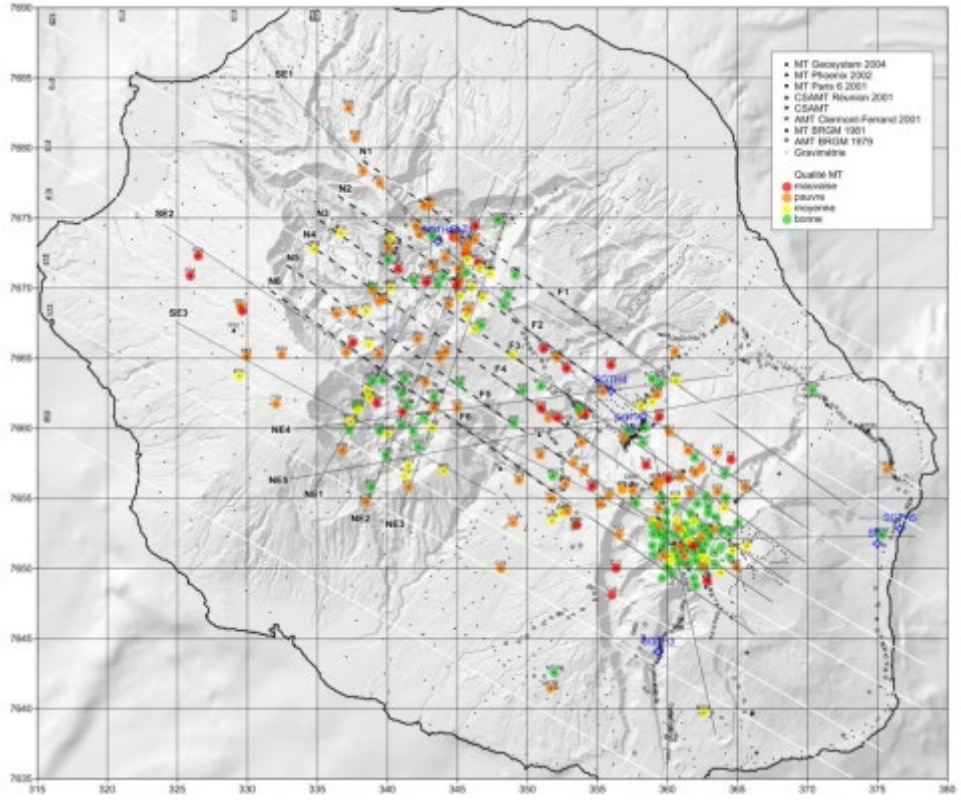


Figure 63 - Carte illustrant la qualité des sondages (A)MT. Les profils MT des différents rapports PB Power sont représentés par des traits noirs, les profils gravimétriques du rapport Lénat et al. (2003a) par des traits blancs (Dezayes et al., 2015).

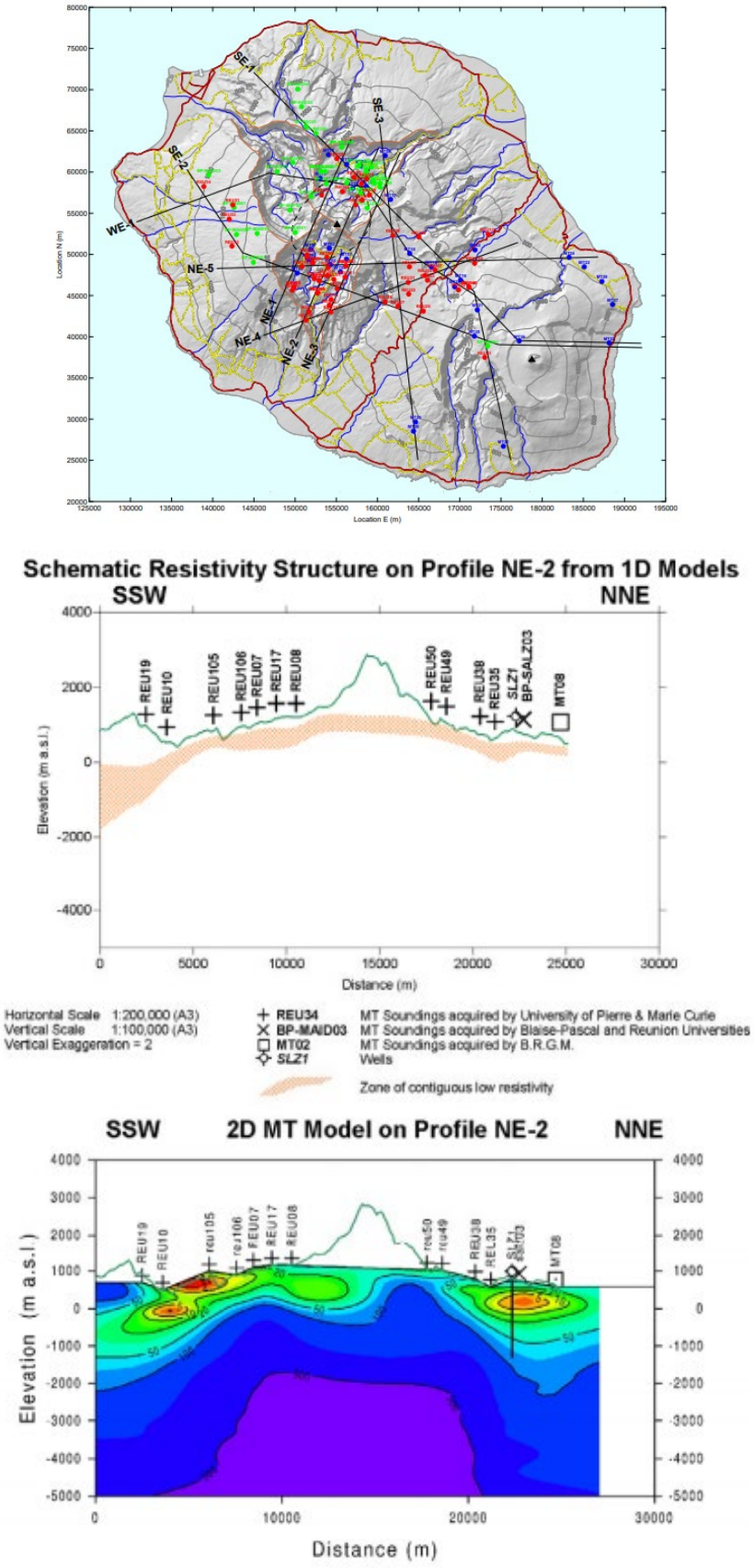
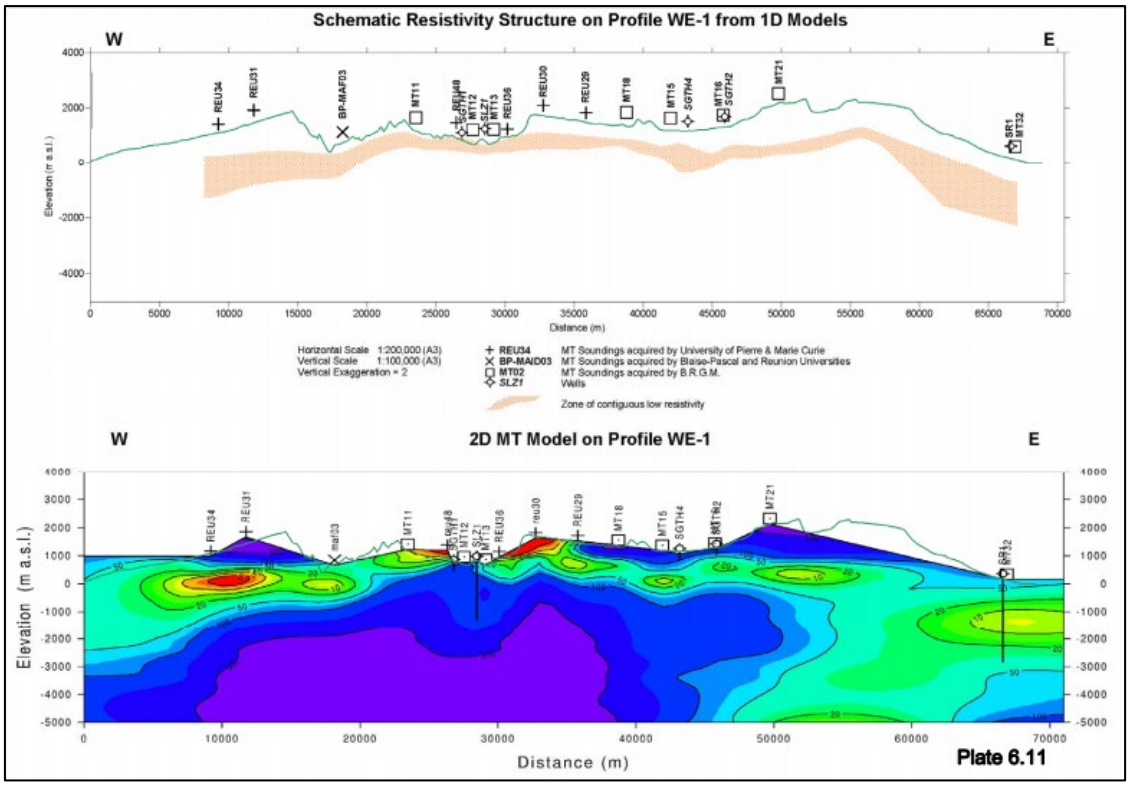


Figure 64 - Carte de localisation des profils MT et coupe NE-2 passant par le Piton des Neiges (PB Power, 2002).



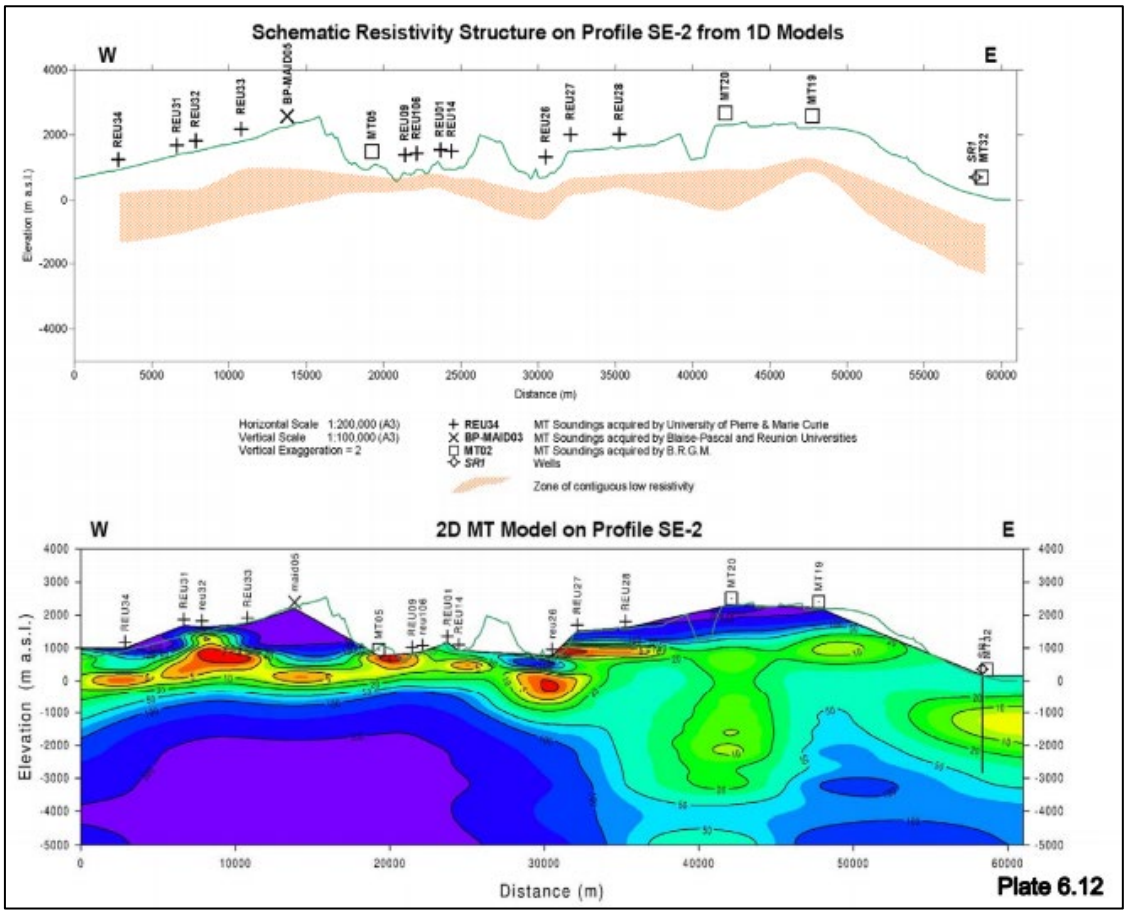


Figure 65 - Coupes MT correspondant aux profils WE-1 et SE-2 (PB Power, 2002).

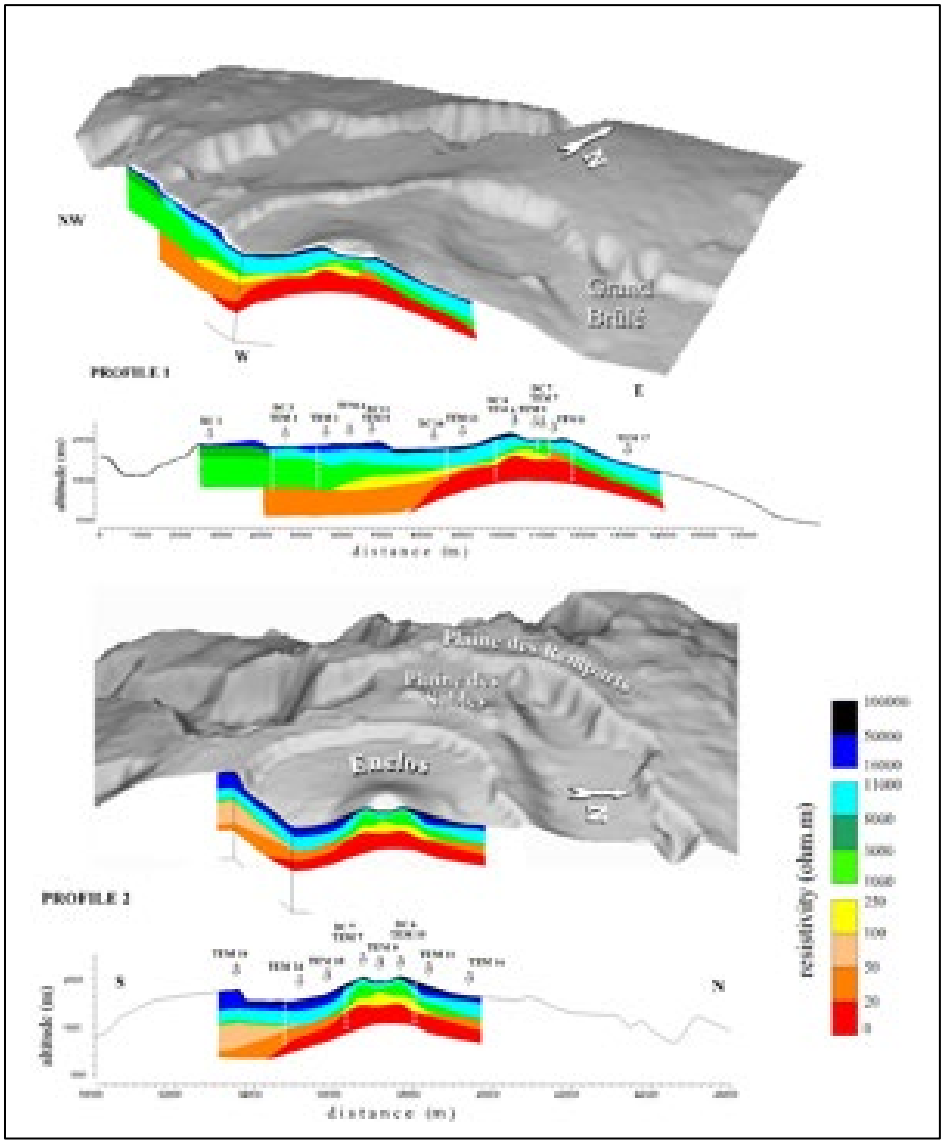


Figure 66 - Structures de résistivité associées au Piton de La Fournaise extraite de Lénat et al. (2002) (PB Power, 2002).

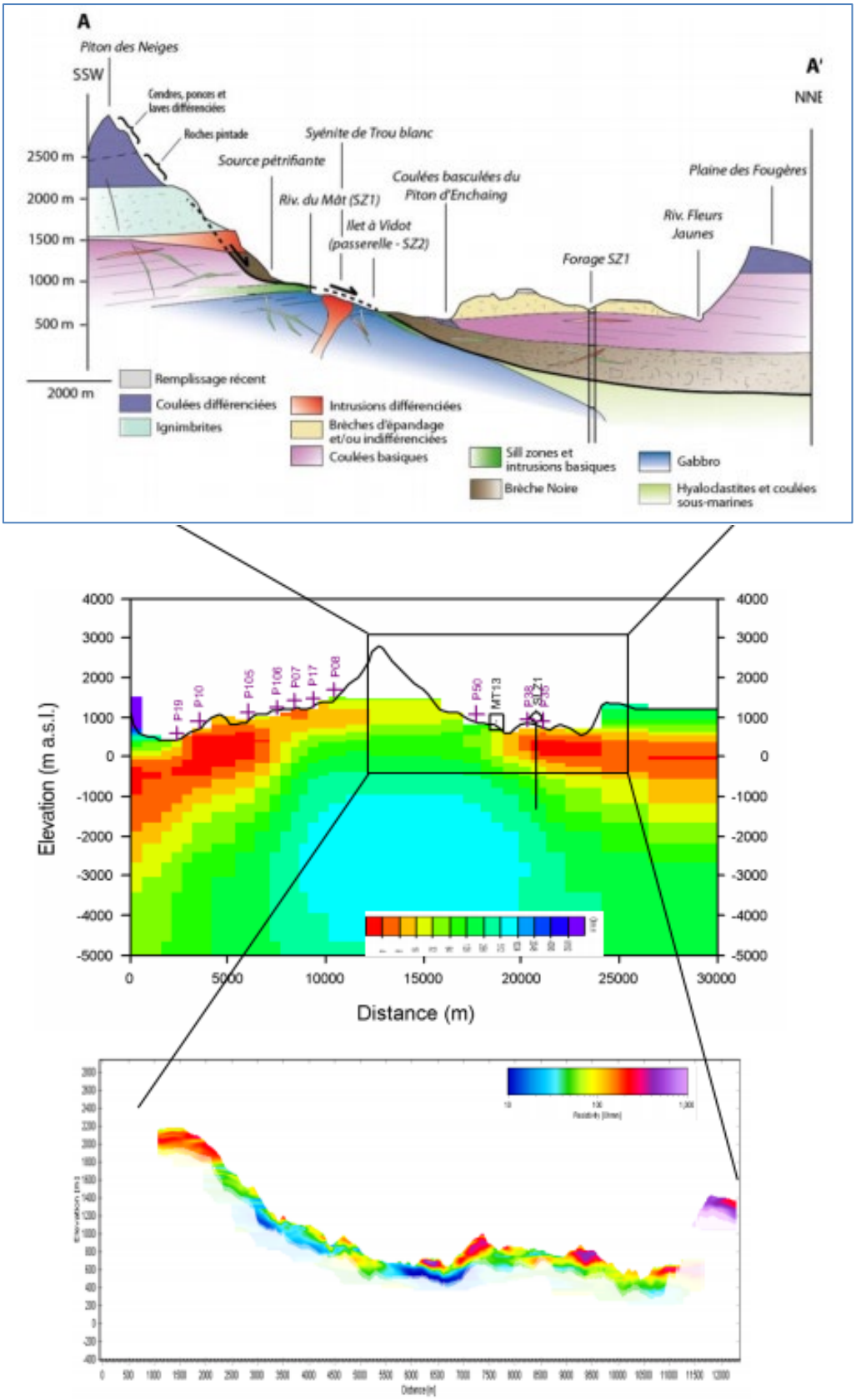


Figure 67 - Coupe interprétative du cirque de Salazie, qui intègre les observations d'affleurement et les logs de forages (Chaput, 2013) et qui est comparée aux données MT de PB Power (2002) et données REUN-EM. Les échelles de couleur des coupes de résistivité sont inversées (Dezayes et al., 2015).

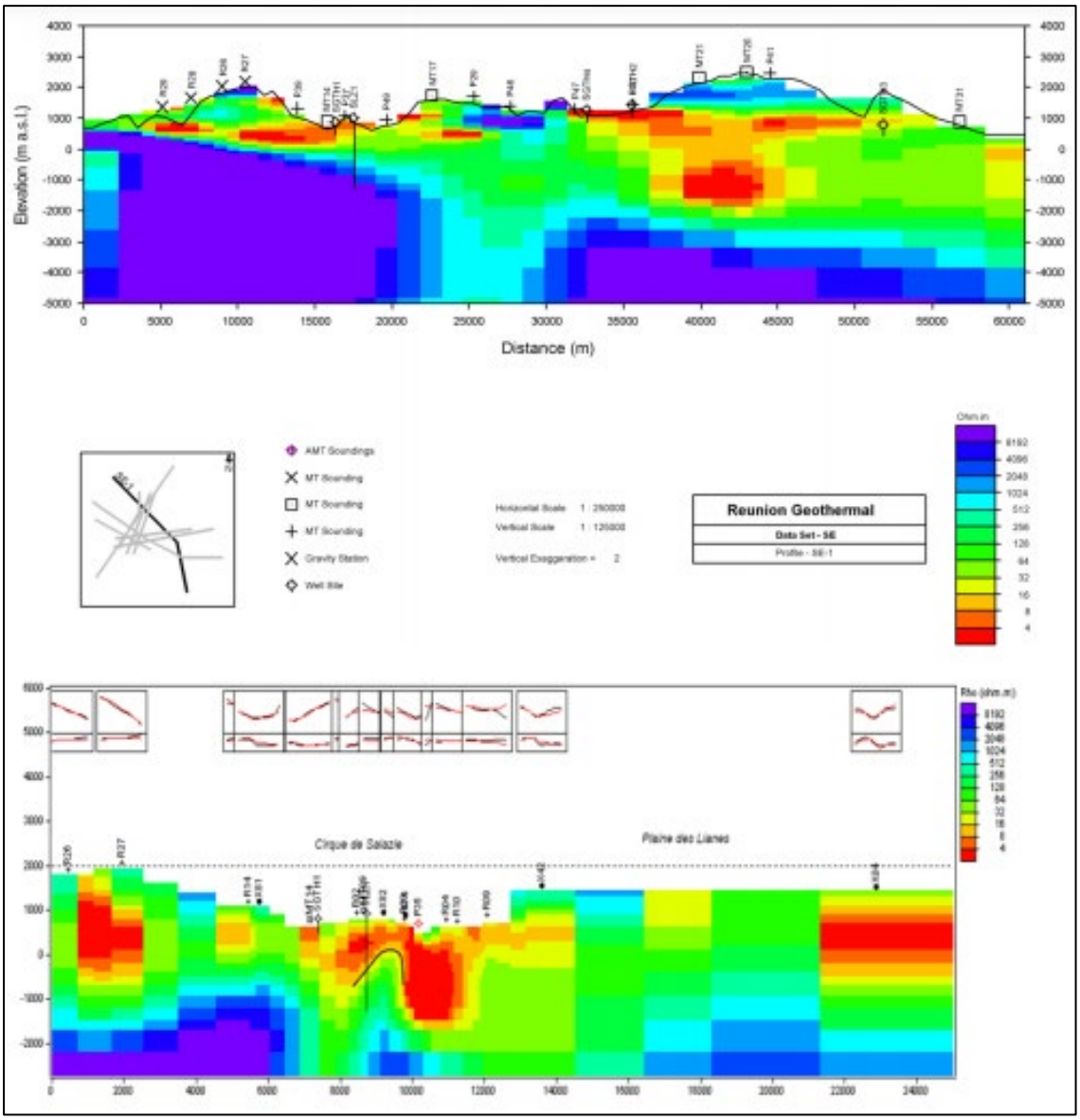


Figure 68 - Coupes de résistivité de PB Power 2002 et 2003 issues de l'inversion 2D des données MT (incluant les sondages Phoenix pour 2003) traversant le cirque de Salazie du NO au SE, à proximité du forage profond d'exploration géothermique SLZ-1. Une morphologie typique à celle d'un modèle de réservoir géothermique est soulignée par un trait noir dans la vue du bas (Dezayes et al., 2015).

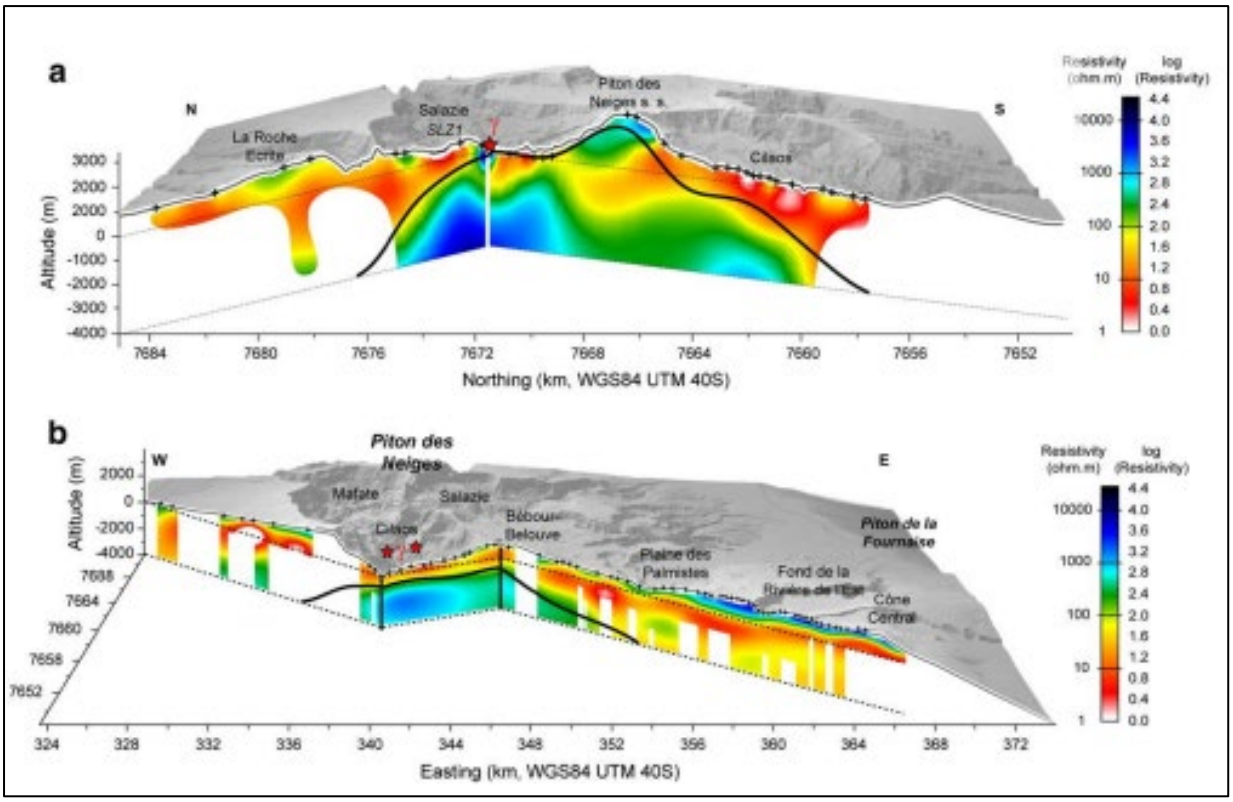


Figure 69 - Inversion MT 2D à travers le massif du Piton des Neiges (Salazie-Cilaos en haut ; Cilaos vers Bébour-Bélouves, puis plaine des Palmistes, en bas). La ligne noire épaisse représente le toit du complexe hypovolcanique dense du Piton des Neiges obtenu par inversion 3D des données gravimétriques les plus complètes (Gailler et Lénat, 2012 ; Dezayes et al., 2015).

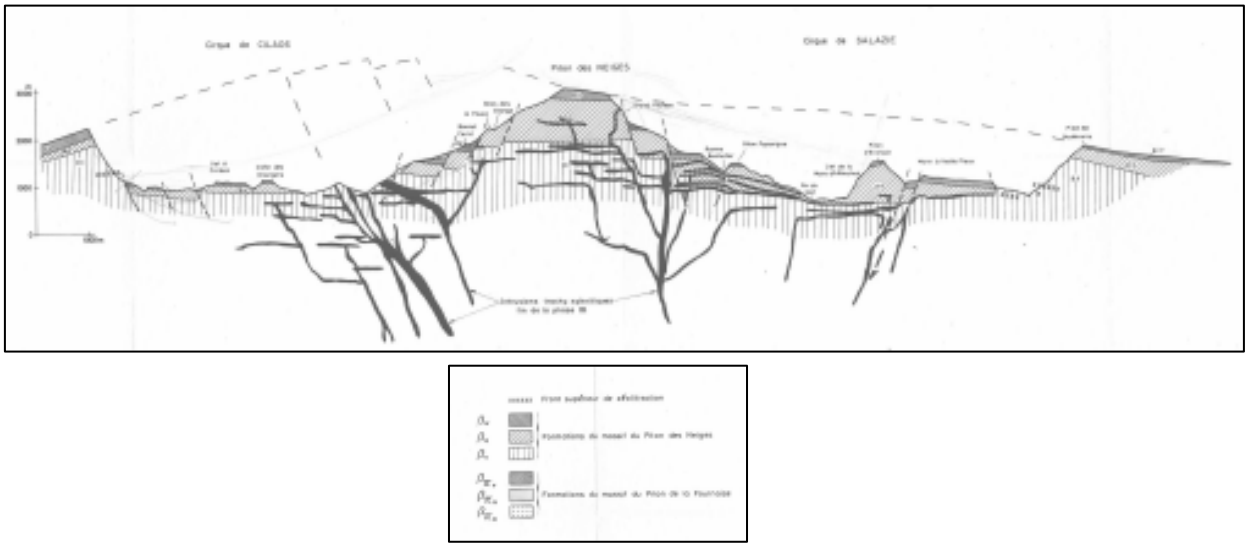


Figure 70 - Coupe interprétative du massif du Piton des Neiges dans les cirques de Cilaos et de Salazie (Gérard et Stieljes, 1979).

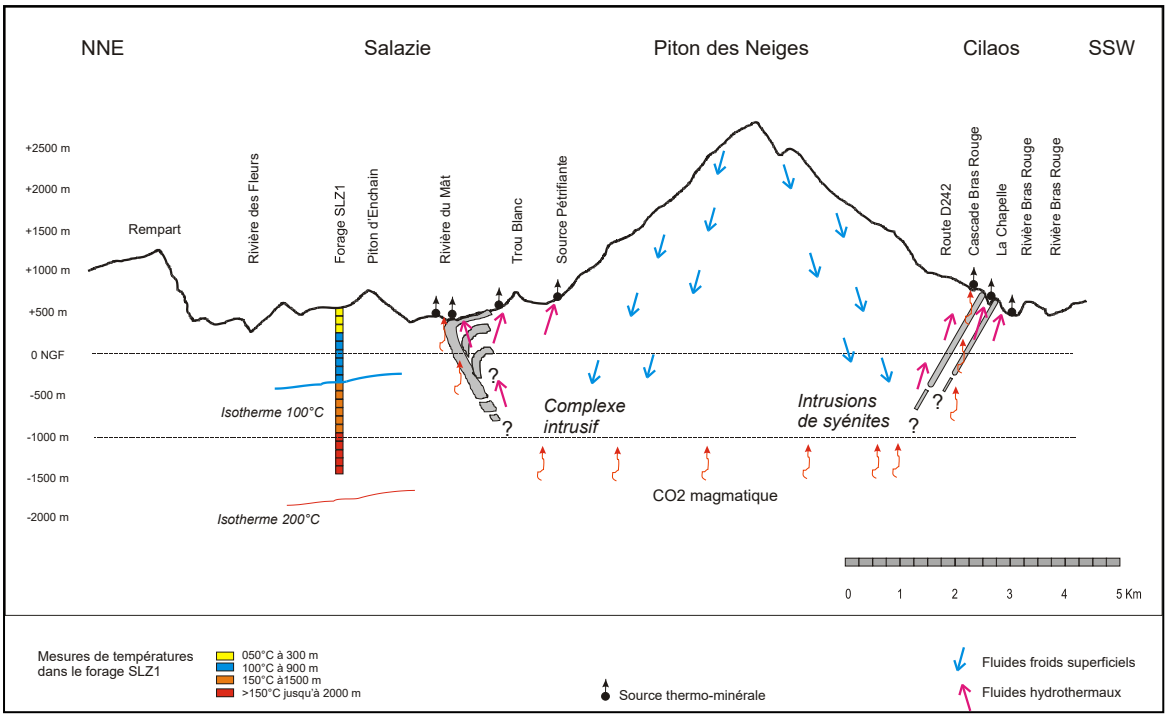


Figure 71 - Section verticale N-S à travers les cirques de Salazie et de Cilaos, qui illustre le modèle conceptuel de fonctionnement du système hydrothermal à partir des données acquises. Les corps intrusifs mis en place en bordure de la caldeira récente constitueraient les principales discontinuités pour la circulation des fluides en profondeur (Sanjuan et al., 2001).

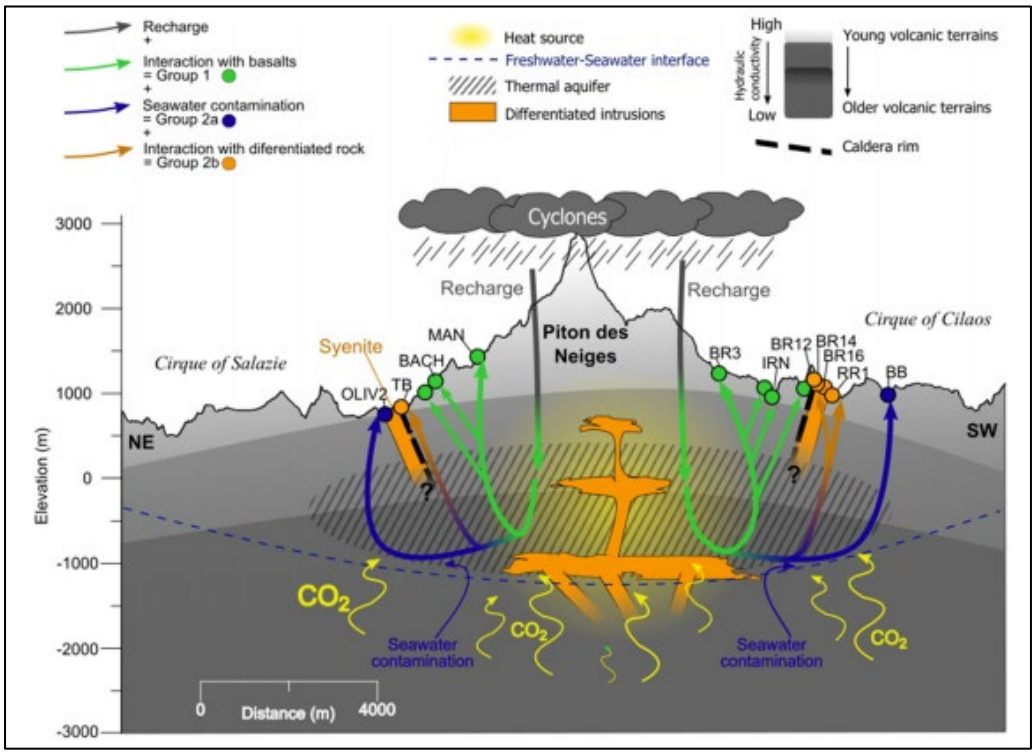


Figure 72 - Modèle conceptuel du fonctionnement du système hydrothermal associé au Piton des Neiges (extrait de Bhavani et al., 2020, où davantage de détails et de commentaires sont donnés).

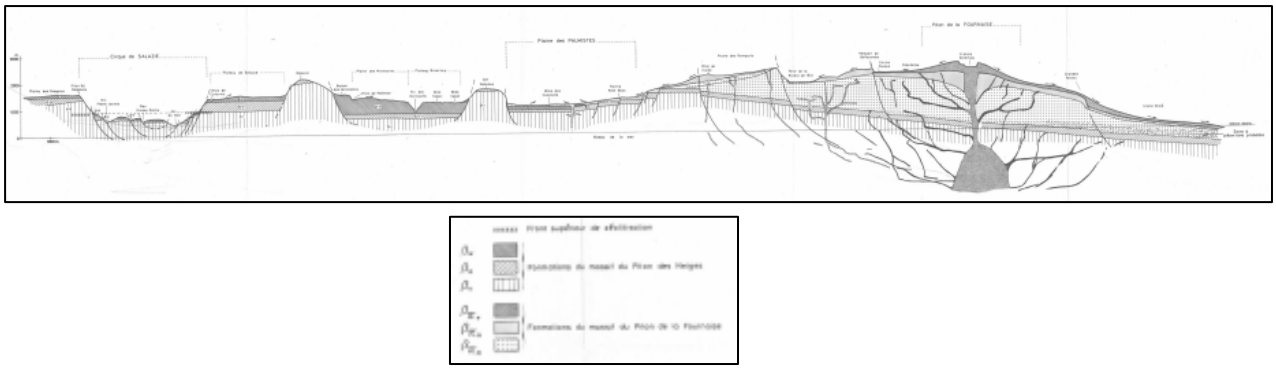


Figure 73 - Coupe interprétative du massif du Piton de La Fournaise (Gérard et Stieljes, 1979).

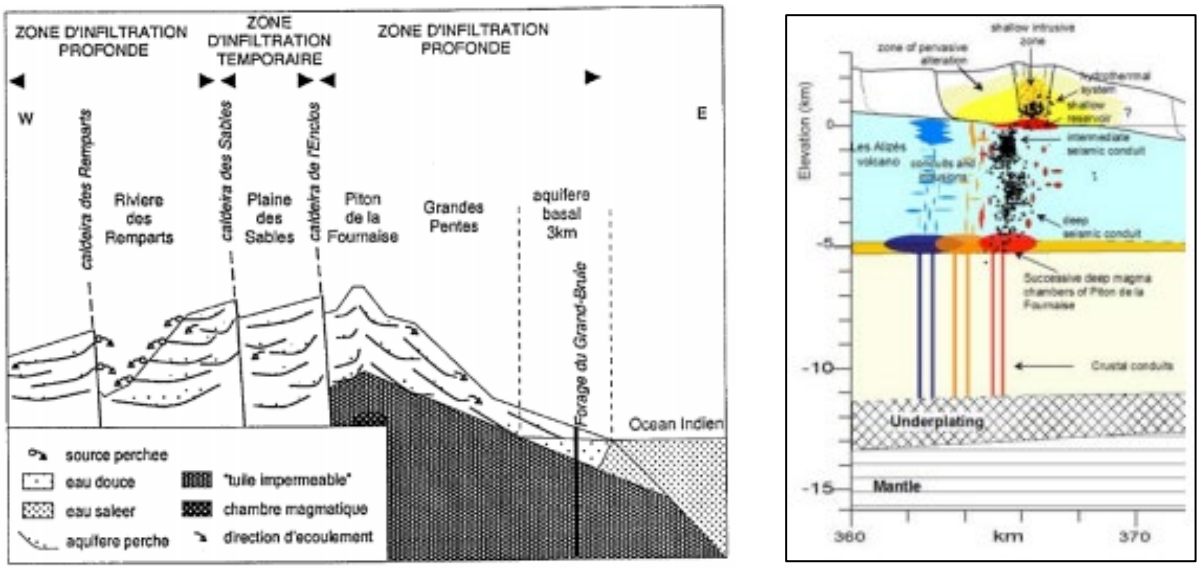


Figure 74 - Schéma des circulations d'eau du Piton de La Fournaise (Violette, 1993) et modèle conceptuel du système hydrothermal associé (Lénat et Bachèlery, non publié).

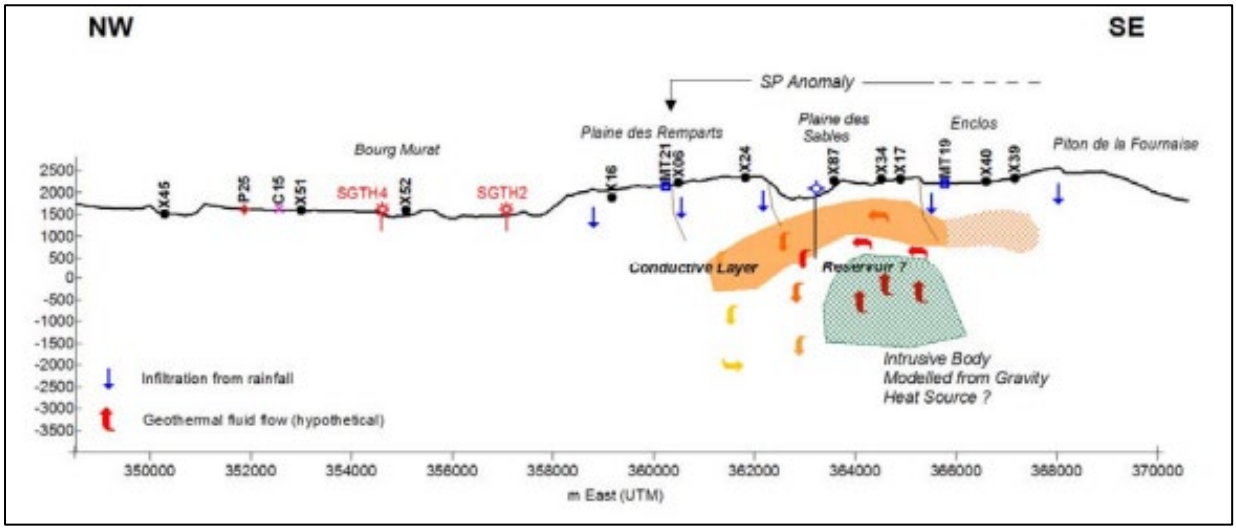


Figure 75 - Modèle conceptuel d'une ressource géothermique possible au niveau de la plaine des Sables, sur le flanc ouest du Piton de La Fournaise (PB Power, 2003b ; 2005).

2.3.2. Etudes d'exploration sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones

Parmi les principales études d'exploration globales concernant l'ensemble de l'île ou plusieurs zones, on peut citer celles de :

- Lopoukhine et Stieltjes (1978) sur l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion. 1ère phase exploratoire : Géologie et géochimie des eaux ;
- Gérard et Stieltjes (1979) sur l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion. 2ème phase exploratoire ;
- Varet J. (1979) sur l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion. Résultats de la seconde phase d'exploration ;
- Robert (1980) sur l'inventaire et l'analyse systématiques des différents ensembles d'intrusions volcaniques (dykes et sills) de l'île de la Réunion ;
- Gérard et Rançon (1981) sur l'évaluation du potentiel Géothermique de l'île de La Réunion ;
- Stieltjes (1982) sur le développement de l'énergie géothermique à La Réunion pour la production électrique ;
- Stieltjes (1984) sur les perspectives de l'énergie géothermique dans l'Océan Indien ;
- Bargeas (1984) sur l'évaluation globale de la ressource en eau de l'île de La Réunion. Apports de la simulation par modèles hydrologiques ;
- Barthes *et al.* (1984) sur les mesures magnétotelluriques dans l'île de La Réunion. Zone de Salazie et Grand Brûlé ;
- Benderitter et Gérard (1984) sur l'étude géothermique de l'île de La Réunion : campagne d'audio-magnétotellurique ;
- Demange *et al.* (1984) sur la prospection géothermique de l'île de la Réunion. Grand Brûlé, Salazie ;
- Demange (1986) sur le bilan de l'exploration géothermique de l'Île de la Réunion au vu des résultats des forages SR1 et SLZ1 ;
- Stieltjes (1986) sur le bilan et les enseignements de la première campagne d'exploration géothermique par forages profonds à la Réunion (1985-1986) ;
- Gourgand *et al.* (1988) sur l'île de la Réunion: exploitation des eaux souterraines. Bilan des prélèvements effectués en 1985 par puits et forages ;
- Stieltjes *et al.* (1988a) sur les modes de circulation et de gisement de l'eau souterraine dans un volcan bouclier basaltique. Exemple de l'île de La Réunion, milieu océanique tropical ;
- Stieltjes *et al.* (1988b) sur l'atlas hydrogéologique de la Réunion ;
- Daesslé et Duchamps (1989) sur l'hydrochimie des eaux souterraines de l'île de La Réunion : eaux de sources et eaux de forages ;
- Kieffer (1990) sur les grands traits morphologiques de l'île de La Réunion (Océan Indien). Le volcanisme de La Réunion. Monographie ;
- Lesquer (1990) sur la structure profonde de l'île de la Réunion, d'aprés l'étude des anomalies gravimétriques ;
- Join et Coudray (1993) sur la caractérisation géo-structurale des émergences et typologie des nappes d'altitude en milieu volcanique insulaire (Ile de la Réunion) ;

- BRGM (1994) sur l'hydrochimie des eaux souterraines de l'île de la Réunion. Eaux de source et eaux de nappes. Bilan et synthèse 1994 ;
- Malengreau (1995) sur la structure profonde de la Réunion, d'après les données magnétiques et gravimétriques ;
- Sanjuan *et al.* (2001) sur les compléments d'étude géothermique dans l'île de La Réunion (géologie et géochimie des eaux) ;
- Andrieux *et al.* (2002) sur un programme d'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion, basé sur une campagne de prospection géophysique constituée de méthodes électromagnétiques (AMT, MT et TDEM) et une méthode électrique (PS) ;
- Phoenix Geophysics (2002) et Geosystem (2004 ; 2005) sur l'acquisition de données magnétotelluriques, audio-telluriques et TDEM sur l'île de la Réunion, lors d'une deuxième campagne de mesures ;
- Lénat *et al.* (2003a) sur l'amélioration de la carte gravimétrique de la Réunion. Interprétation, dans le cadre du projet Géothermie Réunion 2002-03 ;
- Lénat *et al.* (2003b) sur une cartographie de la polarisation spontanée (PS) du Piton de la Fournaise et de la zone des plaines, dans le cadre du projet Géothermie Réunion 2002-03 ;
- Gailler (2010) sur la structure interne d'un système volcanique de type point chaud ;
- Gailler et Lénat (2012) sur l'architecture interne de La Réunion (Océan Indien) déduite des données de géophysique ;
- Martelet *et al.* (2014) sur l'acquisition géophysique héliportée de l'île de La Réunion ;
- Dumont (2018) sur la caractérisation multi-échelle des structures hydrogéologiques en contexte volcanique insulaire par électromagnétisme héliporté.

2.3.3. Principales études de synthèse

Ces études de synthèse ont commencé à partir de 1980. On peut citer les travaux de :

- BRGM (1980) sur le bilan de la prospection pour l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion ;
- Sanjuan *et al.* (2000) sur le potentiel géothermique de l'île de La Réunion. Bilan des connaissances et perspectives ;
- PB Power (2002) sur le projet Géothermie Réunion. Réinterprétation et synthèse de toutes les données acquises à La Réunion, depuis 1978 ;
- PB Power (2003a) sur le projet Géothermie Réunion. Synthèse. Etat final ;
- PB Power (2003b) sur la réinterprétation et synthèse de toutes les données MT acquises à la Réunion ;
- PB Power (2005) sur le projet Géothermie Réunion. Campagne MT / TDEM 2004. Synthèse ;
- Dezayes *et al.* (2015) sur l'identification des secteurs d'intérêt potentiel pour le développement de la géothermie sur l'île de La Réunion, hors cœur du Parc National.

2.3.4. Principaux projets d'exploration géothermique récents

Après la période importante de prospection géothermique menée sur l'ensemble de l'île ou sur plusieurs zones dans les années 80-90, il a fallu pratiquement attendre les années 2000 pour voir la reprise de travaux d'exploration à La Réunion. Ceux-ci ont particulièrement ciblé les cirques de Salazie et de Cilaos associés au volcan du Piton des Neiges, puis la plaine des Sables, dans la région du volcan actif actuel du Piton de la Fournaise, jusqu'en 2005, même si quelques travaux (profils de gaz dans les sols, par exemple) ont pu être réalisés dans d'autres régions (plaine des Cafres, des Palmistes, des Remparts).

Ce n'est qu'à partir de 2014, avec une étude d'identification des secteurs d'intérêt potentiel pour le développement de la géothermie sur l'île de La Réunion, hors cœur du Parc National, et la constitution d'un SIG des données existantes que les activités en géothermie ont un peu repris, mais depuis, peu de nouveaux résultats ont été obtenus, à l'exception de la thèse de Doctorat de Bhavani Bénard sur la caractérisation du système hydrothermal du Piton des Neiges par des méthodes géochimiques et isotopiques.

Les principaux projets d'exploration, qui ont été menés à partir de 2000, sont les suivants :

- projet de recherche sur « Le potentiel géothermique de La Réunion. Bilan des connaissances et perspectives. », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2000) ;
- projet de recherche de géothermie à La Réunion 2001-ENE-R06 sur des « Compléments d'étude géothermique dans l'île de La Réunion (géologie, géochimie). », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2001) ;
- projet de recherche Géothermie de La Réunion, financé par le Conseil régional de La Réunion (2002-2005) ;
- projet de service public sur la « Synthèse hydrogéologique du cirque de Salazie (Ile de la Réunion). Synthèse bibliographique et évaluation de la ressource en eau. », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2002) ;
- projet de service public sur l' « Etude du système hydrothermal d'Hell Bourg (commune de Salazie). Historique des thermes et nouvelles reconnaissances géophysiques et géochimiques. », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2002-2003) ;
- projet de service public sur l' « Etude du potentiel hydrothermal de la zone amont de la rivière du Bras Rouge (Cirque de Cilaos) - Première phase d'étude. », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2002-2003) ;
- projet de service public sur l' « Etude du potentiel hydrothermal de la zone amont de la rivière du Bras Rouge (Cirque de Cilaos) - Phase 2 » », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2004-2005) ;
- carte géologique du cirque de Mafate au 1/10000, BRGM (2008) ;
- carte géologique du cirque de Cilaos au 1/10000, BRGM (2008) ;
- notice des cartes géologiques des cirques du Piton des Neiges (Ile de la Réunion, France) (2008) ;
- projet d'appui aux politiques publiques sur l' « Identification du potentiel en eau minérale gazeuse du cirque de Salazie. », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2012-2013) ;

- projet d'appui aux politiques publiques EGHERI (Exploration Géothermique Haute Energie à La Réunion) - Phase 1 sur l' « Identification des secteurs d'intérêt potentiel pour le développement de la géothermie sur l'île de La Réunion, hors cœur du Parc National. », cofinancé par la DEAL et L'ADEME de La Réunion, et en partenariat avec la Région Réunion, le Parc National, le laboratoire Géosciences de l'Université de La Réunion et le laboratoire Magma et Volcans de l'Université de Clermont-Ferrand (2013-2015) ;
- carte géologique des cirques du Massif du Piton des Neiges (Ile de La Réunion, France) (2014) ;
- projet d'appui aux politiques publiques sur l' « Acquisition géophysique héliportée de l'île de La Réunion, cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2014) ;
- projet d'appui aux politiques publiques sur l' « Analyse des circulations d'eaux hydrothermales du cirque de Salazie pour la caractérisation du potentiel en eau minérale - phase 2. », cofinancé par le Conseil régional de La Réunion (2014-2015) ;
- thèse de Doctorat de Bhavani Bénard de l'Université de La réunion sur la « Caractérisation du système hydrothermal du Piton des Neiges par des méthodes géochimiques et isotopiques. », cofinancée par l'ADEME et co-encadrée par le BRGM (2017-2020) ;
- programme d'appui aux politiques publiques de relance de l'Exploration Géothermique Haute Energie à La Réunion (EGHERI - Phase 2) proposé à la DEAL, ADEME et Conseil Général de La Réunion en août 2020 sur la compréhension des circulations de fluides profonds (Etang Salé et plaine des Palmistes).

Comme déjà évoqué, ces projets concernent principalement la zone du Piton des Neiges et des cirques de Salazie et de Cilaos, ainsi que celle du Piton de La Fournaise, qui est actuellement le volcan actif.

En ce qui concerne la première zone, on peut mentionner les études d'intérêt suivantes sur :

- les sources thermales du Piton des Neiges (BRGM, 1966 ; 1968a ; 1968b ; Iundt *et al.*, 1992 ; Iundt et Mauroux, 1992 ; Sanjuan *et al.*, 2001 ; Frissant *et al.* 2003a ; 2003b ; Lacquement *et al.*, 2005 ; Aunay *et al.*, 2013 ; Bénard, 2020 ; Bénard *et al.*, 2015, 2020) et les émanations de gaz associées (Marty *et al.*, 1993) ;
- les structures et l'évolution du volcan du Piton des Neiges : leurs relations avec les structures du bassin des Mascareignes, océan Indien occidental (Chevalier, 1979) ;
- le forage de gradient géothermique de Roche Plate, dans le cirque de Salazie (Rançon *et al.*, 1981) ;
- les différents travaux de datation K-Ar du Piton des Neiges (Gillot *et al.*, 1982 ; Cruchet *et al.*, 2008 ; Smietana, 2011) et de datation ^{230}Th-^{238}U et ^{14}C sur des séries de laves différenciées de ce volcan (Deniel, 1988 ; Deniel *et al.*, 1992) ;
- l'histoire hydrothermale du Piton des Neiges et les minéralisations hydrothermales (Rançon, 1982 ; 1985) ;
- la découverte de zones fumerolliennes récentes dans le cirque de Salazie (Rançon et Rocher, 1985) ;
- la géologie du forage géothermique de Salazie SLZ1 (Chovelon, 1986) ;
- la géodynamique des cirques de La Réunion. Implications géotechniques et stabilité des versants (Haurie, 1987) ;

- les résultats de l'exploration géothermique haute énergie du cirque de Salazie et le modèle géothermique (Rocher *et al.*, 1987 ; Rocher, 1988 ; 1990 ; Demange *et al.*, 1987 ; 1989)
- l'étude géochimique et isotopique de l'infiltration sous climat tropical contrasté relative au Massif du Piton des Neiges (Grünberger *et al.*, 1988 ; Grünberger, 1989) ;
- le magmatisme du Piton des Neiges (Deniel, 1990) ;
- la caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire du Piton des Neiges (Join, 1991) et la synthèse hydrogéologique du cirque de Salazie, avec une évaluation de la ressource en eau (Moulin et Lebon, 2002) ;
- l'évolution magmatique et morpho-structurale du Piton des Neiges au cours des derniers 500 000 ans (Kluska, 1997) ;
- les processus de démantèlement des volcans, dans un volcan bouclier en milieu océanique, tel que le Piton des Neiges (arnaud, 2005), et les avalanches de débris sur le flanc occidental du volcan bouclier Piton des Neiges (Bachèlery *et al.*, 2003) ;
- la caractérisation des argiles et des zéolites dans l'altération du volcan bouclier du Piton des Neiges en milieu tropical (Bret *et al.*, 2003) ;
- les cartes géologiques des cirques du massif du Piton des Neiges (Lacquement et Jacques, 2008 ; Lacquement et Nehlig, 2008 ; Lacquement et Nehlig, 2014) ;
- les processus de transfert des éléments volcano-détritiques dans les plaines abyssales autour de l'île de La Réunion (Océan Indien) : exemple du système turbiditique de Cilaos (Sisavath, 2011) ;
- les intrusions tabulaires et les déformations du Piton des Neiges, et leurs implications sur la volcano-tectonique de l'île de La Réunion (Chaput, 2013 ; Chaput *et al.*, 2017) ;
- la localisation des injections de magma, d'altération hydrothermale et de déformation dans un décollement volcanique tel que celui du Piton des Neiges (Famin *et al.*, 2016).

En ce qui concerne la zone du Piton de la Fournaise, il existe de très nombreuses études consacrées à ce volcan (Bachèlery, 1981 ; Lénat *et al.*, 1990a ; 1990b ; Bachèlery et Lénat, 1993 ; Stieltjes, 1995 ; Lénat *et al.*, 2001 ; Fontaine *et al.*, 2002 ; Oehler *et al.*, 2004, 2008 ; Letouneur and Gudmundsson, 2006 ; Letourneur *et al.*, 2008 ; Peltier *et al.*, 2009 ; Boudoire *et al.*, 2017), notamment à :

- sa construction (Michon *et al.*, 2007a, 2007b, 2009 ; Lénat, 2016) ;
- ses éruptions (Gillot and Nativel, 1989 ; Longpré *et al.*, 2006 ; Coppola *et al.*, 2007 ; Peltier *et al.*, 2007, 2008 ; Vlastélic *et al.*, 2007, 2011 ; 2013 ; Boivin and Bachèlery, 2009 ; Staudacher *et al.*, 2009 ; Frogert *et al.*, 2015 ; Ort *et al.*, 2016 ; Di Muro *et al.*, 2016) et coulées historiques (Stieljes, 1986) ;
- sa géochronologie (McDougall, 1971) ;
- son évolution volcano-structurale (Chevallier et Bachèlery, 1981 ; Bachèlery et Marine, 1990 ; Le Friant *et al.*, 2011) ;
- son évolution géochimique (Albarède and Tamagnan, 1988) ;
- les effondrements de calderas et les glissements de flancs (Duffield *et al.*, 1982 ; Merle *et al.*, 2003 ; 2008 ; 2010) ;
- les avalanches de débris sur le flanc occidental du massif (Bachèlery *et al.*, 2003) ;

- les circulations d'eau dans le massif (Gourgand and Stieltjes,1987 ; 1988 ; Nicolini *et al.*, 1988, 1991; Sykioti, 1991 ; Violette, 1990 ; 1993 ; Violette *et al.*, 1997 ; Join *et al.*, 2005) et la distribution de la perméabilité (Folio, 2001).

Des travaux de géophysique en magnétisme (Lénat and Aubert, 1982 ; Michel and Zlotnicki, 1998), en gravimétrie (Rousset *et al.*, 1989 ; Gailler *et al.*, 2009), en polarisation spontanée (Zlotnicki *et al.*, 1994 ; Boubekraoui *et al.*, 1998 ; Michel and Zlotnicki, 1998), en audio-magnétotellurique (AMT; Courteaud *et al.*, 1996, 1997; Ritz *et al.*, 1997), en électrique (Descloitres *et al.*, 1997 ; Lénat *et al.*, 2000), en électromagnétisme (Boubekraoui *et al.*, 1998), en sismique (Duputel *et al.*, 2009) et en imagerie satellitaire (Gouhier et Coppola, 2011) ont été réaliser pour mieux connaître la structure de ce volcan, les systèmes convectifs, la présence de biseaux salés (sur le flanc sud du volcan), la circulation des eaux souterraines et l'hydrothermalisme. Des travaux de géochimie sur les gaz dans les sols (Liuzzo *et al.*, 2015) et dans quelques fumerolles (Marty *et al.*, 1993) du Piton de la Fournaise ont également été réalisés.

Les travaux spécifiques à l'exploration géothermique dans la zone du Piton de la Fournaise ont été principalement effectués dans deux régions :

- la région du Grand Brûlé, au cours de la réalisation du forage profond SR1, en 1985-1986 ;
- la région de la Plaine des Sables.

Pour ce qui concerne la région du Grand Brûlé, on peut citer les travaux suivants :

- le forage géothermique du Grand Brûlé (SR1). Dossier des ouvrages exécutés (CFG, 1986) ;
- la mise en évidence par forage d'une chambre magmatique ancienne à l'aplomb de la zone orientale du Piton de la Fournaise (île de La Réunion). Implications volcaniques Rançon *et al.* (1987) ;
- le forage d'exploration du Grand Brûlé - Nouvelles données sur la structure profonde du volcan du Piton de la Fournaise : 1. Unités litho-stratigraphiques et implications volcano-structurales (Rançon *et al.*, 1989). 2. Minéraux secondaires (Lerebour *et al.*, 1989). 3. Chimie minérale des roches rencontrées (Augé *et al.*, 1989).
- la synthèse géophysique de la zone de forage de reconnaissance géothermique du Piton de la Fournaise (Levieux, 2004).

Pour ce qui concerne la région de la plaine des Sables, les principaux travaux sont :

- la structure électrique de la caldera de la plaine des Sables (Schnegg, 1997) ;
- la cartographie de la polarisation spontanée du Piton de la Fournaise et de la zone des plaines (Lénat *et al.*, 2003b) ;
- les campagnes de magnétotellurique et TDEM à la plaine des Sables (Phoenix Geophysics, 2002 ; Geosystem, 2004 ; 2005).

2.4. ILE DE MAYOTTE

Les premiers grands travaux d'exploration géothermique sur cette île sont ceux qui ont démarré le plus tardivement par rapport aux autres îles. Ces travaux sont aussi les moins nombreux. Ils ont été réalisés, pour la plupart, par le BRGM et CFG, sa filiale, et ont commencé en 2005-2006 par une campagne d'exploration de l'ensemble de l'île, cofinancée par la Collectivité Départementale de Mayotte et le BRGM, qui a mis en évidence que seule l'île de Petite Terre montrait un intérêt pour le développement de la géothermie (Traineau *et al.*, 2006).

Après cette première campagne de reconnaissance, une deuxième étude, toujours cofinancée par la Collectivité Départementale de Mayotte et le BRGM (Pajot *et al.*, 2007 ; Sanjuan *et al.*, 2008), a porté sur des travaux de géophysique en gravimétrie, magnétisme et panneau de résistivité électrique sur l'île de Petite Terre, notamment sur sa partie Est (fig. 76), sur laquelle se trouvent le lac Dziani et une plage située au sud-est de l'île, où l'on observe des dégagements de gaz (principalement constitués de CO_2). Une meilleure quantification et caractérisation chimique et isotopique de ces dégagements de gaz avaient également été effectués pour connaître l'origine et les flux de ces émanations.

Finalement, étant donné le coût et la complexité d'un programme d'exploration du potentiel géothermique profond à Petite Terre, incluant notamment la réalisation de forages d'exploration, une troisième étude, cofinancée par l'ADEME de Mayotte et le BRGM (Darnet *et al.*, 2019), a été réalisée en 2019 pour définir ce programme, qui devrait commencer cette année.

Entretemps, la naissance d'un nouveau volcan au large de Mayotte et la valorisation des données acquises par le Réseau de Surveillance Volcanologique et Sismologique de Mayotte (REVOSIMA) sont venues conforter l'intérêt pour le développement de la géothermie.

Les principales références bibliographiques sur l'île de Mayotte (56 références au total) ont été reportées dans l'annexe 4 de ce rapport.

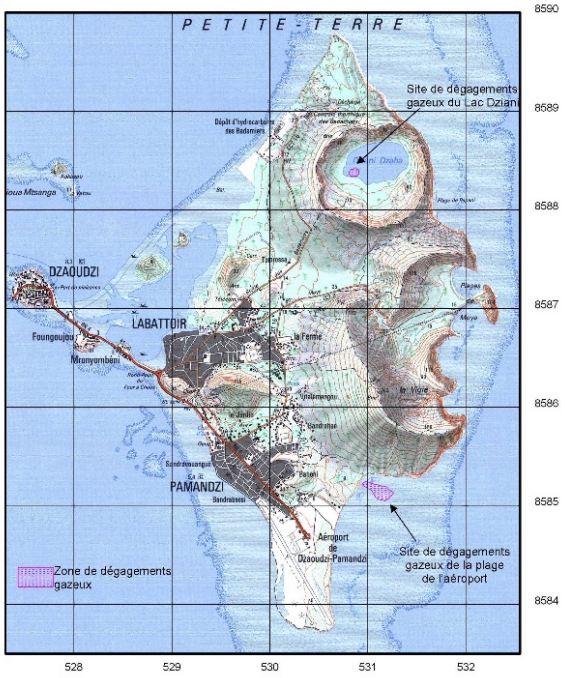


Figure 76 - Localisation de la zone de dégagement gazeux de CO_2, d'origine magmatique, située sur une plage près et à l'est de l'aéroport (Traineau et al., 2006).

2.4.1. Nature des travaux

Comme pour les trois autres îles, mais en nombre beaucoup moins important, des travaux d'exploration de surface en géologie, géochimie, géophysique et hydrogéologie ont été menés à Mayotte par le BRGM, entre 2005 et 2008 (Traineau *et al.*, 2006 ; Pajot *et al.*, 2007 ; Sanjuan *et al.*, 2008). Dans le cadre de l'établissement de la cadre géologique, une campagne d'acquisition électro-magnétique aéroportée a été réalisée en 2010 (Nehlig *et al.*, 2013). Aucun forage profond n'y a été réalisé.

Les données géo-scientifiques numériques obtenues au cours de ces travaux sont pratiquement les seules disponibles. Dans le projet de 2019, un SIG a été réalisé afin de rassembler toutes les données géologiques, géochimiques et géophysiques disponibles sous un même environnement et de permettre l'édition d'une carte. Seule la partie de la carte géologique de Petite Terre a été incluse dans le SIG pour ne pas alourdir inutilement la carte. Les données géochimiques concernent aussi bien les gaz que les sources avec les analyses physico-chimiques et chimiques disponibles dans les rapports. Les données de géophysique (gravimétrie, profil électrique, données MT, électromagnétiques…) y ont également été intégrées. Afin d'aider à l'implantation future de forages d'exploration, des éléments d'aménagement du territoire ont aussi été considérés dans le SIG. Il s'agit du plan d'occupation des sols indiquant les surfaces anthropisées, les surfaces naturelles et la végétation, les espaces remarquables et les espaces naturels de protection stricte. Ces données ont été récupérées auprès du site internet de l'Observatoire de Mayotte géré par la DEAL.

Des cartes et coupes de synthèse sont déjà disponibles (Stieljes, 1988, figs. 77 et 78 ; Audru *et al.*, 2013, fig. 79 ; Traineau *et al.*, 2006, fig. 80 ; Sanjuan *et al.*, 2008, figs. 81 et 82 ; Darnet *et al.*, 2019, figs. 83 et 84 ; Pajot *et al.*, 2007, figs. 85 et 86 ; Sanjuan *et al.*, 2008, fig. 87 ; Darnet *et al.*, 2019, fig. 88). Un premier modèle conceptuel du fonctionnement du système hydrothermal de la zone de la plage de Petite Terre où des dégagements de CO_2 ont été observés a été réalisé par Traineau *et al.* (2006 ; fig. 89), puis complété par Sanjuan *et al.* (2008 ; fig. 90).

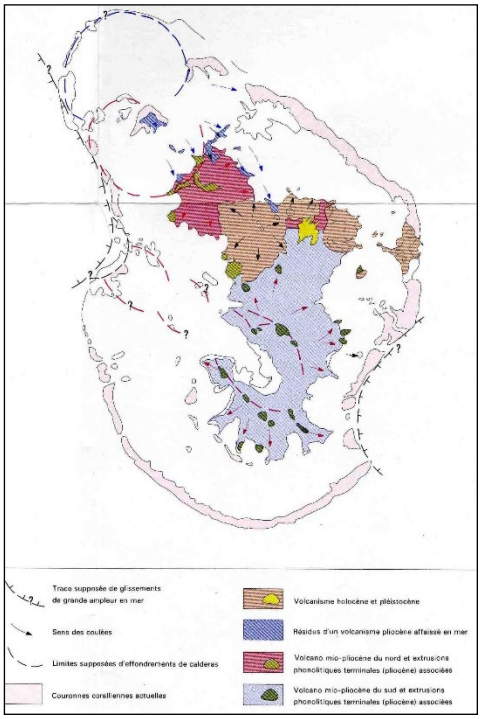


Figure 77 - Schéma volcano-structural de l'ile de Mayotte (d'après Stieltjes, 1988).

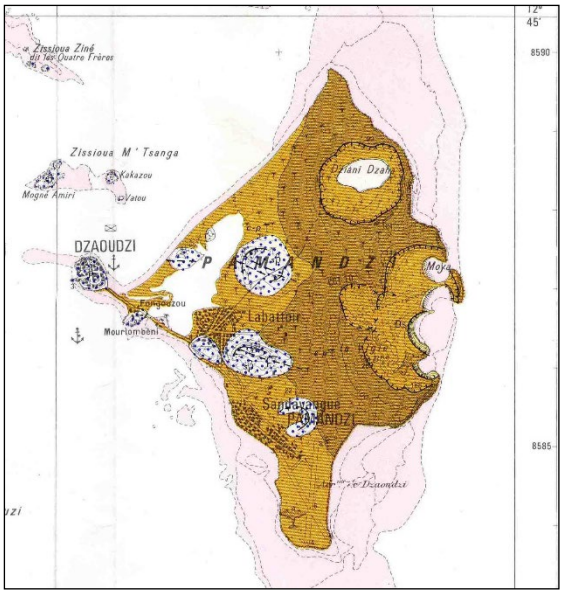


Figure 78 - Extrait de la carte géologique de Mayotte au 1/50 000 (Stieltjes, 1988) montrant la géologie de Petite Terre. Les dépôts de cendres et ponces trachytiques des appareils de Dziani et de La Vigie sont représentés en brun foncé et clair. Les appareils stromboliens ponctuels (points bleus sur fond blanc) sont contemporains ou antérieurs. La barrière corallienne est représentée en rose clair (Traineau et al., 2006).

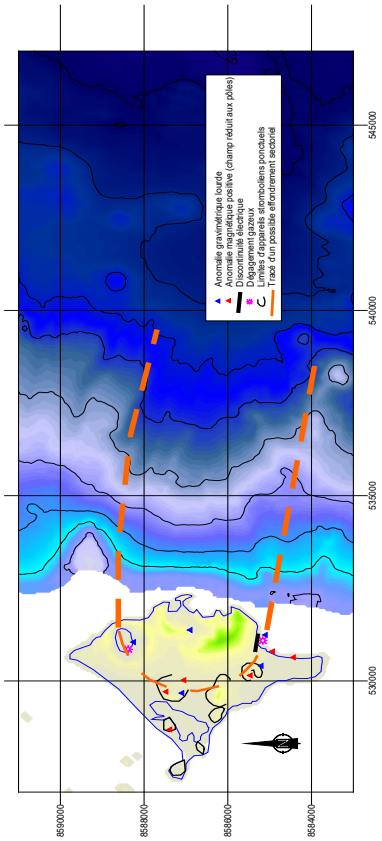


Figure 79 - Extrait de la carte bathymétrique de Mayotte (Audru et al., 2006) montrant un large ravinement en relation avec un effondrement sectoriel potentiel et un collapse d'origine volcanique, très probablement associés au volcanisme strombolien de Petite Terre, marqué par les anomalies.

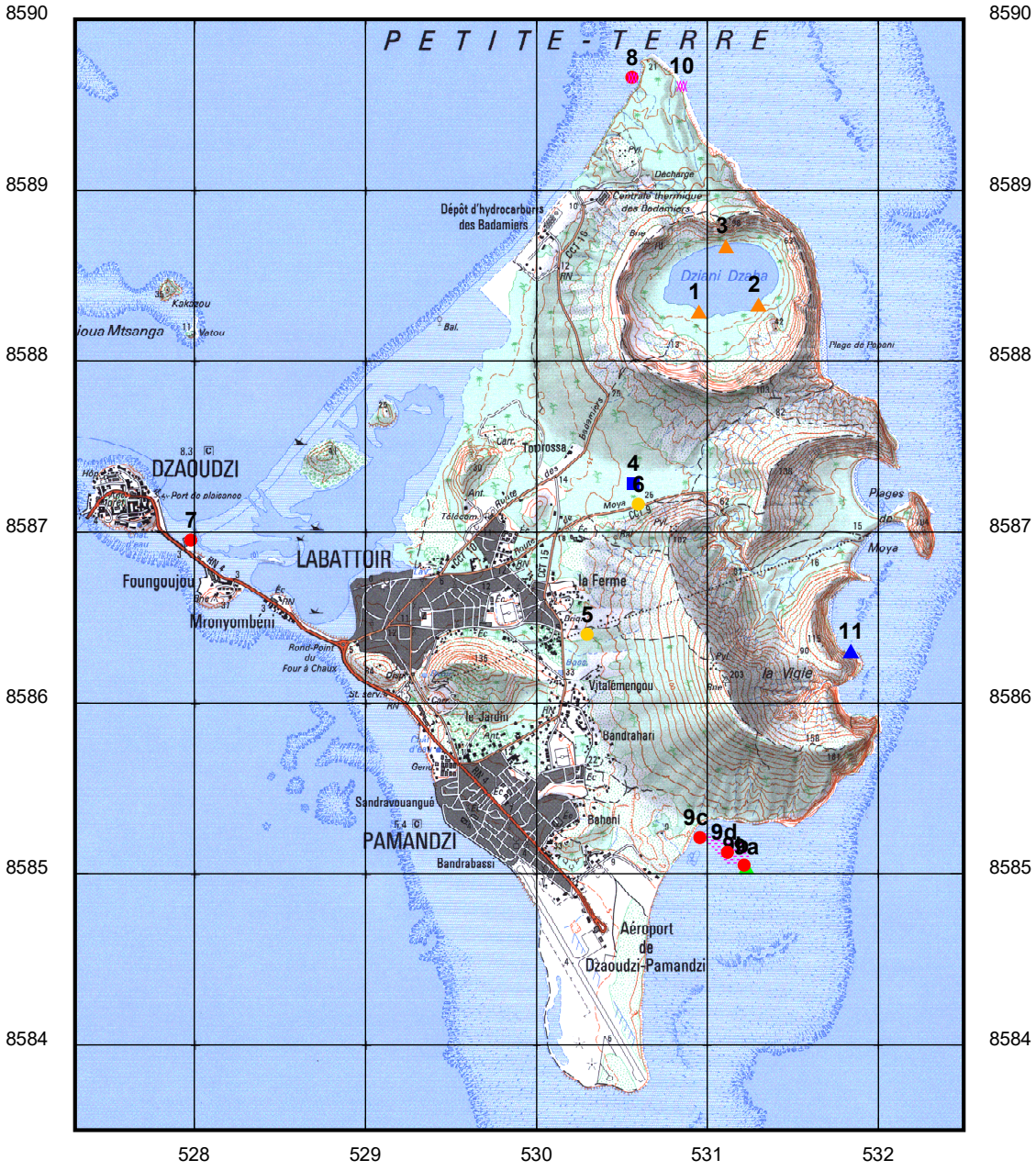
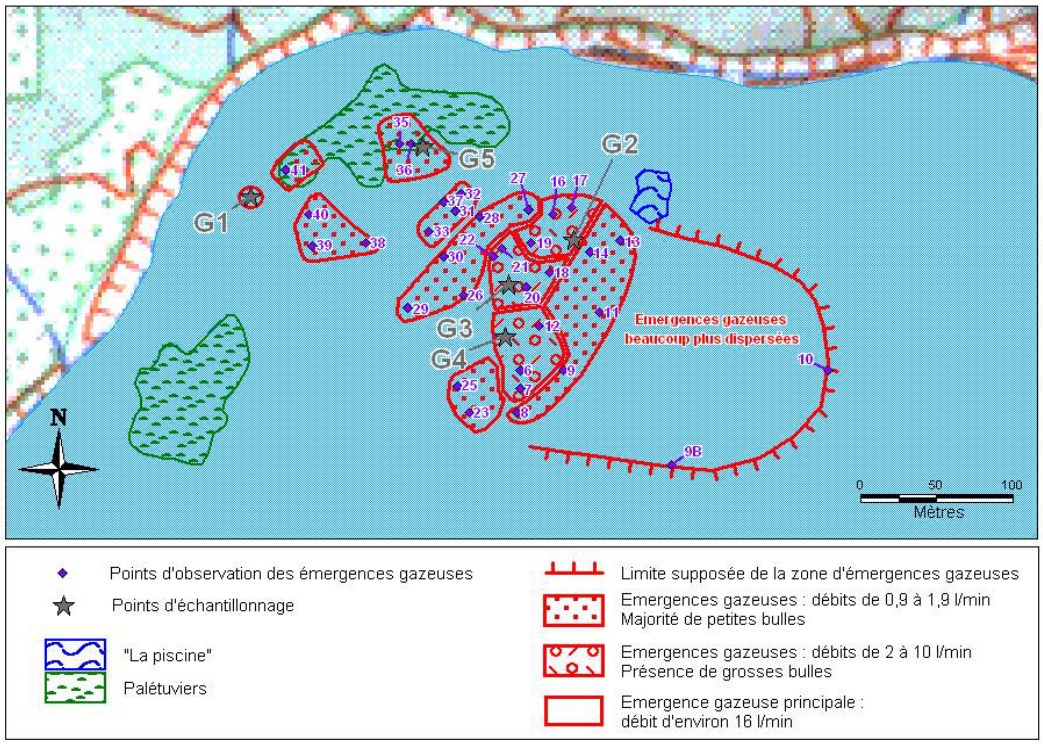


Figure 80 - Localisation des observations remarquables et des points de prélèvements réalisés durant la campagne de reconnaissance de Petite Terre (Traineau et al., 2006).

Sites 1,2,3 : points de mesures et prélèvement d'eau au bord du Lac Dziani ;
Site 4 : Puits de M. Hussein Ali, L'Abattoir, et prélèvement d'eau ;
Sites 5 et 6 : Forages d'eau de Pamandzi 1 et 2 ;
Sites 7 et 8 : dégagements de gaz observés et prélevés (air atmosphérique) ;
Site 9 : zone de dégagements gazeux et de prélèvements (eau, gaz) de la plage et du lagon à l'est de l'aéroport ;
Sites 8 et 10 : couloirs de fissuration dense (plage des Badamiers et de Papani) ;
Site 11 : suintements d'eau froide sur la plage de Moya et prélèvement d'eau.



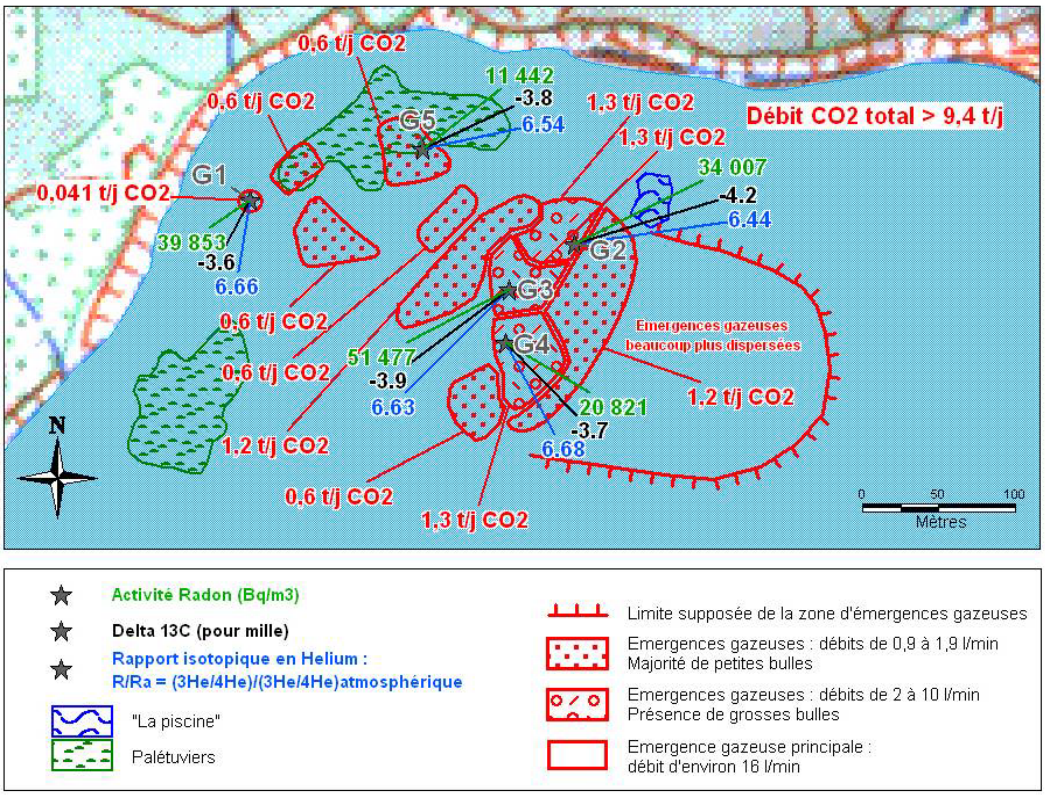


Figure 81 - Limites de la zone de dégagement gazeux de CO_2, située sur une plage près et à l'est de l'aéroport (Sanjuan et al., 2008). Vue du haut : points d'observation et de prélèvements (G1, G2, G3, G4 et G5). Vue du bas : estimations des débits de CO_2, analyses de radon et des valeurs isotopiques du carbone-13 (en noir) et du rapport $^3He/^4He$ (en bleu).

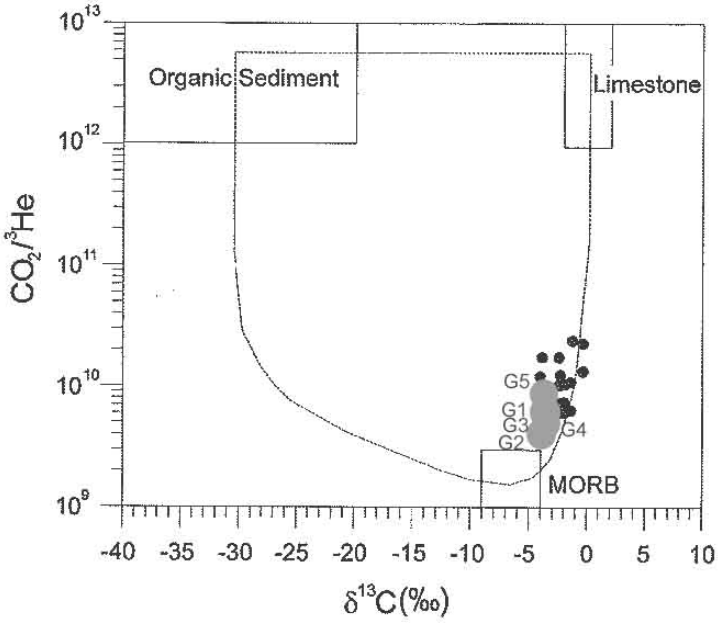


Figure 82 - Diagramme reliant les rapports $CO_2/^3He$ et les valeurs isotopiques en carbone-13 du CO_2 des échantillons de gaz prélevés sur la plage située près de l'aéroport (Sanjuan et al., 2008). Ce diagramme a été proposé par Sano et Marty (1995) pour évaluer la contribution des 3 composants généralement présents dans les zones de subduction, à savoir les MORB, les sédiments organiques et les carbonates marins.

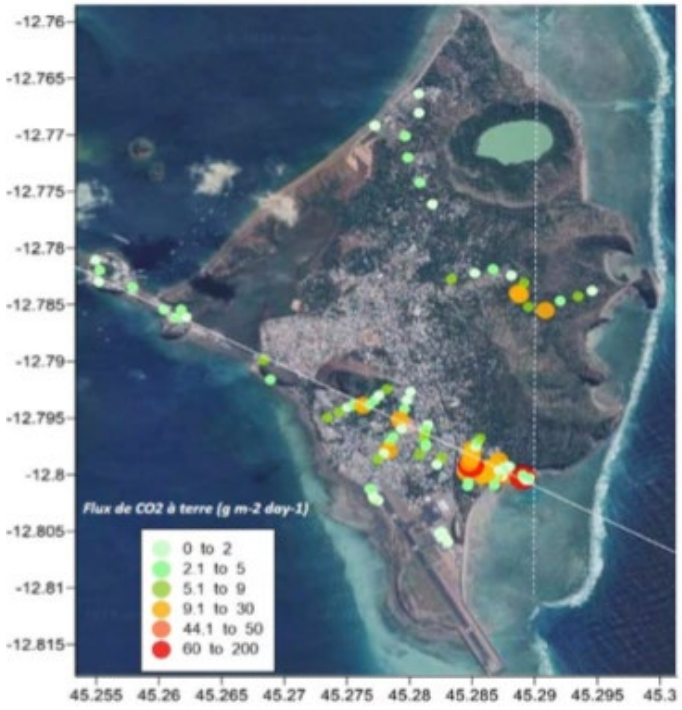


Figure 83 - Distribution spatiale des émissions de CO_2 par le sol (méthode de la chambre d'accumulation). On remarquera la présence d'émissions d'intensité modérée sur l'alignement SE-NO des cônes basaltiques. Note : l'échelle d'intensité (jusqu'à 2 ordres de grandeur plus élevés) sur le platier ne correspond pas à celle à terre (extrait de Bulletin n° 4 REVOSIMA) (Darnet et al., 2019).

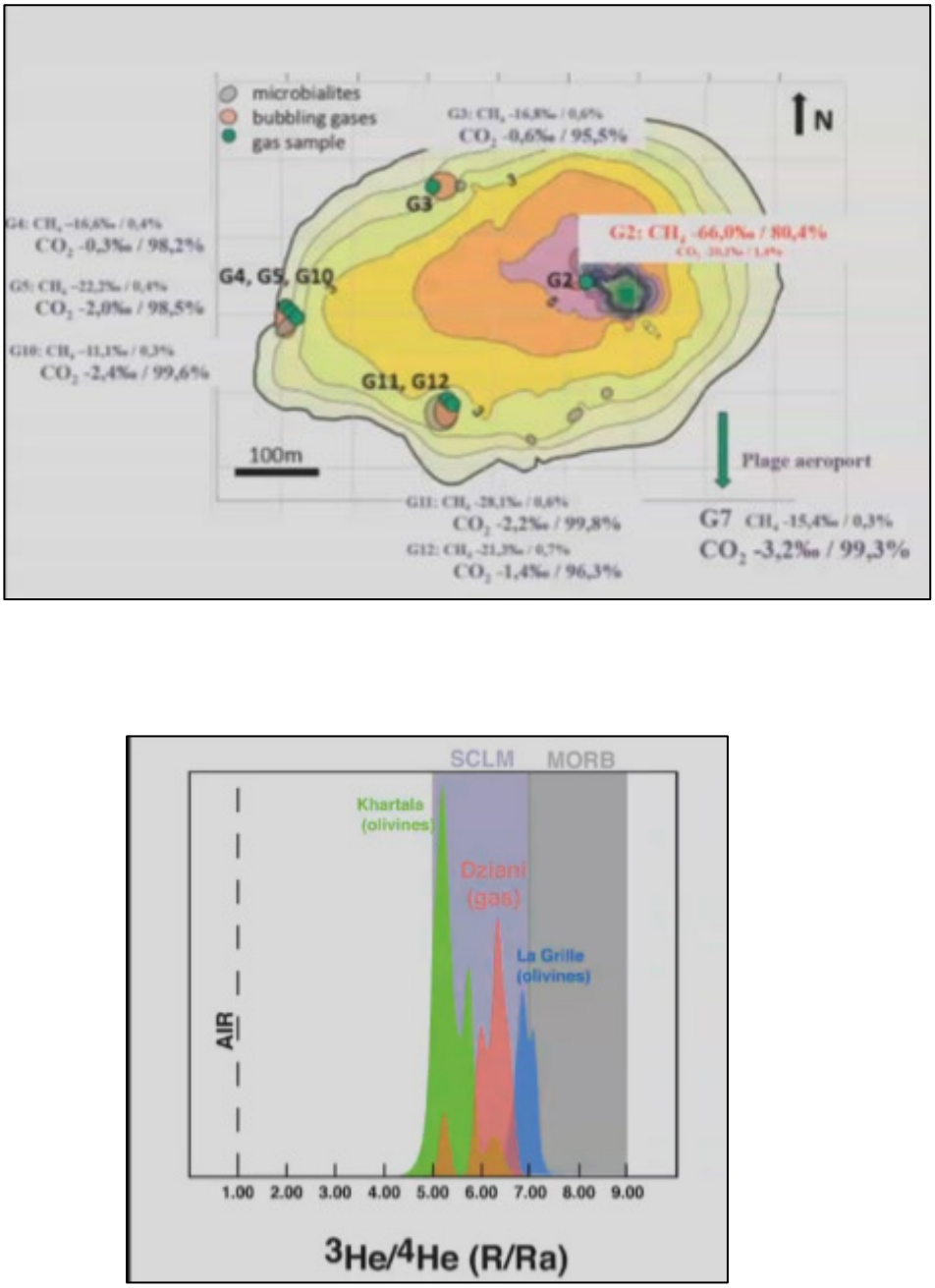


Figure 84 - Résultats analytiques concernant plusieurs sorties de gaz du lac Dziani acquis en août 2016. Vue du haut : compositions chimiques et isotopiques de ces sorties, qui montrent la prédominance de CO_2 (extrait d'ANR-Dziani Team ; Milesi et al., submitted). Vue du bas : rapports isotopiques $^3He/^4He$ de ces sorties indiquant une signature magmatique claire (extrait Moreira, IPGP) (tiré de Darnet et al., 2019).

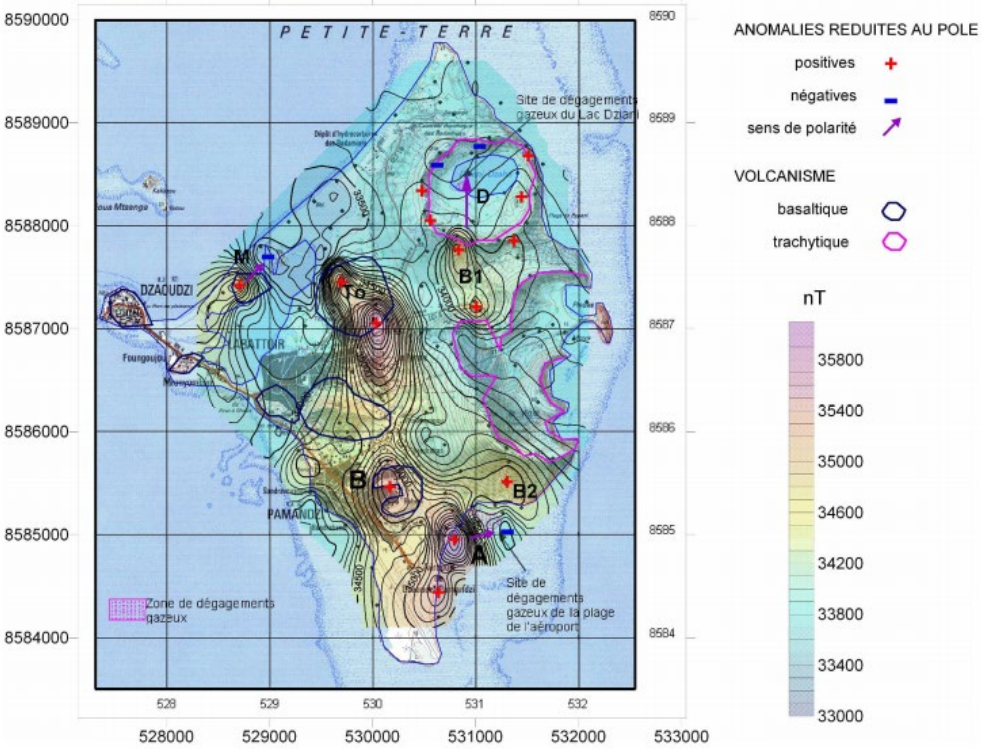


Figure 85 - Carte du champ magnétique réduit au pôle de l'île de Mayotte, avec superposition des édifices volcaniques et indication des principales anomalies magnétiques et de leur polarité (Pajot et al., 2007).

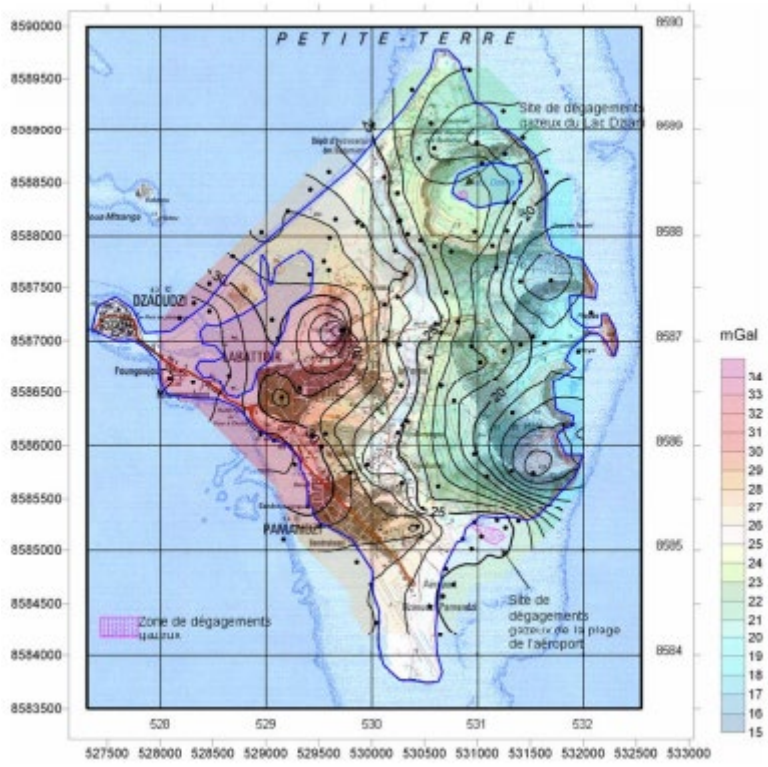


Figure 86 - Carte d'anomalie de Bouguer en densité 1,8 de l'île de Mayotte (Pajot et al., 2007).

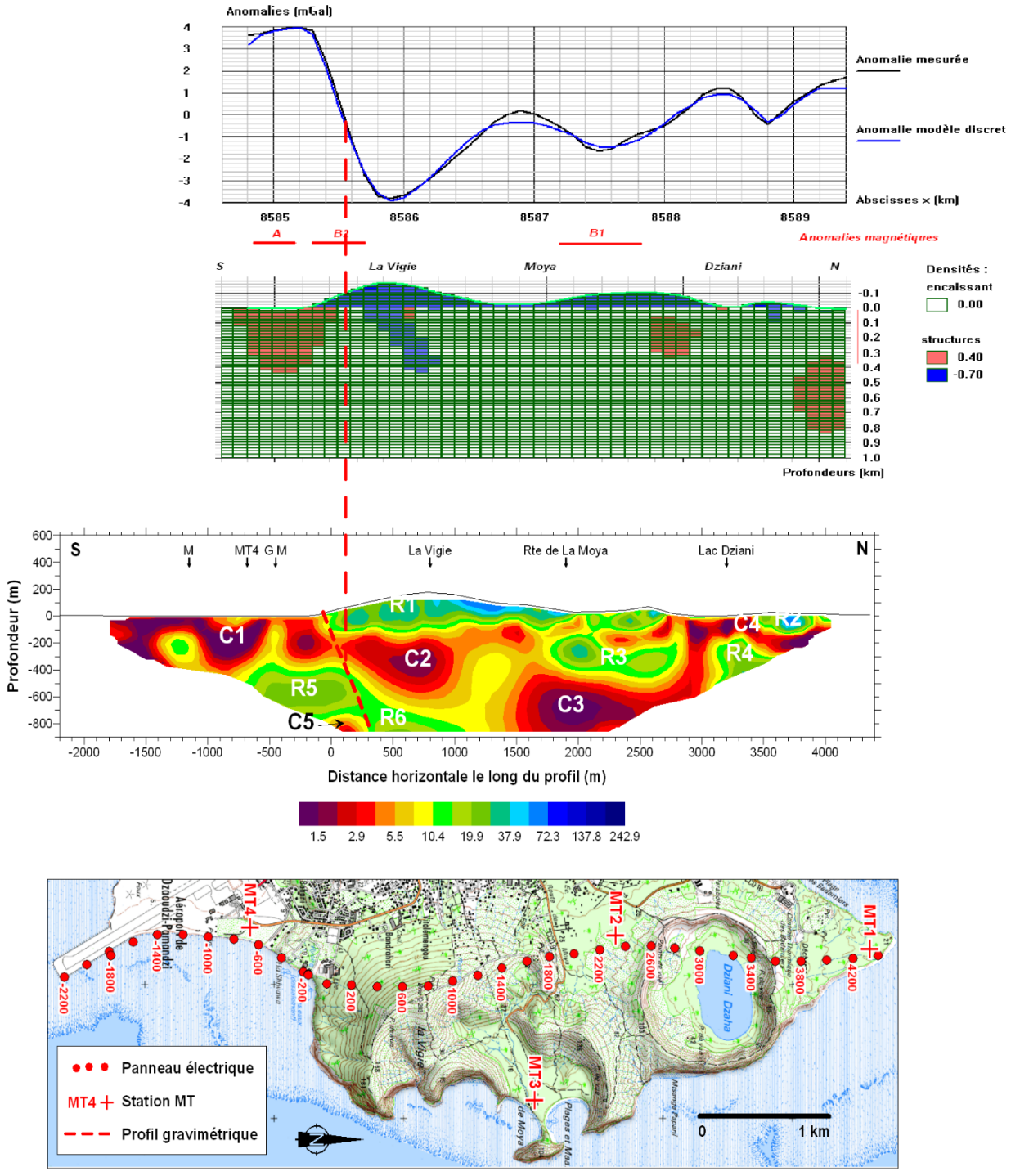


Figure 87 - Panneau de résistivité inversé, corrigé de l'effet de la mer en prenant en compte la topographie 3D de l'île comparé au profil gravimétrique réalisé par Pajot et al. (2007). Les lettres G et M désignent, respectivement, les anomalies gravimétriques et magnétiques, MT4 le sondage MT du même nom (Sanjuan et al., 2008).

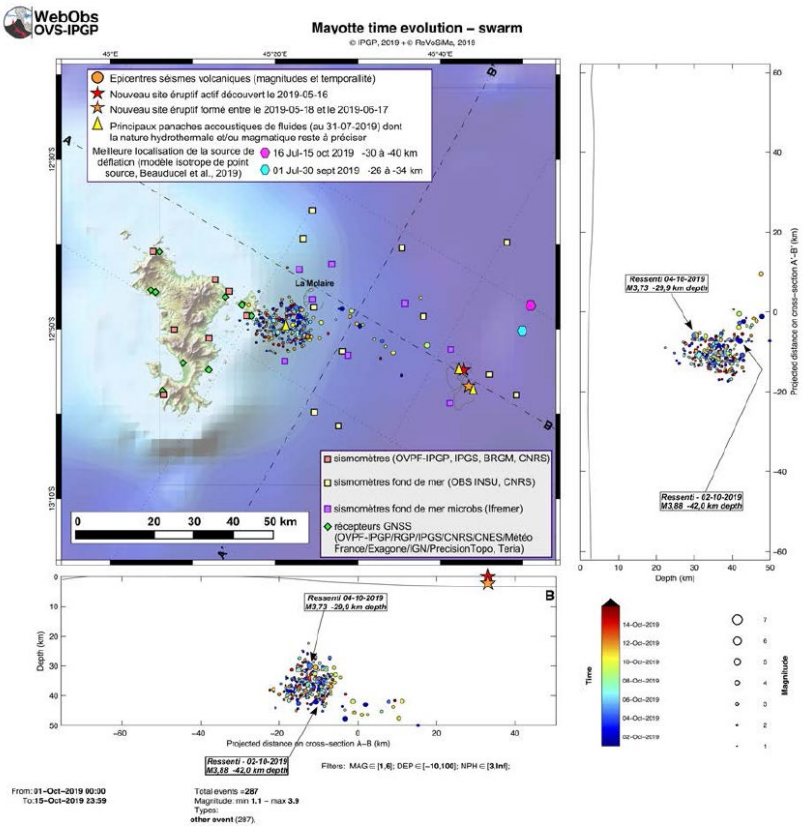


Figure 88 - Carte de localisation des épicentres (± 5 km) des séismes volcano-tectoniques, avec les réseaux sismiques à terre (IPGP-IFREMER-CNRS-BRGM-BCSF-RéNaSS, IPGS) entre le 1er et le 15 octobre 2019 (15 jours) (échelle temporelle de couleur) et coupes transverses et axiales le long de la ride montrant la localisation estimée en profondeur (précision variant entre ± 5 km et ± 15 km) des séismes en fonction de la magnitude (taille des symboles). L'étoile rouge indique le site éruptif nouvellement identifié le 16 mai 2019, et l'étoile orange le deuxième site éruptif identifié le 17 juin 2019. (© OVPF-IPGP, BRGM, IFREMER, CNRS, BCSF-RéNaSS, IPGS / REVOSIMA) (tiré de Darnet et al., 2019).

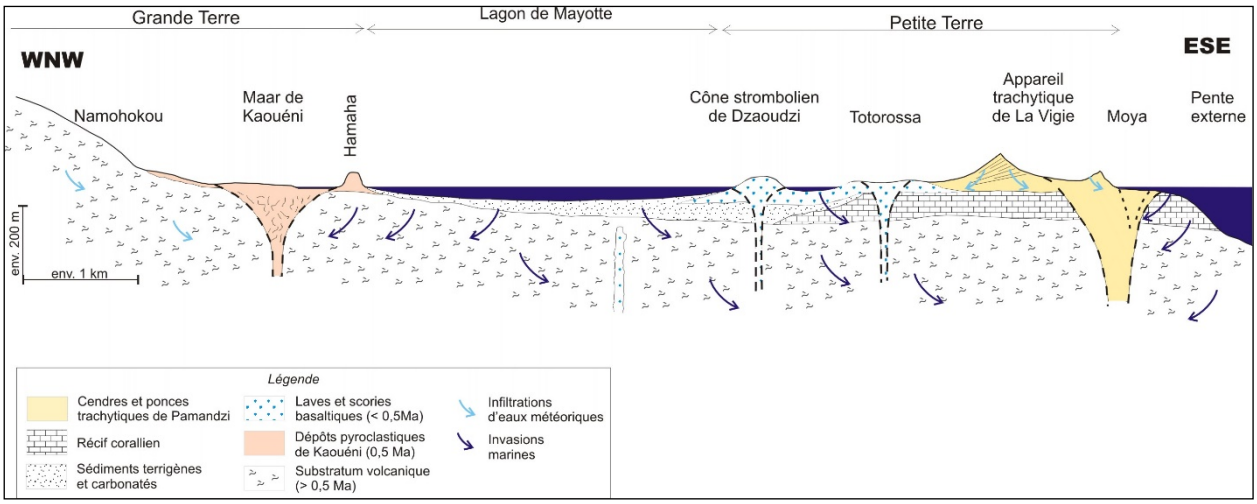


Figure 89 - Section verticale interprétative entre Mamoudzou et Petite Terre selon un profil orienté ONO- ESE, montrant la géologie et les écoulements de fluides supposés dans le substratum (échelle verticale triplée par rapport à l'échelle horizontale pour mieux visualiser les reliefs) (Traineau et al., 2006).

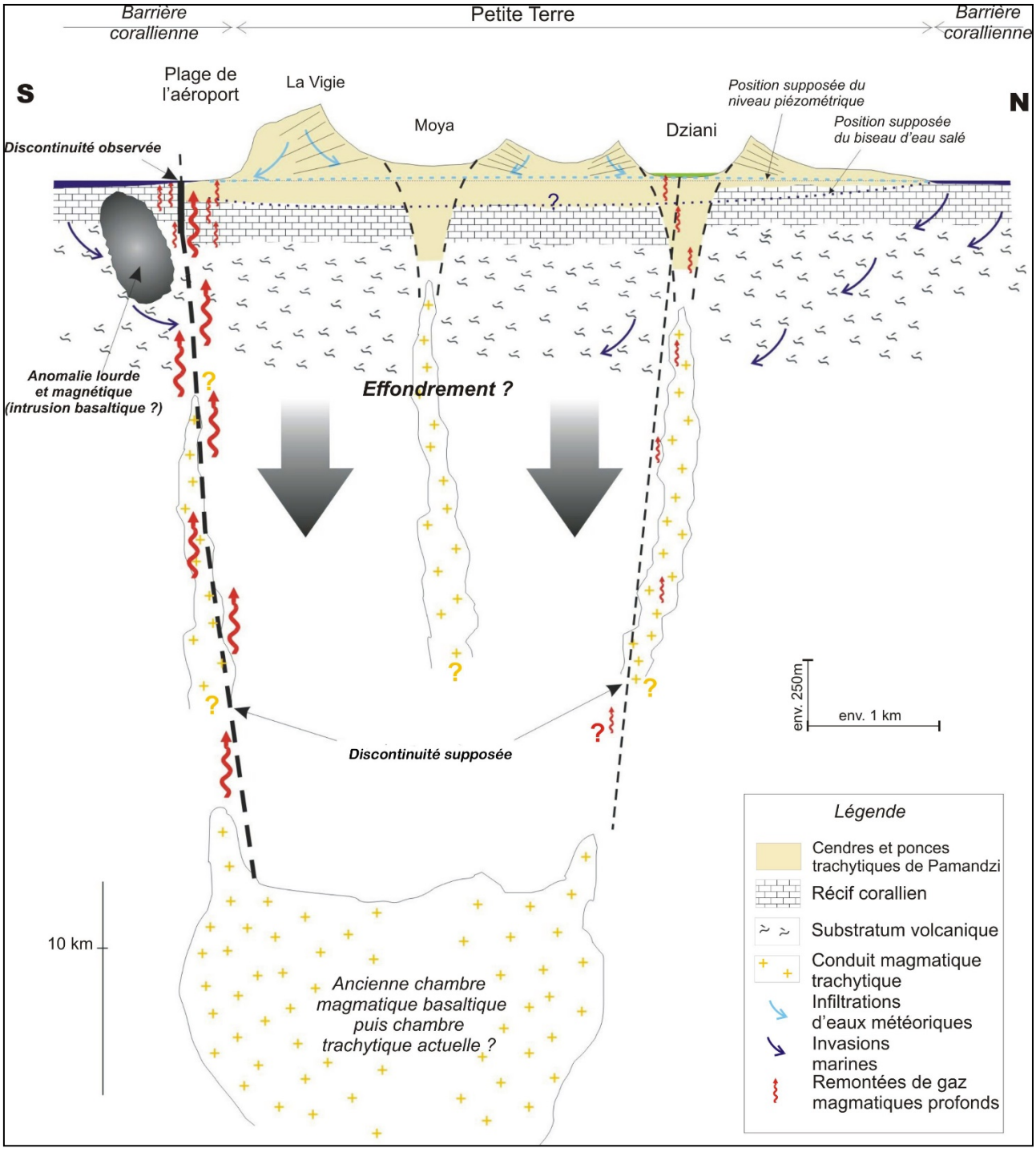


Figure 90 - Section verticale interprétative orientée N-S à travers l'île de Petite Terre et montrant la géologie du substratum et les liens entre dégagements gazeux et activité magmatique récente. Les formations carbonatées récifales sur lesquelles reposent les formations volcaniques récentes de Petite Terre sont probablement envahies par l'eau de mer et peuvent constituer un écran aux remontées d'éventuels fluides géothermaux profonds. Cette section, tirée de Traineau et al. (2006), a été reprise en tenant compte des nouveaux résultats obtenus au cours d'une nouvelle étude (Sanjuan et al., 2008).

2.4.2. Principaux projets d'exploration géothermique récents

Comme déjà évoqué, ci-dessous, un récapitulatif des principaux projets d'exploration géothermique réalisés sur l'île de Mayotte :

- projet de service public 06ENEB07 sur l' « Etat des connaissances du potentiel géothermique de Mayotte - Phase 1. », cofinancé par la Collectivité Départementale de Mayotte et avec la collaboration de CFG Services (2005-2006) ;
- projet de service public BRGM 2007 PSP07MAY17 sur l' « Estimation du potentiel géothermique de Mayotte - Phase 2. Investigations géologiques, géochimiques et géophysiques complémentaires, synthèse des résultats. », cofinancé par la Collectivité Départementale de Mayotte (2007-2008) ;
- projet d'appui aux politiques publiques BRGM 2018 AP18MDZ044 sur une « Etude de définition d'un programme d'exploration du potentiel géothermique profond à Petite Terre. », cofinancé par l'ADEME de Mayotte et avec la collaboration de CFG Services (2018-2019) ;
- projet de R&D sur des travaux d'exploration complémentaires sur l'île de Mayotte en géologie, géochimie des fluides et géophysique, ainsi qu'en modélisation-3D du réservoir géothermique pour mieux implanter des forages d'exploration, dont les caractéristiques techniques seront définies et le budget estimé. Ce projet a fait l'objet d'une convention de R&D avec le Conseil départemental de Mayotte, d'un cofinancement de l'ADEME de Mayotte et de l'AFD, et d'une sous-traitance avec CFG (2021-2023).

En dehors des principaux travaux de prospection géothermique proprement dits, menés à Mayotte, quelques études qui peuvent être intéressantes pour l'exploration méritent d'être également mentionnées dans ce rapport, telles que :

- celles menées sur la bathymétrie en mer (Audru *et al.*, 2006) ;
- celles effectuées en géologie (Stieljes, 1988 ; Coudray *et al.*, 1989 ; Deboeuf, 2004 ; Class et al., 2005 ; Zinke *et al.*, 2001 ; 2003 ; 2005 ; Pelleter, 2012 ; Lacquement *et al.*, 2013 ; Nehlig *et al.*, 2013 ; Pelleter *et al.*, 2014 ; Puyraveau *et al.*, 2014 ; Puyraveau, 2016 ; Famin *et al.*, 2020) ;
- celles conduites en hydrogéologie (Eberschweiler, 1986 ; Mauroux, 1992 ; Lapègue, 1999 ; Guilbert *et al.*, 2008 ; Jaouën *et al.*, 2011 ; 2012 ; 2013 ; Vittecoq *et al.*, 2014 ; Mallard *et al.*, 2018 ; Serniguet *et al.*, 2018) ;
- celles réalisées sur le lac Dziani (Gozlan et Lapègue, 1993 ; Bouttemy, 2003 ; Cadeau, 2017 ; Leboulanger *et al.*, 2017 ; Gérard *et al.*, 2018 ; Cellamare *et al.*, 2018 ; Jovovic, 2020) ;
- celles liées à la surveillance de la naissance du nouveau volcan (Bachèlery *et al.*, 2019 ; Di Muro *et al.*, 2019 ; Darnet *et al.*, 2020 ; bulletins REVOSIMA, différents sites de dernières informations sur l'activité sismo-volcanique, cf. annexe 4).

3. Choix de la stratégie à mener et évaluation des futures actions

3.1. ELABORATION DE LA STRATEGIE DE MISE EN PLACE D'UNE PLATEFORME DE DONNEES ET DE SERVICES NUMERIQUES SUR L'EXPLORATION GEOTHERMIQUE EN CONTEXTE VOLCANIQUE INSULAIRE

3.1.1. Principaux objectifs et phasage de la stratégie

La plateforme de données et de services numériques sur l'exploration géothermique de haute température dans les îles volcaniques, qui sera associée au Centre d'Excellence de géothermie de la Caraïbe, aura pour objectif de proposer une infrastructure des données permettant de documenter, diffuser et promouvoir un catalogue de données relevant du domaine d'application de l'exploration géothermique. Etant donné que cette plateforme a pour vocation d'intègrer les principales îles françaises d'Outre-mer concernées, mais aussi la plupart des autres îles volcaniques de la Caraïbe, elle sera construite en langue anglaise.

Cette plateforme fournira des outils pour la capitalisation, la consultation et la mise à disposition des données du domaine à destination des instituts de recherche, des services publics, des entreprises, ainsi que des acteurs nationaux et internationaux œuvrant dans le domaine de la géothermie haute température des îles françaises d'Outre-mer et des autres îles de la Caraïbe. Pour ce faire, et au regard, à ce stade, d'un manque de précision des besoins des utilisateurs afin d'orienter les services et fonctionnalités y répondant, nous proposons d'opérer **en 2 étapes** afin de bien définir la mise en place de la plateforme d'information numérique finale. La **première étape** sera constituée de deux phases.

La phase 1 consistera à mettre en œuvre : (i) le catalogage des données de l'inventaire : celui-ci permettra d'identifier le jeu de données *via* des métadonnées associées. Ces métadonnées suivront des standards afin d'être interopérables et, ainsi, faciliter leurs échanges et leurs consultations. A terme, ces standards faciliteront, par exemple, le référencement *via* des moteurs de recherche connus, et favoriseront le positionnement de la plateforme dans l'écosystème des infratructures de données geospatialisées (IDG) ; (ii) la capitalisation et le stockage de la donnée issue de l'inventaire des données d'exploration géothermique existantes. La capitalisation de la donnée consiste en la numérisation et le stockage des données sous la forme permettant son exploitabilité dans un périmètre défini de la plateforme ; (iii) la mise à disposition d'un portail pilote (mentionné portail V0 dans la suite du texte) de consultation et de visualisation de la donnée comportant 3 onglets principaux : *Catalogue des données* ; *Services de diffusion de la donnée* et *Visualisation de la donnée*.

La phase 2 se concentrera sur l'étude et le recueil de besoins des utilisateurs de la plateforme, afin de déterminer les services sur la donnée à mettre en place pour les utilisateurs.

La **deuxième étape (phase 3)** sera entièrement consacrée à la mise en place de la plateforme d'information numérique finale. A l'issue de la phase 2 de la première étape, des fonctionnalités et services pourront être proposés depuis le portail mis en place (gestion administrateur de la donnée, fonctionnalité de traitement sur la donnée, etc…). Cette deuxième étape sera techniquement détaillée et budgétée à la fin de l'étude de besoins des utilisateurs de la phase 2.

Il faut noter que la mise à disposition de services numériques sur la donnée, selon une interface utilisateur, implique : (1) la mise en place de l'exposition des données sous la forme de protocoles standardisés (OGC si possible) ; (2) une étape de configuration de l'interface utilisateur pour la prise en compte de nouveaux contenus véhiculés par le service. L'analyse des besoins des utilisateurs va donc impacter la complexité du service sur la donnée et la mise en place de la représentation (visualisation, par exemple) de son contenu.

3.1.2. Quelques exemples de plateformes d'information sur la donnée géoscientifique

Il est présenté ici quelques exemples de plateformes nationales et internationales de consultation et d'entrepôt de services sur la donnée géoscientifique, telles que GeoRisques (fig. 91), BD Lisa (fig. 92), Geothermies.fr (fig. 93) et OneGeology (fig. 94).

Figure 91 - Exemple d'interface utilisateur de la plateforme d'information sur les géorisques permettant une consultation de la donnée et de l'information dédiées, ainsi que sa visualisation depuis un visualiseur Web (https://www.georisques.gouv.fr).

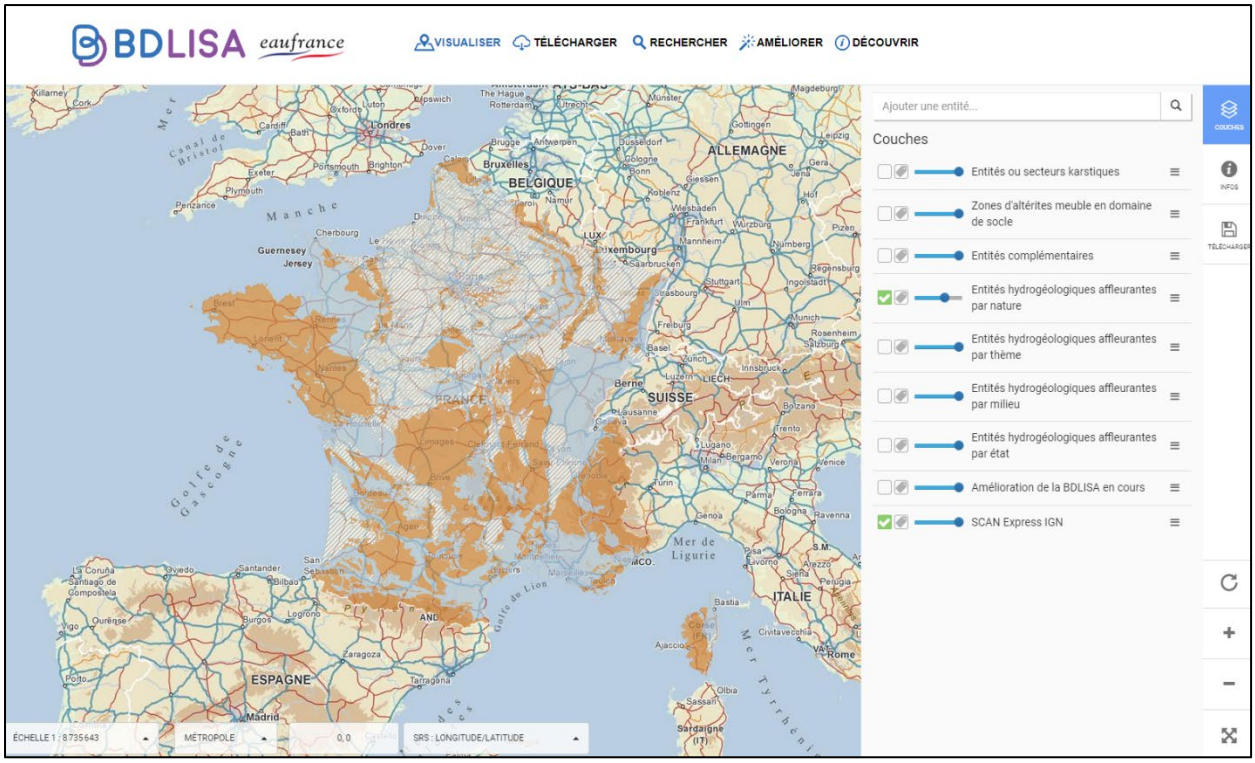


Figure 92 - Exemple d'un visualiseur cartographique Web, ici, des entités hydrogéologiques nationales (selon les référentiels hydrogéologiques français, la BD Lisa, https://bdlisa.eaufrance.fr/carte).

Cette plateforme permet de consulter ce référentiel par des services Web, de procéder à du téléchargement et de les visualiser, depuis l'interface utilisateur présentée.

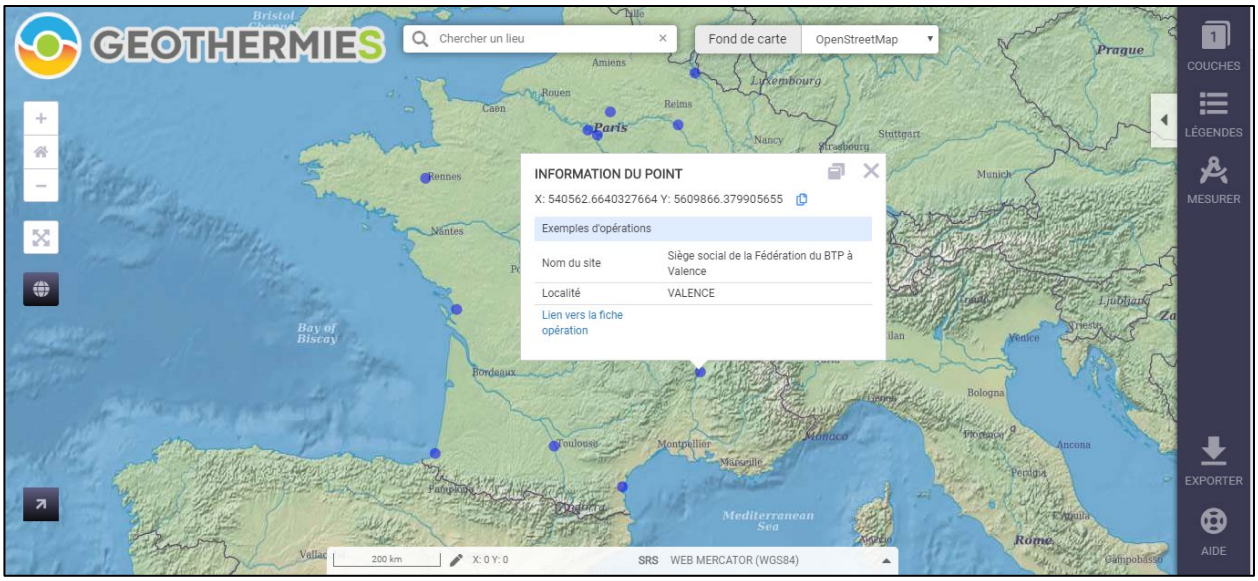
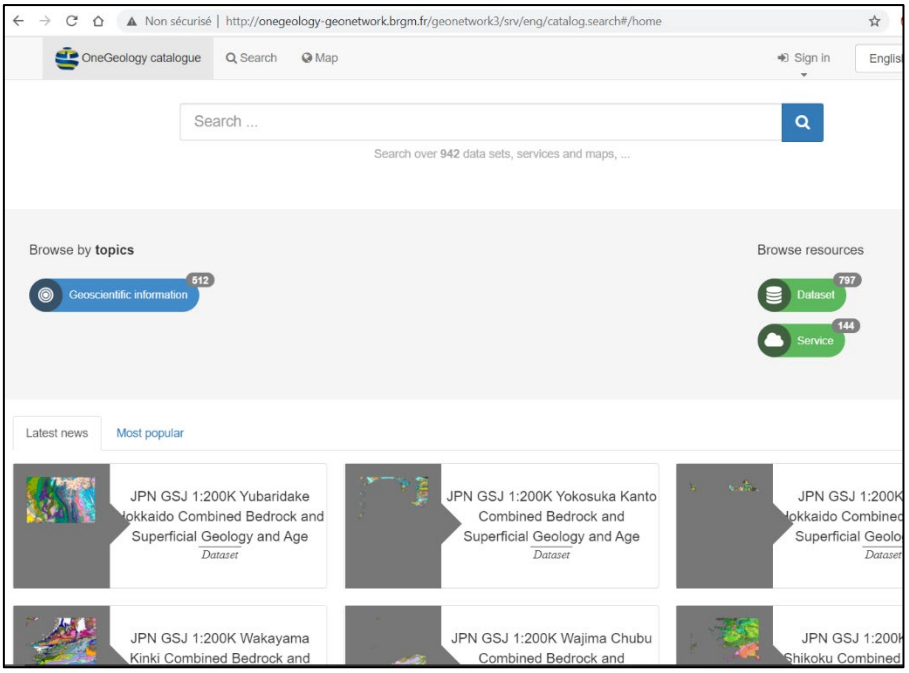


Figure 93 - Plateforme de diffusion des données et des informations en lien avec la géothermie (https:/www.geothermies.fr.viewer). Cette plateforme permet de consulter ces données par l'intermédiaire d'un visualiseur cartographique.

(A)



(B)

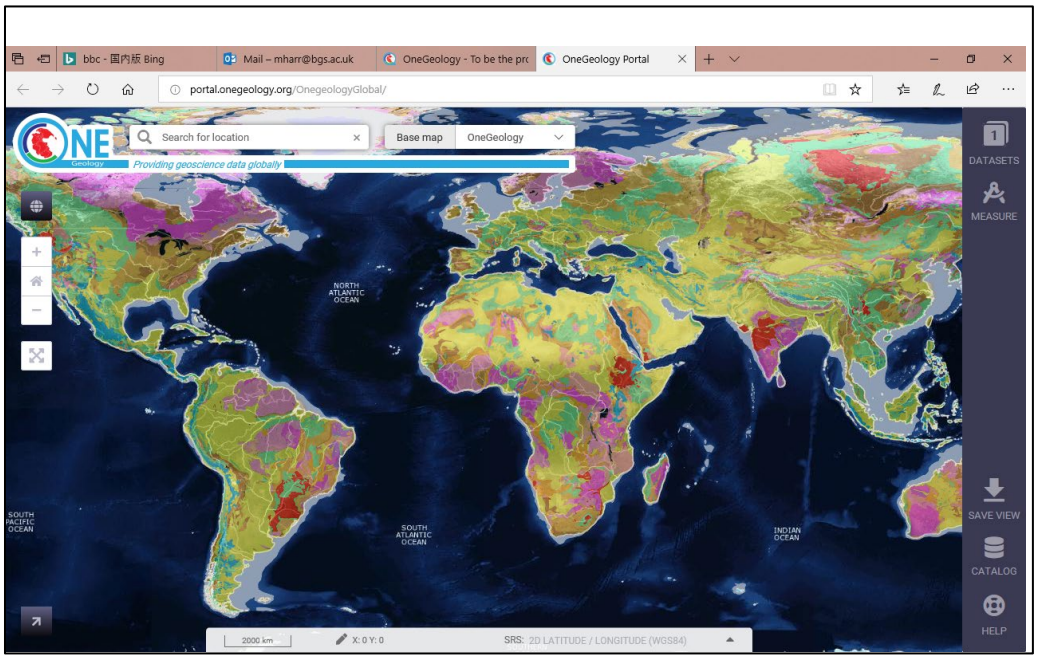


Figure 94 - Plateforme internationale de gestion et de diffusion des données géologiques (cartes géologiques), à l'échelle du globe. Cette plateforme permet de : (1) mettre à disposition la donnée dans un système unifié régi par un standard des données géologiques, GeoSciML (IUGS-CGI, https://geosciml.org), à l'aide d'un catalogue de données : (A) http://onegeology-geonetwork.brgm.fr/geonetwork3/srv/eng/catalog.search#home ; (2) consulter la donnée à travers des services standardisés (wms/wfs) et visualiser la donnée par une application de visualiseur Web dédié : (B) http:portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal.

Cette plateforme répond aux principes d'interopérabilité des données par le catalogage unifié et l'utilisation d'un standard (GeoSciML) pour le stockage et l'échange de ces informations. Les protocoles de diffusion de données s'appuient sur les services Web standardisés de l'OGC (https://www.ogc.org).

3.2. EVALUATION DES FUTURES ACTIONS POUR LA MISE EN PLACE ET LA MISE EN OEUVRE DE LA PLATEFORME D'INFORMATION NUMERIQUE

3.2.1. Description des actions pour la mise en place de la stratégie élaborée

a) Etape 1 - Phase 1

Action 1.1 : un recueil physique des données existantes (format, type), suite à l'inventaire relatif aux îles françaises (Guadeloupe, Martinique, Réunion et Mayotte) effectué au cours de cette étude (cf. chapitre 2), sera réalisé en accord avec les propriétaires des données et les autres membres du Centre d'Excellence. Cette action sera complétée par l'inventaire des données et des études des autres îles de la Caraïbe, et leur intégration dans ce recueil physique de données. Les métadonnées associées seront également recueillies afin de conserver la trace de toute information nécessaire à l'identification des données. Une analyse des échantillons de données et un recueil des besoins permettra d'identifier la solution technique répondant le mieux aux problèmes métiers posés. L'analyse des données permettra d'identifier la meilleure méthode de capitalisation et de gestion de celle-ci par rapport à l'existant BRGM. Les données compatibles avec l'outillage actuel du BRGM pourront suivre le processus déjà implanté ; pour les données non-compatibles, une analyse permettra de définir le processus et l'outil à mettre en place.

Action 1.2 : l'intégration des données dans le système d'information permettra d'utiliser les standards BRGM de nomenclature et les vocabulaires associés, afin d'apporter de la cohérence aux données et de créer de la valeur ajoutée dans le traitement et l'utilisation des données, ainsi que des informations de la plateforme. Dans le cas où des termes ou familles de termes seraient manquants, des demandes de création pourront être faites afin d'alimenter le système d'information.

Action 1.3 : la capitalisation des données dans les réservoirs de données dédiés est une étape cruciale de la gestion de la donnée. Cette capitalisation permettra à la donnée de bénéficier des outils existants, des nomenclatures et vocabulaires BRGM, afin d'en augmenter la qualité et la réutilisabilité.

Action 1.4 : la mise en place de la diffusion de la donnée contenant les services qui permettront de : (i) rechercher la donnée *via* la métadonnée renseignée précédemment ; (ii) accéder à la donnée *via* des services standardisés (type OGC "Open Geospatial Consortium) http://ogc.org ; (iii) fournir différents formats de téléchargement.

Action 1.5 : un environnement de consultation de la donnée pourra être proposé pour assister les utilisateurs à exploiter ces services *via* une interface permettant, *a minima*, d'opérer la recherche des jeux de données, afficher les données sur une carte, visualiser les données dans un tableau avec filtre, et télécharger la donnée dans différents formats. Ce périmètre fonctionnel de mise à disposition des données comprendra :

- une fonctionnalité principale "Catalogue des données" : consultation du catalogue des données disponibles à la consultation ;
- une fonctionnalité principale "Services sur la donnée" : accès aux services sur la donnée pouvant être utilisés dans d'autres applications, comme les outils SIG, permettant un export de la donnée en différents formats définis dans la phase de recueil des besoins utilisateurs ;
- une fonctionnalité principale de "Consultation de la donnée" : mise à disposition d'un visualiseur cartographique permettant de visualiser les données disponibles.

A titre d'illustration, la figure 95 montre les fonctionnalités nécessaires à la mise en place d'une version simplifiée de la plateforme. Les fonctionnalités sont regroupées autour de trois notions principales, liées à différents « rôles » autour de la plateforme. Les fonctionnalités liées à l'administrateur de la plateforme correspondent à une gestion administrative de la plateforme, pour l'instant sous forme de permission, afin d'identifier, selon le profil, des accès à des documents potentiellement confidentiels. L'administration de contenus, majoritairement de la donnée, est principalement réalisée par des data manager. Cette partie concerne la mise en place et la vie du contenu de la plateforme.

Toutes les fonctionnalités ne sont pas forcément portées par la plateforme en elle-même, sachant que le BRGM harmonise et unifie ces notions de système d'information d'entreprise dans le cadre d'un projet d'urbanisation du système d'information scientifique du BRGM. Il est cependant nécessaire de les identifier car elles représentent une partie importante de travaux manuels assistés informatiquement, et donc, de la mobilisation de personnes pour être achevées. Les fonctionnalités proposées à l'utilisateur, dit « exploitant de données », sont identifiées comme les fonctionnalités finales de la plateforme. Ces fonctionnalités seront proposées dans l'interface d'interaction pour permettre de traiter ce premier sujet d'accessibilité à la donnée. On retrouve naturellement les notions de recherche, consultation et récupération de la donnée.

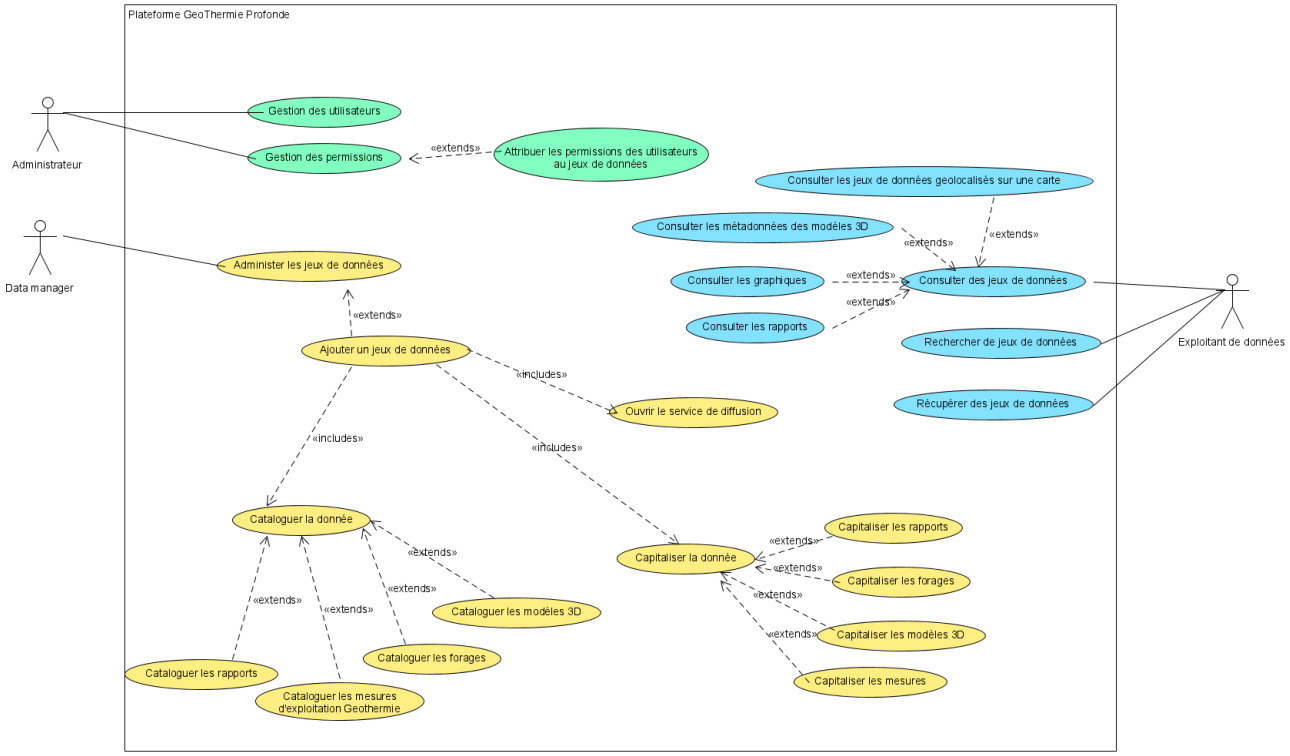


Figure 95 - Diagramme de cas d'utilisation, conception macro-fonctionnelle du portail pilote de la phase 1, à titre d'illustration.

b) Etape 1 - Phase 2

Le recueil des besoins des utilisateurs doit permettre de définir précisément quelles vont être les contributions de la plateforme en tant qu'outil dédié à l'exploration en ressources géothermales (outil métier) ; par exemple, recherche plus ou moins fine sur les données, sur les jeux de données, téléchargement des jeux de données sous différents formats, …

Cette phase consiste à établir :

- les sémiologies (*persona*), comprendre les besoins et optimiser la navigation des différents profils d'utilisateurs à travers la plateforme. Le parcours utilisateur devra être ainsi déterminé par définition des profils utilisateurs (personnes) et de leurs rôles dans l'application. Il devra appréhender les besoins métiers afin de proposer de nouvelles fonctionnalités pertinentes et d'optimiser les outils et la navigation des utilisateurs ;
- la description du parcours utilisateurs et en déduire les besoins en termes de fonctionnalités utilisateur depuis l'application dédiée.

L'étude s'organisera selon des ateliers de travail regroupant les possibles utilisateurs de la plateforme comme des géothermiciens du BRGM, des représentants de l'ADEME, et des organisations professionnelles et universitaires. Ils peuvent être également élargis vers un public non-spécialiste, incluant notamment des journalistes, des représentants d'associations sur les ressources de géoénergies, des représentants d'autres services de l'Etat ou encore des étudiants. **Le choix des personnes idoines à contacter sera fait en collaboration avec l'ADEME.**

Cette réflexion permettra de piloter les solutions informatiques pour bien répondre aux enjeux métiers de la plateforme et est nécessaire pour faire une estimation macro du budget.

c) Etape 2 - Phase 3

Il s'agira de la mise en place de la plateforme comme produit numérique, qui prendra en compte le périmètre fonctionnel d'accès à la donnée et son extension en fonction des besoins des utilisateurs exprimés dans la phase 2 de la première étape.

La solution informatique et son découpage par modules sont non seulement dépendants des besoins exprimés pour répondre aux métiers attendus de l'outil, mais aussi dépendants des types de données qui seront capitalisées. Les analyses des besoins et des données précédemment récoltées en phase 2 et 1 couvriront ces dépendances.

Par exemple, si le besoin est identifié en phase 2, un utilisateur pourrait intégrer ses propres données à la plateforme et ainsi permettre leur préservation à long terme. La plateforme serait donc capable de bancariser et de sécuriser les données (observations, produits, cartes) que les différents organismes pourront produire. Pour ce faire, il sera mis à disposition des fonctionnalités dédiées depuis la plateforme et son bloc "Dépôt de données" permettant de i) saisir la métadonnée conformément aux directives INSPIRE (https://inspire.ec.europa.eu), et plus particulièrement à la norme ISO 19115 sur l'information géographique - Métadonnées; ii) saisir la donnée selon les référentiels du système.

Cette fonctionnalité permettra de :

- déposer les données ;
- décrire les données d'une manière normalisée ;
- décider des conditions de publication (diffusion libre, diffusion confidentielle (pas de diffusion) ou restreinte à des utilisateurs identifiés ;
- effectuer certains traitements génériques (qualification automatique, comparaison).

Par ce processus de capitalisation de la donnée, le BRGM pourra :

- fournir un DOI attaché au jeu de données publié ;
- proposer à celui qui a déposé les données, de valoriser celles-ci dans les bases de données existantes ;
- s'engager à pérenniser les données en format structuré.

Nous arriverons à une plateforme répondant au cycle de la donnée suivant la figure 96 :

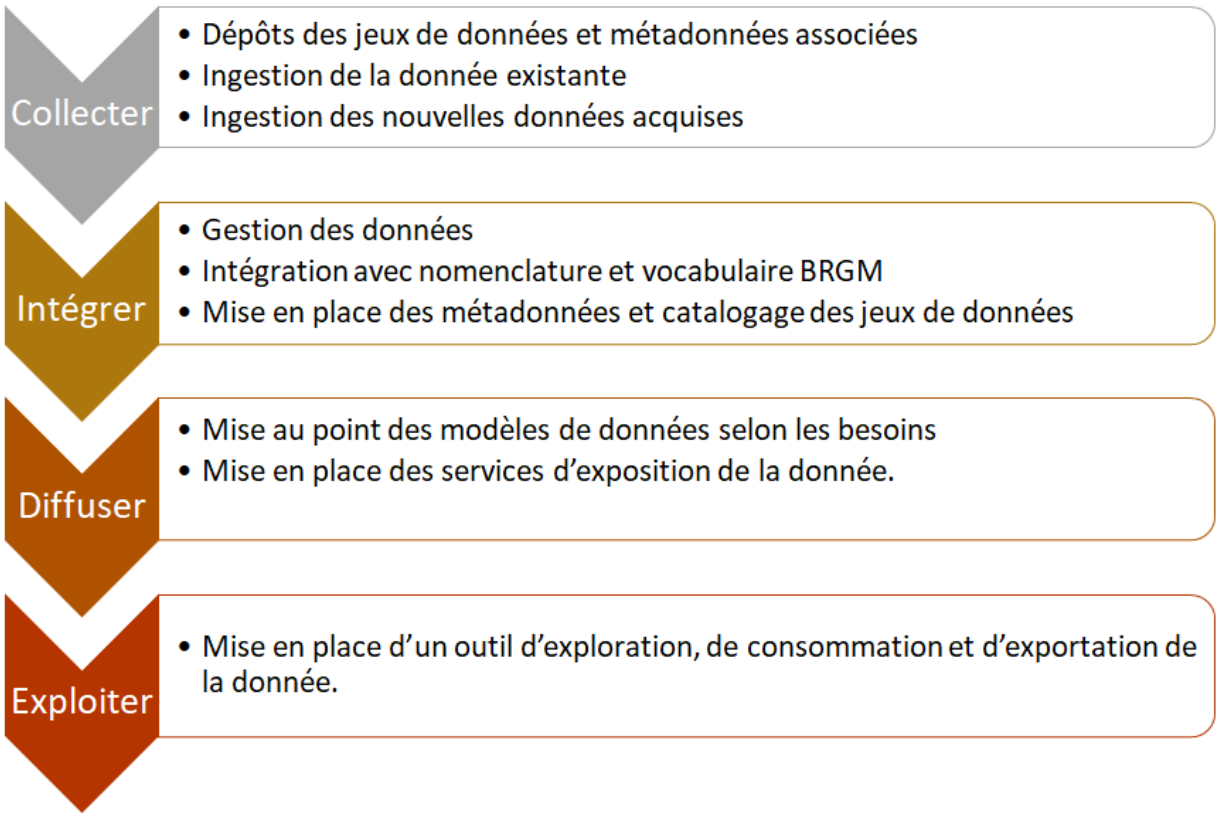


Figure 96 - Représentation synthétique du processus de capitalisation de la donnée et de sa gestion dans la plateforme d'information numérique sur l'exploration géothermique de haute température dans les îles volcaniques, qui sera associée au Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe.

3.2.2. Evaluation budgétaire pour la réalisation de la plateforme d'information numérique

Afin d'aboutir à une évaluation technico-fonctionnelle et financière de la plateforme de données et services numériques sur l'exploration géothermique, nous avons fait le choix de procéder en deux étapes distinctes.

Comme récapitulé dans le tableau ci-dessous, la première étape consistera en la réalisation des phases 0', 1 et 2 pour un montant global de 375 000 euros. A l'issue de cette première étape, sera engagée la deuxième étape (phase 3), qui se concentrera sur la réalisation complète de la plateforme d'information numérique, dont le programme technique détaillé et le budget total ne pourront être définis qu'à la fin de la phase 2 de la première étape, après avoir recueilli et bien défini les besoins des utilisateurs.

Phase	**Actions principales**	**k€**
	Pilotage du projet	30
Phase 0'	Inventaire des données des îles de la Caraïbe (hors France)	20
Phase 1	Act 1.1 : Identification des types de données du portail V0 et priorisation	50
	Act 1.2 : Catalogage	15
	Act 1.3 : Capitalisation et Stockage	100
	Act 1.4 : Diffusion	50
	Act 1.5 : Portail V0* de consultation des données	70
Phase 2	**Recueil et définition des besoins des utilisateurs**	40
	TOTAL 0'+1+2	**375**
Phase 3	Act 3.1 : Mise en place de la plateforme - spécification fonctionnelle des différentes briques identifiées au regard de la phase 2	-
	Act 3.2 : Architecture et évolution des modèles de données de la phase 1	-
	Act 3.3 : Réalisation	-
Forfait annuel	**Maintenance en Conditions Opérationnelles annuelle (MCO)**	**50**

* ***portail V0 :*** *portail pilote avec l'ensemble des fonctionnalités basiques pour la consultation et la visualisation des données.*

Les livrables proposés à l'issue de la première étape sont les suivants :

- ✓ **un rapport regroupant :**
  - l'inventaire des données recensées pour chacunes des îles des Caraïbes hors îles françaises ;
  - la proposition pour engager la phase 3 sur la mise en place et la mise en œuvre de la plateforme des données et services numériques pour l'exploration géothermique (détail technique et financier du projet de réalisation de la plateforme finale).
- ✓ **le portail pilote (portail V0),** avec accès en production et par authentification par l'ADEME traitant le périmètre fonctionnel de la fonctionnalité « Consultation des données ».

La réalisation de l'étape 1 (phase 0', 1 et 2) pourra se faire à partir du 2ème semestre 2021 sur un délai de 6 à 12 mois. L'étape 2 consistant à réaliser la phase 3 pourrait débuter au plus tard au 2ème semestre 2022, si cette phase est contractée.

4. Conclusion

Cette étude de pré-projet a permis de dresser un inventaire aussi exhaustif que possible des études et des données géo-scientifiques existantes concernant les activités d'exploration géothermique de haute température dans les îles françaises d'Outre-mer de la Guadeloupe, Martinique, La Réunion et Mayotte, dans un premier temps (autour de 900 références bibliographiques répertoriées et gérées par le logiciel de gestion de recherche bibliographique Mendeley Desktop, qui permet de trier les références à la demande, suivant les différents besoins). A l'exception de Mayotte, la plupart des travaux de prospection géothermique ont démarré dans les années 70-80 et ont été souvent initiés par le BRGM. Après une pause entre 1985 et 1995, ces travaux ont repris sans trop de discontinuités en Guadeloupe, avec l'augmentation de la production d'électricité de la centrale géothermique de Bouillante (de 4,5 à 15 MWe), son potentiel de développement, et le soutien financier de l'ADEME, du BRGM et de la région Guadeloupe, ainsi qu'avec la réalisation du programme GEOTREF (2014-2020), financé par les Investissements d'Avenir, alors qu'en Martinique et à La Réunion, la reprise a été plus irrégulière. Sur l'île de Mayotte, les études d'exploration proprement dites ont plutôt démarré en 2005.

Ces travaux d'exploration géothermique ont concerné plusieurs disciplines géo-scientifiques telles que la géologie (litho-stratigraphie, géologie structurale, volcanologie, pétrographie, minéralogie, études des altérations hydrothermales, datations…), la géochimie des roches et des fluides, la thermométrie des sols, l'analyse des gaz ou d'éléments comme le mercure ou l'arsenic dans les sols, la géophysique (gravimétrie, magnétisme, sismique, méthodes électriques, magnéto-telluriques…), l'hydrogéologie, la modélisation géologique 3D, la modélisation thermo-hydrodynamique, chimique, mais ont pu aussi déjà aborder quelques études d'impact environnemental et sociétal. Ils ont, la plupart du temps, fait l'objet de campagnes d'acquisition de données de surface, mais ont pu aussi être menés sur des sondages (de mesures de gradient thermique, par exemple) ou des forages profonds, lorsque ceux-ci étaient disponibles, notamment à Bouillante, en Guadeloupe, au Lamentin, en Martinique, ou au Grand Brûlé et dans le cirque de Salazie, à La Réunion. Pour chacune de ces îles, il existe des travaux d'exploration d'ensemble des régions et des études de synthèse, qui indiquent les régions les plus favorables pour le développement de la géothermie de haute température, et qui sont à même de faciliter la collecte des données les plus intéressantes.

Ainsi, pour la Guadeloupe, les études de synthèse menées entre 1998 et 2004 et celles effectuées en 2007 et 2008, avec la création de SIG sur le site actuel des forages profonds de Bouillante et sur les sources thermales, ainsi que celles réalisées entre 2011 et 2013, en géophysique, et certaines études de l'OVSG-IPGP et du programme GEOTREF (2014-2020), montrent que les régions les plus favorables au développement de la géothermie de haute température sont celles de Bouillante et de La Soufrière.

Pour la Martinique, les études de synthèse réalisées en 1979, 1985, 2002 et 2003, et en 2014, avec la création d'un SIG qui regroupe de nombreuses données géo-scientifiques sur les zones d'intérêt géothermique, méritent d'être mentionnées. Elles indiquent que ce sont les régions de La Montagne-Pelée, d'Anses d'Arlet et des Pitons du Carbet qui sont les plus favorables au développement de la géothermie de haute température tandis que la région de la plaine du Lamentin affiche plutôt des indices favorables au développement de la géothermie de basse température.

Pour l'île de La Réunion, les études de synthèse de 2000 à 2005 et de 2015, avec aussi, la création d'un SIG, qui intègre de nombreuses données géo-scientifiques, doivent être soulignées. Si ces études indiquent que ce sont les régions des cirques de Salazie et de Cilaos associés au Piton des Neiges et celles du Piton de La Fournaise (Plaine des Sables, par exemple), qui sont les plus favorables au développement de la géothermie de haute température, d'autres régions telles que la plaine des Palmistes, la plaine des Cafres, celles des rivières des Remparts et Langevin, Etang Salé, etc., doivent être davantage étudiées.

Enfin, pour l'île de Mayotte, où les travaux ont été beaucoup moins nombreux, on peut retenir de l'étude d'exploration de 2006 sur l'ensemble de l'île que seule l'île de Petite Terre semble favorable au développement de la géothermie de haute température. L'étude de 2019 a permis de créer un SIG pour l'île de Petite Terre, qui reprend principalement les données acquises à partir de 2006.

Dans notre inventaire, il a été aussi très important de faire référence à des travaux très structurants, comme ceux qui ont conduit à la réalisation de cartes et de profils de synthèse et à la conceptualisation de modèles de fonctionnement de systèmes géothermiques, voire à des modèles géologiques 3D, qui ont mobilisé de nombreuses données géo-scientifiques pour leur réalisation.

Pour la Guadeloupe, on peut citer les travaux concernant la région de Bouillante, comme les cartes, coupes de synthèse des données géo-scientifiques de 2001 à 2018, le modèle géologique 3D du réservoir actuel qui alimente les forages d'exploitation de Bouillante de 2004 et celui relatif aux failles principales du champ géothermique de Bouillante de 2013, ainsi que les modèles conceptuels du système géothermique de Bouillante de 1985, 2009 et 2010. Pour la région Soufrière - Vieux-Habitants, notamment autour du massif volcanique de La Soufrière, plusieurs travaux tels que la réalisation de cartes et de documents de synthèse de 2005 à 2014, ainsi que l'élaboration de modèles conceptuels de fonctionnement du système hydrothermal associé à ce volcan de 1982 à 2019, méritent d'être évoqués.

Pour la Martinique, on peut citer le modèle conceptuel de fonctionnement du système géothermique de basse température du Lamentin de 2001 et le modèle géologique 3D associé de 2018. On peut également évoquer les modèles conceptuels de fonctionnement des systèmes hydrothermaux de La Montagne Pelée de 1982, 1987 et 2014 et des Anses d'Arlet de 2014, ainsi que le modèle géologique 3D associé de 2020.

En ce qui concerne la Réunion, des modèles conceptuels de fonctionnement du système hydrothermal associé aux cirques de Salazie et de Cilaos du Piton des Neiges ont été proposés en 1979, 2001 et 2020. De même, des modèles conceptuels de fonctionnement du système hydrothermal et de circulation des fluides ont été dressés pour le Piton de la Fournaise en 1979, 1993 et 2005.

Pour Mayotte, les études de 2006 et 2008 proposent un modèle conceptuel de fonctionnement du système hydrothermal supposé au sud-est de l'île de Petite Terre, au sud du lac Dziani.

A l'issue de cet inventaire, la deuxième partie de cette étude a été consacrée à :

- l'élaboration de la stratégie de mise en place de la plateforme d'information, qui sera constituée de données et de services numériques sur l'exploration géothermique haute température en contexte volcanique non seulement dans les îles françaises d'Outre-mer, mais aussi dans les autres îles voisines de la Caraïbe ;
- l'évaluation technique et financière des actions à mener en fonction des choix faits.

Cette plateforme d'information numérique, qui sera associée au Centre d'Excellence de Géothermie de la Caraïbe, aura pour objectif de proposer une infrastructure des données permettant de documenter, diffuser et promouvoir un catalogue de données relevant du domaine d'application de l'exploration géothermique haute température. Etant donné que cette plateforme a pour vocation d'intègrer les principales îles françaises d'Outre-mer concernées, mais aussi la plupart des autres îles volcaniques de la Caraïbe, elle sera construite en langue anglaise. Comme elle vise à founir des outils pour la capitalisation, la consultation et la mise à disposition des données à destination des principaux acteurs nationaux et internationaux et qu'à ce stade, il est important de préciser les besoins des utilisateurs afin d'orienter les services et les fonctionnalités y répondant. Il a été proposé d'opérer en deux étapes, afin de bien définir la mise en place de la plateforme finale.

L'étape 1 sera constituée de deux phases. Dans la phase 1, une fois l'inventaire des études et des données d'exploration géothermique haute température présenté dans ce rapport complété avec celles concernant les autres îles voisines de la Caraïbe, on procèdera à :

- mettre en œuvre le catalogage des données de cet inventaire, qui permettra d'identifier les jeux de données *via* des métadonnées associées suivant des standards, afin d'offrir des métadonnées interopérables pour faciliter leurs échanges et leurs consultations ;
- capitaliser et stocker les données issues de cet inventaire (numérisation et stockage des données sous une forme permettant leur exploitabilité dans un périmètre défini de la plateforme) ;
- mettre à disposition un portail pilote de consultation et de visualisation de la donnée comportant 3 onglets principaux : *Catalogue des données*, *Services de diffusion de la donnée* et *Visualisation de la donnée*.

La phase 2 se concentrera sur l'étude et le recueil de besoins des utilisateurs de la plateforme, afin de déterminer les services sur la donnée à mettre en place pour les utilisateurs (administrateur de la donnée, fonctionnalité de traitement sur la donnée, etc.). Un budget total de 375 k€ a été estimé pour cette première étape.

La deuxième étape sera consacrée à la mise en place de la plateforme numérique finale. Cette étape ne pourra être détaillée techniquement et budgétée qu'à l'issue de la phase 2 de l'étape 1 car l'analyse des besoins des utilisateurs et leur prise en compte vont impacter fortement la complexité du service sur la donnée et la mise en oeuvre de la représentation (visualisation, par exemple) de son contenu, qui demandent la mise en place de l'exposition des données sous la forme de protocoles standardisés et une étape de configuration de l'interface utilisateur. Le budget annuel de maintenance de la plateforme d'information numérique est évalué à 50 k€.

5. Bibliographie

Etant donné le nombre important de références bibliographiques recensées dans ce rapport (autour de 900), nous avons préféré les présenter sous format simplifié, dans les annexes 1, 2, 3 et 4, pour chacune des quatre îles.

Toutes les références bibliographiques collectées au cours de cette étude sont gérées par le logiciel de gestion de recherche bibliographique Mendeley Desktop, qui permet de trier les références à la demande, suivant les différents besoins. Pour éviter des erreurs liées à l'importation et à la concordance des champs, nous recommandons d'ouvrir la version la plus détaillée (BDGTHDOM_complet.bib, disponible en fichier numérique), qui intègre toutes les données relatives à chaque référence (dont le résumé, le lien, etc.) et qui fait plus de 500 pages, directement avec Mendeley Desktop, mais celle-ci peut être aussi importée dans n'importe quel logiciel de gestion bibliographique (Zotero, EndNote…).

Ci-dessous, seules sont présentées les références concernant les îles de Tahiti et de Nouvelle-Calédonie, qui sont citées uniquement dans l'introduction du rapport. Les travaux et les données d'exploration concernant ces deux îles n'ont pas été intégrés dans l'inventaire de cette étude en l'absence de découverte d'indices favorables à l'existence de resources géothermiques de haute température dans l'état actuel des connaissances (seules des ressources géothermiques de basse température ont pu être mises en évidence).

Cox M.E., Launay J., Paris J.-P. (1982) - Geochemistry of low temperature geothermal systems in New Caledonia. *Proceedings Pacific Geothermal Conference, 1982, University of Auckland, New Zealand, Part 2*, 453-459.

Gadalia A., Nehlig P., Tegyey M., Guillou-Frottier L., Thiéblemont D., Barroux B. (2007) - Reconnaissance géothermique de l'île de Tahiti - Première phase. *Rapport final BRGM/RC-55598-FR*, 40 p.

Jeanpert J., Lesimple S., Sevin B., Mardhel V., Sanjuan B. (2019) - Evaluation du potentiel géothermique de la Grande-Terre (Nouvelle-Calédonie). Phase 1 : Inventaire des sources thermales en Nouvelle-Calédonie. *Rapport final phase 1 SGNC-2019-(01)*, 18 p. + annexes.

Jeanpert J., Lesimple S., Sanjuan B. (2020) - Evaluation du potentiel géothermique de la Grande-Terre (Nouvelle-Calédonie). Phase 2 : Rapport de mission d'échantillonnage des sources thermales et des analyses géochimiques associées. *Rapport phase 2 SGNC-2020-(02)*, 30 p. + 1 annexe.

Sanjuan B, Jeanpert J., Lesimple S. (2020) - Evaluation du potentiel géothermique de la Grande-Terre (Nouvelle-Calédonie). Phase 2 : Interprétation des résultats et recommandations. *Rapport final phase 2 BRGM/RP-69704-FR*, 52 p.

Site Web d'intérêt pour la géothermie en Nouvelle-calédonie :

https://www.geothermies.fr/comprendre/innovation/les-projets/2018-2020-nou-geopotnc-inventaire-du-potentiel-geothermique-de-la-grande-terre-de-nouvelle-caledonie

Annexe 1

Références bibliographiques pour l'île de la Guadeloupe

435 documents, répartis comme il suit :

ARTICLES ET CONGRES (257)

Allard P, Aiuppa A, Beauducel F, et al (2014) Steam and gas emission rate from La Soufriere volcano, Guadeloupe (Lesser Antilles): Implications for the magmatic supply during degassing unrest. Chem Geol 384:76–93. doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.06.019

Allard P, Delibrias G, Dimon B, Labeyrie J (1983) Implications of carbon and helium isotopes in volcanic gases from la Soufrière of Guadeloupe, Lesser Antilles. In: IAVCEI Symp. on Volcanic Gases, Hamburg, Germany, 43

Allard P, Hammouya G, Parello F (1998) Dégazage magmatique diffus à la Soufrière de Guadeloupe, Antilles. Comptes Rendus l'Académie des Sci - Ser IIA - Earth Planet Sci 327:315–318. doi: 10.1016/S1251-8050(98)80049-9

Anglade A, Lemarchand A, Saurel J-M, et al (2015) Significant technical advances in broadband seismic stations in the Lesser Antilles. Adv Geosci 40:43–50. doi: 10.5194/adgeo-40-43-2015

Aubert M, Zlotnicki J, Boudon G (1984) Etude structurale de la Basse Terre à partir de profils magnétiques (Guadeloupe - Petite Antilles). Bull PIRPSEV

Bagnato E, Allard P, Parello F, et al (2009) Mercury gas emissions from La Soufrière Volcano, Guadeloupe Island (Lesser Antilles). Chem Geol 266:267–273. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.06.011

Barnoud A, Bouligand C, Coutant O, Carlut J (2017) Magnetic structure of Basse-Terre volcanic island (Guadeloupe, Lesser Antilles) inferred from 3D inversion of aeromagnetic data. J Volcanol Geotherm Res 348:1–11. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.10.005

Bazin S, Feuillet N, Duclos C, et al (2010) The 2004–2005 Les Saintes (French West Indies) seismic aftershock sequence observed with ocean bottom seismometers. Tectonophysics 489:91–103. doi: 10.1016/j.tecto.2010.04.005

Beauchamps G, Ledésert B, Hébert R, et al (2019) The characterisation of an exhumed high-temperature paleo-geothermal system on Terre-de-Haut Island (the Les Saintes archipelago, Guadeloupe) in terms of clay minerals and petrophysics. Geotherm Energy 7:6. doi: 10.1186/s40517-019-0122-y

Beaude L, Brenner K, Lopez S, et al (2017) Non-isothermal Compositional Two-Phase Darcy Flow: Formulation and Outflow Boundary Condition. In: Cancès C, Omnes P (eds) FVCA 2017 - International Conference on Finite Volumes for Complex Applications VIII. Springer, Lille, France

Beaude L, Brenner K, Lopez S, et al (2018) Non-isothermal compositional liquid gas Darcy flow: formulation, soil-atmosphere boundary condition and application to high energy geothermal simulations. Comput Geosci

Beauducel F (2006) Surveillance opérationnelle des volcans français: développements récents à la Guadeloupe. Géosciences BRGM 64–68

Beauducel F, Anténor-Habazac C, Mallarino D (2004) WEBOBS: Integrated monitoring system interface for volcano observatories. In: IAVCEI General Assembly, Pucon, Chile, 14-16 November 2004. p Abstract S08A-PF-072

Beauducel F, Bazin S, Bengoubou-Valérius M, et al (2011) Empirical model for rapid macroseismic intensities prediction in Guadeloupe and Martinique. Comptes Rendus Geosci 343:717–728. doi: 10.1016/j.crte.2011.09.004

Beauducel F, Bosson A, Randriamora F, et al (2010) Recent advances in the Lesser Antilles observatories. Part 2: WebObs - an integrated web-based system for monitoring and networks management. In: European Geophysical Union General Assembly, Vienna, May 2010

Beauducel F, Lafon D, Béguin X, et al (2020) WebObs: The Volcano Observatories Missing Link Between Research and Real-Time Monitoring. Front Earth Sci 8:. doi: 10.3389/feart.2020.00048

Bernard M-L, Molinié J, Petit R-H, et al (2006) Remote and in situ plume measurements of acid gas release from La Soufrière volcano, Guadeloupe. J Volcan Geotherm Res 395–409

Bertani R (2005) World geothermal power generation in the period 2001–2005. Geothermics 34:651–690. doi: https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2005.09.005

Bertrand G, Bitri A, Thinon I, et al (2004) Offshore very high resolution refection seismic in the Guadeloupe-Marie Galante area (French Caribbean): new data on tectonic structures and activity in the lesser Antilles from the Geoberyx campaign. In: In EUG 12 - European Geosciences Union - Nice (France), 25-30/04/2004

Bigot S, Boudon G, Semet MP, Hammouya G (1994) Traçage chimique de la circulation des eaux souterraines sur le volcan de la Grande Découverte (la Soufrière), Guadeloupe. CR Acad Sci Paris t. 318, sé:1215–1221

Bigot S, Hammouya G (1987) Surveillance hydrogéochimique de la Soufrière de Guadeloupe, 1979-1985 : diminution d'activité ou confinement ? CR Acad Sc Paris t. 304, Sé:757–760

Boichu M, Villemant B, Boudon G (2011) Degassing at La Soufrière de Guadeloupe volcano (Lesser Antilles) since the last eruptive crisis in 1975–77: Result of a shallow magma intrusion? J Volcanol Geotherm Res 203:102–112. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2011.04.007

Bonifacie M, Robert V, Bardoux G, et al (2019) Chlorine isotopic composition of thermal spring along the Lesser Antilles arc and fumaroles from la Soufrière de Guadeloupe. In: Caribbean Science and Innovation Meeting 2019, Oct 2019, Pointe-à-Pitre (Guadeloupe), France

Bonilla LF, Guéguen P, Lopez-Caballero F, et al (2017) Prediction of non-linear site response using downhole array data and numerical modeling: The Belleplaine (Guadeloupe) case study. Phys Chem Earth, Parts A/B/C 98:107–118. doi: https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.02.017

Bouchot V, Gadalia A, Traineau H, Caritg S (2014) Toward a continuum geothermal model to explain coexistence of medium to high (100 to 250°C) temperature geothermal Systems in Martinique and Guadeloupe, French West Indies. In: Proceedings in Geothermal Research Council 2014, Portland, Oregon, USA, September 28 - October 1, 2014

Bouchot V, Sanjuan B, Traineau H, et al (2010) Assessment of the Bouillante geothermal field (Guadeloupe, French West Indies): Toward a conceptual model of the high temperature geothermal system. In: Proceedings of World Geothermal Congress 2010 (WGC2010), Bali, Indonesia, 25-29 April 2010. p 7 p.

Bouchot V, Gailler L-S, Baltassat J-M, et al (2012) Contribution of multi-method geophysics to assess the regional setting of Bouillante geothermal province (Guadeloupe, West French Indies). In: 3ème Colloque du Comité National Français de Géodésie et Géophysique (CNFGG), Clermont-Ferrand, France, Octobre 2012

Bouchot V, Sanjuan B, Calcagno P, et al (2011) The High-Temperature Geothermal System of Bouillante (Guadeloupe, French West Indies). In: Présentation orale et résumé à la 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011.

Bouchot V, Sanjuan B, Lopez S (2010) Les réservoirs conventionnels : Bouillante, vers un modèle ? Géochronique, Mag des Géosciences, SGF/BRGM - Doss spécial Géothermie n°114, La Prod d'électricité par géothermie, juin 2010 37–39

Boudon G, Komorowski J-C, Beauducel F (2006) Field trip on La Soufrière Volcano. Volcanology Group, Observatoire Volcanologique de la Soufrière de Guadeloupe (OVSG), Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). 27 p.

Boudon G, Komorowski J-C, Villemant B, Semet MP (2008) A new scenario for the last magmatic eruption of La Soufrière of Guadeloupe (Lesser Antilles) in 1530 A.D. Evidence from stratigraphy radiocarbon dating and magmatic evolution of erupted products. J Volcanol Geotherm Res 178:474–490. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.03.006

Boudon G, Semet MP, Vincent PM (1992) Les Eruptions a écroulement de flanc sur le volcan de la Grande-Decouverte (La Soufriere) de Guadeloupe ; implications sur le risque volcanique. Bull la Société Géologique Fr 163:159–167

Boudon G, Semet MP, Vincent PM (1989) The evolution of la Grande Découverte (La Soufrière) volcano, Guadeloupe. In: Latter J. (Ed.), Volcanic Hazards: Assessment and Monitoring. In: Latter J. (Ed.), Volcanic Hazards: Assessment and Monitoring. IAVCEI Proceedings in Volcanology, Berlin. pp 86–109

Boudon G, Semet MP, Vincent PM (1984) Flank failure–directed blast eruption at Soufrière, Guadeloupe, French West Indies: A 3,000-yr-old Mt. St. Helens? Geology 12:350. doi: 10.1130/0091-7613(1984)12

Boudon G, Semet MP, Vincent PM (1987) Magma and hydrothermally driven sector collapses: The 3100 and 11,500 y. B.P. eruptions of la Grande Decouverte (la Soufrière) volcano, Guadeloupe, French West Indies. J Volcanol Geotherm Res 33:317–323. doi: 10.1016/0377-0273(87)90021-7

Bouligand C, Coutant O, Glen JMG (2016) Sub-surface structure of La Soufrière of Guadeloupe lava dome deduced from a ground-based magnetic survey. J Volcanol Geotherm Res 321:171–181. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.04.037

Bouysse P (1979) Caractères morphostructuraux et évolution géodynamique de l'arc insulaire des Petites Antilles (campagne Arcante 1). Bull BRGM 185–210

Bouysse P (1988) Opening of the Grenada back-arc Basin and evolution of the Caribbean plate during the Mesozoic and early Paleogene. Tectonophysics 149:121–143. doi: 10.1016/0040-1951(88)90122-9

Bouysse P, Mascle A, Mauffret A, et al (1988) Reconnaissance de structures tectoniques et volcaniques sous-marines de l'arc recent des Petites Antilles (Kick'em Jenny, Qualibou, Montagne Pelee, nordouest de la Guadeloupe). Mar Geol 81:261–287. doi: 10.1016/0025-3227(88)90031-X

Bouysse P, Westercamp D (1990) Subduction of Atlantic aseismic ridges and Late Cenozoic evolution of the Lesser Antilles island arc. Tectonophysics 175:349–380. doi: 10.1016/0040-1951(90)90180-G

Bouysse P, Westercamp D, Andreieff P (1990) The Lesser Antilles arc. In: Moore J, Mascle A, et al. (eds) Proceedings of the ocean drilling program - scientific results, 110. pp 29–44

Bouysse P, Westercamp D, Andreieff P, et al (1985) Le volcanisme sous-marin Néogène récent au large des côtes Caraïbes des Antilles françaises. Relations avec le volcanisme à terre et évolution du front volcanique. Géol Fr 1:101–114

Briden J-C, Rex DC, Foller AM, Tomblin JF (1979) K-Ar geochronology and paleomagnetism of volcanic rocks in the Lesser Antilles Arc. Phil Trans R Soc London, Ser A 291:485–528

Brombach T, Marini L, Hunziker J. (2000) Geochemistry of the thermal springs and fumaroles of Basse-Terre Island, Guadeloupe, Lesser Antilles. Bull Volcanol 477–490

Brothelande E, Finizola A, Peltier A, et al (2014) Fluid circulation pattern inside La Soufrière volcano (Guadeloupe) inferred from combined electrical resistivity tomography, self-potential, soil temperature and diffuse degassing measurements. J Volcanol Geotherm Res 288:105–122. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.10.007

Calcagno P, Bouchot V, Thinon I, Bourgine B (2011) The Bouillante 3D structural model (French West Indies): a tool for geothermal exploration combining on-shore and off-shore geological knowledge. In: European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienne, Austria, April 2011

Calcagno P, Bouchot V, Thinon I, Bourgine B (2010) Combining on-shoe and off-shore geological knowledge: the Bouillante 3D structural model (French West Indies). In: Geomod 2010, Lisbon 27-29/09/2010

Calcagno P, Bouchot V, Thinon I, Bourgine B (2011) A 3D structural model to merge on-shore and off-shore geological knowledge in the Bouillante geothermal province (French West Indies). In: Présentation orale et résumé à la 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011

Calcagno P, Bouchot V, Thinon I, Bourgine B (2015) 3D fault model of the Bouillante geothermal province interpreted from on-shore and off-shore structural knowledge (French West Indies). In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015

Calcagno P, Bouchot V, Thinon I, Bourgine B (2012) A new 3D fault model of the Bouillante geothermal province combining onshore and offshore structural knowledge (French West Indies). Tectonophysics 526–529:185–195. doi: 10.1016/j.tecto.2011.08.012

Carlut J, Quidelleur X, Courtillot V, Boudon G (2000) Paleomagnetic direction and K/Ar dating of 0 to 1 Ma lava flows from la Guadeloupe Island (French West Indies). J Geophys Res 835–849

Chabellard J, Philip H, Gaulon R (1986) Déformation et régimes de contraintes actuel et récent dans l'arc des Petites Antilles entre Martinique et Antigua - Actual and recent deformations and stresses in the Lesser Caribbean Arc between Martinique and Antigua. Comptes rendus l'Académie des Sci Série 2, Mécanique, Phys Chim Sci l'univers, Sci la Terre 303:81–86

Charlier J-B, Lachassagne P, Ladouche B, et al (2011) Structure and hydrogeological functioning of an insular tropical humid andesitic volcanic watershed: A multi-disciplinary experimental approach. J Hydrol 398:155–170. doi: https://doi.org/10.1016/ j.jhydrol.2010.10.006

Chen J-B, Gaillardet J, Dessert C, et al (2014) Zn isotope compositions of the thermal spring waters of La Soufrière volcano, Guadeloupe Island. Geochim Cosmochim Acta 127:67–82. doi: 10.1016/j.gca.2013.11.022

Clergue C, Dellinger M, Buss HL, et al (2015) Influence of atmospheric deposits and secondary minerals on Li isotopes budget in a highly weathered catchment, Guadeloupe (Lesser Antilles). Chem Geol 414:28–41. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.08.015

Clocchiati R, Mervoyer B (1976) Contribution à l'étude des cristaux de quartz de la Guadeloupe. Bull BRGM, 2ème série, sect 4, 4 311–324

Copol C, Laminie J, Lopez S (2011) Études mathématiques et numériques pour la modélisation des systèmes hydrothermaux. Applications à la géothermie. In: 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011

Copol C, Laminie J, Lopez S, et al (2014) Numerical modeling of geothermal systems. In: 39th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California, USA, February 2014. Sacramento, United States, p 7 p.

Copol C, Laminie J, Lopez S (2014) A code modeling geothermal systems. In: Fifth European Geothermal PhD Day. Darmstadt, Allemagne

Cormy G, Demians d'Archimbaud J, Surcin J (1970) Prospection géothermique aux Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique. Geotherm Spec Issue 2 - UN Symp Dev Util Geoth Resour Pisa 2, Part 1 57–72

Coron S, Feuillard M, Lubart JM (1975) Études gravimétriques en Guadeloupe et dans les îles de son archipel-Petites Antilles. Geophys Ed 531–548

Correia H, Sigurdsson O, Sanjuan B, et al (2000) Stimulation of a high enthalpy geothermal well by cold water injection. In: Geothermal Resources Council Transactions, Davis, California, USA, vol. 24,. pp 129–136

Dagain J, Paterne M, Westercamp D (1981) La mise en place du massif volcanique Madeleine-Soufrière, Basse-Terre de Guadeloupe, Antilles. C R Acad Sci FR, 292, sérII 921–926

De Min L, Lebrun J-F, Cornée J-J, et al (2015) Tectonic and sedimentary architecture of the Karukéra spur: A record of the Lesser Antilles fore-arc deformations since the Neogene. Mar Geol 363:15–37. doi: https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.02.007

De Reynal de Saint Michel A (1966) Carte géologique détaillée de la France. Département de la Guadeloupe. Feuille de Basse Terre et des saintes, échelle 1/50 000. Ministère de l'Industrie.

Demarcq F, Vernier R, Sanjuan B (2014) Situation and perspectives of the Bouillante geothermal power plant in Guadeloupe, French West Indies. In: Abstract and Presentation in Third Deep Geothermal Days, Paris, France, April 10-11, 2014

Demians d'Archimbaud J, Surcin J (1972) Recherches géothermiques en Guadeloupe. Rev Géographie Phys Géologie Dyn XIV:fasc. 3, 211-228

Demians d'Archimbaud J, Munier-Jolain J-P (1976) Les progrès de l'exploration géothermique à Bouillante en Guadeloupe [The progress of geothermal exploration at Bouillante, Guadeloupe]. In: Eurafrep S.A., Proc. 25th Work. Geotherm. Reserv. Eng., Stanford, CA, USA, 24–26 January 2000. pp 101–104

Demians d'Archimbaud J, Surcin J (1976) Recherche d'énergie géothermique en Guadeloupe. Bull BRGM, série 2 IV:365–373

Deplus C, Le Friant A, Boudon G, et al (2001) Submarine evidence for large-scale debris avalanches in the Lesser Antilles Arc. Earth Planet Sci Lett 192:145–157. doi: 10.1016/S0012-821X(01)00444-7

Dessert C, Lajeunesse E, Lloret E, et al (2015) Controls on chemical weathering on a mountainous volcanic tropical island: Guadeloupe (French West Indies). Geochim Cosmochim Acta 171:216–237. doi: https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.09.009

Dixit C, Sanjuan B, Bernard M-L, Brach M (2011) On site experiments about silica deposition and kinetics data during the cooling of the Bouillante geothermal fluids (Guadeloupe, French West Indies). In: Présentation orale et résumé à la 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011

Dixit C, Bernard M-L, Sanjuan B, et al (2016) Experimental study on the kinetics of silica polymerization during cooling of the Bouillante geothermal fluid (Guadeloupe, French West Indies). Chem Geol 442:97–112. doi: 10.1016/j.chemgeo.2016.08.031

Dixit C, Bernard M-L, Sanjuan B, et al (2019) Characterization of silica precipitation from Bouillante geothermal water (Guadeloupe), FWI) and synthetic solutions. In: Caribbean Science and Innovation Meeting 2019

Dixit C, Ncibi MC, Bernard M-L, et al (2020) The valorization of raw and chemically-modified silica residues from Bouillante geothermal power plant (Guadeloupe, FWI) for the removal of methylene blue and lead from aqueous media. J Environ Chem Eng 8:11. doi: 10.1016/j.jece.2020.104285

Dixit C, Sanjuan B, Brach M, et al (2012) Experimental study of the silica precipitation kinetics from geothermal fluids under the exploitation conditions of the Bouillante power station (Guadeloupe, French West Indies). In: European Geosciences Union, General assembly. Vienne, Austria

Dorel J, Eschenbrenner S, Feuillard M (1972) Les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique, Petites Antilles. Bull Volcanol 36:359–381. doi: 10.1007/BF02596877

Dorel J, Feuillard M (1980) Note sur la crise sismo-volcanique à la soufrière de La Guadeloupe 1975–1977. Bull Volcanol 43:419–430. doi: 10.1007/BF02598043

Dorel J, Eschenbrenner S, Feuillard M (1979) Coupes sismiques des structures superficielles dans les petites antilles ? I: Guadeloupe. Pure Appl Geophys PAGEOPH 117:1050–1069. doi: 10.1007/BF00876085

Douglas J, Jousset P (2008) Using Broadband data to help validate accelerometric data: an example from Guadeloupe (French Antilles). In: First Euro-Mediterranean Meeting on Accelerometric Data Exchange and Archiving - Grenoble - France - 10-11/03/2008

Douglas J, Bertil D, Roullé A, et al (2006) A preliminary investigation of strong-motion data from the French Antilles. J Seismol 10:271–299. doi: 10.1007/s10950-006-9016-0

Fabriol H, Bitri A, Bourgeois B, et al (2005) Geophysical methods applied to the assessment of the Bouillante geothermal field (Guadeloupe, French West Indies). In: Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. p 6 p.

Falcin A, Métaxian J-P, Mars J, et al (2020) A machine-learning approach for automatic classification of volcanic seismicity at La Soufrière Volcano, Guadeloupe. J Volcanol Geotherm Res 107151. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107151

Favier A, Lardeaux J-M, Legendre L, et al (2019) Tectono-metamorphic evolution of shallow crustal levels within active volcanic arcs. Insights from the exhumed Basal Complex of Basse-Terre (Guadeloupe, French West Indies). BSGF - Earth Sci Bull 190:10. doi: 10.1051/bsgf/2019011

Feuillard M (1976) Etudes thermiques à La Soufrière de Guadeloupe. Bull BRGM, série 2, Sect IV 175–388

Feuillard M, Allègre C-J, Brandeis G, et al (1983) The 1976-1977 crisis of la Soufrière de Guadeloupe (F.W.I.): A still-born magmatic eruption. J Volcanol Geotherm Res 317–334

Feuillard M (2011) La Soufrière de Guadeloupe, un volcan et un peuple, Jasor

Feuillet N, Beauducel F, Jacques E, et al (2011) The Mw = 6.3, November 21, 2004, Les Saintes earthquake (Guadeloupe): Tectonic setting, slip model and static stress changes. J Geophys Res 116:B10301. doi: 10.1029/2011JB008310

Feuillet N, Manighetti I, Tapponnier P (2001) Extension active perpendiculaire à la subduction dans l'arc des Petites Antilles (Guadeloupe, Antilles françaises). C R Acad Sci la Terre des planètes 583–590

Feuillet N, Manighetti I, Tapponnier P, Jacques E (2002) Arc parallel extension and localization of volcanic complexes in Guadeloupe, Lesser Antilles. J Geophys Res Solid Earth 107:ETG 3-1-ETG 3-29. doi: 10.1029/2001JB000308

Feuillet N, Tapponnier P, Manighetti I, et al (2004) Differential uplift and tilt of Pleistocene reef platforms and Quaternary slip rate on the Morne-Piton normal fault (Guadeloupe, French West Indies). J Geophys Res Solid Earth 109:. doi: 10.1029/2003JB002496

Fink LK (1972) Bathymetric and geologic studies of the Guadeloupe region, Lesser Antilles Island Arc. Mar Geol 12:267–288. doi: https://doi.org/10.1016/0025-3227(72)90003-5

Fouillac AM, Cocherie A, Girard J-P, et al (2005) Traceurs isotopiques : sources et processus. Oil Gas Sci Technol 60:923–935. doi: 10.2516/ogst:2005065

Fries DM, James RH, Dessert C, et al (2019) The response of Li and Mg isotopes to rain events in a highly-weathered catchment. Chem Geol 519:68–82. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.04.023

Gadalia A, Gsalter N, Westercamp D (1988) La chaîne volcanique de Bouillante, Basse Terre de Guadeloupe (Petites Antilles) : Identité pétrographique, volcanologique et géodynamique. CR Acad Sc Paris, Earth Planet Sci Géologie la Fr 2–3:101–130

Gailler L-S, Arcay D, Münch P, et al (2017) Forearc structure in the Lesser Antilles inferred from depth to the Curie temperature and thermo-mechanical simulations. Tectonophysics 706–707:71–90. doi: 10.1016/j.tecto.2017.03.014

Gailler L-S, Bouchot V, Martelet G, et al (2012) Crustal structure of Guadeloupe Islands and the Lesser Antilles Arc from a new gravity and magnetic synthesis. In: 3ème Colloque du Comité National Français de Géodésie et Géophysique (CNFGG), Clermont-Ferrand, France, Octobre 2012

Gailler L-S, Bouchot V, Baltassat J-M, et al (2011) Contribution of multi-methods geophysics to improve the regional knowledge of Bouillante geothermal Province (Guadeloupe). In: Présentation orale et résumé à la 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011

Gailler L-S, Bouchot V, Martelet G, et al (2014) Contribution of multi-method geophysics to the understanding of a high-temperature geothermal province: The Bouillante area (Guadeloupe, Lesser Antilles). J Volcanol Geotherm Res 275:34–50. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.02.002

Gailler L-S, Martelet G, Thinon I, et al (2013) Crustal structure of Guadeloupe islands and the Lesser Antilles arc from a new gravity and magnetic synthesis. Bull la Société Géologique Fr 184:77–97. doi: 10.2113/gssgfbull.184.1-2.77

Gaudin D, Beauducel F, Allemand P, et al (2013) Heat flux measurement from thermal infrared imagery in low-flux fumarolic zones: Example of the Ty fault (La Soufrière de Guadeloupe). J Volcanol Geotherm Res 267:47–56. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.09.009

Gaudin D, Beauducel F, Coutant O, et al (2016) Mass and heat flux balance of La Soufrière volcano (Guadeloupe) from aerial infrared thermal imaging. J Volcanol Geotherm Res 320:107–116. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2016.04.007

Gaudin D, Finizola A, Delcher E, et al (2015) Influence of rainfalls on heat and steam fluxes of fumarolic zones: Six months records along the Ty fault (Soufrière of Guadeloupe, Lesser Antilles). J Volcanol Geotherm Res 302:273–285. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.06.015

Gaudin D, Ricci T, Finizola A, et al (2017) Heat flux-based strategies for the thermal monitoring of sub-fumarolic areas: Examples from Vulcano and La Soufrière de Guadeloupe. J Volcanol Geotherm Res 343:122–134. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.06.021

Gentier S, Sanjuan B, Philippe M (2019) Production de chaleur et d'électricité géothermique : un investissement scientifique de soixante ans. Géosciences Hors-série 60 ans du BRGM, Les Géosciences au cœur des enjeux demain, Transit énergétique Espac Souterr 102–109

Gérard A, Westercamp D, Bouysse P, et al (1981) Etude géophysique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles françaises (Martinique, Guadeloupe). Ed du BRGM 1–40

Goguel J (1965) Les recherches françaises d'énergie géothermique à la Guadeloupe. In: Symposium international de volcanologie, Nouvelle Zélande, Nov. 1965. p 10 p.

Guisseau D, Mas A, Patrier P, et al (2004) Clay minerals related to the hydrothermal activity of the Bouillante geothermal field (Guadeloupe). In: RST 2004, Strasbourg, 20-25 September 2004.

Guisseau D, Patrier P, Beaufort D, et al (2005) Crystal structure, chemistry and isotopic composition of smectite occurring in the active high-enthalpy geothermal field of Bouillante (Guadeloupe). In: Résumé au 3ème Colloque du Groupe Français des Argiles (GFA), les 18 et 19 mai 2005, à l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris (ENSCP), Franc

Guisseau D, Patrier-Mas P, Beaufort D, et al (2006) Présentation d'un poster sur les travaux de Bouillante. In: colloque organisé par HYDRASA/GFA/Clay Mineral Society du 3 au 7 juin 2006, à Oléron (France). Oléron (France)

Guisseau D, Patrier-Mas P, Beaufort D, et al (2007) Significance of the depth-related transition montmorillonite-beidellite in the Bouillante geothermal field (Guadeloupe, Lesser Antilles). Am Mineral 92:1800–1813. doi: 10.2138/am.2007.2398

Heiken G, Crowe B, McGetchin T, et al (1980) Phreatic eruption clouds: the activity of la Soufrière de Guadeloupe, F.W.I., August — October, 1976. Bull Volcanol 43:383–395. doi: 10.1007/BF02598039

Henchiri S, Clergue C, Dellinger M, et al (2014) The Influence of Hydrothermal Activity on the Li Isotopic Signature of Rivers Draining Volcanic Areas. Procedia Earth Planet Sci 10:223–230. doi: https://doi.org/10.1016/j.proeps.2014.08.026

Hincks TK, Komorowski J-C, Sparks SR, Aspinall WP (2014) Retrospective analysis of uncertain eruption precursors at La Soufrière volcano, Guadeloupe, 1975–77: volcanic hazard assessment using a Bayesian Belief Network approach. J Appl Volcanol 3:3. doi: 10.1186/2191-5040-3-3

Hirn A, Michel B (1979) Evidence of migration of main shocks during major seismo-volcanic crises of la soufrière (Guadeloupe, lesser antilles) in 1976. J Volcanol Geotherm Res 6:295–304. doi: 10.1016/0377-0273(79)90007-6

Ingrin J, Poirier JP (1986) Transmission electron microscopy of ejecta from the XVIth century eruption of the Soufrière, Guadeloupe; microscopic evidence for magma mixing. J Volcanol Geotherm Res 28:161–174. doi: 10.1016/0377-0273(86)90010-7

IPGP IPGP website. http://centrededonnees.ipgp.fr/ index.php

Jaud P, Lamethe D (1985) The bouillante geothermal power-plant, guadeloupe. Geothermics 14:197–205. doi: https://doi.org/10.1016/0375-6505(85)90061-6

Jean-Baptiste P, Allard P, Fourré E, et al (2014) Helium isotope systematics of volcanic gases and thermal waters of Guadeloupe Island, Lesser Antilles. J Volcanol Geotherm Res 283:66–72. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.07.003

Jolivet J (1958) La crise volcanique de 1956 à la Soufrière de la Guadeloupe. Ann Geophys 305–322

Jousset P, Chouet B (2007) Long-period earthquakes in Bouillante hydrothermal system, Guadeloupe, French Antilles. In: Abstract submitted to IUGG XXIV 2007 - General assembly - Perugia, Italy, 2-13 July 2007

Jousset P, Douglas J (2007) Long-period earthquake ground displacements recorded on Guadeloupe (French Antilles). Earthq Eng Struct Dyn 36:949–963. doi: 10.1002/eqe.666

Jousset P, Bes de Berc S, Fabriol H, Chouet B (2004) Monitoring and exploration of geothermal fields using broadband seismology: application to Bouillante, Guadeloupe. In: IAVCEI - General Assembly 2004, Pucón (Chile), 14-19/11/2004. Pucón (Chile)

Jousset P, Bitri A, Loiseau J, Bouchot V (2010) Seismic ambient noise study at Bouillante geothermal system - French Antilles. In: EGU General Assembly 2010, 3-8 April 2010, Vienna. p pp.5305

Jousset P, Chouet B (2006) Evidence for sustained long-period seismicity in Bouillante Northern hydrothermal system, Guadeloupe. In: EGS-AGU-EUG joint Assembly 31th, Vienna (Austria), 2-7/04/2006, Geophys. Res Abstr., vol. 8, 05772. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-05772. Vienna (Austria)

Jousset P, Péricat J, Dupros F, et al (2005) Hydrothermal systems and broadband seismology: observations and 3D wave propagation modelling at Bouillante geothermal area - Guadeloupe. In: European Seismological Commission - Workshop annuel de Sismologie Volcanique, Saint-Claude (Guadeloupe), 19-23/09/2005

Jousset P, Péricat J, Fabriol H, Chouet B (2006) Seismological monitoring of exploited hydrothermal systems. In: EGS-AGU-EUG joint Assembly 31th, Vienna (Austria), 2-7/04/2006, Geophys. Res Abstr., Vol. 8, 03774. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-03774. Vienna (Austria)

Jousset P, Péricat J, Fabriol H, Chouet B (2006) Broadband seismology for monitoring and exploring hydrothermal systems. In: Workshop 1 Defining exploring imaging and assessing reservoirs for potential heat exchange Potsdam Germany 6-8 Nov. 2006,. Potsdam (Germany), p 52

Jousset P (2007) Long-period earthquakes in Bouillante hydrothermal system. In: IUGG, 9-13 July 2007, Peruggia, Italy. Peruggia, Italy

Jousset P, Chouet B (2008) Long-period earthquakes in Bouillante hydrothermal system, French Antilles. In: EGU General Assembly 2008, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-04175, 2008 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-04175

Julien P, Bonneton J (1984) Etude néotectonique de la Soufrière de Guadeloupe. Neotectonic study of La Soufrière of Guadeloupe. Comptes Rendus l'Académie des Sci 298:907–909

Julien P, Bonneton JR (1984) Etude structurale et mesures de déformations à la Soufrière de Guadeloupe. Bull PIRPSEV, CNRS-INAG 33 p.

Komorowski J-C, Legendre Y, Caron B, Boudon G (2008) Reconstruction and analysis of sub-plinian tephra dispersal during the 1530 A.D. Soufrière (Guadeloupe) eruption: Implications for scenario definition and hazards assessment. J Volcanol Geotherm Res 178:491–515. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.11.022

Komorowski J-C, Boudon G, Anténor-Habazac C, et al (2001) L'activité éruptive et non-éruptive de la Soufriére de Guadeloupe : problèmes et implications de la phénoménologie et des signaux actuellement enregistrés. In: Atelier sur les aléas volcaniques - Les volcans antillais: des processus aux signaux. PNRN (CNRS) - INSU, BRGM, CEA, CEMAGREF, CNES, IRD. 18-19 janvier 2001, Paris, Abstract volume. pp 18–21

Komorowski J-C, Boudon G, Semet MP, et al (2005) Guadeloupe. In: J.M. Lindsay, R.E.A. Robertson, J.B. Sheperd S. Ali (Eds), Volcan. Atlas Lesser Antilles, Seism. Res. Unit, Univ. West Indies, Trinidad Tobago, WI. pp 65–102

Komorowski J-C, Boudon G, Semet MP, et al (2005) Guadeloupe. In: J.M. Lindsay, R.E.A. Robertson, J.B. Sheperd S. Ali (Eds), Volcan. Atlas Lesser Antilles, Seism. Res. Unit, Univ. West Indies, Trinidad Tobago, WI. pp 65–102

Kuster D, Silve V (1997) Guadeloupe, Canyons, Gouffres, Découverte, Gap, La Ra

Lachassagne P, Marechal JC, Sanjuan B (2009) Hydrogeological model of a high-energy geothermal field (Bouillante area, Guadeloupe, French West Indies). Hydrogeol J 17:1589–1606. doi: 10.1007/s10040-009-0486-3

Lachassagne P, Maréchal J-C, Sanjuan B (2007) Hydrogeological synthesis of the Bouillante high-energy geothermal field (Guadeloupe, French West Indies). In: Proceedings 2nd Symposium on Mineral and Thermal Waters in Hard Rock Terrains, 21-24 September, Lisbon, Portugal. p 8 p.

Lahitte P, Samper A, Quidelleur X (2012) DEM-based reconstruction of southern Basse-Terre volcanoes (Guadeloupe archipelago, FWI): Contribution to the Lesser Antilles Arc construction rates and magma production. Geomorphology 136:148–164. doi: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.008

Laigle M, Hirn A, Sapin M, et al (2013) Seismic structure and activity of the north-central Lesser Antilles subduction zone from an integrated approach: Similarities with the Tohoku forearc. Tectonophysics 603:1–20. doi: https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.05.043

Laigle M, Becel A, de Voogd B, et al (2013) Along-arc segmentation and interaction of subducting ridges with the Lesser Antilles Subduction forearc crust revealed by MCS imaging. Tectonophysics 603:32–54. doi: https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.05.028

Lakhssassi M, Lopez S, Calcagno P (2010) Modeling of Bouillante geothermal field (Guadeloupe, French West Indies). In: EGU General Assembly, May 2-7, Vienna, Austria. Vienna, Austria

Le Friant A, Boudon G, Komorowski J-C, et al (2006) Potential Flank-Collapse of Soufrière Volcano, Guadeloupe, Lesser Antilles? Numerical Simulation and Hazards. Nat Hazards 39:381–393. doi: 10.1007/s11069-005-6128-8

Le Mouel JL, Pozzi JP, Rossignol JC, Feuillard M (1979) Le leve aeromagnetique de l'archipel de Guadeloupe; description et implications tectoniques. Bull la Société Géologique Fr S7-XXI:135–148. doi: 10.2113/gssgfbull.S7-XXI.2.135

Le Mouël JL, Menvielle M, Pozzi JP, et al (1984) Magnetic observations on La Soufrière volcano (Guadeloupe, F.W.I.) over a quiet period. Geomagn Geoelectr 609–619

Leclerc F, Feuillet N, Cabioch G, et al (2014) The Holocene drowned reef of Les Saintes plateau as witness of a long-term tectonic subsidence along the Lesser Antilles volcanic arc in Guadeloupe. Mar Geol 355:115–135. doi: https://doi.org/10.1016/ j.margeo.2014.05.017

Lefrançois E, Eulin A, Coste M, et al (2016) Diatoms, bacterias and Archaea of the hydrothermal springs of the French West Indies. In: 35ème Colloque de l'ADLaF. p 1

Lesparre N, Gibert D, Marteau J, et al (2012) Density muon radiography of La Soufrière of Guadeloupe volcano: comparison with geological, electrical resistivity and gravity data. Geophys J Int 190:1008–1019. doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05546.x

Li L, Bonifacie M, Aubaud C, et al (2015) Chlorine isotopes of thermal springs in arc volcanoes for tracing shallow magmatic activity. Earth Planet Sci Lett 413:101–110. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.12.044

Linde N, Revil A (2007) A comment on "Electrical tomography of La Soufrière of Guadeloupe Volcano: Field experiments, 1D inversion and qualitative interpretation" by Nicollin, F. et al. [Earth Planet. Sci. Lett. 244 (2006) 709–724]. Earth Planet Sci Lett 258:619–622. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.04.008

Long L, Jendrzejewski N, Aubaud C, et al (2012) V53B-2831: Isotopic evidence for quick freshening of magmatic chlorine in the Lesser Antilles arc volcanoes. In: AGU fall meeting

Lopez S, Vigier L, Sanjuan B, et al (2008) Fonctionnement du champ géothermique de Bouillante. In: RST 2008 - 22ème Réunion des Sciences de la Terre - Nancy - France - 21/04/08 - 24/04/08. Nancy, France

Lopez S, Bouchot V, Lakhssassi M, Calcagno P (2010) Modeling of Bouillante geothermal field (Guadeloupe, French Lesser Antilles). In: Proceedings 35th Workshop on Geothermal Engineering, February 1-3, 2010, Stanford, California, USA. p 8 p.

Lopez S, Lakhssassi M, Giuglaris E (2011) Modeling of Bouillante geothermal field (Guadeloupe, French Lesser Antilles). In: 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, 21-24 mars 2011. Le Gosier, Guadeloupe, France

Louvat P, Gaillardet J, Paris G, Dessert C (2011) Boron isotope ratios of surface waters in Guadeloupe, Lesser Antilles. Appl Geochemistry 26:S76–S79. doi: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.035

Ma L, Chabaux F, Pelt E, et al (2012) The effect of curvature on weathering rind formation: Evidence from Uranium-series isotopes in basaltic andesite weathering clasts in Guadeloupe. Geochim Cosmochim Acta 80:92–107. doi: https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.11.038

Macdonald R, Hawkesworth CJ, Heath E (2000) The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. Earth-Science Rev 49:1–76. doi: 10.1016/S0012-8252(99)00069-0

Marchand M, Blanc I, Marquand A, et al (2014) Parameterized LCA models for geothermal energy systems: from detailed to simplified models by applying a Global Sensitivity Analysis. In: SETAC Europe 24th Annual Meeting, May 2014. Basel, Switzerland

Marchand M, Blanc I, Marquand A, et al (2015) Life Cycle Assessment of High Temperature Geothermal Energy Systems. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. p 11 p.

Marchand M, Marquand A, Blanc I, et al (2014) A reference LCA model for high temperature geothermal energy systems. In: colloque IMT Ressources Naturelles et Environnement, session TIC et Observation de l'Environnement, 5 et 6 novembre 2014. Paris, France

Marteau J, Rosas-Carbajal M, Jourde K, et al (2017) Monitoring the La Soufrière de Guadeloupe hydrothermal system with a regularly-spaced muon telescope network. In: IAVCEI 2017 scientific Assembly, Aug 2017, Portland, Oregon, United States. pp.649, 2017, Abstract book. Fostering Integrative Studies of Volcanoes. p 649

Martin-Kaye HA (1969) A summary of the geology of the Lesser Antilles. Overseas Geol Miner Resour, G8 10:172

Mas A, Guisseau D, Patrier Mas P, et al (2006) Clay minerals related to the hydrothermal activity of the Bouillante geothermal field (Guadeloupe). J Volcanol Geotherm Res 158:380–400. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2006.07.010

Mathieu L, Van Wyk de Vries B, Mannessiez N, et al (2013) The structure and morphology of the Basse Terre Island, Lesser Antilles volcanic arc. Bull. Volcanol. 75:1–15

Mathieu L, van Wyk de Vries B, Pilato M, Troll VR (2011) The interaction between volcanoes and strike-slip, transtensional and transpressional fault zones: Analogue models and natural examples. J Struct Geol 33:898–906. doi: 10.1016/j.jsg.2011.03.003

McGuire WJ, Solana MC, Kilburn CRJ, Sanderson D (2009) Improving communication during volcanic crises on small, vulnerable islands. J Volcanol Geotherm Res 183:63–75. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.02.019

Melekhova E, Schlaphorst D, Blundy J, et al (2019) Lateral variation in crustal structure along the Lesser Antilles arc from petrology of crustal xenoliths and seismic receiver functions. Earth Planet Sci Lett 516:12–24. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.03.030

Millot R, Gaillardet J, Vigier N, et al (2011) Lithium isotopes in low and high temperature hydrosystems. In: 9th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry AIG-9, September 19-23 2011, Tarragona (Spain)

Millot R, Gaillardet J, Vigier N, et al (2010) Lithium isotopes and water/rock interactions: Clues from low and high temperature hydrosystems. In: AGU fall Meeting, 13-17 December 2010, San Francisco, USA

Millot R, Negrel P, Sanjuan B (2012) Lithium isotope systematics in geothermal systems. In: Geochimica et Cosmochimica Acta, Goldschmidt Conference 2012, Montréal, Canada, June 24-29, 2012

Millot R, Négrel P, Sanjuan B (2007) Lithium isotopes in geothermal systems. In: Goldschmidt Conference 2007, August 19-24, Cologne (Germany), Poster and Abstract A667 in Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 71, Issue 15 Supplement 1. p A667

Millot R, Sanjuan B (2005) Lithium isotopes in geothermal systems: clues from the Guadeloupe and Martinique islands. In: 6th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (AIG-6), 9-16 September 2005. Prague (Tchéquie)

Millot R, Sanjuan B (2007) Mesure isotopique du lithium par MC-ICP-MS et exemple d'application en géothermie. In: Spectr'Atom 2007 3ème Edition : Convention sur la spectrométrie atomique, 21-24 mai 2007. Pau, France

Millot R, Négrel P, Sanjuan B (2014) Lithium isotopes systematics in Geothermal systems. In: 9th South American Symposium on Isotope Geology. Sao Paulo, Brazil, p 1

Millot R, Scaillet B, Sanjuan B (2010) Lithium isotopes in island arc geothermal systems: Guadeloupe, Martinique (French West Indies) and experimental approach. Geochim Cosmochim Acta 74:1852–1871. doi: 10.1016/j.gca.2009.12.007

Moretti R, Komorowski J-C, Ucciani G, et al (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 393:106769. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2020.106769

Navelot V, Géraud Y, Favier A, et al (2018) Petrophysical properties of volcanic rocks and impacts of hydrothermal alteration in the Guadeloupe Archipelago (West Indies). J Volcanol Geotherm Res 360:1–21. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2018.07.004

Nicolas A, Blöcher G, Kluge C, et al (2020) Pore pressure pulse migration in microcracked andesite recorded with fibre optic sensors. Geomech Energy Environ 24:100183. doi: 10.1016/j.gete.2020.100183

Nicollin F, Gibert D, Beauducel F, et al (2006) Electrical tomography of La Soufrière of Guadeloupe Volcano: Field experiments, 1D inversion and qualitative interpretation. Earth Planet Sci Lett 244:709–724. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.02.020

Nicollin F, Gibert D, Beauducel F, et al (2007) Reply to comment on "Electrical Tomography of La Soufrière of Guadeloupe Volcano: Field experiments, 1D inversion and qualitative interpretation" by N. Linde and A. Revil. Earth Planet Sci Lett 258:623–626. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.04.005

Notton G (2015) Importance of islands in renewable energy production and storage: The situation of the French islands. Renew Sustain Energy Rev 47:260–269. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.053

Opfergelt S, Georg RB, Delvaux B, et al (2012) Silicon isotopes and the tracing of desilication in volcanic soil weathering sequences, Guadeloupe. Chem Geol 326–327:113–122. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.07.032

Opfergelt S, Georg RB, Delvaux B, et al (2012) Mechanisms of magnesium isotope fractionation in volcanic soil weathering sequences, Guadeloupe. Earth Planet Sci Lett 341–344:176–185. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.06.010

OVSG-IPGP 1978-2012 - Bilan mensuel de l'Activité volcanique et de la sismicité régionale de l'Observatoire Volcanologique de la Soufrière

OVSG-IPGP Website, d. Volcano and seismic activity bulletin of La Soufrière of Guadeloupe http://www.ipgp.fr/pages/0303.php

OVSG-IPGP (1999-2013) - Bulletin mensuel de l'activité volcanique et sismique de Guadeloupe. Monthly public report, Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe - Institut de Physique du Globe de Paris, Gourbeyre (ISSN 1622-4523)

Owens L, Perkin D, Garanzini S (2018) 3D MT characterization of the Bouillante geothermal resource. In: Proceedings GRC Transactions, vol. 42, 2018. p 12 p.

Pascaline H, Benauges S, Jérémie J-J, Blavoux B (1982) Hydrochimie et circulation des eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière, Guadeloupe. Bull Mus Hist Nat, Paris, 4ème série, 4, Sect C 137–155

Patrier P, Beaufort D, Mas A, Traineau H (2003) Surficial clay assemblage associated with the hydrothermal activity of Bouillante (Guadeloupe, French West Indies). J Volcanol Geotherm Res 126:143–156. doi: 10.1016/S0377-0273(03)00133-1

Patrier P, Bruzac S, Pays R, et al (2013) Occurrence of K-feldspar-bearing hydrothermal breccias in the Bouillante geothermal field (Basse Terre – Guadeloupe). Bull la Société Géologique Fr 184:119–128. doi: 10.2113/gssgfbull.184.1-2.119

Patrier-Mas P, Pays R, Beaufort D, et al (2011) Occurrence of epithermal breccias in the Bouillante geothermal field (Basse Terre - Guadeloupe). Part 1. In: 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011

Pedroni A, Hammerschmidt K, Friedrichsen H (1999) He, Ne, Ar, and C isotope systematics of geothermal emanations in the Lesser Antilles Islands Arc. Geochim Cosmochim Acta 63:515–532. doi: 10.1016/S0016-7037(99)00018-6

Peruzzetto M, Komorowski J-C, Le Friant A, et al (2019) Modeling of partial dome collapse of La Soufrière of Guadeloupe volcano: implications for hazard assessment and monitoring. Sci Rep. doi: 10.1038/s41598-019-49507-0

Pham VN, Boyer D, Boudon G, et al (1990) Anomalies de polarisation spontanée sur la Soufrière de Guadeloupe. Relations avec la structure interne du volcan. CR Acad Sci Paris, II, 310 815–821

Pichavant M, Poussineau S, Lesne P, et al (2018) Experimental parametrization of magma mixing~: application to the 1530 AD eruption of La Soufrière, Guadeloupe (Lesser Antilles). J Petrol 59:257–282. doi: 10.1093/petrology/egy030

Polyak BG, Bouysse P, Kononov VI, et al (1992) Evidence of submarine hydrothermal discharge to the northwest of Guadeloupe Island (Lesser Antilles island arc). J Volcanol Geotherm Res 54:81–105. doi: 10.1016/0377-0273(92)90116-U

Pozzi JP, Mouël JLL, Rossignol JC, Zlotnicki J (1979) Magnetic observations made on la soufriere volcano (guadeloupe) during the 1976–1977 crisis. J Volcanol Geotherm Res 5:217–237. doi: https://doi.org/10.1016/0377-0273(79)90017-9

Rad S, Cerdan O, Rivé K, Grandjean G (2011) Age of river basins in Guadeloupe impacting chemical weathering rates and land use. Appl Geochemistry 26:S123–S126. doi: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.046

Rad S, Deparis J, Gadalia A, et al (2017) Weathered profiles in tropical volcanic islands by combined geochemical and geophysical approaches. In: Goldschmidt 2017. Paris, France

Rad S, Rivé K, Vittecoq B, et al (2013) Chemical weathering and erosion rates in the Lesser Antilles: An overview in Guadeloupe, Martinique and Dominica. J South Am Earth Sci 45:331–344. doi: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.03.004

Raguenel M, Driesner T, Bonneau F (2019) Numerical modeling of the geothermal hydrology of the Volcanic Island of Basse-Terre, Guadeloupe. Geotherm Energy 7:28. doi: 10.1186/s40517-019-0144-5

Rakotoson V, Praene JP (2017) A life cycle assessment approach to the electricity generation of French overseas territories. J Clean Prod 168:755–763. doi: https://doi.org/10.1016/ j.jclepro.2017.09.055

Ricci J, Lahitte P, Quidelleur X (2015) Construction and destruction rates of volcanoes within tropical environment: Examples from the Basse-Terre Island (Guadeloupe, Lesser Antilles). Geomorphology 228:597–607. doi: https://doi.org/10.1016/j.geomorph. 2014.10.002

Rohmer J, Douglas J, Bertil D, et al (2014) Weighing the importance of model uncertainty against parameter uncertainty in earthquake loss assessments. Soil Dyn Earthq Eng 58:1–9. doi: https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2013.11.006

Rosas-Carbajal M, Jourde K, Marteau J, et al (2017) Three-dimensional density structure of La Soufrière de Guadeloupe lava dome from simultaneous muon radiographies and gravity data. Geophys Res Lett 44:6743–6751. doi: 10.1002/2017GL074285

Roullé A, Bernardie S (2010) Comparison of 1D non-linear simulations to strong-motion observations: A case study in a swampy site of French Antilles (Pointe-à-Pitre, Guadeloupe). Soil Dyn Earthq Eng 30:286–298. doi: https://doi.org/10.1016/ j.soildyn.2009.12.002

Ruiz M, Galve A, Monfret T, et al (2013) Seismic activity offshore Martinique and Dominica islands (Central Lesser Antilles subduction zone) from temporary onshore and offshore seismic networks. Tectonophysics 603:68–78. doi: https://doi.org/10.1016/j.tecto. 2011.08.006

Ruzié L, Aubaud C, Moreira M, et al (2013) Carbon and helium isotopes in thermal springs of La Soufrière volcano (Guadeloupe, Lesser Antilles): Implications for volcanological monitoring. Chem Geol 359:70–80. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.09.008

Ruzié L, Moreira M, Crispi O (2012) Noble gas isotopes in hydrothermal volcanic fluids of La Soufrière volcano, Guadeloupe, Lesser Antilles arc. Chem Geol 304–305:158–165. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.02.012

Sak PB, Murphy M, Ma L, et al (2018) From unweathered core to regolith in a single weathering andesitic clast: Rates and trends of in situ chemical weathering on a tropical volcanic island (Basse Terre Island, French Guadeloupe). Chem Geol 498:17–30. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.08.015

Sak PB, Navarre-Sitchler AK, Miller CE, et al (2010) Controls on rind thickness on basaltic andesite clasts weathering in Guadeloupe. Chem Geol 276:129–143. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2010.05.002

Salaün A, Villemant B, Gérard M, et al (2011) Hydrothermal alteration in andesitic volcanoes: Trace element redistribution in active and ancient hydrothermal systems of Guadeloupe (Lesser Antilles). J Geochemical Explor 111:59–83. doi: https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.06.004

Samper A, Quidelleur X, Lahitte P, Mollex D (2007) Timing of effusive volcanism and collapse events within an oceanic arc island: Basse-Terre, Guadeloupe archipelago (Lesser Antilles Arc). Earth Planet Sci Lett 258:175–191. doi: 10.1016/j.epsl.2007.03.030

Samper A, Quidelleur X, Komorowski J-C, et al (2009) Effusive history of the Grande Découverte Volcanic Complex, southern Basse-Terre (Guadeloupe, French West Indies) from new K–Ar Cassignol–Gillot ages. J Volcanol Geotherm Res 187:117–130. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.08.016

Sanjuan B, Brach M (2015) Geochemical monitoring of the thermal manifestations located near the Bouillante geothermal power plant, in Guadeloupe (FWI). In: Procedia Earth and Planetary Science 11th Applied Isotope Geochemistry Conference, AIG-11, Orleans, France, September 21-25, 2015. p 5

Sanjuan B, Jousset P, Pajot G, et al (2010) Monitoring of the Bouillante geothermal exploitation (Guadeloupe, French West Indies) and the impact n its immediate environment. In: Proceedings of World Geothermal Congress 2010 (WGC2010), Bali, Indonesia, 25-29 April 2010. p 11 p.

Sanjuan B, Lasne E, Brach M (1999) Origin and circulation of fluids in the Bouillante geothermal field, Guadeloupe: New insights from isotopic and chemical data. In: 3rd International Symposium on Applied Isotope Geochemistry, 21-25 septembre 1999, Orléans, France. pp 54–55

Sanjuan B, Lasne E, Brach M (2001) Bouillante geothermal fluid: mixing and water/rock interaction processes at 250°C. In: Proceedings, 10th Water-Rock Interaction (WRI-10), Cagliari, Italy, June 10-15. pp 911–914

Sanjuan B, Lasne E, Brach M (2000) Bouillante geothermal field (Guadeloupe, West Indies): Geochemical monitoring during a thermal stimulation operation. In: Proceedings, 25th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, California, January 24-26. pp 215–222

Sanjuan B, Millot R, Ásmundsson R, et al (2014) Use of two new Na/Li geothermometric relationships for geothermal fluids in volcanic environments. Chem Geol 389:60–81. doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.09.011

Sanjuan B, Millot R, Brach M (2007) Lithium isotopic signature of high temperature geothermal fluids in volcanic arc islands (Guadeloupe and Martinique, French West Indies): an efficient tool to constrain the rock nature of the reservoirs and their depth. In: ENGINE, Workshop 2: Exploring high temperature reservoirs: new challenges for geothermal energy. Abstract p. 27 in Proceedings and Poster, 1-4 April, SIAF-Volterra, Italy

Sanjuan B, Millot R, Brach M, Lasne E (2011) Comparison of the fluid geochemical signatures between the hydrothermal systems of Bouillante and Soufrière (Guadeloupe, French West Indies). In: 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011

Sanjuan B, Traineau H (2008) French West Indies: Development of the Bouillante geothermal field in Guadeloupe. IGA News, Newsl Int Geotherm Assoc July-September 2008, Quaterly n°73 5–9

Sanjuan B (2001) La géothermie aux Antilles. In Exposition Recherche et Outre-Mer. In: Cité des Sciences et de l'Industrie - La Villette - Paris (France), 30/03/2001

Sanjuan B (2020) Development of high-temperature geothermal energy in the French West Indies (FWI). In: Geothermal DHC digital Workshop - Geothermal energy use for heating and electricity in volcanic islands - EGEC Geothermal. Héraklion - Crête, Greece

Sanjuan B (2007) Résultats récents des travaux de recherche sur le champ géothermique de Bouillante, en Guadeloupe. In: Workshop Chantiers Antilles (INSU), IPG Paris, 5 et 6 novembre 2007

Sanjuan B, Bouchot V, Gadalia A, Traineau H (2011) Géothermie haute température : le défi énergétique. Geosciences 11:32–41

Sanjuan B, Romain M, Michel B (2014) Bouillante and Soufrière areas (Guadeloupe, French West Indies): two hydrothermal systems with different geochemical signatures. In: Goldschmidt Conference 2014. Sacramento, United States, p 30

Spence R, Komorowski J-C, Saito K, et al (2008) Modelling the impact of a hypothetical sub-Plinian eruption at La Soufrière of Guadeloupe (Lesser Antilles). J Volcanol Geotherm Res 178:516–528. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.03.016

Stein S, Engeln JF, Wiens DA, et al (1982) Subduction seismicity and tectonics in the Lesser Antilles Arc. J Geophys Res 87:8642. doi: 10.1029/JB087iB10p08642

Tamburello, Moune, Allard P, et al (2019) Spatio-Temporal Relationships between Fumarolic Activity, Hydrothermal Fluid Circulation and Geophysical Signals at an Arc Volcano in Degassing Unrest: La Soufrière of Guadeloupe (French West Indies). Geosciences 9:480. doi: 10.3390/geosciences9110480

Thinon I, Guennoc P, Bitri A, Truffert C (2010) Study of the Bouillante Bay (West Basse-Terre Island shelf): contribution of geophysical surveys to the understanding of the structural context of Guadeloupe (French West Indies - Lesser Antilles). Bull la Société Géologique Fr 181:51–65. doi: 10.2113/gssgfbull.181.1.51

Touboul M, Bourdon B, Villemant B, et al (2007) 238U–230Th–226Ra disequilibria in andesitic lavas of the last magmatic eruption of Guadeloupe Soufriere, french Antilles: Processes and timescales of magma differentiation. Chem Geol 246:181–206. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.09.009

Traineau H, Beaufort D, Castaing C, et al (1997) Réseau fracturé et circulation de fluides hydrothermaux : L'exemple du champ géothermique haute enthalpie de Bouillante, Guadeloupe. In: colloque "Hydrodynamique et Interaction Fluides-Roches 3", Montpellier, 17-18 avril 1997

Traineau H, Lasne E, Sanjuan B (2015) Main results of a long-term monitoring of the Bouillante geothermal reservoir during its exploitation. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 9 p.

Traineau H, Sanjuan B, Beaufort D, et al (1997) The Bouillante geothermal field (F.W.I.) revisited: new data on the fractured geothermal reservoir in light of a future stimulation experiment in a low productive well. In: Proceedings, Twenty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, January 27-29, 1997, SGP-TR-155. pp 97–104

Traineau H, Sanjuan B, Lasne E (2014) Main results of a long-term monitoring of the Bouillante geothermal reservoir during its exploitation. In: Third Deep Geothermal Days, Paris, France, April 10-11, 2014

Truffert C, Thinon I, Bitri A, Lalanne X (2004) Using MAGIS for geothermal application: Guadeloupe Archipelago in French West Indies. Hydro Int July/Augus:1–3

van Soest MC, Hilton DR, Kreulen R (1998) Tracing crustal and slab contributions to arc magmatism in the lesser antilles island arc using helium and carbon relationships in geothermal fluids. Geochim Cosmochim Acta 62:3323–3335. doi: 10.1016/S0016-7037(98)00241-5

Vatin-Perignon N, Semet MP, Blanc F, Joron JL (1984) Petrochemistry of quaternary pumiceous pyroclastic products in southern Guadeloupe (F.W.I.). Bull Volcanol 47:749–767. doi: 10.1007/BF01952342

Verati C, Lardeaux J-M, Favier A, et al (2018) Arc-related metamorphism in the Guadeloupe archipelago (Lesser Antilles active island arc): First report and consequences. Lithos 320–321:592–598. doi: 10.1016/j.lithos.2018.08.005

Verati C, Mazabraud Y, Lardeaux J-M, et al (2016) Tectonic evolution of Les Saintes archipelago (Guadeloupe, French West Indies): relation with the Lesser Antilles arc system. Bull la Société Géologique Fr 187:3–10. doi: 10.2113/gssgfbull.187.1.3

Verati C, Patrier-Mas P, Lardeaux JM, Bouchot V (2014) Timing of geothermal activity in an active island-arc volcanic setting: First 40 Ar/ 39 Ar dating from Bouillante geothermal field (Guadeloupe, French West Indies). Geol Soc London, Spec Publ 378:285–295. doi: 10.1144/SP378.19

Verati C, Patrier-Mas P, Lardeaux JM, Bouchot V (2011) First Ar-Ar dating of the high temperature epithermal breccias in the Bouillante geothermal field (Guadeloupe, French West Indies). Part 2. In: 19ème Conférence Géologique de la Caraïbe, Le Gosier, Guadeloupe, 21-24 mars 2011

Villemant B, Komorowski JC, Dessert C, et al (2014) Evidence for a new shallow magma intrusion at La Soufrière of Guadeloupe (Lesser Antilles). J Volcanol Geotherm Res 285:247–277. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.08.002

Villemant B, Hammouya G, Michel A, et al (2005) The memory of volcanic waters: Shallow magma degassing revealed by halogen monitoring in thermal springs of La Soufrière volcano (Guadeloupe, Lesser Antilles). Earth Planet Sci Lett 237:710–728. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.05.013

Vincent PM, Vatin-Pérignon N, Semet M, Cheminée JL (1979) Le dôme de la Soufrière (Guadeloupe): son âge et son mode de mise en place. CR Acad Sci Paris 51–54

Westercamp D (1979) Diversité, contrôle structural et origine du volcanisme récent dans l'arc insulaire des Petites Antilles. ». Bull BRGM Deux Sér, n° Sect IV 3–4:211–226

Westercamp D, Mervoyer B (1976) Les séries volcaniques de la Martinique et de la Guadeloupe, Petites Antilles françaises. Rapports stratigraphiques et pétrographiques. Bull BRGM, 2ème série 229–242

Westercamp D, Tazieff H (1980) Martinique - Guadeloupe - Saint Martin - La Désirade. Collection "Guides géologiques régionaux," Masson Edi. Paris

Zami F, Quidelleur X, Ricci J, et al (2014) Initial sub-aerial volcanic activity along the central Lesser Antilles inner arc: New K–Ar ages from Les Saintes volcanoes. J Volcanol Geotherm Res 287:12–21. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.09.011

Zlotnicki J (1986) Magnetic measurements on La Soufriere Volcano, Guadeloupe (Lesser Antilles), 1976–1984: A re-examination of the volcanomagnetic effects observed during the volcanic crisis of 1976–1977. J Volcanol Geotherm Res 30:83–116. doi: https://doi.org/10.1016/0377-0273(86)90068-5

Zlotnicki J, Feuillard M, Hammouya G (1994) Water Circulations on La Soufriere Volcano Inferred by Self-Potential Surveys (Guadeloupe, Lesser Antilles). Renew of Volcanic Activity? J Geomagn Geoelectr 46:797–813. doi: 10.5636/jgg.46.797

Zlotnicki J, Vargemezis G, Mille A, et al (2006) State of the hydrothermal activity of Soufrière of Guadeloupe volcano inferred by VLF surveys. J Appl Geophys 58:265–279. doi: 10.1016/j.jappgeo.2005.05.004

Zlotnicki J, Pozzi JP, Boudon G, Moreau MG (1984) A new method for the determination of the setting temperature of pyroclastic deposits (example of guadeloupe: french west indies). J Volcanol Geotherm Res 21:297–312. doi: https://doi.org/10.1016/0377-0273(84)90027-1

Zlotnicki J, Boudon G, Le Mouël J-L (1992) The volcanic activity of La Soufrière of Guadeloupe (lesser antilles): structural and tectonic implications. J Volcanol Geotherm Res 49:91–104. doi: 10.1016/0377-0273(92)90006-Y

RAPPORTS (146)

Abou Akar A (2005) Etude bibliographique des procédés de précipitation et de séparation de la silice et de l'arsenic dissous dans les eaux géothermales de haute enthalpie. Rapport final BRGM/RP-53789-FR

Abou Akar A, Matray JM, Brach M (1992) Etude géochimique du fluide géothermal du puits BO2 (centrale EDF) et des sources thermales de la région de Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM R 36203 IRG SGN 92

Andreieff P, Bouysse P, Westercamp D (1989) Géologie de l'arc insulaire des Petites Antilles et évolution géodynamique de l'Est-Caraïbe. Documents du BRGM

Axelsson G (2009) Reinjection in the Bouillante geothermal system, ISOR-VERKIS, Report ISOR-09021

Azaroual M, Serra H, Sanjuan B (2005) Modélisation couplée chimie - transport du refroidissement du fluide géothermal de Bouillante (Guadeloupe). Rapport final BRGM/RP-53313-FR

Barat A (1987) Etude du rôle des eaux souterraines dans le mécanisme des éruptions phréatiques. Application à la Montagne Pelée de Martinique et à la Soufrière de Guadeloupe. Document BRGM n°115

Baron F (2012) Adaptation méthodologique du spectromètre infra-rouge comme outil d'exploration des altérations géothermales de haute température. Mémoire de stage de Master 1, BRGM - Université de Poitiers

Barthes V, Benderitter (1983) Résultats de la campagne de sondages audio-magnétotelluriques de la région de Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM 83 SGN716 GTH

Barthes V, Fabriol R, Gadalia A, et al (1984) Prospection géothermique de la région de Bouillante Vieux Habitants - Guadeloupe. Coffret de 4 rapports BRGM 84 SGN 063 GTH

Baubron J (1990) Prospection géochimique par analyse des gaz des sols en vue de la localisation d'une fracture majeure sous recouvrement, Faille Montserrat-Marie Galante: secteur de Marie-Galante et Capesterre-Belle-Eau, Basse-Terre (Guadeloupe) = Geochemical prospection

Baubron JC, Sabroux JC (1984) Analyses des gaz dans les sols sur les zones de Bouillante et de Moscou (Guadeloupe). Rapport BRGM 84 SGN 400 GTH

Beauce A (1985) Ecoute sismique passive sur l'île de la Guadeloupe (zones de Bouillante et de la Plaine de Moscou). Rapport BRGM-AFME-IMRG 85 332 SGN IRG/GTH

Belon J-F (1998) Participation aux campagnes de mesures géophysiques et géochimiques sur le site géothermique de Bouillante, Guadeloupe. Rapport de stage de DESS, Gestion de la planète, Université de Nice - Sophia Antipolis, 2 tomes

Bézelgues-Courtiade S, Bès de Berc S (2007) Inventaire et caractérisation des sources thermales de Guadeloupe. Rapport BRGM/RP-55060-FR

Boisdet A (2005) Valorisation des eaux chaudes de la centrale de Bouillante en Guadeloupe. Rapport final Cabinet Boisdet

Boisdet A (2005) Eaux chaudes de la centrale de Bouillante en Guadeloupe. Note de synthèse Cabinet Boisdet décembre 2005

Bouchot V (2009) Modèle conceptuel du champ géothermique haute température de Bouillante, Guadeloupe, Antilles françaises. Rapport final BRGM/RP-57252-FR

Boudon G, Dagain J, Semet MP, Westercamp D (1988) Notice explicative de la carte géologique au 1/20.000 ème du massif volcanique de la Soufrière (Département de la Guadeloupe, Petites Antilles). 43 p.

Boudon G, Dagain J, Semet M-P, Westercamp D (1987) Massif volcanique de la Soufrière, Carte géologique et notice explicative 1/20 000, BRGM

Bourdon E, Bès de Berc S, Traineau H, et al (2008) Inventaire des ressources géothermiques potentielles de la Guadeloupe. Rapport BRGM/RP-56631-FR

Bourgeois B, Debeglia N (2008) Reconnaissance géophysique du site géothermique de Bouillante. Interprétation du levé magnétique et compléments d'interprétation du panneau électrique. Rapport BRGM/RP-56195-FR

Bouysse P, Robert S, Guennoc P, Monti S (1983) Bathymétrie détaillée (seabeam) et anomalies magnétiques dans les Antilles françaises : interprétation morpho-structurale de la vallée et de l'escarpement de la Désirade et des côtes occidentales de Basse-Terre de Guadeloupe et de Martinique

BRGM Département Géophysique Géophysique et géothermie - Guadeloupe - Interprétation structurale d'après les anomalies magnétiques réduites au pôle

Bruzac S (2011) Etudes des marqueurs d'altérations hydrothermales en surface du champ géothermique de Bouillante. Mémoire de stage Master 2 « Matériaux Naturels Eau Expertise Environnementale », Université de Poitiers

Bruzac S (2012) Rapport semestriel d'avancement de la thèse ADEME-BRGM intitulée « Evaluation spatio-temporelle des phénomènes d'altération hydrothermale haute-température en Guadeloupe et relations entre altération géothermale & propriétés réservoir

Buchin M (2015) Analyse des traceurs organiques, les disulfonates de naphtalène, dans des eaux géothermales : application et optimisation de la méthode par HPLC-Fluorescence. Mémoire de stage IUT Besançon-Vesoul

Buvat S (2009) Analyse des données sismologiques du réseau de Bouillante (Guadeloupe) : Microsismicité et interférométrie de coda. Rapport de stage Master 2, Université Pierre et Marie Curie

CFG (1999) Développement du champ géothermique de Bouillante. Rapport N° 99 CFG 10

CFG (2001) hamp géothermique de Bouillante. Synthèse lithologique des nouveaux puits BO-5, BO-6 et BO-7 et corrélation entre puits. Rapport CFG

CFG (2003) Champ géothermique de Bouillante : synthèse lithologique des nouveaux puits BO-5, BO-6 et BO-7 et corrélation entre puits. Note technique CFG

CFG (2003) Synthèse des données géologiques disponibles sur le site de la station de pompage. Note CFG Services N003/014/IGE/HT, 7 mars 2003

CFG (2002) Rapport de synthèse sur les essais de production des nouveaux puits BO-5, BO-6, et BO-7 de Bouillante. Janvier à juin 2002. Rapport 2002 CFG 6

CFG (2002) Suivi de l'exploitation de la ressource géothermique de Bouillante. Synthèse des données récoltées durant les quatre premiers mois d'exploitation du puits BO-5 (juillet - octobre 2002). Rapport 2002 CFG 58

Cheradame J-M (2004) Géothermie Bouillante. Programme de suivi de la ressource géothermale. Rapport de synthèse de la première année d'exploitation des puits de la plate-forme BO-4 (version provisoire). Rapport CFG Services 04CFG

Cole P, Bass V, Christopher T, et al (2010) Report to the Scientific Advisory Committee on Volcanic Activity at Soufrière Hills Volcano, Montserrat: Report on Activity Between 28 February 2010 and 31 October 2010. Flemmings: Montserrat Volcano Observatory

Contes C (2011) Monitoring du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe) par analyse de la micro-sismicité, apport de l'étude des codas sismiques et modélisation 3D. Rapport de stage, 2ème année du Master « Réservoirs Géologiques », Université des Sciences Montpellier

Coppo N, Mathieu F (2013) Investigations géophysiques (audio-magnétotelluriques et électriques) dans le secteur de Vieux-Habitants (Basse-Terre, Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-62520-FR

Cormy G (1970) Géologie de la région de Bouillante. Rapport EURAFREP

Correia H, Traineau H, Tulinius H, et al (1999) Enhancement of productivity of high enthalpy geothermal wells by cold water injection. ECC final report

De Michele M (2010) Interférométrie radar sur la Guadeloupe 2003-2010 (champ géothermique de Bouillante). Rapport final BRGM/RP-59247-FR

De Michele M, Raucoules D (2007) Traitements InSAR sur le champ géothermique de Bouillante, Guadeloupe, sur la période 2003/2006. Rapport BRGM/RP-55941-FR

Debeglia N, Dupont F (2007) Surveillance gravimétrique du réservoir géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Années 2006-2007. Rapport BRGM/RP-55604-FR

Deparis J, Reninger P-A, Perrin J, et al (2014) Acquisition géophysique héliportée de la Guadeloupe. Rapport BRGM/RP-62704-FR

Depuiset F (2008) Analyse des données sismologiques large bande du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe).

Dixit C (2010) Site géothermique de Bouillante : Caractérisation physico-chimique des fluides géothermaux et des dépôts de silice associés.

Dumont A, Bézelgues-Courtiade S, Pericat J, et al (2007) Surveillance quantitative des masses d'eau souterraine de Guadeloupe. Année 2007. Rapport BRGM/RP-55602-FR

Dutartre P, Gros Y (1990) Télédétection et Hydrogéologie en milieu volcanique. Etats de contraintes actuels et récents sur Basse-terre (Guadeloupe, Antilles françaises). Application à la prospection hydrogéologique des milieux volcaniques. Rapport BRGM R31095 TED GEO 90

Elkalei S (2007) Apport à la connaissance de la structure du champ géothermique de Bouillante. Estimation des fonctions de Green à partir de l'inter-corrélation du bruit sismique large-bande

Fabriol H (2001) Champ géothermique de Bouillante : synthèse des études géophysiques. Rapport BRGM/RP-50259-FR

Fabriol H, Debeglia N, Baltassat J-M (2004) Méthodes géophysiques appliquées à l'exploration géothermique en contexte insulaire volcanique. Synthèse bibliographique. Rapport final BRGM/RP-53137-FR

Fabriol H, Petiau G (1985) Mesures magnéto-telluriques dans l'île de la Guadeloupe, zones de Bouillante et de la Plaine de Moscou. Rapport BRGM-AFME-IMRG 85 SGN 331 IRG/GTH

Fabriol R (1984) Prospection géothermique de la région de Bouillante-Vieux Habitants (Guadeloupe) : Prospection des anomalies de mercure dans les sols. Rapport BRGM 84 SGN 063 GTH

Fabriol R, Ouzounian G (1985) Prospection géothermique des zones de Bouillante et de la Soufrière (Guadeloupe), Modèle hydrogéochimique. Rapport BRGM 85 SGN 433 GTH

Gadalia A, Bouchot V, Bourdon E (2013) Exploration géothermique de la zone de Vieux-Habitants. Acquisition de données géologiques. Rapport intermédiaire BRGM/RP-62845-FR

Gadalia A, Westercamp D (1984) Prospection géothermique de la région de Bouillante - Vieux Habitants (Guadeloupe), Rapport géologique. Rapport BRGM 84-SGN-063-GTH

Gadalia A (1985) Distribution du mercure et de l'arsenic dans les prospects de Bouillante et de Moscou (Guadeloupe). Rapport BRGM 85-SGN-378-GTH

Gadalia A (2012) Caractérisation des formations volcaniques de la province géothermique de Bouillante. Rapport final BRGM/RP-61380-FR

Gadalia A (1984) Exploration géologique des zones de Baillif, Vieux-Habitants et Moscou (Guadeloupe). Rapport BRGM 84-SGN-146-GTH

Gadalia A (1985) Cadre structural de l'activité hydrothermale des zones d'exploration de Bouillante et de Moscou (Guadeloupe). Rapport BRGM 85-SGN-080-GTH

Gadalia A (2013) Exploration géothermique de la zone de Vieux-Habitants. Etat des connaissances géologiques. Rapport d'avancement BRGM/RP-62569-FR. 65 p.

Gailler L-S (2011) Construction d'un modèle géologique régional 3D entre «0 et 10 km» de profondeur de la Province géothermique de Bouillante (côte sous le vent, Guadeloupe), à partir d'une valorisation des données géophysiques régionales

Gailler L-S (2011) Apport de la géophysique multi-méthode à la connaissance de la Province géothermale de Bouillante (Guadeloupe, Antilles françaises). Rapport final BRGM non publié

Gal F, Gadalia A (2013) Compléments d'exploration géothermique, zone de Vieux Habitants, Guadeloupe: Géochimie janvier/février 2013. Rapport final BRGM/ RP-62839-FR

Gaucher E, Fabriol H, Beauce A (1998) Suivi sismique des expériences des stimulations de puits BO4 à Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-40375-FR

Gauthier B (1993) Rapport CFG 30

Genter A, Gentier S, Castaing C, Traineau H (1997) Modèle géométrique de la fracturation de Bouillante. Note BRGM 1997

Genter A, Traineau H (2004) Synthèse méthodologique sur l'exploration géothermique haute énergie dans les DOM : approche géologique. Projet GHEDOM, BRGM/RP-53130-FR

Gérard A, Westercamp D, Bouysse P, et al (1979) Etude géophysique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles Françaises. Document du BRGM. n°27

Giuglaris E, Lopez S (2012) Analyse et modélisation thermo-hydraulique des puits du champ géothermique de Bouillante (projet ADEME-BRGM GHEMOD). Rapport final BRGM/RP-61509-FR

Grappe B (2009) Développements d'outils d'ingénierie pour la modélisation du réservoir géothermique de Bouillante. Stage de fin d'études, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

Grellet B, Sauret B, Chabellard JG, Bonneton JR (1988) Cadre général de la tectonique récente de la Guadeloupe, Rapport BRGM 88SGN627GEG

Guennoc P, Traineau H, Castaing C (2001) Levé bathymétrique le long de la côte ouest de l'île de Basse-Terre, Guadeloupe. Apport à la compréhension du contexte structural du champ géothermique de Bouillante. Rapport BRGM R40944, décembre 2001

Guillou-Frottier L (2003) Compilation et analyse des données thermiques sur le champ géothermique de Bouillante. Premières interprétations pour le fonctionnement du champ géothermique. Rapport final BRGM/RP-52452-FR

Guisseau D (2004) Etude de la zone hydrothermale à smectite. Site de Bouillante (Guadeloupe). Evolution des propriétés physico-chimiques des smectites. Forage BO-6. Rapport HYDRASA

Hamm V, Lopez S, Gille A-L (2016) Projet de recherche ORBOU : 2. Travaux de modélisation associés à la réinjection partielle des fluides de production de la centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe (2014-2016). Rapport final BRGM/RP-65939-FR

Herbrich B (1995) Stimulation des forages géothermiques Haute Enthalpie : Etat de l'art et application au champ de Bouillante. Rapport 95 CFG 64

Herbrich B (1996) Mesures dans le puits de Bouillante BO-4. Injections de traceurs géochimiques. Rapport 96 CFG 57

IPGP Internal Reports Rapports d'activité des Observatoires Volcanologiques des Antilles (Guadeloupe-Martinique). IPGP (Nov. 1976-April 1977, April 1977-Dec. 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983-1984, Paris, France)

Iundt F, Ouzounian G (1984) Comparaison entre les eaux thermales et les fluides de forages géothermiques dans la région de Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM 84 SGN 351 GTH

Iundt F, Ouzounian G (1984) Prospection géothermique de la région de Bouillante - Vieux Habitants (Guadeloupe), Rapport hydrogéochimique. Rapport BRGM 84-SGN-063-GTH

Jousset P (2011) Structure et dynamique du champ géothermique de Bouillante: apport de la sismicité 2006-2010. Rapport final BRGM/RP-60598-FR

Jousset P (2006) Sismologie large bande : méthodologie et applications, apport en géothermie haute enthalpie à Bouillante (Guadeloupe). Août 2004 - Septembre 2006. Rapport BRGM/RP-54701-FR

Jousset P (2011) Observation continue de la pesanteur à Bouillante (2009-2010). Rapport final BRGM/RP-60011-F

Lachassagne P, Maréchal JC (2004) Synthèse des connaissances hydrogéologiques, profondes et de sub-surface, sur le champ géothermique de Bouillante. Rapport BRGM/RP-53404-FR

Lachassagne P, Maréchal JC (2004) Synthèse des concepts et méthodes de l'hydrogéologie des milieux volcaniques appliqués à la prospection géothermique. Rapport BRGM/RP-53135-FR

Langevin C, Petit V, Pointet T (1989) Massif de la Soufrière (Guadeloupe) : Recherche de secteurs à bonne potentialité hydraulique dans les bassins de moyenne altitude (utilisation de méthodes indirectes dérivées de la télédétection). Rapport BRGM/RR-30081-FR

Le Borgne E, Le Mouël J-L (1976) Le levé aéromagnétique des Antilles françaises : Observations magnétiques. Publications IPGP, n°26

Legendre Y, Gadalia A, Bouchot V, Devesnoges Q (2014) Reconnaissance préliminaire du potentiel géothermique de haute énergie de la zone Vieux-Habitants - volcan du Sans-Toucher (GHEZAB). Rapport final BRGM/RP-63665-FR

Loiseau J (2009) Analyse du bruit sismique ambiant du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Rapport de stage Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG)

Lopez S, Bouchot V, Bourgine B, et al (2012) GHEMOD : Programme de recherche sur la compréhension, la modélisation et la gestion de la ressource géothermale d'origine volcanique dans les DOM. Synthèse finale. Rapport final BRGM/RP-61774-FR

Lopez S, Bouchot V, Calcagno P, et al (2011) GHEMOD : Programme de recherche sur la compréhension, la modélisation et la gestion de la ressource géothermale d'origine volcanique dans les DOM. Rapport d'avancement n°2 BRGM/RP-59842-FR

Lopez S, Lakhssassi M, Calcagno P, et al (2010) GHEMOD : Programme de recherche sur la compréhension, la modélisation et la gestion de la ressource géothermale d'origine volcanique des DOM. Rapport d'avancement n°1 BRGM/RP-58172-FR

Lopez S, Sanjuan B (2015) Avis du BRGM sur la pertinence de la révision des conditions d'exploitation de la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe. Rapport final BRGM/RP-64539-FR

Maréchal J-C, Lopez S, Petit V (2008) Etude bibliographique sur la réinjection du fluide géothermal dans un champ à haute enthalpie - Application à Bouillante. Rapport BRGM/RP-54861-FR

Marquand A, Bezelgues-Courtade S, Beylot A, et al (2014) Analyse du Cycle de Vie d'une centrale géothermique haute énergie dans le contexte des DROM. Rapport final BRGM/RP-62538-FR

Marquand I (2013) Analyse du Cycle de Vie d'une centrale géothermique haute énergie dans le contexte des DROM. Rapport de stage Mines Paris Tech. (6 mois)

Mas A, Guisseau D, Patrier P, Beaufort D (2004) Document de synthèse sur les altérations argileuses étudiées sur les sites de Bouillante (Guadeloupe) et du Lamentin (Martinique). Rapport HYDRASA, UMR 6532 du CNRS-Université de Poitiers, contrat de collaboration n°781208

Mas A, Patrier P, Beaufort D (2001) Etudes des altérations hydrothermales des forages de Bouillante. Rapport HYDRASA

Mathieu F, Pajot G, Debeglia N (2011) Surveillance gravimétrique du réservoir géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Années 2006-2010. Rapport final BRGM/RP-59590-FR

Miehé J-M (1998) Etude hydrogéologique de Ravine Chaude au Lamentin, Guadeloupe. Reconnaissance géophysique par méthodes électromagnétiques EM34 et électrique. Rapport BRGM N9999

Pays R (2005) Mise en évidence d'altérations hydrothermales fossiles de haute température à la surface du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Rapport de Master 2, Recherche Géomatériaux - Eaux, Université de Poitiers/ESIP/HYDRASA

Puvilland P (1986) Evaluation des ressources géothermiques de l'île de la Guadeloupe. Rapport 86 CFG 015

Puvilland P, Dore P (1985) Reconnaissance géothermique par prospection électrique à la Martinique et à la Guadeloupe. Rapport BRGM 85-SGN-074-GTH

Puvilland P, Dore P (1985) Reconnaissance géothermique par prospection électrique (dipôle-dipôle et sondage électrique) sur le site de Moscou (Guadeloupe). Rapport BRGM 85-SGN-073-GTH

Robach F, Le Bof M, Rey-Graud G (1976) Mesures magnétiques et activité volcanique, Soufrière 1976. Note L.E.T.I./M.A., FR/AL C.E.N., Grenoble

Roger J (2006) Géothermie et sismologie large bande. Rapport de stage professionnel, Master 2ème année Mention Géosciences, Environnement, Risques, Spécialité « Risques Technologiques et Naturels », Université Louis Pasteur, Strasbourg

Sanjuan B, Abou Akar A, Brach M, Crouzet C (2005a) Valorisation des eaux chaudes de la centrale géothermique de Bouillante (Guadeloupe) : étude géochimique. Rapport final BRGM/RP-54554-FR

Sanjuan B, Bouchot V, Gloaguen E, et al (2011) Etat des travaux au 2/03/2011 du projet de recherche GEO3BOU sur le champ géothermique de Bouillante, en Guadeloupe. Rapport d'avancement BRGM/RP-59660-FR

Sanjuan B, Bouchot V, Jousset P, et al (2010) Etat d'avancement des travaux du projet de recherche GEO3BOU au 2/03/2010. Rapport d'avancement BRGM/RP-58118-FR

Sanjuan B, Bouchot V, Mathieu F, et al (2013) Travaux de recherche sur le champ géothermique haute température de Bouillante, en Guadeloupe (2009-2012). Rapport final BRGM/RP-61715-FR

Sanjuan B, Debeglia N, Jousset P, Sbai A (2007) Etat d'avancement des travaux du projet de recherche GHEDOM - ADEME au 31/01/2007. Rapport intermédiaire BRGM/RP-55933-FR

Sanjuan B, Delatre M, Lopez S (2014) Etat d'avancement à décembre 2014 des travaux de recherche du projet ORBOU sur l'optimisation de la réinjection partielle des fluides de production de Bouillante (Guadeloupe). Rapport intermédiaire BRGM/RP-64130-FR

Sanjuan B, Genter A, Roig JY, et al (2004a) Travaux de reconnaissance géologique et de prospection de gaz dans les sols appliqués à l'exploration géothermique de la région de Bouillante, en Guadeloupe. Rapport BRGM/RP-53446-FR

Sanjuan B, Graff J-J, Lasne E, et al (2012) Groupe technique. Valorisation du site géothermique de Bouillante en Guadeloupe. Rapport final BRGM/RP-60735-FR

Sanjuan B, Lasne E, Brach M, Vaute L (1999) Bouillante geothermal field (Guadeloupe). Geochemical monitoring during the stimulation operation. Critical evaluation of chemical and isotopic field data. BRGM report R 40646..

Sanjuan B, Lasne E, Brach M, et al (1999) Champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe): I. Test de traçage chimique entre les forages BO-4 et BO-2 (Mars-juin 1998). Rapport BRGM R40645

Sanjuan B, Le Nindre YM, Menjoz A, et al (2004b) Travaux de recherche liés au développement du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-53136-FR

Sanjuan B, Lopez S, Guillou-Frottier L, et al (2008) Travaux de recherche liés au projet GHEDOM-ADEME (2006-2008). Rapport final BRGM/RP-56432-FR

Sanjuan B, Traineau H, Lasne E, Brach M (2002) Travaux scientifiques menés par le BRGM et la CFG sur le champ géothermique de Bouillante, Guadeloupe, dans le cadre de la convention n° 99.05.028 entre GEOTHERMIE BOUILLANTE et l'ADEME (juillet 1999 - janvier 2002). Rapport final n° 2002 BRGM-CFG

Sanjuan B (1998) Bilan des données existantes sur les analyses in situ des gaz dans les sols de la région de Bouillante. Note d'avancement sur le développement du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Note BRGM n°84/98

Sanjuan B (2001a) Champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe) : synthèse des travaux réalisés en géochimie avant 1999. Rapport BRGM/RC-51672-FR

Sanjuan B (2001b) Champ géothermique de Bouillante : caractérisation minérale et chimique d'un échantillon de dépôt prélevé dans le casing de BO-2 lors de l'opération de calibrage du puits réalisée le 11/05/2000. Note n° BS 01/1

Sanjuan B (2015) Projet ORBOU : test de traçage chimique inter-puits à la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe (2014-2015). Note de travail interne

Sanjuan B (1998) Champ géothermique de Bouillante. Rapport d'état d'avancement des travaux en géochimie. Rapport BRGM N2592

Sanjuan B, Brach M (1997) Etude hydrogéochimique du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe) - Rapport BRGM R39880

Sanjuan B, Delatre M (2016) Projet de recherche ORBOU : 1. Opérations sur site pour optimiser la réinjection partielle des fluides de production de la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe (2014-2016). Rapport final BRGM/RP-65804-FR

Sanjuan B, Genter A, Fabriol H, Lachassagne P (2004c) Guide de prospection géothermique appliqué aux DOM. Rapport final BRGM/RP-53685-FR

Sanjuan B, Traineau H (2000) Avancement des travaux scientifiques menés par le BRGM et la CFG sur le champ géothermique de Bouillante, Guadeloupe, dans le cadre de la convention n° 99.05.028 entre GEOTHERMIE BOUILLANTE et l'ADEME (juillet 1999 - janvier 2002). Rapport n° 2000 CFG 018

Sanjuan B, Traineau H (2001) Compte-rendu n°2 de l'avancement des travaux en géochimie accompagnant la foration des puits géothermiques dans la région de Bouillante (Guadeloupe) et leur mise en production. Convention BRGM-GEOTHERMIE BOUILLANTE. Note n° 2001/BS/03

Sanjuan B, Traineau H, Roig J, et al (2005b) Reconnaissance du potentiel géothermique du secteur nord de la baie de Bouillante, en Guadeloupe, par des méthodes d'exploration de surface. Rapport BRGM/RC-53634-FR

Sbai A (2007) Modèle double porosité - double perméabilité du champ proche de l'exploitation géothermique à Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-55418-FR

Serra H, Sanjuan B, Azaroual M (2004) Modélisation géochimique des risques de dépôts minéraux au cours de l'exploitation des forages géothermiques de Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-53154-FR

Serra H, Sanjuan B (2004) Exploration géothermique : synthèse bibliographique des géothermomètres à gaz et des méthodes de mesures de gaz dans les sols. Rapport BRGM/RP-53132-FR

Serra H, Sanjuan B (2004) Synthèse bibliographique des géothermomètres chimiques. Rapport BRGM/RP-52430-FR

Serres M (2012) Etude de thermométrie du champ géothermique de Bouillante, Guadeloupe. Rapport de stage Ecole Nationale de Géologie appliquée de Nancy

Surcin J (1971) Rapport de fin de campagne - Sondages destinés à des mesures de gradient de température - Région de Bouillante (Guadeloupe). Eurafrep

Surcin J (1967) Guadeloupe - Martinique. Mission géothermique EURAFREP

Terrier M, Combes P (1997) Failles actives et évaluation de l'aléa sismique : prise en compte des failles actives dans l'aménagement du territoire aux Antilles (Martinique et Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-51258-FR.

Thinon I (2013) Présentation du plateau ouest Basse-Terre/secteur Vieux-Habitants : Apports de la campagne géophysique marine au projet GHEZAB. Rapport technique final BRGM/ RP-62990-FR

Thinon I, Bitri A, Guennoc P (2004) Levé sismique et magnétique GEOBERYX03 le long de la côte ouest de l'Ile de Basse-Terre, Guadeloupe. Apports à la compréhension du contexte structural du champ géothermique de Bouillante. Rapport BRGM RP-53152-FR

Tournaye D, Scalisi G, Lasne E (2005) Définition des conditions d'accès et d'utilisation des eaux chaudes rejetées par la centrale géothermique de Bouillante. Rapport final 05 CFG 45

Traineau H, Axelsson G (2008) Etude préparatoire à la réinjection de l'eau séparée dans le réservoir de Bouillante. Test de traçage chimique entre le puits BO-2 et les puits producteurs BO-4, BO-5 et BO-6. Rapport 08 CFG Services 58

Traineau H, Sanjuan B, Guennoc P, Fabriol H (1999) Champ géothermique de Bouillante : synthèse préliminaire des travaux de recherche réalisés par le BRGM et la CFG dans le cadre du projet RPI "Développement du champ de Bouillante". Rapport BRGM-CFG

Truffert C (1999) Etude gravimétrique de la région de Bouillante. Note BRGM-SGN/CMG/GS3D - CT/m 99/17 BRGM/RP-50259-FR

Vasseur J (2010) Eléments de compréhension du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Rapport de stage de Master 2 Sciences de la terre, de l'Environnement et des Planètes, Spécialité « Géologie et Risques Naturels », Laboratoire de Sismologie, Institut de Physique

Westercamp D (1984) Evaluation et zonation du risque volcanique à la montagne Pelée Martinique et à la Soufrière de Guadeloupe (Antilles Françaises). Rapport BRGM/DSCMI, BRGM Orléans

THESES (32)

Andreieff P, Bouysse P, Westercamp D (1987) Géologie de l'arc insulaire des Petites Antilles et évolution géodynamique de l'Est-Caraïbe. Thèse de Doctorat, Bordeaux 1.

Anjou C (2018) L'énergie géothermique : représentations, enseignements et contextes aux Antilles et dans la zone caraïbe. Thèse de Doctorat de l'Université des Antilles

Barat A (1984) Étude du rôle des eaux souterraines dans le mécanisme des éruptions phréatiques. Application à la Montagne Pelée de Martinique et à la Soufrière de Guadeloupe. Thèse de 3e cycle, Université Bordeaux III

Beauchamps G (2019) Caractérisation d'un paléo-système géothermal de haute température exhumé, par étude des minéraux argileux et géothermométrie sur quartz et chlorite (Terre-de-Haut, archipel des Saintes, Guadeloupe). Thèse de doctorat en Sciences de la terre et de l'université de Cergy-Pontoise

Benauges S (1981) Etude géochimique et isotopique et circulation des eaux de sources chaudes, sources froides et rivières aux abords du volcan de la Soufrière - Guadeloupe. Thèse de 3ème cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6

Blanc F (1983) Corrélations chronologiques et géochimiques des formations volcaniques du sud de la Basse Terre (Petites Antilles). Début du cycle récent. PhD Thesis, Univ. Sci. Medic. Grenoble

Boudon G (1987) Mécanismes éruptifs et mode de mise en place des dépôts d'éruptions explosives dirigées. Exemples de la Soufrière (Guadeloupe) et de la Montagne Pelée (Martinique), Thèse Doct. Etat, Univ. Paris VII

Copol C (2015) Études mathématiques et numériques pour la modélisation des systèmes hydrothermaux. Applications à la géothermie. Université Antilles-Guyane

Dagain J (1981) La mise en place du Massif de la Madeleine-Soufrière, Basse Terre de Guadeloupe, Antilles. Thèse de Doctorat, Université Paris Sud-Orsay

De Vanssay B (1979) Les événements de 1976 en Guadeloupe: apparition d'une subculture du désastre. PhD thesis, Centre Universitaire Antilles-Guyane (Pointe-à-Pitre, Guadeloupe) et Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Université Paris 5

Delorme H (1983) omposition chimique et isotopique de la phase gazeuse des volcans calco-alcalins: Amérique Centrale et Soufrière de Guadeloupe. PhD Thesis Université Paris-Diderot

Dixit C (2014) Étude physico-chimique des fluides produits par la centrale géothermique de Bouillante (Guadeloupe) et de dépôts susceptibles de se former pendant leur exploitation et leur réinjection dans le sous-sol. Université Antilles-Guyane

Dupont A (2010) Étude du son produit par la Soufrière de Guadeloupe et le Piton de la Fournaise: implications pour la dynamique éruptive et la surveillance volcanique (PhD Thesis) IPGP, Paris

Favier A (2019) Evolution spatio-temporelle de l'hydrothermalisme dans la plaque supérieure de l'arc des Petites-Antilles en Guadeloupe. Applications aux systèmes géothermaux. Thèse de doctorat de l'Université des Antilles - Site de Guadeloupe (UA)

Feuillet N (2000) Sismotectonique des petites Antilles : liaison entre activité sismique et volcanique

Gstalter N (1986) - Les formations ponceuses à quartz de la région sud de Basse-Terre (Guadeloupe) : pétrologie, géochimie, thermobarométrie et chimie des inclusions vitreuses. Thèse de Doctorat en Sciences, Univ. Paris-Sud, Orsay

Guisseau D (2005) Signature des conditions dynamiques (thermiques, hydrodynamiques…) dans les propriétés des argiles du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Université Poitiers

Lasserre G (1961) La Guadeloupe. Etude géographique. Tome I. La Nature et les Hommes. Tome II. Les Îles et leurs problèmes. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux

Le Friant A (2001) Les Déstabilisations de flanc des volcans actifs de l'arc des Petites Antilles: origines et conséquences - Sector collapses of Lesser Antilles Arc: origin and consequences. PhD Thesis, Paris 7 René Diderot University, France

Legendre L (2018) Cinématique des déformations fragiles dans la partie Nord de l'arc des Petites Antilles. Thèse de Doctorat de l'Université des Antilles.

Luu K (2018) Numerical optimization using stochastic evolutionary algorithms : application to seismic tomography inverse problems. Thèse de Doctorat de l'Université PSL.

Mathieu L (2010) L'impact des mouvements décrochants sur la structure des volcans: une étude de cas des volcans de la Guadeloupe, de Maderas et du Mont Cameroun. Thèse des Universités de Dublin et de Clermont-Ferrand

Mercier de Lépinay J (2019) Géophysique non-sismique appliquée à l'exploration en géothermie dans les petites Antilles (Guadeloupe). Thèse de doctorat de l'Université de Strasbourg

Mombru M Etude des interactions eau-silicate à l'aide d'une approche isotopique couplée du bore, lithium et des chaînes de l'uranium. Thèse de doctorat de l'Université de Strasbourg, non soutenue.

Navelot V (2018) Géométrie et fonctionnement des réservoirs géothermiques en environnements volcaniques : exemple aux Antilles. Thèse de doctorat de l'Université de Lorraine

Ngo DT (2019) Numerical modeling of hydraulic stimulation and induced seismicity in deep geothermal reservoirs. Thèse de Doctorat de l'Université PSL

Pascaline H (1980) Géochimie des roches et des eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière de Guadeloupe. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris-Sud, Orsay

Poussineau S (2005) Dynamique des magmas andésitiques : approche expérimentale et pétrostructurale ; application à la Soufrière de Guadeloupe et à la Montagne Pelée. Géologie appliquée. Université d'Orléans

Raguenel M (2019) Modélisation des phénomènes thermo-hydrauliques dans des réservoirs fracturés sur des maillages non structurés : application au réservoir géothermique de Basse-Terre, Guadeloupe. Thèse de doctorat de l'Université de Lorraine.

Rajeh T (2019) Modeling flow in fractured geologic media : Upscaling and apllication geothermal reservoirs. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse.

Samper A (2007) Etude géochronologique, aspects géomorphologiques et géochimiques du volcanisme de l'île de Basse Terre (Guadeloupe), et datation des structures d'effondrement de flanc majeures de l'Arc des Petites Antilles. Thèse de doctorat de l'Université Paris Sud - Paris XI

Zhi L (2019) Physical properties of a thermally cracked andesite and fluid-injection induced rupture at laboratory scale. Thèse de doctorat de l'Université PSL

Annexe 2

Références bibliographiques pour l'île de la Martinique

184 documents répartis comme il suit :

ARTICLES ET CONGRES (79)

Andreieff P, Baubron J-C, Westercamp D (1989) Histoire géologique de la Martinique (Petites Antilles): Biostratigraphie (foraminifères), radiochronologie (potassium-argon), évolution volcano-structurale. Géologie la Fr 2–3:39–70

Beauducel F, Bazin S, Bengoubou-Valérius M, et al (2011) Empirical model for rapid macroseismic intensities prediction in Guadeloupe and Martinique. Comptes Rendus Geosci 343:717–728. doi: 10.1016/j.crte.2011.09.004

Bellon H, Pelletier B, Westercamp D (1974) Données géochronométriques relatives au volcanisme martiniquais, Antilles françaises. CR Acad Sci Fr, Paris Série D:457–460

Benderitter Y (1987) Recherche par géophysique d'indices peu profonds en géothermie haute énergie. Un exemple à proximité de la Montagne Pelée (Martinique). Bull Soc Géol Fr III 8:1055–1061

Benderitter Y (1985) Structure superficielle à signature géothermique mise en évidence par prospection géophysique à proximité de la montagne Pelée. Bull Soc Géol Fr 8, III 1055–1061

Bouchot V, Gadalia A, Traineau H, Caritg S (2014) Toward a continuum geothermal model to explain coexistence of medium to high (100 to 250°C) temperature geothermal Systems in Martinique and Guadeloupe, French West Indies. In: Proceedings in Geothermal Research Council 2014, Portland, Oregon, USA, September 28 - October 1, 2014

Boudon G, Semet MP, Vincent PM (1992) Major flank collapse at Pitons du Carbet volcano, Martinique: One of the largest similar structures in the Lesser Antilles arc. In: International Geological Congress, Geol. Soc. of Jpn., Kyoto, Japan, 24 Aug. to 3 Sept.

Boudon G, Le Friant A, Komorowski J-C, et al (2007) Volcano flank instability in the Lesser Antilles Arc: Diversity of scale, processes, and temporal recurrence. J Geophys Res 112:B08205. doi: 10.1029/2006JB004674

Boudon G, Villemant B, Friant A Le, et al (2013) Role of large flank-collapse events on magma evolution of volcanoes. Insights from the Lesser Antilles Arc. J Volcanol Geotherm Res 263:224–237. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2013.03.009

Bourdier JL, Gourgaud A, Vincent PM (1985) Magma mixing in a main stage of formation of Montagne Pelée: the Saint Vincent-type scoria flow sequence (Martinique, F.W.I.). J Volcanol Geotherm Res 25:309–332. doi: 10.1016/0377-0273(85)90019-8

Bouysse P (1988) Opening of the Grenada back-arc Basin and evolution of the Caribbean plate during the Mesozoic and early Paleogene. Tectonophysics 149:121–143. doi: 10.1016/0040-1951(88)90122-9

Bouysse P, Guennoc P (1983) Données sur la structure de l'arc insulaire des Petites Antilles entre Ste-Lucie et Anguilla. Mar Geol 131–136

Bouysse P, Westercamp D (1988) Effets de la subduction des rides océaniques sur l'évolution d'un arc insulaire : l'exemple des Petites Antilles. Géol la Fr 3–38

Bouysse P, Westercamp D (1990) Subduction of Atlantic aseismic ridges and Late Cenozoic evolution of the Lesser Antilles island arc. Tectonophysics 175:349–380. doi: 10.1016/0040-1951(90)90180-G

Bouysse P, Westercamp D, Andreieff P, et al (1985) Le volcanisme sous-marin Néogène récent au large des côtes Caraïbes des Antilles françaises. Relations avec le volcanisme à terre et évolution du front volcanique. Géol Fr 1:101–114

Carazzo G, Tait S, Kaminski E (2019) Marginally stable recent Plinian eruptions of Mt. Pelée volcano (Lesser Antilles): the P2 AD 280 eruption. Bull Volcanol 81:3. doi: 10.1007/s00445-018-1265-6

Caritg S, Gadalia A, Bouchot V, et al (2018) A 3D geological model for geothermal exploration of the Lamentin Plain (Martinique): impact of geological structuring on the circulation of hydrothermal fluids. In: 26ème Réunion des Sciences de la Terre. Lille, France

Chabellard J, Philip H, Gaulon R (1986) Déformation et régimes de contraintes actuel et récent dans l'arc des Petites Antilles entre Martinique et Antigua - Actual and recent deformations and stresses in the Lesser Caribbean Arc between Martinique and Antigua. Comptes rendus l'Académie des Sci Série 2, Mécanique, Phys Chim Sci l'univers, Sci la Terre 303:81–86

Coppo N, Baltassat J-M, Girard J-F, et al (2015) 3-D Magneto-Telluric investigations for geothermal exploration in Martinique (Lesser Antilles). Characteristic deep resistivity structures and shallow resistivity distribution matching heliborne TEM results. In: IRENA Meeting on Island Energy Transitions, June 2015, Fort-de-France, France. p 11 p.

Coppo N, Hautot S, Wawrzyniak P, et al (2014) 3-D magnetotelluric inversion with coast effect modeling to assess the geothermal potential of Anses d'Arlet (Martinique, Lesser Antilles). In: 22nd Electromagnetic Induction Workshop, Germany

Cormy G, Demians d'Archimbaud J, Surcin J (1970) Prospection géothermique aux Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique. Geotherm Spec Issue 2 - UN Symp Dev Util Geoth Resour Pisa 2, Part 1 57–72

Darnet M, Coppo N, Reninger P-A, et al (2017) Airborne and land-based controlled-source electromagnetic surveying in challenging electromagnetic environments -- application to geothermal exploration in a volcanic island. In: 79th EAGE Conference & Exhibition 2017. Paris, France

De Reynal H (1936) Les sources thermales de la Martinique. Presse Med 16 p.

Deplus C, Le Friant A, Boudon G, et al (2001) Submarine evidence for large-scale debris avalanches in the Lesser Antilles Arc. Earth Planet Sci Lett 192:145–157. doi: 10.1016/S0012-821X(01)00444-7

Dorel J, Eschenbrenner S, Feuillard M (1972) Les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique, Petites Antilles. Bull Volcanol 36:359–381. doi: 10.1007/BF02596877

Eschenbrenner S (1969) Surveillance des sources chaudes (flanc S.W. de la Montagne Pelée). Observatoire Morne des Cadets. Obs Morne des Cadets 17 p.

Eschenbrenner S, Dorel J, Viode J-P (1980) Coupes Sismiques des Structures Superficielles dans les Petites Antilles—II: Martinique. Pure Appl Geophys PAGEOPH 118:807–822. doi: 10.1007/BF01593032

Feuillet N, Manighetti I, Tapponnier P (2001) Extension active perpendiculaire à la subduction dans l'arc des Petites Antilles (Guadeloupe, Antilles françaises). C R Acad Sci la Terre des planètes 583–590

Gadalia A, Baltassat J-M, Bouchot V, et al (2015) The Petite Anse - Diamant geothermal system (Martinique Island, Lesser Antilles): Results of the 2012-2013 exploration. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. p 10 p.

Gadalia A, Baltassat J-M, Bouchot V, et al (2014) A new insight of the geothermal systems of the Martinique Island (Lesser Antilles): results of the 2012-2013 exploration. In: Presentation in Third Deep Geothermal Days, Paris, France, April 10-11, 2014

Gadalia A, Bouchot V, Calcagno P, et al (2019) Multimodal geothermal exploration in the Lesser Antilles Arc at the Lamentin lowland (Martinique). IOP Conf Ser Earth Environ Sci 249:012001. doi: 10.1088/1755-1315/249/1/012001

Gadalia A, Bouchot V, Calcagno P, et al (2018) Multimodal geothermal exploration in the Lesser Antilles arc at the Lamentin lowland (Martinique). In: Conference GEOHEAT, September 4-7, 2018, Petropavlovsk, Russia

Genter A, Traineau H, Degouy M, et al (2002) Preliminary geological results of recent exploratory drillings in a geothermal fractured reservoir at Lamentin (French West Indies, Martinique). In: Proceedings, Twenty-Seven Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2002, SGP-TR-171. pp 241–248

Gérard A, Westercamp D, Bouysse P, et al (1981) Etude géophysique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles françaises (Martinique, Guadeloupe). Ed du BRGM 1–40

Germa A, Quidelleur X, Labanieh S, et al (2011) The volcanic evolution of Martinique Island: Insights from K–Ar dating into the Lesser Antilles arc migration since the Oligocene. J Volcanol Geotherm Res 208:122–135. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2011.09.007

Girard J-F, Coppo N, Gadalia A, et al (2014) Geothermal exploration of the Lamentin area using Controlled-Source EM method (Martinique, Lesser Antilles, France). In: Third Deep Geothermal Days, Paris, France, April 10-11, 2014

Girard J-F, Coppo N, Wawrzyniak P, et al (2015) Resistivity imaging for geothermal exploration, using controlled-source EM where magneto-telluric is not applicable: model and field study. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. p 8 p.

Girard J-F, Coppo N, Wawrzyniak P, et al (2015) GEOTHERMAL EXPLORATION IN MARTINIQUE BASED ON MAGNETO-TELLURIC AND CONTROLLED-SOURCE EM SURVEY. In: EGW 2015, European Geothermal Workshop in Strasbourg. Strasbourg, France

Gourgaud A (1982) Sur le déclenchement des éruptions historiques de la Montagne Pelée (Martinique) par injection d'un magma basique dans une chambre magmatique dacitique. In: 9e R.A.S.T., Soc. Geol. Fr., Paris. p 288

Gourgaud A (1985) Mélanges de magmas dans les séries alcalines et calcoalcalines : leur rôle dans la genèse des laves intermédiaires et leur influence sur les mécanismes éruptifs. Ann Sci Univ Clermont Ferrand II, Géol, Minéral 86:522 p.

Labeau Y, Jean-Louis C-C (2016) Numerical model as decision-making tool for drills in the low enthalpy geothermal context of Martinique. In: European Geothermal Congress, septembre 2016, Strasbourg, France. p 7 p.

Labeau Y, Jean-Louis C-C, Pascaline H (2014) La géothermie : vers une autonomie énergétique pour la Martinique ? In: Colloque Martinique Energie et Environnement, organisé conjointement par l'IUT HSE Martinique et l'Agence Martiniquaise de l'Energie (AME), Université des Antilles-Guyane, Martinique, France, du 05 au 09 mai 2014

Lacroix A (1904) La Montagne Pelée et ses éruptions, Masson, Pa

Le Friant A, Boudon G, Deplus C, Villemant B (2003) Large-scale flank collapse events during the activity of Montagne Pelée, Martinique, Lesser Antilles. J Geophys Res Solid Earth 108:. doi: 10.1029/2001JB001624

Le Prieur (1852) Eruption 1851 de la Montagne Pelée. Rev Colon 2ème série VII IX:314–320

Le Prieur (1854) Rapport sur les bouches de la Montagne Pelée à la Martinique. Rev Colon 2ème série XII 66–77

Lopez S, Masson R, Xing F, et al (2018) Geothermal Modeling in Complex Geological Systems with the ComPASS Code. In: 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, February 12-14, 2018, Stanford, California. p SGP-TR-213, 12 p.

Mas A, Patrier P, Beaufort D, Genter A (2003) Clay-mineral signatures of fossil and active hydrothermal circulations in the geothermal system of the Lamentin Plain, Martinique. J Volcanol Geotherm Res 124:195–218. doi: https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00044-1

Millot R, Négrel P, Sanjuan B (2007) Lithium isotopes in geothermal systems. In: Goldschmidt Conference 2007, August 19-24, Cologne (Germany), Poster and Abstract A667 in Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 71, Issue 15 Supplement 1. p A667

Millot R, Sanjuan B (2005) Lithium isotopes in geothermal systems: clues from the Guadeloupe and Martinique islands. In: 6th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (AIG-6), 9-16 September 2005. Prague (Tchéquie)

Millot R, Sanjuan B (2007) Mesure isotopique du lithium par MC-ICP-MS et exemple d'application en géothermie. In: Spectr'Atom 2007 3ème Edition : Convention sur la spectrométrie atomique, 21-24 mai 2007. Pau, France

Millot R, Négrel P, Sanjuan B (2014) Lithium isotopes systematics in Geothermal systems. In: 9th South American Symposium on Isotope Geology. Sao Paulo, Brazil, p 1

Millot R, Scaillet B, Sanjuan B (2010) Lithium isotopes in island arc geothermal systems: Guadeloupe, Martinique (French West Indies) and experimental approach. Geochim Cosmochim Acta 74:1852–1871. doi: 10.1016/j.gca.2009.12.007

Pedroni A, Hammerschmidt K, Friedrichsen H (1999) He, Ne, Ar, and C isotope systematics of geothermal emanations in the Lesser Antilles Islands Arc. Geochim Cosmochim Acta 63:515–532. doi: 10.1016/S0016-7037(99)00018-6

Pelletier B (1976) Contribution à l'étude du volcanisme d'arcs insulaires en Martinique. Bull BRGM IV:267–296

Pichavant M (2002) Physical conditions, structure, and dynamics of a zoned magma chamber: Mount Pelée (Martinique, Lesser Antilles Arc). J Geophys Res 107:2093. doi: 10.1029/2001JB000315

Rad S, Deparis J, Gadalia A, et al (2017) Weathered profiles in tropical volcanic islands by combined geochemical and geophysical approaches. In: Goldschmidt 2017. Paris, France

Rakotoson V, Praene JP (2017) A life cycle assessment approach to the electricity generation of French overseas territories. J Clean Prod 168:755–763. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.055

Sambuc (1869) Etude sur les eaux thermales de la Martinique. Un Méd Gironde Arch Méd Nav XI 47–60

Sanjuan B, Millot R, Brach M, et al (2005) Geothermal exploration in the Mount Pelée volcano-Morne Rouge and Diamant areas (Martinique, West French Indies): Geochemical data. In: World Geothermal Congress 2005 (WGC 2005), Antalya, Turquie, 24-29/04/2005. p 12 p.

Sanjuan B, Traineau H, Genter A, et al (2002) Geochemical investigations during a new geothermal exploration phase in the Lamentin Plain (Martinique, French West Indies). In: Proceedings, Twenty-Seven Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2002, SGP-TR-171. pp 198–205

Sanjuan B (2020) Development of high-temperature geothermal energy in the French West Indies (FWI). In: Geothermal DHC digital Workshop - Geothermal energy use for heating and electricity in volcanic islands - EGEC Geothermal. Héraklion - Crête, Greece

Sanjuan B, Bouchot V, Gadalia A, Traineau H (2011) Géothermie haute température : le défi énergétique. Geosciences 11:32–41

Traineau H, Westercamp D, Benderitter Y (1989) Case study of a volcanic geothermal system, Mount Pelée, Martinique. J Volcanol Geotherm Res 38:49–66. doi: 10.1016/0377-0273(89)90029-2

van Soest MC, Hilton DR, Kreulen R (1998) Tracing crustal and slab contributions to arc magmatism in the lesser antilles island arc using helium and carbon relationships in geothermal fluids. Geochim Cosmochim Acta 62:3323–3335. doi: 10.1016/S0016-7037(98)00241-5

Villemant B, Boudon G (1999) H2O and halogen (F, Cl, Br) behaviour during shallow magma degassing processes. Earth Planet Sci Lett 168:271–286. doi: 10.1016/S0012-821X(99)00058-8

Vincent PM, Bourdier JL, Boudon G (1989) The primitive volcano of Mount Pelée: its construction and partial destruction by flank collapse. J Volcanol Geotherm Res 38:1–15. doi: 10.1016/0377-0273(89)90026-7

Vittecoq B, Lachassagne P, Lanini S, Maréchal JC (2010) Évaluation des ressources en eau de la Martinique : calcul spatialisé de la pluie efficace et validation à l'échelle du bassin versant. Rev des Sci l'eau 23:361–373. doi: 10.7202/045098ar

Vittecoq B, Reninger P-A, Lacquement F, et al (2019) Hydrogeological conceptual model of andesitic watersheds revealed by high-resolution heliborne geophysics. Hydrol Earth Syst Sci 23:2321–2338. doi: 10.5194/hess-23-2321-2019

Vittecoq B, Reninger P-A, Violette S, et al (2015) Heterogeneity of hydrodynamic properties and groundwater circulation of a coastal andesitic volcanic aquifer controlled by tectonic induced

faults and rock fracturing -- Martinique island (Lesser Antilles -- FWI). J Environ Hydrol 529:1041–1059. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.09.022

Vittecoq B, Violette S, Reninger P-A, Martelet G (2019) Hydrogeological functioning of an andesitic island revealed by helicopter-borne electromagnetic survey (Martinique -Caribbean island). In: 46th IAH Congress - Malaga, Spain 2019. malaga, Spain

Wadge G (1986) The dykes and structural setting of the volcanic front in the Lesser Antilles island arc. Bull Volcanol 48:349–372. doi: 10.1007/BF01074466

Wawrzyniak P, Girard J-F, Coppo N, et al (2015) Imagerie multi-fréquentielle d'un réservoir géothermal au Lamentin (Martinique, France) par méthode de Longue Electrode Mise-à-la-Masse. In: XIII journées scientifiques de l'AGAP qualité. Grenoble, France

Westercamp D (1979) Diversité, contrôle structural et origine du volcanisme récent dans l'arc insulaire des Petites Antilles. ». Bull BRGM Deux Sér, n° Sect IV 3–4:211–226

Westercamp D, Mervoyer B (1976) Les séries volcaniques de la Martinique et de la Guadeloupe, Petites Antilles françaises. Rapports stratigraphiques et pétrographiques. Bull BRGM, 2ème série 229–242

Westercamp D, Tazieff H (1980) Martinique - Guadeloupe - Saint Martin - La Désirade. Collection "Guides géologiques régionaux," Masson Edi. Paris

Westercamp D, Traineau H (1987) Schéma hydrogéologique et géothermique d'un stratovolcan d'arc insulaire : exemple de la montagne Pelée, Martinique (Antilles françaises). Bull Soc Géol Fr 8, t III, n° 6 1063–1073

Westercamp D, Traineau H (1983) Notice explicative de la carte géologique de la montagne Pelée (département de la Martinique). Echelle 1/20 000, Edition BRGM. 12 p.

Zlotnicki J, Boudon G, Viodé JP, et al (1998) Hydrothermal circulation beneath Mount Pelée inferred by self potential surveying. Structural and tectonic implications. J Volcanol Geotherm Res 84:73–91. doi: 10.1016/S0377-0273(98)00030-4

RAPPORTS (93)

Andreieff P, Bouysse P, Westercamp D (1989) Géologie de l'arc insulaire des Petites Antilles et évolution géodynamique de l'Est-Caraïbe. Documents du BRGM

Baltassat J-M (2013) Complément d'exploration géothermique de la Martinique. Inventaire et réinterprétation des données électrique et électromagnétiques existantes. Rapport BRGM/RP-62086-FR

Baltassat J-M, Miehe JM, Debeglia N, et al (2003) Réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant (Martinique) : étude géophysique. Rapport final BRGM/RP-52548-FR

Barat A (1987) Etude du rôle des eaux souterraines dans le mécanisme des éruptions phréatiques. Application à la Montagne Pelée de Martinique et à la Soufrière de Guadeloupe. Document BRGM n°115

Barthes V, Fabriol H (1984) Exploration géothermique par méthode magnétotellurique des zones de Morne Rouge et du Lamentin dans l'île de la Martinique. Rapport final BRGM/84-SGN-054-GTH

Barthes V, Fabriol H, Marie P, Petiau G (1984) Recherche de cibles géothermiques dans l'île de la Martinique (zone de Morne Rouge et du Lamentin) par la méthode magnétotellurique. Rapport final BRGM/RR-10017-FR, 84-SGN-194-IRG

Benderitter Y (1983) Investigation audio-magnétotellurique et recherche d'une cible géothermique dans la région du Morne Rouge (Martinique). BRGM/83-SGN-725-IRG

Bouysse P, Robert S, Guennoc P, Monti S (1983) Bathymétrie détaillée (seabeam) et anomalies magnétiques dans les Antilles françaises : interprétation morpho-structurale de la vallée et de l'escarpement de la Désirade et des côtes occidentales de Basse-Terre de Guadeloupe et de Martinique

Bouysse P, Robert S, Guennoc P, Monti S (1983) Bathymétrie détaillée (seabeam) et anomalies magnétiques dans les Antilles françaises. Documents du BRGM n°63

Boy E, Cotiche C, Chouetr P (2013) Etude technico-économique d'un programme de mesures et de tests sur le puits d'exploration géothermique de Californie au Lamentin, Martinique. Rapport intermédiaire BRGM/RP-62315-FR

Brenot A, Vittecoq B, Négrel P, Mardhel V (2008) Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Caractérisation physico-chimique naturelle des eaux souterraines. Rapport BRGM/RP-56266-FR

CFG (1991) Etude de l'utilisation des ressources géothermiques de la plaine du Lamentin, Martinique. Rapport CFG 91 CFG 09.

CFG (1986) Evaluation des ressources géothermiques de l'île de la Martinique. Synthèse géologique. Rapport CFG n°86 CFG 012

CFG (2001) Programme d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin, Martinique. Rapport final des travaux des trois sondages d'exploration réalisés à la pointe Desgras, Carrère et Californie. Rapport 2001 CFG 12

CFG (2002) Programme d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin, Martinique. Compte-rendu des travaux additionnels réalisés sur le puits de Californie (LA-03) en mars 2002. Rapport 2002 CFG 24

Chabellard JG, Sauret B, Grellet B (1989) Cadre géodynamique de l'arc des Petites Antilles. Rapport BRGM 89-SGN-175 GEG

Charly P, Cottez S, Dubreuil G, et al (1984) Recherche d'eau souterraine dans la plaine du Lamentin pour l'alimentation en eau de la ville de Fort-de-France (Martinique) : Campagne géophysique complémentaire de 1983 et synthèse des études géophysiques antérieures . BRGM/84-ANT-017

Chéry L (1994) Interprétation des résultats des analyses isotopiques dans le cadre de l'étude géochimique de la source carbogazeuse de Didier (Martinique). Rapport BRGM n° R 37990

Chovelon P (1984) Cadre structural des minéralisations hydrothermales des prospects du Lamentin et du morne Rouge (Martinique). Rapport BRGM 84-SGN-326 GTH

Chovelon P (1984) Contexte geothermique des prospects du Lamentin et du Morne Rouge (Martinique). Rapport BRGM/84-SGN-003-GTH

Chovelon P (1985) Distribution du mercure et de l'arsenic dans les prospects du Lamentin et du Morne Rouge - Montagne Pelée (Martinique). Rapport BRGM/85-SGN-377-GTH

Chovelon P, Demange J, Iundt F, Puvilland P (1985) Synthèse des données géothermiques acquises dans le cadre de la Convention 1983 : île de la Martinique

Chovelon P, Marty B (1985) Analyses des gaz dans les sols sur les zones du Lamentin et du Morne Rouge - Montagne Pelée (Martinique), 1985. Rapport BRGM n° 85 SGN 413 GTH

Coppo N, Baltassat J-M, Girard J-F, Wawrzyniak P (2013) Compléments d'exploration géothermique de la Martinique. Acquisition et prétraitements de données magnétotelluriques. Rapport intermédiaire BRGM RP-62272-FR

Coppo N, Baltassat J-M, Wawrzyniak P, et al (2014) Exploration géophysique (magnétotellurique et gravimétrie) du potentiel géothermique de la Martinique (Montagne Pelée, Anses d'Arlet, Pitons du Carbet et Lamentin). Rapport final BRGM/RP-62745-FR.

Cottez S (1971) Etude complémentaire des ressources en eau souterraine de la plaine du Lamentin, Martinique. Rapport BRGM RP 71 ANT 041

Cottez S, Deneufbourg G (1970) Etude hydrogéologique préliminaire du bassin de la plaine du Lamentin. Rapport BRGM/70-ANT-019

Darnet M, Bouchot V, Legendre Y, et al (2020) Etude d'implantation des forages d'exploration géothermique sur la zone de Petite Anse, aux Anses d'Arlet (Martinique). Rapport final. BRGM/RP-70387-FR

Deparis J, Reninger P-A, Perrin J, et al (2014) Acquisition géophysique héliportée électromagnétique de la Martinique. Rapport BRGM/RP-62428-FR

EURAFREP (1970) Rapport de fin de sondage du puits LA-101, permis Martinique n°4

EURAFREP (1969) Sondages destinés à des mesures de gradients de température. Plaine du Lamentin (Martinique)

Fabriol H, Debeglia N, Baltassat J-M (2004) Méthodes géophysiques appliquées à l'exploration géothermique en contexte insulaire volcanique. Synthèse bibliographique. Rapport final BRGM/RP-53137-FR

Fabriol R, Ouzounian G (1985) Prospection géothermique de la plaine du Lamentin (Martinique) : modèle hydrogéochimique.

Gadalia A, Charni M, Fréchin N, et al (2011) Faisabilité et évaluation d'un programme de prospection et de valorisation géothermique en Martinique. Rapport final BRGM/RP-59690-FR

Gadalia A, Rad S, Taïlame A-L, et al (2014) Compléments d'exploration géothermique en Martinique. Volet géochimie des fluides. Rapport d'avancement BRGM/RP-62710-FR

Gadalia A, Baltassat J-M, Bouchot V, et al (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. Rapport final BRGM RP-63019-FR

Gadalia A, Baltassat J-M, Bouchot V, et al (2013) Compléments d'exploration géothermique en Martinique : conclusions et recommandations pour les zones de la Montagne Pelée et de Petite Anse. Rapport d'avancement BRGM RP-62606-FR

Gadalia A, Bouchot V, Calcagno P, et al (2017) Consolidation de l'exploration géothermale au Lamentin (Martinique). Rapport final BRGM/RP-67185-FR

Gal F (2012) Compléments d'exploration géothermique de la Martinique : suivi géochimique des gaz du sol, mesures de février, mars et juin 2012. Rapport d'avancement BRGM/RP-61531-FR

Genna A (1994) Approche structurale de la faille Nord-Lamentin, Martinique. Rapport non public BRGM N1290

Genter A, Roig J (2003) Réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant (Martinique) : étude géologique. Rapport final BRGM/RP-52546-FR

Gérard A, Westercamp D, Bouysse P, et al (1979) Etude géophysique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles Françaises. Document du BRGM. n°27

Godefroy P, Mouroux P, Leroi E, et al (1991) Etude et prévention du risque sismique aux Petites Antilles - Evaluation de l'aléa sismique sur l'île de la Martinique. Rapport BRGM R32923

Grellet B, Sauret B, Chabellard JG, Bonneton JR (1988) Cadre général de la tectonique récente de la Martinique. Rapport BRGM 88-SGN-626 GEG

Gros Y (2002) Les failles actives à faible fréquence de rupture en surface en Martinique, Rapport BRGM-Antea

IPGP Internal Reports Rapports d'activité des Observatoires Volcanologiques des Antilles (Guadeloupe-Martinique). IPGP (Nov. 1976-April 1977, April 1977-Dec. 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983-1984, Paris, France)

Iundt F (1982) Prospection des teneurs en mercure dans les sols de la Martinique. Rapport BRGM n° 82-SGN-1033 GTH

Iundt F (1984) Réévaluation géochimique du potentiel géothermique de l'ile de la Martinique, rapport BRGM/84-SGN-292-GTH

Jacob V (2020) Intégration des connaissances géologiques et géophysiques dans un géomodèle 3D pour l'interprétation du système géothermique des Anses d'Arlet (Martinique)

Jourde G (1991) Recherche de mineralisations auriferes dans les petites antilles francaises ; campagne de terrain 1990 et 1991. Rapport BRGM/RR-33023-FR

Klinka T, Vittecoq B, Arnaud L (2011) Suivi géologique et hydrogéologique de trois forages de reconnaissance sur le site de Tivoli, Fort-de-France (Martinique). Rapport final BRGM/RP-60339-FR

Labbé J-F, Jourde G (1990) Recherche de minéralisations aurifères dans les Petites Antilles Françaises. Résultats de la première phase d'exploration (février à juin 1990). Rapport BRGM R31092, vol. 2 : Martinique

Lachassagne P, Maréchal JC (2004) Synthèse des concepts et méthodes de l'hydrogéologie des milieux volcaniques appliqués à la prospection géothermique. Rapport BRGM/RP-53135-FR

Lafforgue T, Traineau H, Westercamp D (1985) Apport de l'étude des xénolites dans l'évaluation du potentiel géothermique et l'origine des dynamismes éruptifs : exemple de la montagne Pelée, Martinique, et du Sud de la Dominique. Rapport BRGM 85-SGN-627 IRG

Lalubie G (2003) Localisations, analyses et prélèvements des sources thermales, jusqu'alors inconnues, de la Montagne Pelée, Martinique

Lopoukhine M, Mouret C (1977) Etude géothermique des sources de la Martinique. Rapport BRGM n° 77 ANT 36

Martelet G, Gailler L-S, Gadalia A (2012) Compléments d'exploration géothermique de la Martinique. Synthèse, retraitement et réinterprétation des données existantes pour la gravimétrie et le magnétisme. Rapport intermédiaire d'avancement BRGM/RP-61091-FR

MarTEM (2013) Rapport d'acquisition et traitement des données, SkyTEM & Aarhus Geophysics, SkyTEM Survey Data report BRGM_SkyTEM 2013_06 : Martinique, France, September 2013

Mas A, Patrier P, Beaufort D (2001) Étude des altérations hydrothermales des forages du Lamentin (Martinique). Rapport inédit, laboratoire Hydrasa, université de Poitiers

Mouret C (1979) Synthèse des connaissances sur les sources thermales de la Martinique. Rapport BRGM n° 79 ANT 8

Puvilland P (1985) Exploration géothermique par magnétotellurique basse fréquence de la zone du Lamentin. Rapport BRGM 85 SGN 292 GTH

Puvilland P, Cavoit C, Chovelon P, Dore P (1985) AFME Exploration géothermique par magnétotellurique basse fréquence de la zone du Lamentin (Ile de la Martinique). Rapport BRGM/85-SGN-292-GTH

Puvilland P, Dore P (1985) Reconnaissance géothermique par prospection électrique à la Martinique et à la Guadeloupe. Rapport BRGM 85-SGN-074-GTH

Rad S, Taïlame A-L, Gadalia A, et al (2013) Compléments d'exploration géothermique de la Martinique : géochimie des fluides. Rapport d'avancement BRGM/RP-61889-FR

Roignon M, Fay de Lestrac H, Rançon JP, Collet T (1988) Captage de CO2 aux sources du Lorrain - Martinique. Géologie et prospection de CO2 dans les gaz des sols. Rapport BRGM n° 88 MTQ 041

Sanjuan B, Genter A, Baltassat J-M, et al (2003) Synthèse des connaissances concernant le potentiel géothermique des régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant (Martinique). Premiers travaux du BRGM en 2001-2003. Rapport d'avancement des travaux BRGM/RP-52283-FR

Sanjuan B, Brach M, Foucher J-C (2003) Réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant (Martinique) : étude géochimique. Rapport final BRGM/RP-52547-FR

Sanjuan B, Genter A, Baltassat J-M, Roig J-Y (2003) Réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge - Montagne Pelée et du Diamant (Martinique) : principales conclusions et recommandations. Rapport BRGM/RP-52549-FR

Sanjuan B, Genter A, Correia H, et al (2002) Travaux scientifiques associés à la réalisation des trois puits d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin (Martinique). Rapport BRGM/RP-51671-FR

Sanjuan B, Genter A, Correia H, et al (2001) État d'avancement des travaux scientifiques accompagnant la foration des puits d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin (Martinique). Rapport BRGM/RP-51268-FR

Sauret B (1991) Étude par tranchée du tracé et de l'activité de la faille du Lamentin- Nord sur le site du collège de Dillon II (Martinique). Rapport BRGM R32962

Scherr P, Verzier P, Westercamp D, Iundt F (1983) Préétude économique et industrielle sur les perspectives de développement de la géothermie haute énergie en Martinique. Aspects hydrogéologiques des zones du Lamentin et de Morne Rouge. Prospection des teneurs en mercure dans les sols de la Martinique.

Stollsteiner P, Lachassagne P, Paulin C, Néel F (2000) Bilan des connaissances hydrogéologiques de la Martinique. BRGM/RP-50071-FR

Surcin J (1969) Sondages destinés à des mesures de gradients de températures. Plaine du Lamentin (Martinique). Rapport de fin de campagne, EURAFREP

Surcin J (1967) Guadeloupe - Martinique. Mission géothermique EURAFREP

Surcin J (1970) Lamentin 101 (LA-101) Martinique. Rapport de fin de sondage, EURAFREP, mai 1970

Terrier M, Combes P (1997) Failles actives et évaluation de l'aléa sismique : prise en compte des failles actives dans l'aménagement du territoire aux Antilles (Martinique et Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-51258-FR.

Traineau H (2001) Programme d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin, Martinique : rapport final des travaux des trois sondages d'exploration réalisés à la pointe Desgras, Carrère et Californie. Rapport 2001 CFG 12

Traineau H, Alaux-Négrel G (2012) Evaluation préalable de la ressource géothermale du Lamentin, en Martinique. Rapport intermédiaire BRGM/RP-61759-FR

Traineau H, Bouchot V, Caritg S, Gadalia A (2013) Compléments d'exploration géothermique en Martinique : volet géologie. Rapport intermédiaire BRGM/RP-62349-FR

Védrine S (2019) Acquisition, traitement et inversion de mesures géophysiques électromagnétiques (MT et CSEM) à terre et en mer pour la caractérisation de la ressource géothermique aux Anses d'Arlets, en Martinique

Verzier P, Westercamp D (1982) Aspects hydrogéologiques des zones du Lamentin et de Morne Rouge. Rapport BRGM 82 SGN 1033 GTH

Vittecoq B, Brugeron A, Dewandel B, et al (2008) Caractérisation hydrogéologique de la nappe de la plaine du Lamentin : pompage d'essai de longue durée sur le forage 1179ZZ0069/LAF1. Rapport BRGM/RP-56246-FR

Vittecoq B, Brugeron A, Lachassagne P, Mathieu F (2007) Localisation du biseau salé sur la nappe du Lamentin : apport de la méthode géophysique par panneau électrique. Rapport BRGM RP-55554-FR

Vittecoq B, Gutierrez A, Braibant G (2012) Compléments d'exploration géothermique de la Martinique. Volet hydrogéologie. Rapport intermédiaire BRGM/RP-61406-FR

Vittecoq B, Lachassagne P, Lanini S, et al (2007) Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : identification et caractérisation quantitatives. Rapport BRGM/RP-55099-FR

Westercamp D (1978) Une contribution à l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Martinique : relations entre les phénomènes hydrothermaux anciens et les structures volcano-tectoniques profondes et de surface. Rapport BRGM 78 ANT 33

Westercamp D (1982) Contexte géologique et structural de la région du Lamentin. Rapport BRGM 82 SGN 192 GTH

Westercamp D (1984) Evaluation et zonation du risque volcanique à la montagne Pelée Martinique et à la Soufrière de Guadeloupe (Antilles Françaises). Rapport BRGM/DSCMI, BRGM Orléans

Westercamp D, Andreieff P, Bouysse P, et al (1989) Notice Carte géologique France à 1/50 000, feuille Martinique, Orléans, BRGM

Westercamp D, Pelletier B, Thibaut PM, Traineau H (1990) Carte géologique France à 1/50 000, feuille Martinique, Orléans, BRGM.

Westercamp D, Puvilland P, Barthes V, Benderitter Y (1982) Premiers éléments vers la sélection de sites géothermiques en Martinique. BRGM/RR-19972-FR, 82-SGN-192-GTH

Zorpi M, Legendre O (1985) Contribution à l'étude du champ géothermique fossile du Francois-Robert (chaine volcanique sous-marine de Vauclin-Pitault; Martinique : Etude microthermometrique des inclusions fluides des phases minerales hydrothermales

THESES (12)

Anjou C (2018) L'énergie géothermique : représentations, enseignements et contextes aux Antilles et dans la zone caraïbe. Thèse de Doctorat de l'Université des Antilles

Barat A (1984) Étude du rôle des eaux souterraines dans le mécanisme des éruptions phréatiques. Application à la Montagne Pelée de Martinique et à la Soufrière de Guadeloupe. Thèse de 3e cycle, Université Bordeaux III

Boudon G (1987) Mécanismes éruptifs et mode de mise en place des dépôts d'éruptions explosives dirigées. Exemples de la Soufrière (Guadeloupe) et de la Montagne Pelée (Martinique), Thèse Doct. Etat, Univ. Paris VII

Cayol A (1975) Contribution à l'étude hydrologique et hydrogéochimique de la Martinique. Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI

Chrétien S (1983) Identification et analyse des phénomènes précédant l'éruption du 8 mai 1902 de la Montagne Pelée (Martinique) d'après les documents d'époque. Thèse 3e cycle. Univ. Paris Sud

Feuillet N (2000) Sismotectonique des petites Antilles : liaison entre activité sismique et volcanique

Germa A (2008) Evolution volcano-tectonique de l'île de la Martinique (arc insulaire des Petites Antilles): nouvelles contraintes géochronologiques et géomorphologiques Géologie appliquée. Université Paris Sud - Paris XI

Labanieh S (2009) Géochimie de l'île de la Martinique aux Petites Antilles. Thèse de Doctorat de l'Université J. Fournier-Grenoble I

Labeau Y (2018) Couplage de la modélisation géologique 3D et de la modélisation hydrodynamique - Apport à la compréhension de systèmes géothermiques martiniquais et aide à la décision pour l'implantation de forages. Thèse de Doctorat Université des Antilles

Lalubie G (2009) Les Cours d'eau du Massif de la Montagne Pelée : une approche multi-scalaire pour appréhender les risques hydro-volcano-géomorphologiques. Thèse de Doctorat Université Antilles-Guyane

Mouret C (1979) Contribution à l'étude hydrogéologique d'un bassin versant en milieu volcanique tropical : rivière Capot (Martinique). Thèse 3ème Cycle, Univ. Paris XI

Westercamp D (1972) Contribution à l'étude du volcanisme en Martinique, Petites Antilles. Thèse 3e cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay

Annexe 3

Références bibliographiques pour l'île de La Réunion

210 documents, répartis comme il suit :

ARTICLES ET CONGRES (121)

Albarède F, Tamagnan V (1988) Modelling the recent geochemical evolution of the piton de La Fournaise Volcano, Réunion Island, 1931-1986. J Pet 29:997–1030

Augé T, Lerebour P, Rançon J-P (1989) The Grand Brûlé exploration drilling: New data on the deep framework of the Piton de la Fournaise volcano. Part 3: Mineral chemistry of the cumulate rocks. J Volcanol Geotherm Res 36:139–151. doi: 10.1016/0377-0273(89)90010-3

Bachèlery P, Lenat JF (1993) Le Piton de la Fournaise. Mém Soc géol Fr 163:221–229

Bachèlery P, Mairine P (1990) Evolution volcano-structurale du piton de la Fournaise depuis 0,53 MA. In: Le volcanisme de la Réunion : monographie, J.F. Lénat (Ed.). Centre de Recherches Volcanologiques, Clermont-Ferrand. pp 213–242

Bachèlery P, Robineau B, Courteaud M, Savin C (2003) Avalanches de débris sur le flanc occidental du volcan bouclier Piton des Neiges (Réunion). Bull la Société Géologique Fr 174:125–140

Bachelery P, Lenat J-F, Di Muro A, Michon L (eds) (2016) Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg

Barruol G, Fontaine FR (2013) Mantle flow beneath La Réunion hotspot track from SKS splitting. Earth Planet Sci Lett 362:108–121. doi: 10.1016/j.epsl.2012.11.017

Bénard B, Famin V, Agrinier P, et al (2020) Origin and fate of hydrothermal fluids at Piton des Neiges volcano (Réunion Island): A geochemical and isotopic (O, H, C, Sr, Li, Cl) study of thermal springs. J Volcanol Geotherm Res 392:106682. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2019.106682

Bénard B, Famin V, Agrinier P, et al (2018) Origin and fate of thermal fluids at a hot spot volcano (Piton des Neiges, La Réunion) from major, trace elements and O-H-C-Sr isotopes of hot springs. In: AGU Fall Meeting 2018, Washington, 10-14 December 2018

Benderitter Y, Gérard A (1984) Geothermal study of reunion island: Audiomagnetotelluric survey. J Volcanol Geotherm Res 20:311–332. doi: 10.1016/0377-0273(84)90046-5

Billard G (1974) Carte géologique de La Réunion (en 4 feuilles au 1/50 000). Cartes et notices BRGM. 40 p.

Boivin P, Bachèlery P (2009) Petrology of 1977 to 1998 eruptions of Piton de la Fournaise, La Réunion Island. J Volcanol Geotherm Res 184:109–125. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2009.01.012

Bonneville A, Von Herzen RP, Lucazeau F (1997) Heat flow over Reunion hot spot track: Additional evidence for thermal rejuvenation of oceanic lithosphere. J Geophys Res Solid Earth 102:22731–22747. doi: 10.1029/97JB00952

Boubekraoui S, Courteaud M, Aubert M, et al (1998) New insights into the hydrogeology of a basaltic shield volcano from a comparison between self-potential and electromagnetic data: Piton de la Fournaise, Indian ocean. J Appl Geophys 40:165–177. doi: 10.1016/S0926-9851(98)00023-8

Bret L, Fevre Y, Join J-L, et al (2003) Deposits related to degradation processes on Piton des Neiges Volcano (Reunion Island): overview and geological hazard. J Volcanol Geotherm Res 123:25–41. doi: 10.1016/S0377-0273(03)00026-X

Bret L, Join J-L, Legal X, et al (2003) Argiles et zéolites dans l'altération d'un volcan bouclier en milieu tropical (Le Piton des Neiges, La Réunion). Comptes Rendus Geosci 335:1031–1038. doi: 10.1016/j.crte.2003.09.007

Cayol V, Catry T, Michon L, et al (2014) Sheared sheet intrusions as mechanism for lateral flank displacement on basaltic volcanoes: Applications to Réunion Island volcanoes. J Geophys Res Solid Earth 119:7607–7635. doi: 10.1002/2014JB011139

Chaput M, Famin V, Michon L (2014) Deformation of basaltic shield volcanoes under cointrusive stress permutations. J Geophys Res Solid Earth 119:274–301. doi: 10.1002/ 2013JB010623

Chaput M, Famin V, Michon L (2017) Sheet intrusions and deformation of Piton des Neiges, and their implication for the volcano-tectonics of La Réunion. Tectonophysics 717:531–546. doi: 10.1016/j.tecto.2017.08.039

Chaput M, Pinel V, Famin V, et al (2014) Cointrusive shear displacement by sill intrusion in a detachment: A numerical approach. Geophys Res Lett 41:1937–1943. doi: 10.1002/2013GL058813

Chevallier L, Bachelery P (1981) Evolution structurale du volcan actif du Piton de la Fournaise, Ile de la Réunion - Océan indien occidental. Bull Volcanol 44:723–741. doi: 10.1007/BF02597094

Coppola D, Staudacher T, Cigolini C (2007) Field thermal monitoring during the August 2003 eruption at Piton de la Fournaise (La Réunion). J Geophys Res 112:B05215. doi: 10.1029/2006JB004659

Courteaud M, Ritz M, Robineau B, et al (1997) New geological and hydrogeological implications of the resistivity distribution inferred from audiomagnetotellurics over La Fournaise young shield volcano (Reunion Island). J Hydrol 203:93–100. doi: 10.1016/S0022-1694(97)00090-5

Courteaud M, Ritz M, Descloitres M, et al (1996) Cartographie AMT du biseau salé sur le flanc sud du Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion). Comptes Rendus l'Académie des Sci Paris, 322(II a) 93–100

de Voogd B, Pou Palomé S, Hirn A, et al (1999) Vertical movements and material transport during hotspot activity: Seismic reflection profiling offshore La Réunion. J Geophys Res 104:2855–2874

Demange J, Chovelon P, Puvilland P (1989) Geothermal model of the Salazie Cirque (Reunion Island): Volcanic and structural implications. J Volcanol Geotherm Res 36:153–176. doi: 10.1016/0377-0273(89)90011-5

Deniel C (1988) 230Th-238U radioactive disequilibrium in some differentiated lavas from piton des neiges (Reunion Island). Chem Geol 70:126. doi: 10.1016/0009-2541(88)90556-6

Deniel C (1990) Le magmatisme du Piton des Neiges. In: Lénat JF (ed) Le volcanisme de La Réunion. Monographie. pp 115–143

Deniel C, Kieffer G, Lecointre J (1992) New 230Th-238U and 14C age determinations from Piton des Neiges volcano, Reunion - A revised chronology for the Differentiated Series. J Volcanol Geotherm Res 51:253–267. doi: 10.1016/0377-0273(92)90126-X

Descloitres M, Ritz M, Robineau B, Courteaud M (1997) Electrical structure beneath the eastern collapsed flank of Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island: Implications for the quest for groundwater. Water Resour Res 33:13–19. doi: 10.1029/96WR02673

Dezayes C, Baltassat J-M, Famin V, Bes de Berc S (2016) Potential interest areas for the development of geothermal energy in La Reunion Island. In: European Geothermal Congress, Strasbourg, France

Di Muro A, Métrich N, Allard P, et al (2016) Magma Degassing at Piton de la Fournaise Volcano. In: Bachelery P, Lenat J-F, Di Muro A, Michon L (eds) Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean, Active Volcanoes of the World. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 203–222

DiPippo R (1995) Geothermal electric power in the United States: a survey and update for 1990-1994. In: World Geotermal Congress 1995. p 10 p.

Duffield WA, Stieltjes L, Varet J (1982) Huge landslide blocks in the growth of piton de la fournaise, La réunion, and Kilauea volcano, Hawaii. J Volcanol Geotherm Res 12:147–160. doi: 10.1016/0377-0273(82)90009-9

Duputel Z, Ferrazzini V, Brenguier F, et al (2009) Real time monitoring of relative velocity changes using ambient seismic noise at the Piton de la Fournaise volcano (La Réunion) from January 2006 to June 2007. J Volcanol Geotherm Res 184:164–173. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.11.024

Famin V, Berthod C, Michon L, et al (2016) Localization of magma injections, hydrothermal alteration, and deformation in a volcanic detachment (Piton des Neiges, La Réunion). J Geodyn 101:155–169. doi: 10.1016/j.jog.2016.05.007

Famin V, Michon L (2010) Volcano destabilization by magma injections in a detachment. Geology 38:219–222. doi: 10.1130/G30717.1

Fontaine FJ, Rabinowicz M, Boulègue J, Jouniaux L (2002) Constraints on hydrothermal processes on basaltic edifices: inferences on the conditions leading to hydrovolcanic eruptions at Piton de la Fournaise, Réunion Island, Indian Ocean. Earth Planet Sci Lett 200:1–14. doi: 10.1016/S0012-821X(02)00599-X

Fretzdorff S, Haase KM (2002) Geochemistry and petrology of lavas from the submarine flanks of Réunion Island (western Indian Ocean): implications for magma genesis and the mantle source. Mineral Petrol 75:153–184. doi: 10.1007/s007100200022

Froger J-L, Famin V, Cayol V, et al (2015) Time-dependent displacements during and after the April 2007 eruption of Piton de la Fournaise, revealed by interferometric data. J Volcanol Geotherm Res 296:55–68. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.02.014

Gailler L-S, Lénat J-F (2012) Internal architecture of La Réunion (Indian Ocean) inferred from geophysical data. J Volcanol Geotherm Res 221–222:83–98. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2012.01.015

Gailler L-S, Lénat J-F, Lambert M, et al (2009) Gravity structure of Piton de la Fournaise volcano and inferred mass transfer during the 2007 crisis. J Volcanol Geotherm Res 184:31–48. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2009.01.024

Gardner MC, McNitt JR, Klein CW, Koening JB (1995) History and results of surface exploration in the Kilauea east Rift Zone. In: World Geotermal Congress 1995. pp 1233–1238

Gillot P-Y, Nativel P (1989) Eruptive history of the Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island, Indian Ocean. J Volcanol Geotherm Res 36:53–65. doi: 10.1016/0377-0273(89)90005-X

Gillot P-Y, Nativel P (1982) K□Ar chronology of the ultimate activity of piton des neiges volcano, reunion island, Indian ocean. J Volcanol Geotherm Res 13:131–146. doi: 10.1016/0377-0273(82)90024-5

Gillot P-Y, Lefèvre J-C, Nativel P-E (1994) Model for the structural evolution of the volcanoes of Réunion Island. Earth Planet Sci Lett 122:291–302. doi: 10.1016/0012-821X(94)90003-5

Gouhier M, Coppola D (2011) Satellite-based evidence for a large hydrothermal system at Piton de la Fournaise volcano (Reunion Island). Geophys Res Lett 38:n/a-n/a. doi: 10.1029/2010GL046183

Gourgand B, Stieltjes L (1988) Hydrogéologie du volcan de la Fournaise (île de la Réunion). Hydrogéologie 95–105

Gourgand B, Stieltjes L, Daesslé M (1988) Ile de la Réunion: exploitation des eaux souterraines. Bilan des prélèvements effectués en 1985 par puits et forages. Hydrogéologie 117–123

Grunberger O, Coudray J, et al. (1988) Essai de corrélation entre minéralisation des eaux souterraines et géochimie des roches dans le massif volcanique du Piton des Neiges (île de la Réunion). Hydrogéologie 183–189

Guilpart E, Vimeux F, Evan S, et al (2017) The isotopic composition of near-surface water vapor at the Maïdo observatory (Reunion Island, southwestern Indian Ocean) documents the controls of the humidity of the subtropical troposphere. J Geophys Res Atmos 122:9628–9650. doi: 10.1002/2017JD026791

Hammar L, Ehnberg J, Mavume A, et al (2012) Renewable ocean energy in the Western Indian Ocean. Renew Sustain Energy Rev 16:4938–4950. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.026

Johnston JM, Pellerin L, Hohmann GW (1992) Evaluation of electromagnetic methods for geothermal reservoir detection. Geotherm ressources Trans 16:

Join J-L, Coudray J (1993) Caractérisation géostructurale des émergences et typologie des nappes d'altitude en milieu volcanique insulaire. (Ile de la Réunion). Geodin Acta 6:243–254. doi: 10.1080/09853111.1993.11105252

Join J-L, Folio J-L, Robineau B (2005) Aquifers and groundwater within active shield volcanoes. Evolution of conceptual models in the Piton de la Fournaise volcano. J Volcanol Geotherm Res 147:187–201. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2005.03.013

Kieffer G (1990) Grands traits morphologiques de l'île de La Réunion (océan Indien). In: Lénat JF (ed) Le volcanisme de La Réunion. Monographie. pp 75–114

Lacquement F (2008) Carte géologique du cirque de Mafate au 1/10000, BRGM

Lacquement F, Jacques E (2008) Carte géologique du cirque de Cilaos au 1/10000, BRGM

Lacquement F, Nehlig P (2014) Carte géologique des cirques du Massif du Piton des Neiges (Ile de La Réunion, France). Géologie la Fr 67–110

Le Friant A, Lebas E, Clément V, et al (2011) A new model for the evolution of La Réunion volcanic complex from complete marine geophysical surveys. Geophys Res Lett 38:2011GL047489. doi: 10.1029/2011GL047489

Lebas E, Le Friant A, Deplus C, de Voogd B (2018) Understanding the Evolution of an Oceanic Intraplate Volcano From Seismic Reflection Data: A New Model for La Réunion, Indian Ocean. J Geophys Res Solid Earth 123:1035–1059. doi: 10.1002/2017JB014959

Lénat JF, Bachèlery P (1988) Dynamics of Magma Transfer at Piton de la Fournaise Volcano (Réunion Island, Indian Ocean). In: Modeling of Volcanic Processes. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, pp 57–72

Lénat J-F, Bachèlery P, et al. (1990) Structure and morphology of the submarine flank of an active basaltic volcano: Piton de la Fournaise (Reunion Island, Indian Ocean). Oceanol Acta 211–224

Lénat J-F (2016) Construction of La Réunion. In: Bachèlery, P, Lénat, J.-F, Di Muro, A, Michon L (ed) Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg, pp 31–44

Lénat J-F, Fitterman D, Jackson DB, Labazuy P (2000) Geoelectrical structure of the central zone of Piton de la Fournaise volcano (Réunion). Bull Volcanol 62:75–89. doi: 10.1007/s004459900058

Lénat J-F, Gibert-Malengreau B, Galdéano A (2001) A new model for the evolution of the volcanic island of Réunion (Indian Ocean). J Geophys Res Solid Earth 106:8645–8663. doi: 10.1029/2000JB900448

Lénat J-F, Merle O, Lespagnol L (2009) La réunion: An example of channeled hot spot plume. J Volcanol Geotherm Res 184:1–13. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.12.001

Lerebour P, Rançon JP, Augé T (1989) The Grand Brûlé exploration drilling: New data on the deep framework of the Piton de la Fournaise volcano. Part 2: Secondary minerals. J Volcanol Geotherm Res 36:129–137. doi: 10.1016/0377-0273(89)90009-7

Letourneur L, Gudmundsson A (2006) Asymetrical deformation of the Piton de la Fournaise (Réunion Island) summit cone. In: EGU 2006, Geophysical Research Abstracts

Letourneur L, Peltier A, Staudacher T, Gudmundsson A (2008) The effects of rock heterogeneities on dyke paths and asymmetric ground deformation: The example of Piton de la Fournaise (Réunion Island). J Volcanol Geotherm Res 173:289–302. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.01.018

Liuzzo M, Di Muro A, Giudice G, et al (2015) New evidence of CO 2 soil degassing anomalies on P iton de la F ournaise volcano and the link with volcano tectonic structures. Geochemistry, Geophys Geosystems 16:4388–4404. doi: 10.1002/2015GC006032

Longpré M-A, Staudacher T, Stix J (2007) The November 2002 eruption at Piton de la Fournaise volcano, La Réunion Island: ground deformation, seismicity, and pit crater collapse. Bull Volcanol 69:511–525. doi: 10.1007/s00445-006-0087-0

Louvat P, Allègre C-J (1997) Present denudation rates on the island of Réunion determined by river geochemistry: Basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. Geochim Cosmochim Acta 61:3645–3669. doi: 10.1016/S0016-7037(97)00180-4

Malengreau B, Lénat J-F, Froger J-L (1999) Structure of Réunion Island (Indian Ocean) inferred from the interpretation of gravity anomalies. J Volcanol Geotherm Res 88:131–146. doi: 10.1016/S0377-0273(98)00114-0

Marty B, Meynier V, Nicolini E, et al (1993) Geochemistry of gas emanations: A case study of the Réunion Hot Spot, Indian Ocean. Appl Geochemistry 8:141–152. doi: 10.1016/0883-2927(93)90030-K

McDougall I (1971) The geochronology and evolution of the young volcanic island of Réunion, Indian Ocean. Geochim Cosmochim Acta 35:261–288. doi: 10.1016/0016-7037(71)90037-8

Merle O, Lénat J-F (2003) Hybrid collapse mechanism at Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island, Indian Ocean. J Geophys Res Solid Earth 108:. doi: 10.1029/2002JB002014

Merle O, Mairine P, Michon L, et al (2010) Calderas, landslides and paleo-canyons on Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island, Indian Ocean). J Volcanol Geotherm Res 189:131–142. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2009.11.001

Merle O, Michon L, Bachèlery P (2008) Caldera rim collapse: A hidden volcanic hazard. J Volcanol Geotherm Res 177:525–530. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.06.011

Merle S, Zlotnicki J (1998) Self-potential and magnetic surveying of La Fournaise volcano (Réunion Island): Correlations with faulting, fluid circulation, and eruption. J Geophys Res 103:17845–17857

Michon L, Cayol V, Letourneur L, et al (2009) Edifice growth, deformation and rift zone development in basaltic setting: Insights from Piton de la Fournaise shield volcano (Réunion Island). J Volcanol Geotherm Res 184:14–30. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.11.002

Michon L, Saint-Ange F, Bachelery P, et al (2007) Role of the structural inheritance of the oceanic lithosphere in the magmato-tectonic evolution of Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island). J Geophys Res Solid Earth 112:. doi: 10.1029/2006JB004598

Michon L, Staudacher T, Ferrazzini V, et al (2007) April 2007 collapse of Piton de la Fournaise: A new example of caldera formation. Geophys Res Lett 34:L21301. doi: 10.1029/2007GL031248

Nicolini E, Grunberger O, Jusserand C, Coudray J (1998) Seasonal variations of rainfalls isotopic contents (18O-2H) over an intertropical humid island (La Réunion, SW Indian Ocean). In: Hydrology in the humid tropic environment (Kingston, 17–23 November 1996), IAHS, 253. pp 413–420

Nicolini E, Jusserand C, Blavoux B, et al (1989) Appauvrissement en isotopes lourds des précipitations liées aux cyclones. Comptes Rendus Académie Sci 1255–1260

Nicolini E, Jusserand C, Coudray J (1988) Approche de l'hydrogéologie du massif du Piton de la Fournaise, chimie et isotopes des eaux superficielles et souterraines. Bull Sect Volcanol Soc Géol Fr 6–7

Nicolini E, Olive P, Coudray J, Jusserand C (1991) Circulation des eaux dans le massif du piton de la Fournaise (île de la Réunion) et leur contamination par les fluides d'origine magmatique. CR Acad Sci Paris, t 312, série II 535–542

Notton G (2015) Importance of islands in renewable energy production and storage: The situation of the French islands. Renew Sustain Energy Rev 47:260–269. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.053

Oehler J-F, Labazuy P, Lénat J-F (2004) Recurrence of major flank landslides during the last 2-Ma-history of Reunion Island. Bull Volcanol 66:585–598. doi: 10.1007/s00445-004-0341-2

Oehler J-F, Lénat J-F, Labazuy P (2008) Growth and collapse of the Reunion Island volcanoes. Bull Volcanol 70:717–742. doi: 10.1007/s00445-007-0163-0

Ort MH, Di Muro A, Michon L, Bachèlery P (2016) Explosive eruptions from the interaction of magmatic and hydrothermal systems during flank extension: the Bellecombe Tephra of Piton de La Fournaise (La Réunion Island). Bull Volcanol 78:5. doi: 10.1007/s00445-015-0998-8

Peltier A, Staudacher T, Bachèlery P (2007) Constraints on magma transfers and structures involved in the 2003 activity at Piton de La Fournaise from displacement data. J Geophys Res 112:B03207. doi: 10.1029/2006JB004379

Peltier A, Bachèlery P, Staudacher T (2009) Magma transport and storage at Piton de La Fournaise (La Réunion) between 1972 and 2007: A review of geophysical and geochemical data. J Volcanol Geotherm Res 184:93–108. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.12.008

Peltier A, Staudacher T, Bachèlery P, Cayol V (2009) Formation of the April 2007 caldera collapse at Piton de La Fournaise volcano: Insights from GPS data. J Volcanol Geotherm Res 184:152–163. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.09.009

Peng ZX, Mahoney JJ (1995) Drillhole lavas from the northwestern Deccan Traps, and the evolution of Réunion hotspot mantle. Earth Planet Sci Lett 134:169–185. doi: 10.1016/0012-821X(95)00110-X

Rad S, Deparis J, Gadalia A, et al (2017) Weathered profiles in tropical volcanic islands by combined geochemical and geophysical approaches. In: Goldschmidt 2017. Paris, France

Rakotoson V, Praene JP (2017) A life cycle assessment approach to the electricity generation of French overseas territories. J Clean Prod 168:755–763. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.055

Rançon JP (1985) Hydrothermal history of Piton des Neiges volcano (Reunion Island, Indian Ocean). J Volcanol Geotherm Res 26:297–315. doi: 10.1016/0377-0273(85)90061-7

Rançon JP, Lerebour P, Augé T (1989) The Grand Brule exploration drilling: New data on the deep framework of the Piton de la Fournaise volcano. Part 1: Lithostratigraphic units and volcanostructural implications. J Volcanol Geotherm Res 36:113–127. doi: 10.1016/0377-0273(89)90008-5

Rançon J-P, Lerebour P, Augé T (1987) Mise en évidence par forage d'une chambre magmatique ancienne à l'aplomb de la zone orientale du Piton de la Fournaise (île de La Réunion). Implications volcaniques. C R Acad Sc Paris, t 304 55–60

Rançon J-P, Lerebour P, Augé T, Nativel P-E (1988) Pétrologie des deux complexes intrusifs lités de l'île de La Réunion. Implications volcano-structurales. Géologie la Fr 135–156

Rançon J-P, Rocher P (1985) Découverte de zones fumerolliennes récentes dans le cirque de Salazie (île de La Réunion, Océan Indien). CR Acad Sc Paris, t 300, série II 821–826

Ritz M, Descloitres M, Robineau B, Courteaud M (1997) Audiomagnetotelluric prospecting for groundwater in the Baril coastal area, Piton de la Fournaise Volcano, Reunion Island. Geophysics 62:758–762

Rocher P (1990) Evolution volcano-structurale du massif du Piton des Neiges. In: Lénat JF (ed) Le volcanisme de La Réunion. Monographie. pp 145–161

Rocher P, Demange J, Fabriol H, et al (1987) Résultats de l'exploration géothermique haute énergie du cirque de Salazie (île de la Réunion, Océan Indien). Aspects géologiques, géochimiques et géophysiques. Bull la Société Géologique Fr 8:1075–1080

Rousset D, Lesquer A, Bonneville A, Lénat JF (1989) Complete gravity study of Piton de la Fournaise volcano, Reunion Island. J Volcanol Geotherm Res 36:37–52. doi: 10.1016/0377-0273(89)90004-8

Saint-Ange F, Savoye B, Michon L, et al (2011) A volcaniclastic deep-sea fan off La Réunion Island (Indian Ocean): Gradualism versus catastrophism. Geology 39:271–274. doi: 10.1130/G31478.1

Sanjuan B, Bouchot V, Gadalia A, Traineau H (2011) Géothermie haute température : le défi énergétique. Geosciences 11:32–41

Schnegg P-A (1997) Electrical structure of Plaine des Sables caldera, Piton de la Fournaise volcano (Reunion Island). Ann di Geofis XL:305–317. doi: http://hdl.handle.net/2122/1546

Selosse S, Ricci O, Garabedian S, Maïzi N (2018) Exploring sustainable energy future in Reunion Island. Util Policy 55:158–166. doi: https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.10.006

Seymour KS, Scott C, Fowler A, et al (1997) Magma mixing in hot-spot related laboratory volcanoes Teide and Piton de la Fournaise. In: 2nd Workshop on European LaboratoryVolcanoes, 2-4 May 1996, Thera. pp 589–604

Staudacher T, Ferrazzini V, Peltier A, et al (2009) The April 2007 eruption and the Dolomieu crater collapse, two major events at Piton de la Fournaise (La Réunion Island, Indian Ocean). J Volcanol Geotherm Res 184:126–137. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.11.005

Stieltjes L (1986) Coulées historiques du piton de la Fournaise. Carte 1/25 000 et notice BRGM. 543 p.

Stieltjes L, Gourgand B, Steenhoudt M (1988) Modes de circulation et de gisement de l'eau souterraine dans un volcan bouclier basaltique. Exemple de l'île de La Réunion, milieu océanique tropical. Hydrogéologie 83–94

Stieltjes L, Steenhoudt M, Gourgand B, Daesslé M (1988) L'atlas hydrogéologique de la Réunion. Hydrogéologie 81–82

Upton BGJ, Wadsworth WJ (1966) The basalts of Réunion Island, Indian Ocean. Bull Volcanol 29:7–23. doi: 10.1007/BF02597136

Violette S, Ledoux E, Goblet P, Carbonnel J-P (1997) Hydrologic and thermal modeling of an active volcano: the Piton de la Fournaise, Reunion. J Hydrol 191:37–63. doi: 10.1016/S0022-1694(96)03071-5

Vlastélic I, Menard G, Gannoun A, et al (2013) Magma degassing during the April 2007 collapse of Piton de la Fournaise: The record of semi-volatile trace elements (Li, B, Cu, In, Sn, Cd, Re, Tl, Bi). J Volcanol Geotherm Res 254:94–107. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2012.12.027

Vlastélic I, Staudacher T, Bachèlery P, et al (2011) Lithium isotope fractionation during magma degassing: Constraints from silicic differentiates and natural gas condensates from Piton de la Fournaise volcano (Réunion Island). Chem Geol. doi: 10.1016/j.chemgeo.2011.02.002

Vlastélic I, Peltier A, Staudacher T (2007) Short-term (1998–2006) fluctuations of Pb isotopes at Piton de la Fournaise volcano (Reunion Island): Origins and constraints on the size and shape of the magma reservoir. Chem Geol 244:202–220. doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.06.015

Zlotnicki J, Michel S, Annen C (1994) Anomalies de polarisation spontanée et systèmes convectifs sur le volcan du piton de la Fournaise (île de La Réunion, France). Comptes Rendus l'Académie des Sci Série II 318:1325–1331

RAPPORTS (66)

Andrieux P, Robineau B, Bachèlery P, Lénat J-F (2002) Programme d'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion. Campagne de prospection géophysique. Rapport technique final Région Réunion

ANTEA (2005) Projet géothermie Réunion. Phase d'exploration par forage. Mémoire explicatif. Rapport 37911/A

Aunay B, Lucas C, Ladouche B, et al (2013) Identification du potentiel en eau minérale gazeuse du cirque de Salazie. Rapport final BRGM RC-62181-FR

Bargeas A (1984) - Evaluation globale de la ressource en eau de l'île de La Réunion. Apports de la simulation par modèles hydrologiques. Rapport BRGM 84 SGN 232 EAU/REU

Barthes V, Fabriol H, Petiau G, et al (1984) Mesures magnéto-telluriques dans l'île de La Réunion. Zone de Salazie et Grand Brûlé. Rapport final BRGM 84 SGN 226 IRG

Barthes V, Mennechet C, Honneger J-L (1984) Prospection géothermique de la région de Bouillante - Vieux Habitants (Guadeloupe) : Etude gravimétrique. Rapport BRGM 84 SGN 063 GTH

Bénard B, Aunay B, Ladouche B, Millot R (2015) Analyse des circulations d'eaux hydrothermales du cirque de Salazie pour la caractérisation du potentiel en eau minérale - phase 2. Rapport final BRGM/RC-65104-FR

BRGM (1966) Les sources thermo-minérales de Cilaos : étude géologique et étude des principales caractéristiques (débit, température et résistivité des captages existants). Rapport BRGM n° TAN 66 - A/27

BRGM (1968) Sources thermo-minérales de Cilaos - Travaux de reconnaissance. Rapport BRGM n° 68 TAN- 30C

BRGM (1980) Bilan de la prospection pour l'évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion. Rapport 80 REU 11

BRGM (1983) Projet géothermique de l'île de La Réunion. Rapport final de présentation technique et financière. Site de Salazie. Rapport final BRGM 83 SGN 841 GTH

BRGM (1968) Sources thermo-minérales de Cilaos - Travaux de reconnaissance par puits et galeries en vue de leur recaptage. Rapport BRGM n° 68 TAN - 9D

BRGM (1994) Hydrochimie des eaux souterraines de l'île de la Réunion. Eaux de source et eaux de nappes. Bilan et synthèse 1994. Rapport BRGM n° R38188 REU SGN 94

CFG (1986) Forage géothermique du Grand Brûlé (SR1). Dossier des ouvrages exécutés. Rapport 86 CFG 017

CFG (2006) Géothermie à l'île de La Réunion. Note 15/06/IGE/DT/BH.

Chovelon P (1986) Forage géothermique de Salazie (SLZ1). Étude géologique du forage et dossier des ouvrages exécutés. Final report 86CFG018

Clerc JM, Coudray J (1986) Recherche préliminaire de nouvelles modalités de captage des eaux souterraines dans la région de St Gilles. Rapport d'activités et rapport scientifique, Sous-programme 2 : Eaux souterraines, Programme quadriennal 1985-1988

Clerc JM, Coudray J, Mairine P, Burkhalter R (1986) Télédétection des émergences d'eau douce en mer sur le littoral ouest et sud de l'île de la Réunion par thermographie aéroportée. Rapport de synthèse après une année d'étude, Université de Sainte Clotilde, Réunion

Coudray J (1983) Programme hydrogéologie. Caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de nappes aquifères types de La Réunion : étude des relations entre « nappes perchées » et nappes de base. Rapport d'activité, Laboratoire de Géologie, La Réunion

Cruchet M, Nehlig P, Arnaud N, et al (2008) Nouvelles datations K-Ar et 14C dans le massif du Piton des Neiges. Rapport BRGM/RP-56905-FR

Daesslé M, Duchamps JM (1989) Hydrochimie des eaux souterraines de l'île de La Réunion : eaux de sources et eaux de forages. Rapport BRGM 89 REU 22

Demange J (1986) Bilan de l'exploration géothermique de l'Île de la Réunion au vu des résultats des forages SR1 et SLZ1. Final report 86 CFG 019

Demange J, Chovelon P, Puvilland P (1987) Exploration géothermique du cirque de Salazie, île de La Réunion. Rapport 10/87/CFG

Demange J, Puvilland P, Rançon J-P (1984) Prospection géothermique de l'île de la Réunion. Grand Brûlé, Salazie. Rapport final d'exploration. Rapport BRGM 85 GTH 001 CFG

Dezayes C, Baltassat J-M, Famin V, et al (2015) Identification des secteurs d'intérêt potentiel pour le développement de la géothermie sur l'île de La Réunion, hors coeur du Parc National. Rapport final BRGM/RP-64738-FR

Di Muro A, Bachélery P, Boissier P, et al (2012) Evaluation de l'aléa volcanique à La Réunion. Rapport OVPF

Frissant N, Miehe JM, Moulin M, et al (2003) Etude du système hydrothermal d'Hell Bourg (commune de Salazie). Historique des thermes et nouvelles reconnaissances géophysiques et géochimiques. Rapport BRGM/RP-52214-FR

Frissant N, Lacquement F, Rançon J-P (2003) Etude du potentiel hydrothermal de la zone amont de la rivière du Bras Rouge (Cirque de Cilaos) - Première phase d'étude. Rapport BRGM RP-52673-FR

Geosystem (2005) Étude magnetotelluriques et TDEM. Plaine des Sables, La Réunion

Geosystem (2004) Magnetotelluric and TDEM surveys. Plaine des Sables, La Réunion (p. 37). Version 3 12-07-201

Gérard A, Rançon J-P (1981) Évaluation du potentiel Géothermique de l'île de La Réunion. Final report BRGM 81SGN669GTH

Gérard A, Stieltjes L (1979) Évaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion. 2ème phase exploratoire: géologie et géophysique. Final Report BRGM 79 SGN 538 GTH

Gourgand B, Stieltjes L (1987) Hydrogéologie du volcan de la Fournaise (île de la Réunion). Rapport BRGM 87 REU 05

Grunberger O, Coudray J, Olek M (1986) Chimie des eaux souterraines du massif du Piton des Neiges : Essai de corrélation avec la géochimie des laves

Iundt F, Mauroux B (1992) Etude des sources thermominérales de Cilaos. Analyses isotopiques des eaux. Rapport BRGM R36185 REU 4S 92 (92 REU 46)

Iundt F, Mauroux B, Barrera L, et al (1992) Etude des sources thermominérales de Cilaos. Rapport BRGM R35833

Lachassagne P, Maréchal JC (2004) Synthèse des concepts et méthodes de l'hydrogéologie des milieux volcaniques appliqués à la prospection géothermique. Rapport BRGM/RP-53135-FR

Lacquement F, Frissant N, Chevalier P (2005) Etude du potentiel hydrothermal de la zone amont de la rivière du Bras Rouge (Cirque de Cilaos) - Phase 2. Rapport BRGMRP-54251-FR

Lacquement F, Nehlig P (2008) Notice des cartes géologiques des cirques du Piton des Neiges (Ile de la Réunion, France). Rapport BRGM RP-56730-FR

Lénat J-F, Bachèlery P, Froger J-L, Lambert M (2003) Amélioration de la carte gravimétrique de la Réunion. Interprétation, Projet Géothermie Réunion 2002-03. Rapport final UMR6524 « Magmas et Volcans » CNRS-Université Blaise Pascal/LSTUR

Lénat J-F, Bachèlery P, Levieux G, Finizola A (2003) Cartographie de la polarisation spontanée du Piton de la Fournaise et de la zone des plaines. Projet Géothermie Réunion 2002-03. Rapport final UMR6524 « Magmas et Volcans » CNRS-Université Blaise Pascal/LSTUR

Levieux G (2004) Synthèse géophysique de la zone de forage de reconnaissance géothermique du Piton de la Fournaise. Mémoire de DEA de l'Université Blaise Pascal

Lopoukhine M, Stieltjes L (1978) Evaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion. 1ère phase exploratoire : Géologie et géochimie des eaux. Rapport BRGM 78 SGN 467 GTH

Martelet G, Deparis J (2014) Acquisition géophysique héliportée de l'île de La Réunion. Final report BRGM/RP-93818-FR.

Moulin M, Lebon D (2002) Synthèse hydrogéologique du cirque de Salazie (Ile de la Réunion). Synthèse bibliographique et évaluation de la ressource en eau. Rapport BRGM RP-51127-FR.

Nicolini E (1986) Etude chimique des eaux de pluie et des eaux souterraines du massif du Piton de la Fournaise. Rapport d'activités et rapport scientifique, Sous-programme 2 : Eaux souterraines, Programme quadriennal 1985-1988, Tranche 1986, sous la responsabilité scientif

PB Power (2003) « Projet Géothermie Réunion ». Rapport Global de Synthèse. Etat final (n° 152100)

PB Power (2005) « Projet Géothermie Réunion » Campagne MT / TDEM 2004. Rapport Global de Synthèse (N° 152202-REPT-003, issued 31 October 2003)

PB Power (2002) « Projet Géothermie Réunion ». Réinterprétation et synthèse de toutes les données acquises à La Réunion, depuis 1978. Etat final (n° 40297)

PB Power (2003) Réinterprétation et synthèse de toutes les données MT acquises à la Réunion. Rapport PB Power 152100-REPT-002, issued 15 April 2003

Pedroletti V (2001) Identification minéralogique de 8 échantillons en provenance de l'île de la Réunion (Salazie-Cilaos). Note technique ANA/CMI/NT/01/127

Phoenix Geophysics (2002) Acquisition de données magnéto-telluriques, audio-telluriques et TDEM sur l'île de la Réunion

Rançon J-P (1982) Les minéralisations hydrothermales: un guide pour la prospection géothermique du massif du Piton des Neiges. Final report BRGM 82 REU 27

Rançon J-P (1986) Forage géothermique du Grand Brûlé (SR1). Final report 86CFG017

Rançon J-P, Rocher P, Stieltjes L (1981) Rapport du forage de gradient géothermique de Roche Plate (cirque de Salazie). Rapport BRGM 81 REU 02

Robert D (1980) Inventaire et analyse systématiques des différents ensembles d'intrusions volcaniques (dykes et sills) de l'île de la Réunion. Rapport BRGM 80 SGN 532 GTH/80 REU 17

Sanjuan B, Genter A, Brach M, Lebon D (2001) Compléments d'étude géothermique dans l'île de La Réunion (géologie, Géochimie). Final report BRGM/RP-51189-FR

Sanjuan B, Traineau H, Rançon J-P, et al (2000) Le potentiel géothermique de l'île de La Réunion. Bilan des connaissances et perspectives. Final report BRGM/RP-50388-FR

Stieltjes L (1982) Le développement de l'énergie géothermique à La Réunion pour la production électrique. Rapport BRGM 82 REU 21

Stieltjes L (1986) Bilan et enseignements de la première campagne d'exploration géothermique par forages profonds à la Réunion (1985-1986). Rapport BRGM 86 REU 27

Stieltjes L (1984) Les perspectives de l'énergie géothermique dans l'Océan Indien. Rapport BRGM 84 REU 32

Stieltjes L (1995) Texte explicatif préliminaire de la carte géologique du volcan de la Fournaise à 1/25 000. Rapport BRGM R38588

Sykioti O (1991) Application de la télédétection à l'étude du bilan hydrique et du fonctionnement hydrogéologique d'un volcan actif : Le Piton de la Fournaise, île de la Réunion, Océan indien. D.E.A. national d'hydrologie, Université Pierre et Marie Curie

Tournaye D (1981) Approche économique d'un projet de géothermie à La Réunion. Rapport final BRGM 81 SGN 209 GTH

Varet J (1979) Evaluation du potentiel géothermique de l'île de La Réunion. Résultats de la seconde phase d'exploration. Rapport final BRGM 79 SGN 824 GTH

Violette S (1990) Massif de la Fournaise, île de La Réunion. Essai de modélisation de la nappe de base. Mémoire de DEA d'hydrologie, Université Pierre et Marie Curie, Paris

THESES (23)

Arnaud N (2005) Les processus de démantèlement des volcans ; le cas d'un volcan bouclier en milieu océanique : le Piton des neiges (Ile de de La Réunion). Thèse de Doctorat de l'université de La Réunion, Saint-Denis

Augier A (2011) Etude de l'éruption d'avril 2007 du Piton de la Fournaise (île de la Réunion) à partir de données d'interférométrie RADAR et GPS, développement et application de procédures de modélisation. Thèse de l'Université de Clermont-Ferrand

Bachèlery P (1981) Le Piton de La Fournaise (île de La Réunion). Etude volcanologique structurale. Thèse de l'Université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand

Bénard B (2020) Caractérisation du système hydrothermal du Piton des Neiges par des méthodes géochimiques et isotopiques. Thèse de doctorat de l'Université de La Réunion

Chaput M (2013) Déformation et activité intrusive des volcans boucliers. Du terrain à la modélisation numérique (Piton des Neiges - La Réunion). Thèse, Université de La Réunion

Chevalier L (1979) Structures et évolution du volcan piton des Neiges, île de la Réunion : leurs relations avec les structures du bassin des Mascareignes, océan Indien occidental. Thèse 3e cycle, Grenoble

Dumont M (2018) Caractérisation multi-échelle des structures hydrogéologiques en contexte volcanique insulaire par électromagnétisme héliporté : application à l'île de La Réunion. Thèse de Doctorat de La Réunion

Dupont A (2010) Étude du son produit par la Soufrière de Guadeloupe et le Piton de la Fournaise: implications pour la dynamique éruptive et la surveillance volcanique (PhD Thesis) IPGP, Paris

Folio J-L (2001) Distribution de la perméabilité dans le massif du Piton de la Fournaise : Apport à la connaissance du fonctionnement hydrogéologique d'un volcan bouclier. Thèse de l'Université de La Réunion, Saint-Denis-de-la-Réunion

Gailler L-S (2010) Structure interne d'un système volcanique de type point chaud : La Réunion (Océan Indien). Thèse de l'université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand

Grunberger O (1989) Etude géochimique et isotopique de l'infiltration sous climat tropical contrasté. Massif du Piton des Neiges. Ile de La Réunion. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris XI

Guilpart E (2018) Etude de la composition isotopique (δ18O et δD) de la vapeur d'eau dans l'atmosphère sur l'île de La Réunion : apport à la compréhension des processus humides atmosphériques en région tropicale. Thèse de Doctorat de l'université Paris-Saclay, Océan, Atmos

Haurie J-L (1987) Géodynamique des cirques de La Réunion. Implications géotechniques et stabilité des versants. Thèse de Doctorat de l'Université de Grenoble

Join J-L (1991) Caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire. Piton des Neiges. Ile de La Réunion. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II

Kluska J-M (1997) Evolution magmatique et morpho-structurale du Piton des Neiges au cours des derniers 500 000 ans. Thèse Université de Paris 11, Orsay.

Maillot E (1999) Les systèmes intrusifs des volcans boucliers océaniques (Ile de La Réunion) : approche structurale et expérimentale. Thèse de Doctorat, Université de La Réunion

Malengreau B (1995) Structure profonde de la Réunion d'après les données magnétiques et gravimétriques. Thèse de l'Université de Clermont-Ferrand, France

Rocher P (1988) Contexte volcanique et structural de l'hydrothermalisme récent dans le massif du piton des Neiges. Iles de La Réunion. Etude détaillée du cirque de Salazie. Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay

Saint-Ange F (2009) La sédimentation volcano-clastique en contexte de point chaud (île de La Réunion, Océan Indien). Thèse de Doctorat de l'Université de La Réunion, Saint-Denis

Schmid A (2011) Quelle prédictibilité pour les éruptions volcaniques ? De l'échelle mondiale au Piton de la Fournaise. Thèse de l'Université de Grenoble

Sisavath E (2011) Processus de transfert des éléments volcano-détritiques dans les plaines abyssales autour de l'île de La Réunion (océan Indien) : exemple du système turbiditique de Cilaos. Thèse de Doctorat de l'Université de La Réunion, Saint-Denis

Smietana M (2011) Pétrologie, géochronologie (K-Ar) et géochimie élémentaire et isotopique (Sr, Nd, Hf, Pb) de laves anciennes de La Réunion : implications sur la construction de l'édifice volcanique. Thèse de Doctorat de l'Université de La Réunion, Saint-Denis

Violette S (1993) Modélisation des circulations d'eau dans le Piton de la Fournaise : approche du bilan hydrologique et des échanges thermiques. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI

Annexe 4

Références bibliographiques pour l'île de Mayotte

56 documents répartis comme il suit :

ARTICLES ET CONGRES (33)

Audru J-C, Guennoc P, Thinon I, Abellard O (2006) Bathymay : la structure sous-marine de Mayotte révélée par l'imagerie multifaisceaux. Comptes Rendus Géoscience 338:1240–1249. doi: 10.1016/j.crte.2006.07.010

Bachèlery P, Berthod C, Di Muro A, et al (2019) Petrological and Geochemical Characterization of the Lava from the 2018-2019 Mayotte Eruption: First Results. In: AGU Fall Meeting, San Francisco, Etats-Unis, 9-13 december

Ballestracci R, Nougier J, Benderitter Y (1985) Intermediate tectonic pattern and hydrodynamic process deduced from audiomagnetotelluric investigations on the volcanic island of Mayotte (Comores Archipelago). Tectonophysics 115:45–60. doi: https://doi.org/10.1016/0040-1951(85)90098-8

Bouttemy F (2003) Le Lac Dziani. Bull Nat, Hist Géo Mayotte

Bouttemy F (2003) Le Lac Dziani. Bull Nat, Hist Géo Mayotte

Cellamare M, Duval C, Drelin Y, et al (2018) Characterization of phototrophic microorganisms and description of new cyanobacteria isolated from the saline-alkaline crater-lake Dziani Dzaha (Mayotte, Indian Ocean). FEMS Microbiol Ecol 94:. doi: 10.1093/femsec/fiy108

CLASS C, GOLDSTEIN S, STUTE M, et al (2005) Grand Comore Island: A well-constrained "low 3He/4He" mantle plume. Earth Planet Sci Lett 233:391–409. doi: 10.1016/j.epsl.2005.02.029

Coudray J, Froget C, Maggiorani J-M, Thomassin BA (1989) Internal sedimentary structures and buried coral growth in the lagoonal beds of Mayotte Island (SW Indian Ocean). Thomassin, BA (Ed), Biol Geol Quat Tert Coral Reefs Abstr Vol 1989 Annu Meet ISRS, Marseille 49–50

Darnet M, Wawrzyniak P, Tarits P, et al (2020) Mapping the geometry of volcanic systems with magnetotelluric soundings: Results from a land and marine magnetotelluric survey performed during the 2018–2019 Mayotte seismovolcanic crisis. J Volcanol Geotherm Res 406:107046. doi: https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107046

Deparis J, Vittecoq B, Jaouen T, et al (2013) 3D geological modelling using geological / geotechnical and AEM data. In: 6th International AEM 2013 conference. Skukuza Rest Camp, Kruger National Park, South Africa

Famin V., Michon L., Bourhane A. (2020) The Comoros archipelago: a right-lateral transform boundary between the Somalia and Lwandle plates. Tectonophysics, doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228539

Feuillet N, Jorry S, Crawford WC, et al (2020) Birth of a large volcanic edifice offshore Mayotte (Comoros Island, Western Indian Ocean). In: EGU General Assembly. Virtual, France

Gérard E, De Goeyse S, Hugoni M, et al (2018) Key Role of Alphaproteobacteria and Cyanobacteria in the Formation of Stromatolites of Lake Dziani Dzaha (Mayotte, Western Indian Ocean). Front Microbiol 9:. doi: 10.3389/fmicb.2018.00796

Hammar L, Ehnberg J, Mavume A, et al (2012) Renewable ocean energy in the Western Indian Ocean. Renew Sustain Energy Rev 16:4938–4950. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.026

Lachassagne P, Aunay B, Frissant N, et al (2014) High-resolution conceptual hydrogeological model of complex basaltic volcanic islands: a Mayotte, Comoros, case study. Terra Nov 15 p. doi: 10.1111/ter.12102

Lacquement F, Nehlig P, Bernard J (2013) Carte géologique de Mayotte à 1/30 000

Leboulanger C, Agogué H, Bernard C, et al (2017) Microbial Diversity and Cyanobacterial Production in Dziani Dzaha Crater Lake, a Unique Tropical Thalassohaline Environment. PLoS One 12:e0168879. doi: 10.1371/journal.pone.0168879

Lemoine A, Bertil D, Roulle A, Briole P (2019) The volcano-tectonic crisis of 2018 east of Mayotte, Comorosislands

Notton G (2015) Importance of islands in renewable energy production and storage: The situation of the French islands. Renew Sustain Energy Rev 47:260–269. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.053

Pajot G (2007) Estimation du potentiel géothermique de Mayotte : Phase 2 - Etape 1. Investigations géophysiques par gravimétrie, magnétisme et panneau de résistivité électrique. Rapport intermédiaire BRGM/RP-56027-FR

Paquet F, Jorry S, Deplus C, et al (2019) The Mayotte seismo-volcanic crisis: characterizing a reactivated volcanic ridge from the upper slope to the abyssal plain using multibeam batymetry and backscatter data. In: AGU Fall Meeting 2019. San Fransisco, United States

Pelleter A-A, Caroff M, Cordier C, et al (2014) Melilite-bearing lavas in Mayotte (France): An insight into the mantle source below the Comores. Lithos 208–209:281–297. doi: 10.1016/j.lithos.2014.09.012

Puyraveau R-A, Rad S, Basile-Doelsch I, et al (2014) Mayotte Critical Zone Observatory: Preliminary Results on Chemical Weathering and Erosion Rates on Volcanic Edifices. Procedia Earth Planet Sci 10:73–76. doi: 10.1016/j.proeps.2014.08.014

Rakotoson V, Praene JP (2017) A life cycle assessment approach to the electricity generation of French overseas territories. J Clean Prod 168:755–763. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.055

Sanjuan B, Baltassat J-M, Bezelgues S, et al (2008) Estimation du potentiel géothermique de Mayotte : Phase 2 - Etape 2. Investigations géologiques, géochimiques et géophysiques complémentaires et synthèse des résultats. Rapport final BRGM/RP-56802-FR

Stieltjes L (1988) Carte géologique de Mayotte au 1/50 000 et sa notice explicative. Editions du BRGM

Vittecoq B (2015) Significant contribution of helicopter-borne resistivity surveys to the hydrogeological characterisation of volcanic islands: review of the recent researches. In: II Workshop ``Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas''. Las Palmas de Gran Canaria, Spain

Vittecoq B, Deparis J, Auken E, et al (2011) Buried valleys revealed by helicopter borne transient electromagnetic and hydrogeological implications : example of the volcanic island of Mayotte. In: 2011 GSA Annual Meeting. Minneapolis, United States

Vittecoq B, Deparis J, Jaouen T, et al (2012) Identification d'un aquifère littoral à l'aide de mesures électromagnétiques héliportées. Exemple à Mayotte. In: Dix-huitièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. ' ' Ressources et gestion des aquifères littoraux. Cassis 2012. ' '. Cassis, France

Vittecoq B, Deparis J, Violette S, et al (2014) Influence of successive phases of volcanic construction and erosion on Mayotte Island's hydrogeological functioning as determined from a helicopter-borne resistivity survey correlated with borehole geological and permeability data. J Hydrol 509:519–538. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.062

Zinke J, Reijmer JJ., Thomassin B. (2001) Seismic architecture and sediment distribution within the Holocene barrier reef–lagoon complex of Mayotte (Comoro archipelago, SW Indian Ocean). Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 175:343–368. doi: 10.1016/S0031-0182(01)00379-0

Zinke J, Reijmer JJ., Thomassin B., et al (2003) Postglacial flooding history of Mayotte Lagoon (Comoro Archipelago, southwest Indian Ocean). Mar Geol 194:181–196. doi: 10.1016/S0025-3227(02)00705-3

Zinke J, Reijmer JJG, Taviani M, et al (2005) Facies and faunal assemblage changes in response to the Holocene transgression in the Lagoon of Mayotte (Comoro Archipelago, SW Indian Ocean). Facies 50:391–408. doi: 10.1007/s10347-004-0040-7

RAPPORTS (17)

Di Muro A, et al. (2019) Rapport interne OVPF-IPGP du 04-04-2019

Gozlan, Lapegue J (1993) Rapport d'activité sur le Lac Dziani, DAF

Guilbert M, Aunay B, Lachassagne P, et al (2008) Synthèse hydrogéologique du Nord-Est de Mayotte. Caractérisation des masses d'eau souterraine des secteurs de Petite-Terre et de Tsoundzou-Koungou. Rapport BRGM RP-56600-FR

Jaouën T, Vittecoq B, Lions J, Gourcy L (2011) Caractérisation hydrogéologique du potentiel en eaux souterraines de Mayotte - Secteur Nord-Ouest. Rapport d'avancement BRGM/RP-59621-FR

Jaouën T, Vittecoq B, Castillo C, et al (2013) Caractérisation hydrogéologique du potentiel en eau souterraine de Mayotte - Secteurs Centre et Sud. Rapport final BRGM/RP-61757-FR

Jaouën T, Vittecoq B, Lions J, et al (2012) Caractérisation hydrogéologique du potentiel en eau souterraine de Mayotte - Secteur Nord-Ouest. Rapport final BRGM/RP-59550-FR

Lachassagne P, Maréchal JC (2004) Synthèse des concepts et méthodes de l'hydrogéologie des milieux volcaniques appliqués à la prospection géothermique. Rapport BRGM/RP-53135-FR

Lebon D, Lachassagne P (2001) Source Massimoni (commune de Mamoudzou, Mayotte) - Contexte d'émergence, origine de la pollution, vulnérabilité, proposition de solutions. Rapport BRGM RP-50691-FR 2001 SG/MAY 02

Malard A, Winckel A (2008) Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des eaux souterraines, de surface et côtières de Mayotte. Rapport BRGM/RP-56774-FR

Mauroux B (1992) Programme de forages de reconnaissance des eaux souterraines à Mayotte. Rapport BRGM/RR-35165-FR

Nehlig P, Lacquement F, Bernard J, et al (2013) Notice de la carte géologique de Mayotte à 1/30 000. Rapport BRGM RP-61803-FR

Pelleter A-A (2013) L'île de Mayotte, archipel des Comores (France) : caractérisation pétrogéochimique des laves et pétrogenèse des mélilitites à olivine

Pelleter A-A (2012) Etude pétrologique, volcanique et géochimique des formations volcaniques récentes de l'île de Mayotte, archipel des Comores, France. Rapport de Master, Université de Brest

REVOSIMA Bulletin de L'Activité Sismo-Volcanique à Mayotte. Technical Report ISSN: 2680-1205, IPGP/BRGM. Available online at: www.ipgp.fr/revosima

Sanjuan B, Baltassat J-M, Traineau H, Brach M (2008) Estimation du potentiel géothermique de Mayotte : Synthèse élargie des principaux résultats. Rapport final BRGM/RP-56802SYNTH-FR

Serniguet H, Malcuit E, Lions J, et al (2018) Caractérisation des fonds hydrogéochimiques des eaux souterraines et des cours d'eau de Mayotte. Phase 1 : Synthèse et valorisation des données disponibles Définition d'un programme d'échantillonnage. Rapport BRGM/RP-67461-FR

Traineau H, Sanjuan B, Brach M, Audru J-C (2006) Etat des connaissances du potentiel géothermique de Mayotte. Rapport final BRGM/RP-54700-FR

THESES (6)

Cadeau P (2017) Caractérisation des cycles géochimiques dans un analogue potentiel des océans à 2,2 Ga : le lac Dziani Dzaha, Mayotte. Thèse de Doctorat, Université Paris 7 - IPGP

Debeuf D (2004) Etude de l'évolution volcano-structurale et magmatique de Mayotte (Archipel des Comores, Océan Indien). Thèse de doctorat, Université de la Réunion

Eberschweiler C (1986) Etude hydrologique, hydrochimie et géochimie isotopique d'une île volcanique sous climat tropical humide, Mayotte. Thèse de doctorat, Université de Paris Sud, Orsay, France

Jovovic I (2020) Diagenèse précoce et préservation de la matière organique sédimentaire en milieu salé alcalin : cas du Lac Dziani Dzaha (Mayotte). Thèse de Doctorat Université Claude Bernard - Lyon 1

Lapègue J (1999) Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte : La ressource hydrique et l'assainissement pluvial et l'érosion. Thèse de doctorat, Université de la Réunion

Puyraveau R-A (2016) Altération de l'île volcanique de Mayotte (Comores) : approches par géochimie des eaux et isotopie du silicium sur les roches de profils d'altération. Thèse de doctorat de l'Université Aix-Marseille

Centre scientifique et technique
Direction des Géoressources
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 - 45060 Orléans cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr