



Demande de Permis Exclusif de Recherches de Gîtes Géothermiques

Permis « Sud Carbet »

RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

Octobre 2020



Résumé Non Technique des éléments du Mémoire Technique et de la Notice d'Impact
du Permis Exclusif de Recherches « Pointe Sud-Ouest » visant les ressources géothermiques.

DOCUMENT PUBLIC

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION, PRESENTATION DES PORTEURS DE PROJET ET GEOTHERMIE	5
1.1. Introduction	5
1.2. Présentation de Storengy SAS	6
1.3. Présentation de TLS Geothermics	6
1.4. La géothermie	7
2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET ENJEUX	8
2.1. Géographie et implantation du projet	8
2.2. Synthèse des éléments relatifs aux enjeux liés au milieu naturel	10
2.3. Hydrogéologie	11
2.4. Impacts potentiels du projet	12
2.5. Impact sur la ressource en eau	14
2.5.1. Eaux superficielles	14
2.5.2. Eaux souterraines	15
2.6. Incidence sur le contexte réglementaire	15
3. GEOLOGIE DU PER	16
4. LES RESSOURCES GÉOTHERMIQUES ATTENDUES	19
4.1. La cible de la Plaine du Lamentin	19
4.2. Les cibles potentielles sur le flanc du massif du Carbet	21
4.3. Travaux prévus	21

Liste des Figures

Figure 1 : Principe d'une exploitation géothermique en domaine volcanique. Ici production d'électricité en surface au moyen d'une centrale vapeur ou à cycle binaire (Source illustration : BRGM)	7
Figure 2 : Limite géographique du PER sur fonds cartographique IGN 1/25000.....	8
Figure 3 : Localisation des communes concernées par le périmètre du permis et population	9
Figure 4 : Cartographies de synthèse présentant les enjeux principaux sur le territoire	10
Figure 5 : Localisation des principales formations potentiellement aquifères présentes en Martinique.....	11
Figure 6 : Machine de forage installée en 2014 sur le puits d'Arcueil (94)	13
Figure 7 : Carte géologique au 1/50000ème du permis dit " Sud Carbet" d'après les cartes géologiques éditées par le BRGM	16
Figure 8: Localisation des échantillons du Morne Jacob (à gauche), du Complexe du Carbet (à droite) et nouveaux âges K-Ar (Samper et al., 2008)	17
Figure 9: Topographie du PER Sud Carbet (modèle Litto3D 5m) et failles cartées sur la carte géologique 1/50000. Les directions principales observées à l'échelle de la Martinique sont retrouvées.....	18
Figure 10 : Modèles de température le long de coupes NO-SE et NE-SO, et profil de température dans les puits d'exploration de la plaine du Lamentin	20

1. INTRODUCTION, PRESENTATION DES PORTEURS DE PROJET ET GEOTHERMIE

1.1. Introduction

Les pétitionnaires ont la conviction que l'énergie géothermique a un rôle majeur à jouer à l'échelle de la planète dans la lutte contre le changement climatique et dans la transition énergétique. C'est une des seules énergies primaires qui ne dépend à long terme ni de la météo ni du changement climatique. Elle a un rôle important à jouer dans la production électrique des systèmes insulaires lorsque son potentiel est sous-jacent ou avéré.

La géothermie est une source alternative, non-intermittente et renouvelable d'énergie primaire permettant de produire chaleur et électricité. Les procédés de valorisation des fluides géothermiques employés de nos jours (comme les centrales à cycle binaire) ne sont pas émetteurs de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique. De plus, la géothermie électrogène est réputée « bon marché » dans les contextes insulaires tels que ceux de la Guadeloupe (exemple de la centrale de Bouillante) et de la Martinique, par rapport aux énergies primaires fossiles, importées. Le développement de cette énergie dans ces îles permettra de produire localement et durablement de la chaleur, du froid, ou une électricité de manière propre, sûre et moins chère.

L'inventaire des ressources, notamment par les données de flux de chaleur et gradients géothermiques, montre que le potentiel de la géothermie à moyenne (80 – 100°C) et haute température (>150°C) est prometteur en Martinique.

TLS Geothermics et Storengy, souhaitent au travers du Permis Exclusif de Recherches dits « Sud Carbet », explorer et développer les connaissances du sous-sol local afin d'y développer une ou plusieurs centrales géothermiques pour différents usages : la production de froid (usage en climatisation et rafraîchissement de bâtiments tertiaires), de chaleur (séchage ou chauffage spécifique) et la production d'électricité à partir de géothermie. Des besoins de froid importants ont été identifiés, notamment la zone aéroportuaire et sa future extension. Pour ce qui concerne la production électrique, le potentiel du sous-sol doit être caractérisé pour définir plus précisément la puissance d'une installation de production d'électricité à partir de géothermie, les études et prévisions réalisées à ce stade, permettent d'envisager une puissance de 4 à 10 MWe. Afin d'atteindre cet objectif, une phase de complément d'exploration géologique et géophysique est prévue pour identifier ou valider des sites précis pour un forage d'exploration, qui seul pourra qualifier et quantifier la ressource géothermique.

TLS Geothermics et Storengy s'engagent dans la mesure du possible (hors éléments confidentiels), à tenir informés de ses projets les responsables locaux, élus ou personnels territoriaux, et les citoyens qui le désirent. Notre action et nos démarches s'inscriront en accord avec ces parties prenantes. La prise en compte des enjeux de l'environnement naturel et humain est importante pour les pétitionnaires.

La demande de permis s'accompagne d'un Mémoire Technique confidentiel à jour avec un bilan des avancées réalisées ces dernières décennies sur le secteur du PER concernant l'identification de ressources géothermiques.

La demande est aussi accompagnée d'une Notice d'Impact, un document public. **Le présent Résumé Non Technique reprend et résume ce document ainsi que les éléments essentiels des enjeux environnementaux décrits dans la Notice d'Impact.**

1.2. Présentation de Storengy SAS

Storengy hérite de l'activité historique de Gaz de France sur les stockages souterrains de gaz naturel : Storengy, un des leaders mondiaux dans son activité, exploite l'ensemble des titres de concessions de stockage d'ENGIE en France et en Europe.

Storengy est un opérateur historique du sous-sol, expérimenté et reconnu nationalement et internationalement.

Storengy conçoit, construit, développe, exploite et réalise la maintenance des sites de stockages souterrains de gaz naturel depuis plus de 60 ans en France dans des environnements géologiques variés (aquifère, cavités salines, déplété) à plus de 1000 mètres de profondeur dans le sous-sol sur 14 sites.

Storengy est positionnée sur l'ensemble des activités de stockage de gaz naturel et est capable d'intervenir dans chaque phase du process du stockage souterrain de gaz naturel, de l'étude préliminaire et de la qualification de sites potentiels, à la construction, l'opération et le développement des installations de surface. Les équipes de Storengy ont réalisé des études et projets couvrant des technologies et des environnements géologiques très variés.

Pour développer des solutions adaptées aux besoins de demain, les équipes de Storengy sont mobilisées dans le domaine du stockage d'air comprimé, du stockage de gaz naturel de synthèse et aussi dans le domaine de la géothermie.

Fort de son expertise sous-sol, Storengy a étendu son activité vers la géothermie depuis 2012 ; Storengy construit notamment depuis 2018 un réseau de chaleur par géothermie à Bordeaux, codéveloppe une centrale géothermique de production d'électricité en Italie, détient des licences d'exploration au Mexique, codéveloppe un projet de centrale géothermique en Guadeloupe, et codéveloppe avec TLS Geothermics des projets de géothermie profonde en France (Massif Central).

1.3. Présentation de TLS Geothermics

TLS Geothermics est un bureau d'ingénieries géosciences, explorateur et développeur de projets, crée en 2012. La société s'est engagée dans une approche innovante de la géothermie profonde et a noué plusieurs partenariats avec des laboratoires publics et universitaires dans des projets collaboratifs de recherche et développement en géologie et en géophysique.

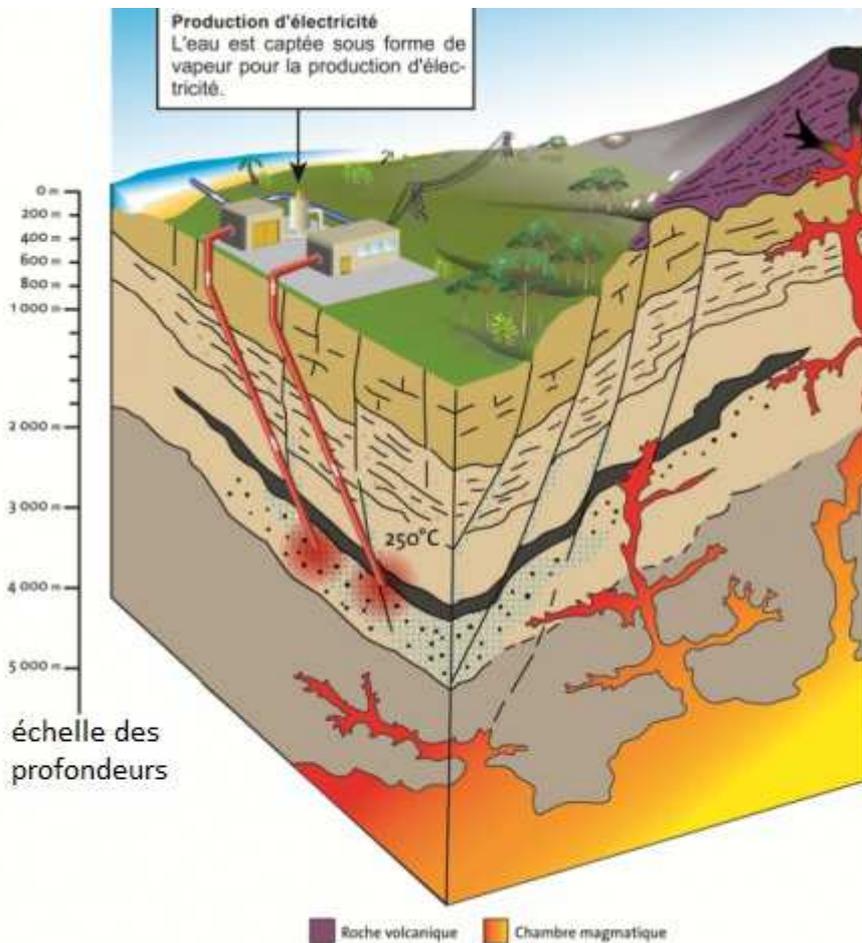
TLS Geothermics est une entreprise innovante en géothermie profonde. Son équipe de 7 personnes est en croissance et met en œuvre des projets d'exploration ainsi que des activités de Recherche & Développement, seuls ou en partenariat. TLS Geothermics met en œuvre sur les terrains des activités d'exploration, de mesures et de modélisation en géologie, géochimie, et géophysiques.

Depuis 2014, TLS Geothermics finance ou a financé 3 thèses, 1 post-doctorat et de nombreux stages de masters et ingénieurs. L'entreprise participe et continue de participer à plusieurs projets collaboratifs avec des universités et instituts (contrats R&D, PIA3, ANR, Geothermica/ADEME).

TLS Geothermics est titulaire de deux Permis Exclusifs de Recherches de Gîtes Géothermiques en France Métropolitaine, et codéveloppe ces projets en partenariat avec Storengy.

1.4. La géothermie

Le principe de l'exploitation géothermique consiste à pomper un certain débit d'eau chaude provenant d'un réservoir plus ou moins profonds (Figure 1). En surface les calories du fluide sont exploitées pour produire de la chaleur, du froid, ou de l'électricité. Un puits pompe l'eau chaude, un second puits réinjecte l'eau refroidie dans son environnement d'origine.



La géothermie de haute énergie

Figure 1 : Principe d'une exploitation géothermique en domaine volcanique. Ici production d'électricité en surface au moyen d'une centrale vapeur ou à cycle binaire (Source illustration : BRGM)

La production de froid, notamment pour des réseaux de froids de climatisation, utilise comme source d'énergie la chaleur géothermale, dans des machines thermodynamiques telles des machines à absorption ou des thermofrigopompes.

2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET ENJEUX

2.1. Géographie et implantation du projet

Le permis se situe dans la collectivité territoriale de Martinique (CTM), le permis inclus les communes de Ducos, Fort-de-France, Le Lamentin, Saint-Joseph et Schoelcher (Figure 2, Figure 3).

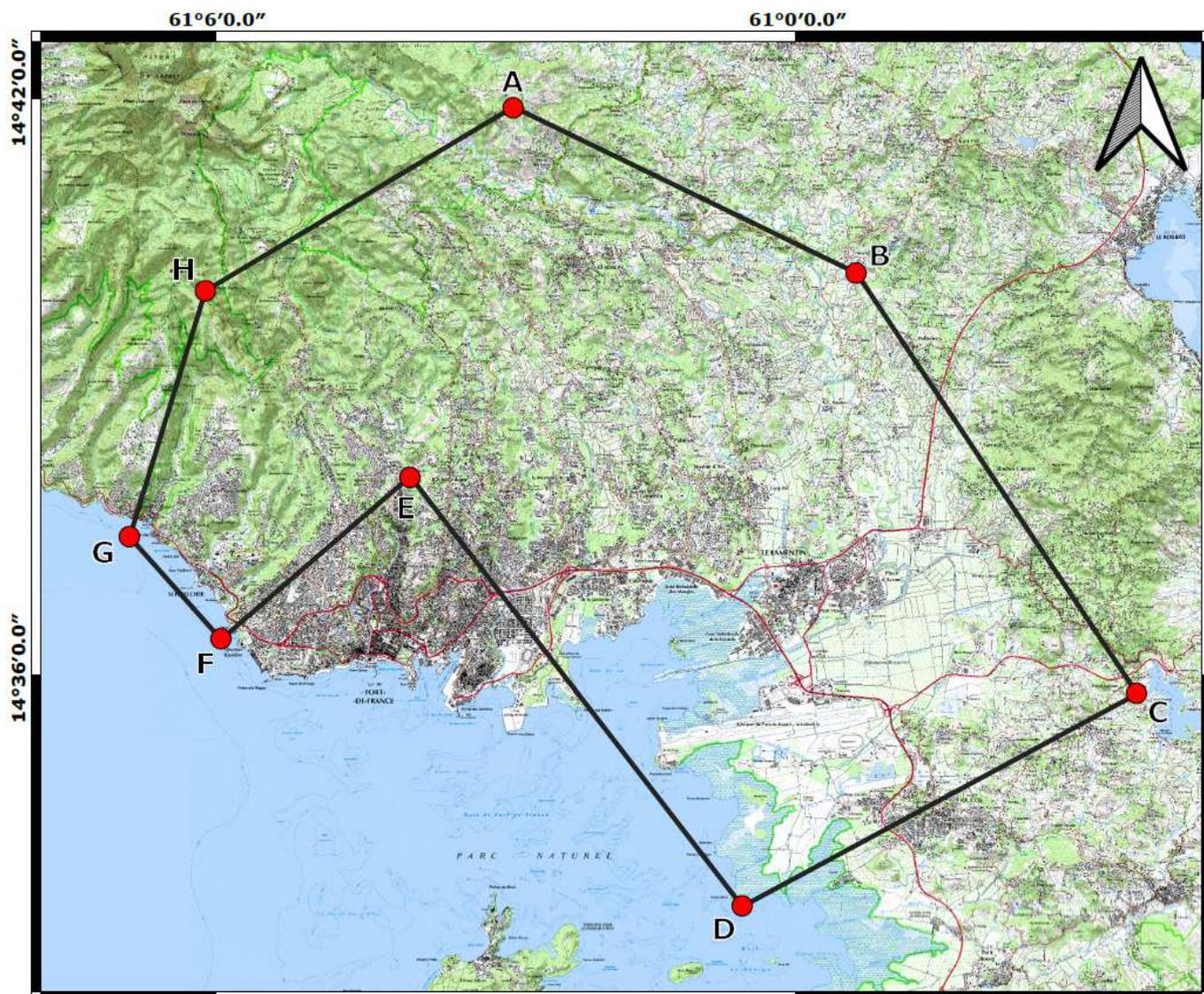


Figure 2 : Limite géographique du PER sur fonds cartographique IGN 1/25000

La surface de l'ensemble de ces communes est de l'ordre de 204 km² au total. Les communes concernées ne sont que partiellement intersectées par le périmètre sollicité, dont la surface s'élève à environ 147 km² et comprend une part du domaine maritime.

Points	WGS84 UTM20N		WGS84	
	X (m)	Y (m)	Latitude N	Longitude O
A	710115	1625900	14°41'55"	61°02'55"
B	716517	1622759	14°40'11"	60°59'22"
C	721797	1614721	14°35'48"	60°56'28"
D	714499	1610567	14°33'35"	61°00'33"
E	708261	1618783	14°38'04"	61°03'59"
F	704778	1615618	14°36'22"	61°05'56"
G	703064	1617571	14°37'26"	61°06'53"
H	704431	1622316	14°40'00"	61°06'06"

Tableau 1 : Coordonnées du périmètre du permis

Les éléments plus précis concernant le climat, la géographie, l'économie, l'occupation des sols, l'histoire, et les sites d'intérêts, le tourisme, les voies de communication, les réseaux électriques, activités agricoles et industrielles, et les installations industrielles identifiées du secteur du Permis sont contenus dans la Notice d'Impact.

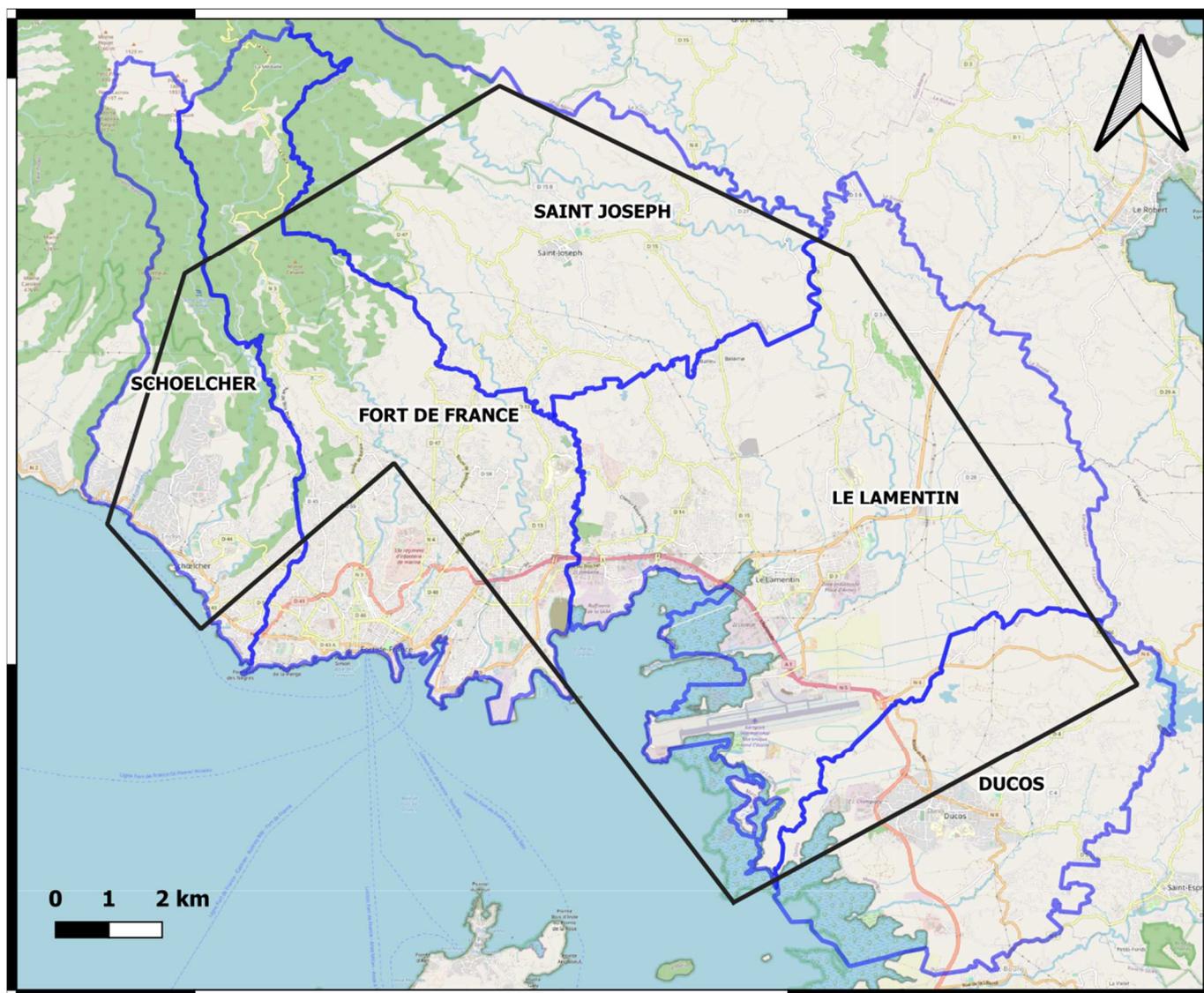


Figure 3 : Localisation des communes concernées par le périmètre du permis et population

2.2. Synthèse des éléments relatifs aux enjeux liés au milieu naturel

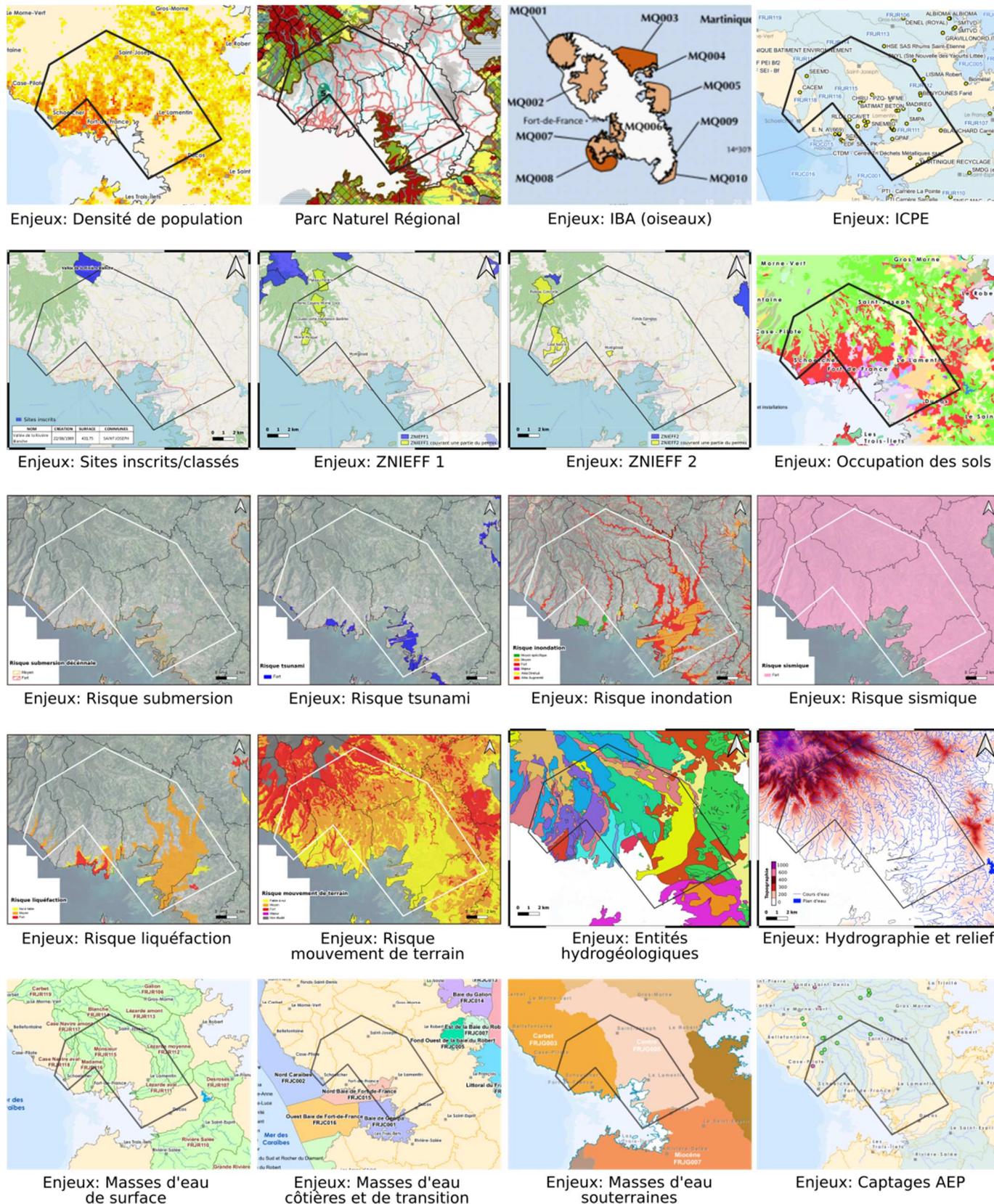


Figure 4 : Cartographies de synthèse présentant les enjeux principaux sur le territoire

Une description et une cartographie sont disponibles dans la Notice d'Impact concernant les principaux enjeux identifiés sur les volets environnementaux et aléas : faune, flore, zones protégées, risques.

La cartographie de synthèse ci-dessous permet une appréhension des enjeux environnementaux du territoire (Znieff, IBO, arrêtés préfectoraux de biotope, ZNIEFF, parc et réserves...).

Il n'y a pas de zones Natura 2000, ni de zones Z.I.C.O. Des ZNIEFF 1 et 2 sont présentes sur une faible superficie du territoire au Nord et au centre. Il n'y a pas de Réserve Naturelle ni parc National. Le Parc Naturel Régional de Martinique couvre la bordure Nord du PER et une partie du littoral de la baie de Fort-de-France. Les aléas inondations, liquéfactions et mouvements de terrain sont présents et l'aléas sismiques est fort. Une partie du territoire mord sur le domaine maritime, lui-même couvert par un parc naturel marin.

Il conviendra donc de prendre en compte tous ces enjeux et risques lors du déploiement des travaux.

2.3. Hydrogéologie

Compte tenu de la nature essentiellement volcanique des terrains qui composent son sous-sol, la Martinique ne présente pas de grands aquifères continus aux limites facilement identifiables, comme ceux des régions où îles à dominante sédimentaire. En effet, bien que le facteur « lithologie » soit déterminant quant aux propriétés hydrauliques d'une formation géologique, la très forte hétérogénéité des séries volcaniques, particulièrement celles mises en place en contexte aérien, ainsi que le rôle important joué par la fracturation contribuent à une très forte variabilité spatiale des propriétés hydrogéologiques. Le relief accusé ainsi que les effets de l'altération accentuent cette variabilité.

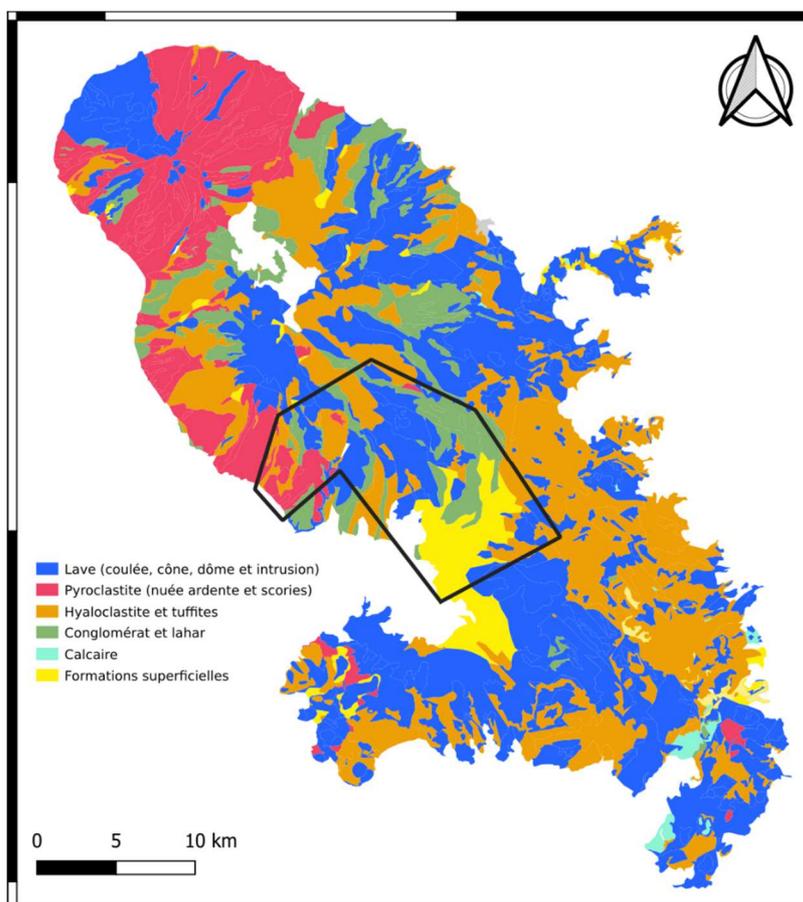


Figure 5 : Localisation des principales formations potentiellement aquifères présentes en Martinique

Une présentation des aquifères, des masses d'eaux de surfaces et souterraines, des systèmes aquifères et de leurs suivis, la qualité écologique et chimique des eaux, ainsi qu'une présentation des documents de planification au regard de l'enjeu de l'eau (SDAGE), sont dans la Notice d'Impact. La compatibilité du projet avec les documents du SDAGE est également étudiée.

Concernant l'état physico-chimique des cours d'eau et des masses d'eau, il est moyen à bon sur le secteur concerné par le PER. Concernant l'état qualitatif des masses d'eau souterraines, il est bon pour la partie Ouest du secteur concerné par le PER mais mauvais pour la partie Est, notamment dans la plaine du Lamentin. L'état quantitatif de ces masses d'eau souterraine est quant à lui bon sur l'ensemble du PER, comme pour toute l'île.

2.4. Impacts potentiels du projet

Un tableau de synthèse des enjeux, impacts et mesures à considérer sur le territoire du permis sollicité figure en annexe 1 de la Notice d'Impact et reprend les thématiques liés aux impacts potentiels du projet.

La première phase du projet d'exploration va consister à des compléments d'études géosciences pour identifier les zones les plus pertinentes pour les travaux de recherche et de prospection. **Ces phases d'investigations géologiques et géophysiques n'ont pas d'impact sur l'environnement** (cf Annexe 1 notice d'impact). Les méthodes employées en acquisitions géophysiques sont des méthodes dites passives qui consiste à enregistrer les signaux naturels puis les traiter informatiquement pour en créer des modèles numériques 3D.

C'est le forage qui a le plus d'impact sur les milieux naturels et humains. Il est cependant très important de préciser que **la présente demande de permis de recherche n'autorise pas les travaux de forages**. En effet, la réalisation de forages nécessite un dossier de demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers dédié (DAOTM), qui comporte une étude d'impact et est soumis à enquête publique. Ce dossier DAOTM (différent de la demande de permis de recherches) fait l'objet d'une instruction administrative dédiée auprès des services préfectoraux. L'autorisation de ces travaux de forages est donnée par le préfet en fin de procédure. **La phase forage interviendra en fin de la période de recherche, à l'issue d'une procédure administrative dédiée, après étude d'impact et consultation du publique avec une instruction menée par les services de la préfecture, soit sur les années 4/5 du planning après l'obtention du permis de recherches au plus tôt.**

Nous décrivons toutefois dans les parties suivantes le principe de réalisation de ces forages en préambule. Les travaux liés au forage s'enchaînent en trois étapes résumées ci-dessous :

- Etape n°1, les travaux de génie civil préparatoires :
 - les plates-formes des puits sont conçues pour recevoir l'ensemble des équipements et permettre la circulation des engins de transport et de manutention par toutes conditions climatiques, ces travaux permettent de préparer le terrain à accueillir la machine de forage et ses modules.
 - La réalisation d'un avant trou de quelques dizaines de mètres est en général effectué pendant cette phase par une entreprise spécialisée et sous le contrôle de STORENGY, c'est une étape nécessaire avant l'installation de l'appareil de forage.
- Etape n°2, le forage: il sera réalisé à l'aide d'une machine de forage (ou rig de forage) qui sera sélectionnée en fonction de la profondeur et de l'architecture du forage.
 - Montage de la machine ;
 - Réalisation du forage : construction de l'ouvrage et réalisation des mesures (diagraphies, tests, prélèvement d'eau, éventuellement carottage) ;
 - Démontage de la machine.
- Etape n°3, les travaux de génie civil de fin de chantier.: pour remettre en conformité la chaussée de la plate-forme.

Le fluide de forage est en général constitué d'un mélange d'eau et de bentonite (argile naturelle) et utilisé en circuit fermé et injecté par une pompe. Il assure la remontée des déblais produits par l'action des dents l'outil de forage. Il contribue au soutien des parois du puits et maintient en place, par pression hydrostatique, les fluides présents dans les terrains perméables.

Le puits est foré par intervalles (ou phases) de diamètres décroissants et concentriques. A la fin de chaque phase, un tubage en acier est mis en place dans le puits puis cimenté à l'extrados si possible jusqu'à la surface. En général, deux ou trois phases de forage sont nécessaires pour atteindre l'objectif fixé.

La machine est constituée de plusieurs modules, l'ensemble est démontable et transportable par la route sur des semi-remorques, d'un site à l'autre, en une cinquantaine de colis de quelques dizaines de tonnes pour les plus lourds. Des grues automotrices sont utilisées pour les opérations de montage et de démontage, et épisodiquement pendant la durée du chantier.



Figure 6 : Machine de forage installée en 2014 sur le puits d'Arcueil (94)

On notera que le forage ne sera réalisé qu'en cas de conclusions positives des études de géosciences et géophysiques préalables.

Le cas échéant, la réalisation du forage sera conditionnée à l'obtention d'une Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers (DAOTM) conformément au **Code Minier**, au **décret n°2006-649 du 2 juin 2006** (art.3, art. 6 notamment), et au **décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, et abrogeant l'annexe intitulée « Titre Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du décret n° 80-331 du 7 mai 1980 portant règlement général des industries extractives** ; c'est une procédure instruite par les services de l'Etat (Préfecture et DEAL). Cette procédure comprend une étude d'impact qui fait partie intégrante du dossier de demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux et d'une étude d'incidence sur la ressource en eau.

Globalement, les opérations de forage sont très strictement encadrées et suivi par les DEAL (police des mines) et les préfetures. Une étude d'impact au titre du code de l'environnement est réalisée avant la demande d'autorisation. Lors de l'instruction de la demande d'autorisation de forage, une enquête publique est mise en œuvre permettant d'entendre et prendre en compte les questions des citoyens autour du projet.

Une étude des impacts sur le **milieu physique** (biens et patrimoine culturel, règlementations, implantation), le **milieu naturel** (paysage, écosystèmes, sols, circulation, air et climat), le **milieu humain** (bruit, circulation et flux, traitements, économie locale), et les **autres milieu et usages** (microsismicité, radioactivité naturelle) est faites dans la Notice d'Impact. Un volet d'étude des risques vis-à-vis de la santé humaine est également dans ce document.

2.5. Impact sur la ressource en eau

Les études amont, investigations géologiques et géophysiques n'ont pas d'impact sur l'environnement.

Les incidences des forages seront approfondies et développées dans le cadre d'une demande d'autorisation de travaux de forages et d'une étude d'impact dédiés.

L'Annexe 1 de la Notice d'Impact donne certaines orientations de mesures d'évitement, réduction et compensation (ERC).

Les Plans de Prévention des Risques (inondation, mouvements de terrain, technologique) seront pris en compte dans l'élaboration des dossiers de demande d'ouverture de travaux miniers par forage et dans l'application des mesures ERC.

Les travaux seront localisés en dehors des périmètres de protection immédiate et rapprochée des captages et les prescriptions de périmètres de protection éloignés seront suivies.

2.5.1. Eaux superficielles

Les études amont, investigations géologiques et géophysiques n'ont pas d'impact sur l'environnement.

Les incidences des forages seront approfondies et développées dans le cadre d'une demande d'autorisation de travaux de forages et d'une étude d'impact dédiés.

Ci-dessous les thématiques abordés dans les dossiers de demande d'autorisation de travaux de forage :

Identification des effluents bruts

Pendant la phase de forage, les effluents suivants peuvent présenter un risque pour l'environnement, notamment en cas de déversement accidentel :

- ✓ les boues de forage,
- ✓ les déblais de forage ou cuttings des terrains traversés entraînés par la boue utilisée,
- ✓ les eaux de lavage de l'appareil de forage,
- ✓ les carburants ou lubrifiants utilisés pour le fonctionnement des moteurs thermiques,
- ✓ les effluents des installations sanitaires,
- ✓ les eaux pluviales ayant transité sur les aires techniques.

Mesures prises pour la protection des eaux superficielles (évitement et réduction)

En phase de forage, les précautions suivantes seront prises :

- ✓ En cours de forage, les eaux issues de l'activité de forage seront recyclées en circuit fermé et donc isolées des eaux de surface. En fin de chantier, les eaux de forage restantes seront envoyées dans des unités de traitement spécialisées.
- ✓ Les phases de forage seront réalisées avec une boue à base d'eau.
- ✓ Les déblais de forage sont récoltés dans une benne étanche au départ du tamis vibrant et d'une centrifugeuse à l'aide d'une bande transporteuse.
- ✓ Les effluents liquides ou solides seront acheminés vers des filières de traitement adaptées.
- ✓ Les toilettes du chantier seront équipées d'une fosse étanche et vidangée périodiquement.

2.5.2. Eaux souterraines

Les études amont, investigations géologiques et géophysiques n'ont pas d'impact sur l'environnement.

Les incidences des forages seront approfondies et développées dans le cadre d'une demande d'autorisation de travaux de forages et d'une étude d'impact dédiés.

Ci-dessous les thématiques abordés dans les dossiers de demande d'autorisation de travaux de forage :

Identification des risques éventuels

Le territoire du permis fait l'objet d'un certain nombre de forages pour l'alimentation en eau potable. Les incidences potentielles des opérations d'un forage d'exploration sur la qualité des eaux souterraines sont les suivantes :

- ✓ Contamination par la boue de forage,
- ✓ Mise en communication des aquifères sensibles avec la surface,
- ✓ Mise en communication des aquifères sensibles avec l'intérieur du puits par percement des cuvelages (contamination par cheminement d'eau salée ou autre).

Mesures prises pour la protection des eaux souterraines (éviter et réduire)

En premier lieu, on soulignera qu'aucuns travaux ne seront effectués au sein des périmètres de protection rapprochés des captages destinés à l'Alimentation en Eau Potable.

La composition de la boue respectera les normes en vigueur.

Au cours du forage, la protection des nappes d'eaux souterraines sera assurée par la pose successive de cuvelages cimentés, empêchant toute communication entre les couches rencontrées au cours du forage et l'intérieur du puits. De plus, le métal des tubages sera spécifiquement sélectionné de manière à offrir la protection anticorrosion la plus adaptée aux aquifères traversés.

Lors de l'abandon éventuel du puits, les bouchons de ciment seront mis en place à des cotes permettant d'assurer l'isolement des différents aquifères traversés. Le programme de bouchage sera préalablement soumis à l'approbation de la DEAL.

Enfin, les Plans de Prévention des Risques (inondation, mouvements de terrain, technologique) seront pris en compte dans l'élaboration des dossiers de demande d'ouverture de travaux miniers par forage et dans l'application des mesures ERC.

2.6. Incidence sur le contexte réglementaire

La Notice d'Impact présente les documents du SDAGE Martinique 2016-2021. Il comporte 4 orientations fondamentales qui incluent chacune plusieurs thématiques qui seront pris en compte dans le cadre de ce projet. Un tableau présente les mesures qui seront adoptées pour répondre à ces objectifs.

Un tableau présente quant à lui la compatibilité du projet avec le SDAGE.

3. GEOLOGIE DU PER

La géologie du PER « Sud Carbet » est composée de roches volcaniques dans sa partie Nord et de formations sédimentaires de mangrove et de colluvion dans sa partie Sud. Le coin SE du PER est composé de hyaloclastites appartenant à l'arc intermédiaire qui constituent probablement le socle de la plaine sédimentaire du Lamentin. Au Nord du PER, on trouve les roches volcaniques de l'édifice du Carbet appartenant à l'arc récent. Ces formations volcaniques à dominante andésitique sont de type très variés puisqu'on trouve des hyaloclastites, des coulées, des ponces et des dépôts volcano-sédimentaires d'avalanche de débris ou de tuffites. L'ensemble du PER est affecté par des structures correspondant aux deux directions principales NE-SO et NO-SE observées à l'échelle de la Martinique.

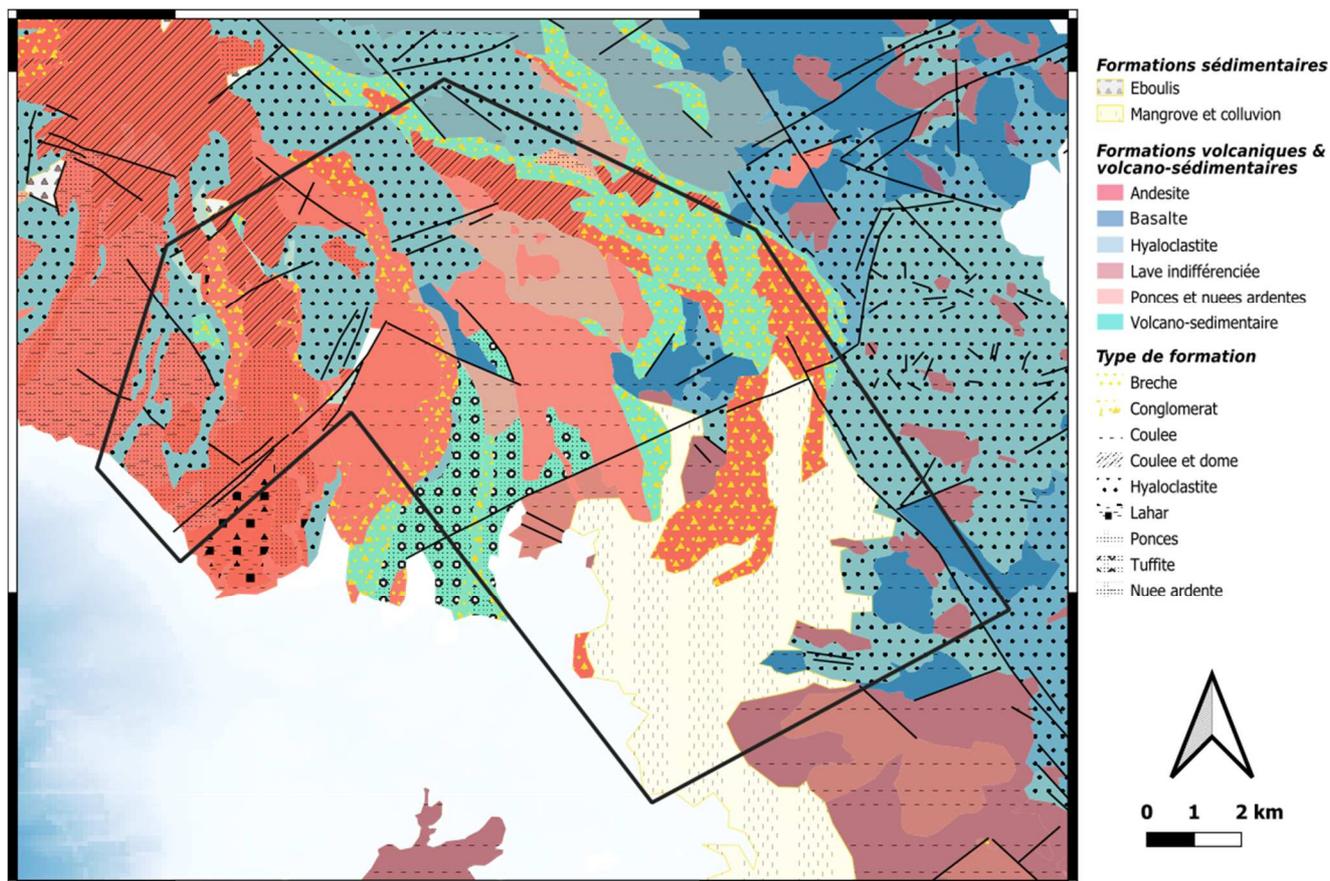


Figure 7 : Carte géologique au 1/50000ème du permis dit " Sud Carbet" d'après les cartes géologiques éditées par le BRGM

Volcanisme de l'arc intermédiaire : complexe Vauclin-Pitault

La chaîne sous-marine Vauclin-Pitault est en grande partie constituée de hyaloclastites, un matériel très fragmenté et facilement altéré par les fluides. Cette chaîne est le seul endroit de l'arc des Petites Antilles où affleurent des terrains du Miocène Inférieur. Les rares affleurements de laves massives disponibles montrent des laves sous la forme de coulées prismées, souvent débitées en lauzes.

Volcanisme de l'arc récent :

- **Complexe du Morne Jacob :** Le Morne Jacob est le point culminant du complexe volcanique constituant le centre de la Martinique et la partie Nord du PER. La morphologie des pentes de l'édifice ainsi que la nature des laves permettent de considérer le complexe du Morne Jacob comme un volcan bouclier. Les coulées basales prismées, plus ou moins altérées en périphérie et au centre du complexe à la faveur de l'érosion en fond de vallées. D'épaisses coulées de lave massive, prismées, recouvrent les épanchements de basaltes à olivine dans les secteurs de Sainte Marie, Gros Morne, et Piton Laroche.

▪ **Complexe du Carbet** : Le Complexe du Carbet occupe la partie Nord du PER Sud Carbet. Il forme un vaste massif volcanique dans la partie centrale de la Martinique et est constitué d'un ensemble de dômes/intrusion, produits pyroclastiques, coulées de laves et dépôts d'avalanche de débris reposant essentiellement sur les formations du Morne Jacob.

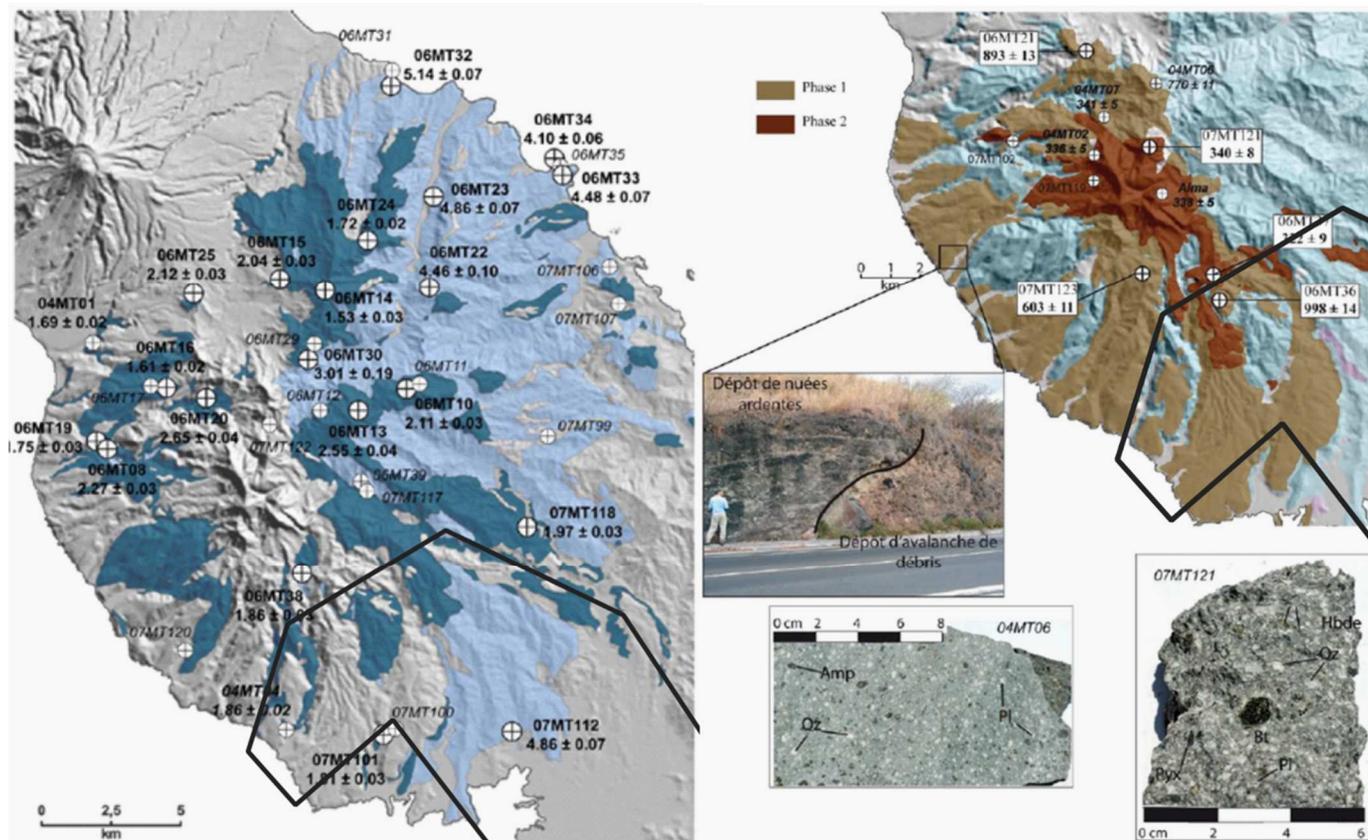


Figure 8: Localisation des échantillons du Morne Jacob (à gauche), du Complexe du Carbet (à droite) et nouveaux âges K-Ar (Samper et al., 2008)

Formations sédimentaires du Lamentin :

Le fossé du Lamentin se situe à la confluence de différents massifs volcaniques d'âges variés appartenant à l'arc intermédiaire et à l'arc récent. Il couvre une surface d'environ 100 km² constituée de la zone alluviale de la Rivière Lézarde et de zones marécageuses. Il est admis que la région du Lamentin correspond à une zone majeure d'effondrement limitée par des accidents importants mais dont l'expression de surface n'est pas clairement reconnue. Les niveaux sédimentaires de la Plaine du Lamentin se limitent à des alluvions de la Rivière Lézarde et à des zones de marécages et de mangrove. Leur épaisseur est relativement faible et les différents puits d'exploration géothermique réalisés (détaillés plus loin) traversent rapidement des formations volcano-sédimentaires détritiques issues du démantèlement et de l'érosion des édifices entourant la baie du Lamentin. Ces formations reposent sur des formations volcaniques, composées essentiellement de hyaloclastites Miocène de la chaîne Vauclin-Pitault ainsi que de laves massives et d'un ensemble d'intrusions de type dyke et sills.

Les structures tectoniques et volcaniques

Les directions principales de failles observées sur le PER Sud Carbet sont sensiblement les mêmes que les directions majeures à l'échelle de la Martinique. En effet, on retrouve les deux directions N055-070° et N130-150° (Figure 9).

La direction NO-SE est bien marquée, notamment dans la topographie (Figure 9) à l'Est de la Plaine du Lamentin par la faille du Morne Pitault et dans le Complexe du Carbet par la faille du Piton du Carbet. Ces deux failles sont constituées d'un réseau de structures subparallèles et ont probablement toutes deux un jeu normal. Il est possible que ces deux réseaux soient en continuité et soient toujours actifs, comme le montre la sismicité.

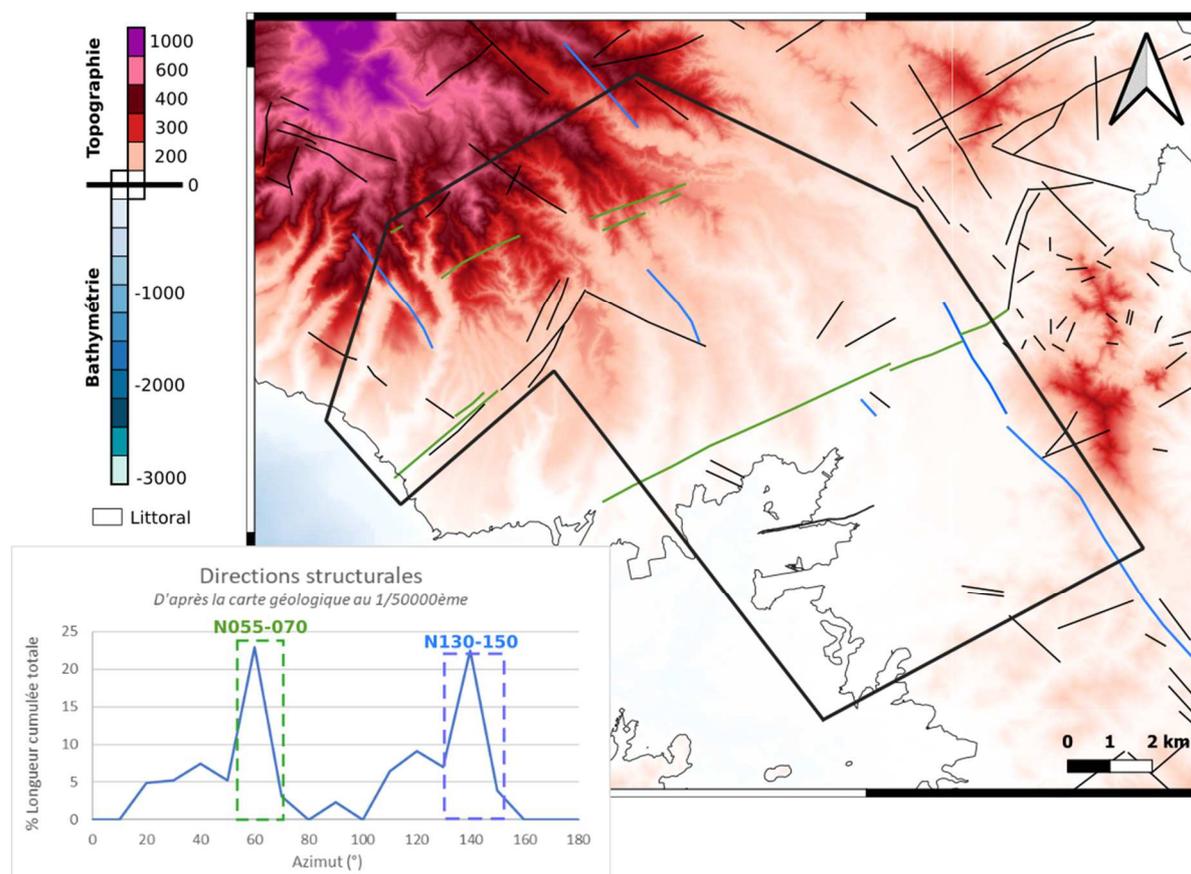


Figure 9: Topographie du PER Sud Carbet (modèle Litto3D 5m) et failles cartées sur la carte géologique 1/50000. Les directions principales observées à l'échelle de la Martinique sont retrouvées.

Un des apports majeurs des forages d'exploration dans le Lamentin concerne la reconnaissance de la fracturation en profondeur dans le substratum volcanique grâce à plusieurs carottages (Sanjuan et al., 2002). Malheureusement, ces derniers ne sont pas orientés et ne permettent donc pas de connaître exactement l'orientation de la fracturation tectonique. Cependant, la distribution des failles dans l'environnement, le contexte tectonique général ainsi que l'alignement de sources hydrothermales en surface conduisent à estimer que la direction principale est orientée NO-SE à N-S et que la direction secondaire est orientée NE-SO. Cette fracturation affecte les laves massives ou bréchifiées et les formations volcano-sédimentaires détritiques avec des fractures d'épaisseur variable (jusqu'à centimétrique) s'organisant parfois en zone de faille d'extension jusqu'à pluri-décamétrique.

Dans le Complexe du Carbet (hors du PER au Nord), la fracturation est aussi bien présente (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les familles directionnelles NO-SE et NNE-SSO observées à l'échelle de la Martinique et dans le Lamentin sont bien retrouvées. Il est difficile de mettre en évidence des structures majeures puisqu'on observe essentiellement une fracturation diffuse. Cette fracturation est le reflet de la fracturation développée en profondeur dans le substratum des Pitons du Carbet. Elle est susceptible de contrôler les circulations de fluides hydrothermaux.

4. LES RESSOURCES GÉOTHERMIQUES ATTENDUES

Au vu de l'ensemble des données présentées précédemment, plusieurs cibles peuvent être envisagées sur le PER Sud Carbet pour des utilisations différentes : production d'électricité ou de chaleur/froid. La cible la mieux connue est aujourd'hui celle de la plaine du Lamentin où l'exploration géothermique a été relativement active avec notamment des forages. Cette exploration a permis d'identifier une ressource géothermique moyenne température assez bien contrainte par une structure orientée NNO-SSE et bien limitée au Sud et à l'Est. Cette ressource est située à faible profondeur (< 1000m) et pourrait être exploitée pour la production de chaleur et/ou de froid. Il conviendra cependant de contraindre au mieux les structures perméables pour optimiser la géométrie des puits d'exploration ou d'exploitation. Les conditions de recharge du système ainsi que les circulations de fluides devront aussi être évaluées pour estimer la durabilité de la ressource en fonction des besoins de l'exploitation.

L'extension vers l'Ouest et vers le Nord de cette ressource est mal connue. En effet, le manque d'informations profondes limite la compréhension du système du Lamentin, qui pourrait pourtant être relié à un système plus important et plus haute température, enraciné sous les Pitons du Carbet. Un retraitement des données existantes et de possibles nouvelles acquisitions devront permettre de construire des modèles géophysiques et géologiques communs à la zone du Carbet et à celle du Lamentin pour en évaluer le potentiel à grande échelle.

Le potentiel haute température pour la production d'électricité dans la zone des Pitons du Carbet (Nord du PER) a été estimé faible par les résultats d'exploration (géochimie, géophysique, géologie) menés par le BRGM. Ce potentiel peut toutefois être ré-évalué grâce aux méthodes développées par TLS Geothermics et en considérant des forages potentiellement plus profonds (> 2km). Un intérêt particulier sera apporté aux structures recoupant le massif du Carbet (failles, cicatrice d'effondrement), notamment dans l'axe de la structure reconnue active et ouverte aux circulations géothermiques dans la plaine du Lamentin. En effet, ces structures sont à même de permettre la circulation de fluide géothermique à de grandes profondeurs malgré la mauvaise perméabilité des roches encaissantes (coulées, lahars, ponces, ...).

4.1. La cible de la Plaine du Lamentin

La zone de la plaine du Lamentin bénéficie des meilleures connaissances du PER Sud Carbet, notamment à travers plusieurs forages d'exploration. Elle montre une convergence d'indices géologiques, hydrogéologiques, géochimiques et géophysiques indiquant l'existence probable d'un système géothermal de circulations à moyenne température.

Ce système a d'abord été suggéré par la présence de plusieurs sources hydrothermales dont les caractéristiques géochimiques montrent des interactions fluide-roche à moyenne température (90-130°C selon les géothermomètres) dans un réservoir alimenté par l'eau de mer et l'eau météorique. La présence d'altérations hydrothermales fossiles et actuelles en surface et dans les forages d'exploration semblent indiquer que le système moyenne température actuel se superpose sur un système haute température fossile. Ce dernier est possiblement lié à l'activité magmatique des Pitons du Carbet et à l'épisode hydrothermal fossile associé. Les anomalies géophysiques, notamment MT, semblent indiquer des niveaux conducteurs correspondant à des altérations argileuses et/ou à des fluides en circulation le long d'un axe NNO-SSE, cohérent avec l'alignement de sources en surface et les structures géologiques identifiées. Le système semble bien limité au Sud et à l'Est (Figure 10) mais son extension et son enracinement ne sont pas claires vers le Nord et l'Ouest, notamment à cause des questions à propos de la faille du Lamentin.

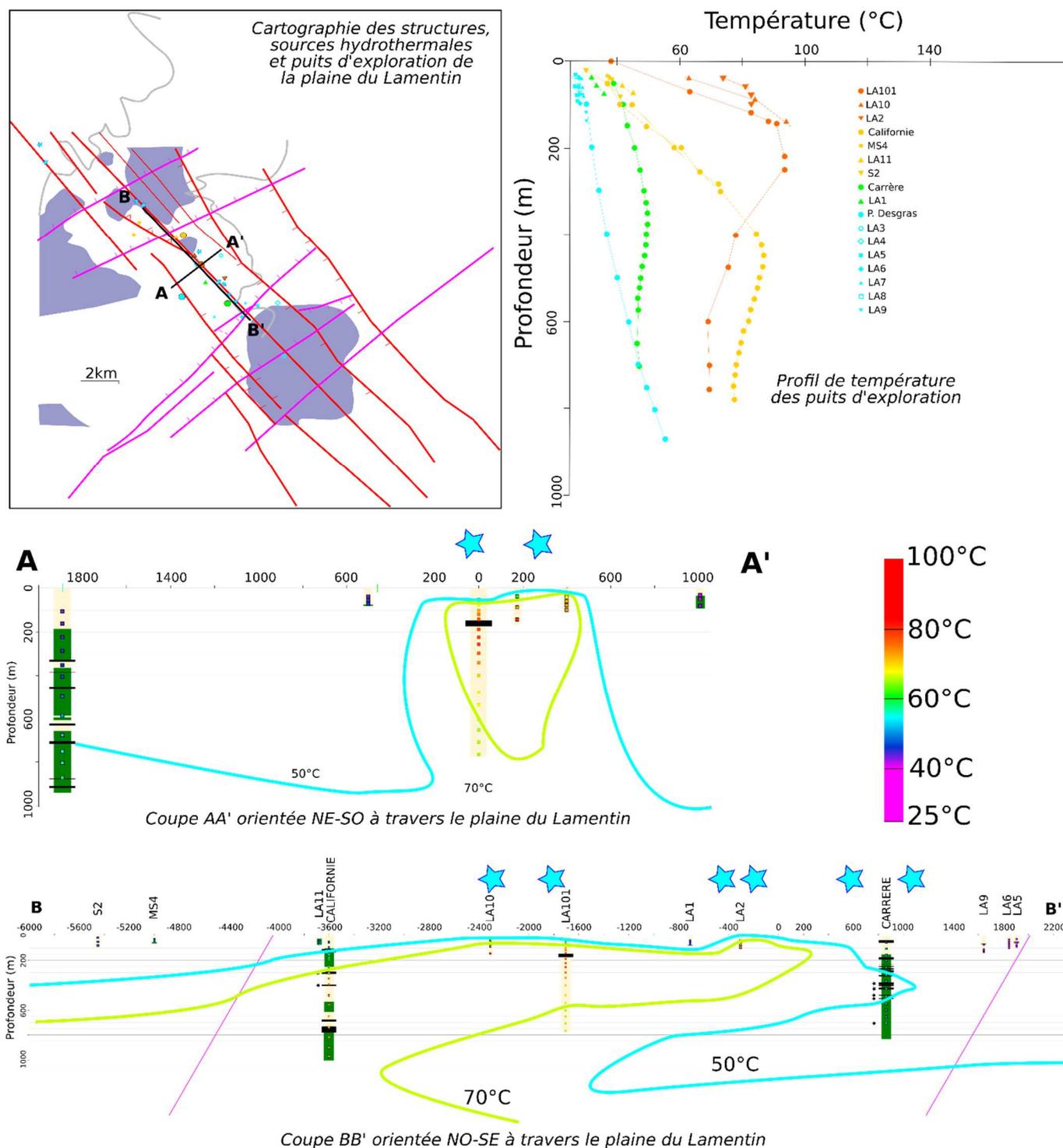


Figure 10 : Modèles de température le long de coupes NO-SE et NE-SO, et profil de température dans les puits d'exploration de la plaine du Lamentin

La ressource moyenne température est bien identifiée par les puits d'exploration mais la dynamique de circulation des fluides est mal connue. Des études complémentaires semblent nécessaires pour définir au mieux la dimension de la ressource par rapport aux potentiels besoins ainsi que pour cibler au mieux les zones les plus perméables en vue de nouveaux forages. De plus, la compréhension globale du système est très limitée puisque aucune donnée ne permet d'imager le système à l'échelle régionale, à grande profondeur et vers l'Ouest sous la baie du Lamentin. Cette étude complémentaire devra être menée en cohérence avec une réévaluation du potentiel géothermique (haute et moyenne température) des Pitons du Carbet et notamment de leurs flancs Sud.

4.2. Les cibles potentielles sur le flanc du massif du Carbet

Le PER Sud Carbet n'est pas seulement focalisé sur la zone très explorée du Lamentin car le potentiel géothermique du reste du secteur est aussi intéressant. D'après le BRGM, cette zone ne présente pas d'indices d'existence d'un réservoir géothermique de haute température actif. Le modèle conceptuel de système géothermique est cependant peut-être à revoir pour s'affranchir du système volcanique « classique » constitué d'un réservoir et d'un *caprock* conducteur. Avec un nouveau modèle conceptuel basé sur les structures majeures recoupant le massif du Carbet, de potentielles ressources géothermiques haute température pourraient être identifiées au Sud du massif à des profondeurs supérieures à 2km. L'intérêt particulier porté aux structures est inspiré de l'observation des circulations actives dans la plaine du Lamentin, sans *caprock* évident (imagé ou foré), et fortement contrainte par une structure tectonique orientée NNO-SSE. On notera aussi la tendance des anomalies géophysiques à s'orienter selon cette direction.

La zone correspondante dans le PER Sud Carbet est située entre les deux zones du Lamentin et du Carbet, imagées par la géophysique par le BRGM. La construction de nouveaux modèles géophysiques à partir des données existantes et de données complémentaires paraît primordiale pour appréhender le potentiel géothermique de cette zone. Elle servira aussi à contraindre l'enracinement profond du système de circulation géothermique de la plaine du Lamentin. A noter que si les sources du Lamentin et les sources de la zone du Carbet (Didier, Absalon, Moutte) présentent des comportements géochimiques différents, ceux-ci ne sont pas incompatibles avec un système géothermique unique. Ces sources sont de plus localisées dans le même alignement NNO-SSE.

Malgré des caractéristiques géologiques, géochimiques et géophysiques moins favorables que les Anses d'Arlet ou la Montagne Pelée, la partie Nord du PER Sud Carbet a un potentiel géothermique haute et/ou moyenne température intéressant. L'exploration de cette zone permettra en plus de mieux comprendre le système géothermique du Lamentin, qui n'est peut-être qu'une extension du système du Carbet.

4.3. Travaux prévus

De nombreux travaux ont été menés par le BRGM depuis plus de 15 ans en Martinique (nombreux rapports), notamment dans le secteur du PER « Sud Carbet ». Cependant, les recherches doivent être complétées pour envisager précisément une zone pour un forage d'exploration et de qualification de la ressource notamment sur la cible de la Plaine du Lamentin. Les autres cibles feront aussi l'objet de recherches.

La prospection géothermique se déroulera en quatre temps : après (1) la réalisation d'une synthèse des données et des connaissances disponibles, des (2) campagnes complémentaires géologiques, géophysiques et géochimiques de terrain viseront à compléter le socle de données et de connaissances et (3) permettra de réaliser de nouveaux modèles géologiques et géophysiques 3D à différentes échelles sur le permis, puis de définir l'emplacement et réaliser (4) un forage d'exploration pour valider le potentiel géothermique de la zone la plus prometteuse.

Les campagnes d'acquisitions de données géophysiques (gravimétrie, bruits sismiques, micro-sismicité naturelle, et magnétotellurisme) confrontées aux modèles géologiques 3D antérieurs (BRGM) permettront d'imager le sous-sol grâce à des méthodes d'inversions conjointes 3D, qui ont été développées notamment par TLS Geothermics les années passées.

Le modèle géologique haute résolution résultant de ces modélisations conjointes servira de support le plus adapté pour implanter au mieux un forage.