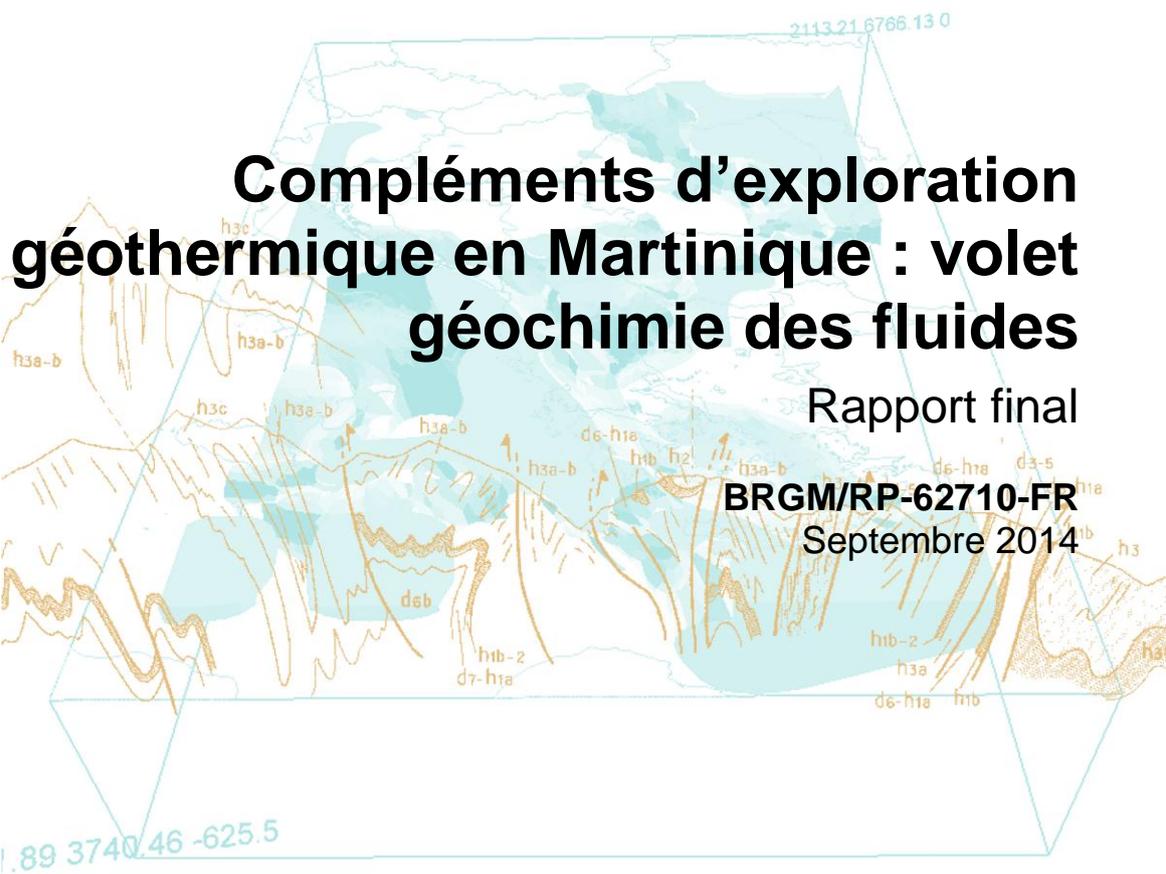


DOCUMENT PUBLIC



# Compléments d'exploration géothermique en Martinique : volet géochimie des fluides

Rapport final

BRGM/RP-62710-FR

Septembre 2014



Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**



# Compléments d'exploration géothermique en Martinique : volet hydrogéochimie

Rapport final

**BRGM/RP -62710-FR**  
septembre 2014

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM

**A Galaria, S. Rad, A.L. Taïlamé**

Avec la collaboration de

**C. Innocent, K. Rivé, G. Braibant, F. Koch, M. Brach**

**Vérificateur :**  
Nom : B. Sanjuan  
Date :  
Signature :  


**Approbateur :**  
Nom : J.C. Audru  
Date :  
Signature :  


En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,  
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

**Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.**

**Mots-clés** : Hydrogéochimie, Géothermométrie, Géochimie isotopique, Fluide géothermal, Composante magmatique.

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

**Gadalia A., Rad S., Tailame A.L.** (2013) – Compléments d'exploration géothermique : volet hydrogéochimie. Rapport final. BRGM/RP-62710-FR, 189 p., 44 fig., 7 tabl., 7 ann., 1 CD.

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Ce rapport s'intègre dans les compléments d'exploration géothermique, financés par le FEDER, le BRGM, l'ADEME, la Région Martinique et le Syndicat Mixte d'Électricité de Martinique. Il poursuit et complète un rapport d'avancement (Rad *et al.*, 2013) qui présentait les méthodes géochimiques utilisées, la géolocalisation et les analyses des échantillons d'eau et de gaz recueillis dans cette étude. Les analyses des études précédentes concernant les eaux souterraines des secteurs explorés sont complétées et intégrées dans les traitements et interprétations proposés dans ce rapport.

Les quatre secteurs étudiés (Montagne Pelée, Anses d'Arlet, Pitons du Carbet et Lamentin) ont fait l'objet d'études tendant chacune vers un modèle hydrogéochimique, partie du modèle conceptuel géothermique (ou de circulation des eaux thermales). À la différence des trois autres, cependant, le secteur du Lamentin n'a pas fait l'objet d'exploration de terrain lors de ce projet, et seules les données des études précédentes ont été prises en compte.

### Montagne Pelée

Sur la base de l'analyse des fluides de la Montagne Pelée, l'étude géochimique a montré que :

- deux réservoirs géothermaux distincts principaux peuvent être identifiés : l'un (155-180 °C) alimentant les sources des rivières Mitan et Picodo ; l'autre, présentant des caractéristiques de plus haute température (180-200 °C), alimentant les sources de la rivière Chaude ;
- dans le cas des sources de rivière Chaude, on suppose qu'un auto-colmatage en profondeur provoque une diminution de la composante profonde et de la température d'émergence depuis que ces sources sont suivies ;
- l'analyse des isotopes stables de l'eau montre que l'ensemble des eaux souterraines se situent entre les droites des eaux météoriques mondiale et locale (antillaise) ; ce qui conduit à envisager des réservoirs ayant un rapport eau / roche élevé ou une circulation des eaux en profondeur assez rapide pour ne pas atteindre un équilibre isotopique entre les eaux et les roches ;
- d'autres sources, à proximité du conduit central du volcan présentent une composante témoignant d'une interaction eau-roche à haute température mais d'un niveau plus faible que celui des sources de la rivière Chaude ; il existerait donc des réservoirs intermédiaires ; cela peut confirmer que ce système géothermal, périodiquement perturbé par des éruptions, n'est ni unifié, ni stabilisé ;
- un appauvrissement relatif en isotope lourd de l'oxygène ( $^{18}\text{O}$ ) des sources chaudes de la haute rivière Claire, de la rivière Chaude et de la haute Grande Rivière peut traduire l'influence du  $\text{CO}_2$  et un équilibre eau-gaz magmatique ; cela conforte l'hypothèse de pôles géothermaux au niveau d'au moins une partie des sources de la périphérie du dôme ;
- par contre, aucune trace chimique ou isotopique d'une composante ayant interagi à haute température avec les roches et les gaz et interprétable comme fuite géothermale, n'a été détectée dans les eaux des rivières drainant les flancs est et nord du massif ;
- les sources chaudes du littoral (y compris sous-marines) s'expliquent par l'écoulement sub-superficiel latéral depuis les sources de la rivière Chaude.

### **Les Anses d'Arlet**

Dans le secteur des Anses d'Arlet, les analyses de fluides montrent que :

- la source des eaux Ferrées porte dans sa composition chimique et isotopique la signature d'une forte interaction avec les roches magmatique (rapport eau-roche très faible et/ou sur une longue durée) à haute température (190-210 °C) ;
- l'analyse des gaz émis confirme l'existence d'une contribution magmatique ;
- le fluide géothermal résulte d'un mélange entre un pôle profond, une composante d'eau de mer (estimée à moins de 50 %) et une composante magmatique (notamment issue des gaz) ;
- les sources voisines des Eaux Ferrées et dans l'emprise de l'ancien système hydrothermal, ne révèlent aucun lien de mélange avec les Eaux Ferrées et aucune d'entre elles ne porte la trace d'interaction à haute température, ni de contribution de gaz magmatique.

### **Les Pitons du Carbet**

Les eaux souterraines des Pitons du Carbet peuvent être décomposées en deux catégories : celles dont la composition les rapproche des sources de Didier et Absalon, plutôt situées dans le centre du massif des Pitons, et celles voisines de Moutte, vers le littoral sud des Pitons du Carbet.

Le système hydrothermal des Pitons du Carbet est donc constitué par des eaux dont les aires de recharge diffèrent, interagissant avec les roches encaissantes, sous des pressions de CO<sub>2</sub> plus ou moins fortes, à moyenne température (90-140°C) en profondeur. Une faible (de 0,1 à 1,2 %) composante d'eau de mer se mêle aux eaux météoriques avant qu'elles n'interagissent avec la roche et n'est plus détectable que par certains isotopes. Sur la bande littorale, au Sud des Pitons, ce système se trouve modifié par un mélange plus prononcé avec l'eau de mer et, sauf exception, une moindre contribution du CO<sub>2</sub>.

L'aire de répartition de ces eaux souterraines ne permet pas de définir s'il s'agit d'un réservoir unique ou de plusieurs appendices d'un système de circulation évoluant dans des conditions voisines.

### **Plaine du Lamentin**

En dehors des eaux sub-superficielles (nappe alluviale de la Lézarde), deux types d'eaux souterraines peuvent être identifiées sur le plan géochimique : (i) les eaux des sources et puits froids (nappe du Lamentin) et (ii) les eaux thermales de sources et forages (d'exploration ou de gradient).

Les eaux froides se rattachent de par leur composition chimique et isotopique au groupe des eaux minérales du groupe de Moutte. Elles sont légèrement plus froides, plus diluées et plus bicarbonatées (en relation avec la pCO<sub>2</sub> plus élevée des formations de la Plaine du Lamentin) que les eaux de Moutte mais leurs caractéristiques restent les mêmes : moins de 0,3 % d'eau de mer, des signatures isotopiques mixtes entre eaux d'origine météorique, eau d'origine marine et eau marquée par l'interaction avec la roche et le gaz magmatique, une température d'équilibre en profondeur comprise entre 85 et 110 °C.

Les eaux thermales des sources et des forages (de gradient et d'exploration géothermique) forment un même ensemble bien distinct du précédent par la température (> 35 °C), la minéralisation (autour de 12 g/l), le pH (< 6,5) et un dégazage systématique de gaz carbonique.

Les eaux prélevées juste après la réalisation des forages sont issues d'un mélange alliant le fluide géothermal du Lamentin (commun aux sources chaudes) à une eau utilisée pour la foration.

Le modèle hydrogéochimique suppose deux processus :

- les eaux thermales du Lamentin (sources et forages) résultent d'un mélange entre une composante marine (30-35 %) et un pôle d'eau d'origine météorique issu des Pitons du Carbet ; la température d'interaction eau-roche se situe entre 85 et 140 °C ;
- le fluide géothermal est, en outre, marqué par l'interaction avec (i) les minéraux d'altération (argiles,...) et dépôts (silice,...) hydrothermaux d'épisodes géothermaux précédents et (ii) les gaz d'origine magmatique (CO<sub>2</sub>, hélium).

Le temps de transit, la localisation du réservoir géothermal et de sa source de chaleur restent à préciser.



# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Montagne Pelée .....</b>	<b>15</b>
2.1. OBJET DE L'ÉTUDE.....	15
2.2. RÔLES DU CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE .....	15
2.3. CARACTÉRISTIQUES ET ORIGINE DES EAUX .....	15
2.3.1. Sources thermales de la rivière Chaude .....	16
2.3.2. Eaux thermales des sources et forages du littoral SO et sources sous-marines ..	22
2.3.3. Eaux thermales des sources de la rivière Picodo et de la rivière Mitan .....	23
2.3.4. Sources de la haute rivière Claire .....	24
2.3.5. Sources de la périphérie du dôme (rivière des Pères, Grande Rivière, rivière Falaise).....	25
2.4. BILAN SUR LES EAUX DES RIVIÈRES DU MASSIF DE LA MONTAGNE PELÉE .....	26
2.5. PROPOSITION DE MODÈLE HYDROGÉOCHIMIQUES POUR LES EAUX THERMALES DE LA MONTAGNE PELÉE .....	27
<b>3. Anses d'Arlet .....</b>	<b>31</b>
3.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR LE SECTEUR DE LA « SOURCE DU DIAMANT ».....	31
3.2. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE .....	31
3.3. CARACTÉRISTIQUES ET ORIGINES DES EAUX .....	32
3.3.1. Source des Eaux Ferrées .....	32
3.3.2. Autres sources du secteur des Anses d'Arlet (Colette, La Sucrierie, ravine Chaudière et Larcher) .....	38
3.4. PROPOSITION DE MODELE HYDROGÉOCHIMIQUE POUR LES EAUX THERMALES DES ANSES D'ARLET .....	39
<b>4. Pitons du Carbet.....</b>	<b>41</b>
4.1. HISTORIQUE.....	41
4.2. MÉTHODE .....	41
4.3. RÉPARTITION SPATIALE DES EAUX DES SOURCES ET ÉMANATIONS GAZEUSES .....	41
4.3.1. Répartition par type chimique .....	43
4.4. CARACTÉRISATION ET ORIGINE DES EAUX SOUTERRAINES .....	44
4.4.1. Mofette de Deux Choux et alentours de la rivière du Lorrain.....	44

4.4.2. Sources de Didier et Absalon.....	46
4.4.3. Source de Moutte et eaux souterraines autour de Fort-de-France .....	52
4.5. INDICATIONS FOURNIES PAR LES ISOTOPES DE L'HÉLIUM.....	54
4.6. BILAN SUR LES EAUX DES RIVIÈRES DU MASSIF DES PITONS DU CARBET .....	55
4.7. PROPOSITION DE MODÈLE HYDROGÉOCHIMIQUE POUR LES EAUX THERMALES DES PITONS DU CARBET .....	56
4.7.1. Groupe « Didier et Absalon » .....	56
4.7.2. Groupe « Moutte » .....	56
<b>5. Plaine du Lamentin (Nord) .....</b>	<b>57</b>
5.1.1. Caractéristiques chimiques des eaux.....	57
5.1.2. Origine des fluides .....	58
5.1.3. Géothermométrie .....	62
5.1.4. Modèle géochimique.....	64
5.2. PROPOSITION DE MODÈLE HYDROGÉOCHIMIQUE POUR LES EAUX THERMALES DU LAMENTIN .....	66
<b>6. Conclusions et recommandations .....</b>	<b>69</b>
<b>7. Bibliographie .....</b>	<b>73</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Prélèvements et mesures physico-chimiques au niveau des sources chaudes de la Rivière Chaude. ....	16
Figure 2 : Évolution dans le temps de la répartition des anions majeurs des sources de la rivière Chaude dans un diagramme de Giggenbach. ....	17
Figure 3 : Représentation des sources de la Montagne Pelée dans un diagramme SiO <sub>2</sub> / Cl et détermination du « pôle chaud ». ....	18
Figure 4 : Diagramme <sup>14</sup> C vs. δ <sup>13</sup> C pour les eaux de Montagne Pelée et des Anses d'Arlet. ....	20
Figure 5 : Diagrammes <sup>3</sup> H vs. δ <sup>13</sup> C (haut) et vs. <sup>14</sup> C (bas) pour les eaux des sources de rivière Chaude - Montagne Pelée et des eaux Ferrées - Petite Anse. ....	21
Figure 6 : Position dans un diagramme de Giggenbach (Cl, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> ) les eaux des sources chaudes de la rivière Chaude, les eaux des rivières Chaude, Claire, et Sèche et les eaux des sources chaudes littorales (y compris sous-marines). ....	22
Figure 7 : Diagramme de Giggenbach (Cl, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> ) indiquant la répartition des eaux des sources et des rivières Mitan et Picodo. ....	24
Figure 8 : Diagramme de répartition δ <sup>7</sup> Li / δ <sup>13</sup> C. ....	25
Figure 9 : Représentation synthétique des différentes sources thermominérales de la Montagne Pelée dans un diagramme de Giggenbach (Cl, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> ). ....	27
Figure 10 : Répartition dans un diagramme Deutérium / Oxygène 18 des eaux du Massif de la Montagne Pelée. ....	28
Figure 11 : Diagramme de Giggenbach de répartition des anions majeurs des sources de la zone des Anses d'Arlet. ....	32
Figure 12 : Diagramme de Giggenbach de répartition des cations majeurs (géothermomètre) des sources de la zone des Anses d'Arlet. ....	34
Figure 13 : Écart du rapport Br/Cl des Eaux Ferrées par rapport à l'eau de mer. ....	35
Figure 14 : Concentration en SiO <sub>2</sub> en fonction de celle en chlorures pour les eaux des Anses d'Arlet. ....	36
Figure 15 : Diagramme des isotopes stables de l'eau des sources de la zone des Anses d'Arlet. ....	37
Figure 16 : Répartition des eaux de la zone des Anses d'Arlet dans un diagramme δ <sup>7</sup> Li / δ <sup>13</sup> C. ....	37
Figure 17 : Zones à émanations de gaz d'origine magmatique autour des Pitons du Carbet. ....	42
Figure 18 : Répartition d'une sélection d'eaux souterraines des Pitons du Carbet dans un diagramme de Piper. ....	43
Figure 19 : Rapport Br/Cl des eaux des Pitons du Carbet comparés à celui de l'eau de mer. ....	47
Figure 20 : Répartition dans un diagramme δ <sup>7</sup> Li / δ <sup>13</sup> C <sub>CITD</sub> des eaux du massif des Pitons du Carbet. ....	51
Figure 21 : Répartition des eaux de source des Pitons du Carbet et du Lamentin dans un diagramme « Deutérium – Oxygène 18 ». ....	53
Figure 22 : Variation du rapport <sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He par rapport à la distance au dôme de la Montagne Pelée. ....	55
Figure 23 : Position des échantillons d'eaux des forages et des sources thermales de la plaine du Lamentin et de sa périphérie dans le diagramme ternaire Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> de Giggenbach (1991). ....	60
Figure 24 : Position des eaux des forages et des sources thermales de la plaine du Lamentin et de sa périphérie dans le diagramme ternaire Na-K-Mg de Giggenbach (1988). ....	63
Figure 25 : Evolution dans le temps de la température des sources chaudes (Rivière Chaude en rouge) et du Puits Chaud (bord de mer, en bleu) (données de l'OPGMP). ....	162

Figure 26 : Evolution dans le temps des teneurs en lithium des sources de la rivière Chaude.....	162
Figure 27 : Evolution dans le temps des teneurs en silice des sources de la rivière Chaude. ....	162
Figure 28 : Evolution dans le temps des teneurs en chlorures et sulfates des sources de la rivière Chaude. ....	162
Figure 29 : Répartition dans un diagramme de Giggenbach (anions majeurs) des eaux des bassins des rivières Falaise, des Pères et Roxelane (Montagne Pelée). ....	163
Figure 30 : Répartition dans un diagramme de Giggenbach (anions majeurs) des eaux des bassins des rivières des versants Nord et Est de la Montagne Pelée). ....	164
Figure 31 : Répartition dans un diagramme B / Li des eaux du Massif de la Montagne Pelée. ....	165
Figure 32 : Répartition dans un diagramme $\delta^7\text{Li}$ / Li/Na des eaux du Massif de la Montagne Pelée et des Pitons du Carbet. ....	165
Figure 33 : Variation dans le temps de la composition de l'eau de la source des Eaux Ferrées. ....	168
Figure 34 : Répartition dans un diagramme de Piper des eaux de la zone des Anses d'Arlet. ....	169
Figure 35 : Eaux de la zone des Pitons du Carbet marquées par des concentrations élevées en sulfates.....	172
Figure 36 : Evolution dans le temps des teneurs en Chlorures et Bore de la source Didier. ....	173
<i>Figure 37 : Evolution dans le temps de la composition anionique de la source Moutte. ....</i>	<i>173</i>
Figure 38 : Evolution dans le temps de la teneur en silice de la source Moutte. ....	173
Figure 39 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction du lithium (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin). ....	174
Figure 40 : Isotopes stables de l'eau en fonction des bicarbonates et des chlorures (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin). ....	178
Figure 41 : Diagrammes de Piper pour les eaux du Lamentin. ....	180
<i>Figure 42 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction du bore (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin). ....</i>	<i>181</i>
Figure 43 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion bicarbonate (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin). ....	183
Figure 44 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion chlorure (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin). ....	186

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des calculs géothermométriques sur certaines eaux de source de la Montagne Pelée .....	17
Tableau 2 : Géothermomètres appliqués à l'eau de la source des Eaux Ferrées (Petite Anse). .....	33
Tableau 3 : Estimations des températures profondes des eaux des Pitons du Carbet à partir de divers géothermomètres.....	49
Tableau 4 : Estimations des températures profondes des eaux du Lamentin à partir de divers géothermomètres. ....	64

## Liste des annexes

Annexe 1 Géolocalisation des échantillons d'eau .....	77
Annexe 2 Résultats des mesures sur site de paramètres physico-chimiques.....	85
Annexe 3 : Résultats d'analyses des espèces majeures dissoutes.....	91
Annexe 4 : Résultats d'analyses des éléments dissous en traces .....	97
Annexe 5 : Résultats des analyses isotopiques de la phase dissoute des eaux de rivières et forages .....	101
Annexe 6 : Résultats des analyses des gaz.....	107
Annexe 7 : Données issues des travaux précédents .....	111
Annexe 8 : Diagrammes complémentaires .....	159



# 1. Introduction

Dans le cadre du projet de « Compléments d'exploration géothermique de la Martinique », financés par le FEDER, le BRGM, l'ADEME, la Région Martinique et le Syndicat Mixte d'Électricité de Martinique (SMEM) plusieurs approches ont été menées : géologie, hydrogéologie, géochimie des gaz et des eaux et géophysique.

Un premier rapport d'avancement (Rad *et al.*, 2013) a été réalisé afin de présenter les méthodes de géochimie des eaux, des gaz et de géochimie isotopique utilisées tant sur le terrain qu'au laboratoire. Trois des quatre zones étudiées y ont été présentées : le massif de la Montagne Pelée, celui des Pitons du Carbet et la zone des Anses d'Arlet qui ont fait l'objet de prospection lors de la campagne 2012-2013. Y ont été également présentées des données qui avaient pu être rassemblées concernant les différentes zones investiguées. Un premier bilan avait été tiré des résultats obtenus et des questions à résoudre avaient été identifiées.

Le présent rapport a consisté à compléter et mettre à jours les données disponibles, à les traiter au moyen de divers diagrammes et à les interpréter dans l'objectif d'aboutir à des modèles hydrogéochimiques conceptuels. La zone du Lamentin, qui n'a pas été prospectée lors de cette campagne mais qui dispose de nombreuses données et études géochimiques précédentes y a été intégrée.



## 2. Montagne Pelée

### 2.1. OBJET DE L'ÉTUDE

L'étude des fluides de la Montagne Pelée s'appuie sur les analyses d'eaux prélevées sur la Montagne Pelée et ses environs au cours des trois campagnes de terrain de 2012 :

- qu'il s'agisse d'eaux souterraines (et, le cas échéant, sous-marines), sources et forages ;
- ou d'eaux de surface (de rivières, principalement).

Seront également intégrées à cette étude les résultats des travaux précédents (Annexe 7). Les méthodes d'analyse utilisées lors de cette campagne et leurs résultats (Annexe 2 à 6), ainsi qu'une grande partie des résultats des études précédentes, sont indiqués dans le rapport d'avancement BRGM/RP-61889-FR ; les interprétations d'ensemble de ces données avec les informations géologiques, hydrogéologiques et géophysiques sont développées dans le rapport BRGM/RP-63019-FR.

Les sources thermales du massif volcanique de la Montagne Pelée ont été l'objet de nombreuses études (*e.g.* Lopoukhine et Mouret, 1977 ; Mouret, 1979 ; Barat, 1987 ; lundt, 1984 ; Sanjuan *et al.*, 2003b ; Rad *et al.*, 2011).

### 2.2. RÔLES DU CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

Les eaux de la Montagne Pelée, de par leur contexte géographique et géologique, vont potentiellement être contrôlées par divers facteurs :

- l'eau de mer du fait du caractère insulaire de la Martinique ;
- les eaux douces d'infiltration en raison des abondantes précipitations tropicales en altitude ;
- les fluides d'origine magmatique associés à l'activité volcanique de la Montagne Pelée ;
- la possibilité, pour ces eaux, de circuler à plus ou moins grande profondeur du fait de formations volcaniques perméables et d'accidents qui structurent le volcan (intrusions et conduits d'alimentation magmatique, failles d'effondrement de caldeiras, cicatrices d'effondrements sectoriels, ...)
- la possibilité d'être réchauffées, d'interagir à haute température avec les roches volcaniques profondes ;
- mais aussi d'être bouleversées par des éruptions relativement récentes et fréquentes (Gadalia *et al.*, 2014).

### 2.3. CARACTÉRISTIQUES ET ORIGINE DES EAUX

La Montagne Pelée se singularise, parmi les volcans actifs, par la discrétion de ses manifestations hydrothermales : fumerolles et solfatares ont disparu depuis plusieurs dizaines d'années, les sources thermales sont relativement rares et leurs températures ainsi que leurs débits demeurent faibles. Les concentrations en gaz des sols (CO<sub>2</sub> et hélium) ne dépassent pas la normale sur les zones investiguées (Gal, 2012) et aucune source ne présente des émissions significatives de gaz.

Une première approche permet de sélectionner certaines eaux de source et de forage pour avoir une représentation de la diversité des « faciès » hydrogéochimiques de la Montagne Pelée.

### 2.3.1. Sources thermales de la rivière Chaude

#### **Caractérisation**



Figure 1 : Prélèvements et mesures physico-chimiques au niveau des sources chaudes de la Rivière Chaude.

Le contexte de ces sources a été décrit en détails par Barat (1987) mais, à la suite d'éboulements, l'environnement des sources (Figure 1) a changé de manière significative. Cette campagne a permis de les géo-localiser (Annexe 1). Leurs eaux ont déjà été caractérisées sur le plan géochimique (e.g. Sanjuan *et al.*, 2003b) comme bicarbonatées sodiques, enrichies en espèces témoignant d'une interaction à haute température (B, Li, Rb, Cs, Sr, As, Ge,...). Interaction profonde qui, à la différence de la source de Petite Anse (*cf. infra*), ne va pas jusqu'à un ré-équilibre isotopique de l'oxygène de l'eau (Figure 10) avec les roches (enrichissement en  $^{18}\text{O}$  par rapport aux eaux météoriques mondiales). Cette absence d'équilibre isotopique avec les roches du réservoir, peut s'expliquer par un rapport eau/roche élevé et/ou par une circulation rapide des fluides en profondeur. Les deux hypothèses sont plausibles car la Montagne Pelée bénéficie à la fois de fortes précipitations et de formations volcaniques très perméables.

#### **Évolution dans le temps**

L'historique des analyses effectuées depuis, au moins, 1934, indique une évolution marquée (Figure 2 et Figure 28), d'une composition où les principaux anions ( $\text{HCO}_3$ , Cl et  $\text{SO}_4$ ) sont en proportions équilibrées, vers un pôle nettement bicarbonaté sodique. Dans le prolongement d'une évolution plus ancienne, depuis 10 ans pratiquement, tous les indices d'interaction profonde à haute température se sont dégradés (baisse notamment des teneurs en As, B et Li,

augmentation du pH, de  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^7\text{Li}$ ), la température d'émergence a baissé de plus de 60 °C à moins de 40 °C (Figure 25) alors que les concentrations en espèces indicatrices de plus basses températures (e.g. Mg, Ca) augmentaient.

Ces indications signifient-elles que le système géothermal soit en voie de réduction ?

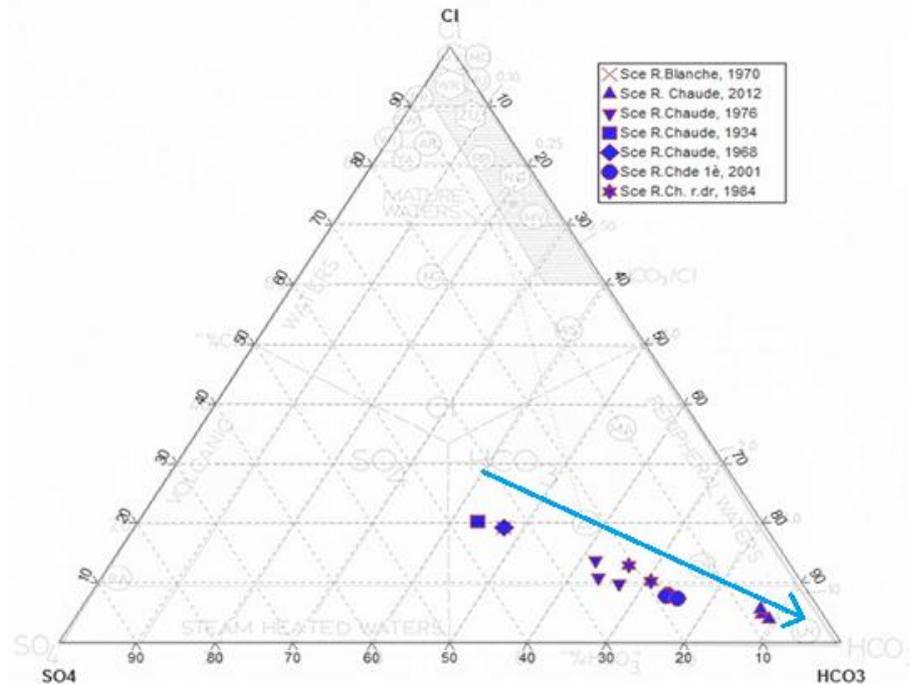


Figure 2 : Évolution dans le temps de la répartition des anions majeurs des sources de la rivière Chaude dans un diagramme de Giggenbach.

### Géothermomètres

	Riv. Chaude 1934	Sce Rivière Blanche haute (740 m) 1970	Sce Riv. Chaude (2001)	Sce Riv. Chaude (2012)	Sce Riv. Chaude Pôle chaud (2001)	Sce haute Riv. Claire	Puits Chaud 1976
Température estimée et géothermomètre(s)*	180-200°C, Na-K-Ca, <u>Sr-K</u> , Na-Li (Fouillac), <u>Ca-K</u>					> 155 – 165°C, Na-K-Ca, Qz	185°C, Na-K-Ca, Na-Li (Kh), Ca-K

	Sce Riv. Picodo 2003	Sce Riv. Picodo 2012	Sce Riv. Mitan 2003	Sce Riv. Falaise aval 2012	Sce Hte Gde Rivière 2003	Sce Riv. des Pères centre 2012	forage Rivière Prêcheur 2012
Température estimée et géothermomètre(s)*	155-180°C, Na-K-Ca, Sr-K, Qz, $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O}-\text{SO}_4)$	145- 165°C, Sr-K	130- 150°C, Na- Li(F), Rb- Na	> 140- 180°C, Na- K-Ca, Na- Li (Kh)	120- 130°C, Qz, Rb-Na, Na-Li (F)	120-135°C, Ca-K, Qz, Na-Li	

Tableau 1 : Synthèse des calculs géothermométriques sur certaines eaux de source de la Montagne Pelée

Le calcul géo-thermométrique (Tableau 1) montre que la température d'équilibre eau-roche, en profondeur, est toujours, depuis les premières analyses disponibles, comprise entre 180 et 200 °C, ceci de manière convergente selon plusieurs types de géothermomètres. Cela se confirme à l'observation de l'évolution des teneurs en silice et lithium qui restent à peu près constantes (Figure 26 et 43).

### Composante profonde

La part de composante profonde peut être calculée sur la base d'un équilibre du fluide géothermal avec le quartz, à la température profonde calculée par géothermométrie. La valeur de concentration en silice obtenue est replacée dans un diagramme du type  $\text{SiO}_2 / \text{Cl}$ , (Figure 3) permettant de mettre en évidence les droites de mélange (Sanjuan *et al.*, 2003b). L'ion Cl est supposé maintenu en solution (espèce conservative, indépendante des variations physico-chimiques environnantes) et, en outre, principalement influencé par la proportion de composante profonde de haute température. Ainsi, il est possible de mettre en évidence une diminution de moitié de la composante profonde qui passe de 60 à moins de 30 %.

Si la part de cette composante diminue, ses caractéristiques (composition, température) ne sont pas modifiées. Les modifications n'interviennent donc qu'au niveau des fuites superficielles.

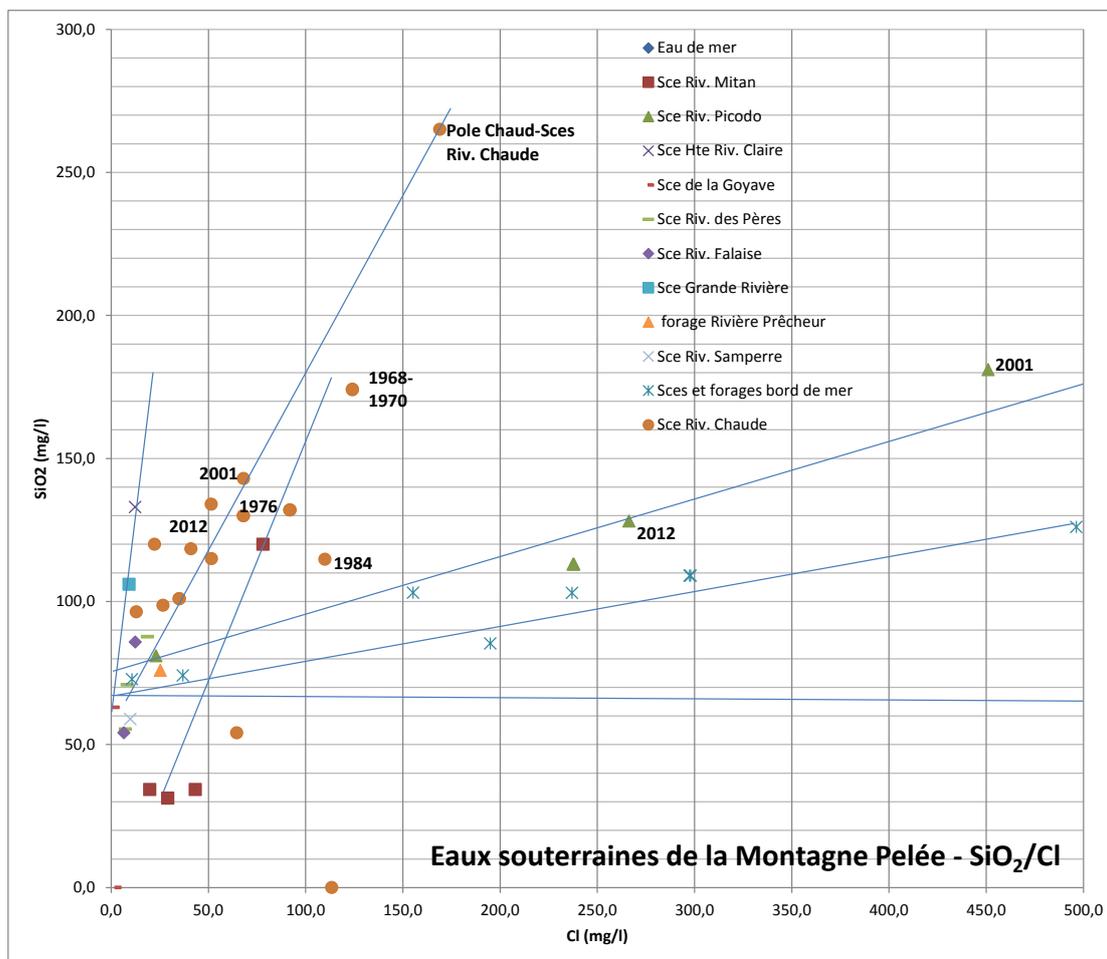


Figure 3 : Représentation des sources de la Montagne Pelée dans un diagramme  $\text{SiO}_2 / \text{Cl}$  et détermination du « pôle chaud ».

### **Colmatage superficiel**

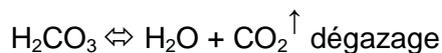
L'observation de dépôts carbonatés (travertin) cimentant les formations torrentielles de la rivière Chaude, puis de la rivière Claire (Traineau *et al.*, 2013) mais aussi, peut-être, la disparition en décembre 2012 du griffon échantillonné en février 2012 et le fait que les sources chaudes de la rivière Chaude (ou Blanche, à l'époque) ne sont apparues qu'après l'éruption de 1902, laissent supposer un système géothermal en évolution où se produit un auto-colmatage progressif.

Le  $\delta^{13}\text{C}$  (Figure 8) des sources de rivière Chaude et de rivière Picodo sont anormalement élevés (respectivement 3 et -2,1 ‰ vs PDB). La contribution de carbonates marins est assez improbable, notamment pour la source de Rivière Chaude. Ces valeurs sont plus probablement dues à une source magmatique fractionnée par un dégazage de  $\text{CO}_2$  qui s'accompagne de précipitation de carbonate (Rivé, 2013, comm. pers.). Cette précipitation est visible en surface (travertin du lit de la rivière Chaude) mais sa précipitation est soupçonnée en profondeur.

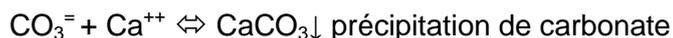
### **Modèle de circulation**

Le schéma suivant peut-être proposé pour la circulation des eaux de source de la rivière Chaude :

- 1) des eaux météoriques s'infiltrent en profondeur à la faveur des fractures du système central du volcan et de formations pyroclastiques très perméables ;
- 2) un fluide géothermal se forme autour de 200 °C au contact des roches encaissantes ;
- 3) du gaz carbonique d'origine magmatique s'y dissout ( $-0,3 < \delta^{13}\text{C} < 3$ ) ;
- 4) il remonte un peu au nord des émergences de rivière Chaude ;
- 5) il se mélange à faible profondeur avec des eaux froides météoriques infiltrées dans le système de fractures sommitales. Cette eau superficielle, légèrement minéralisée (comparable à la composition de la source de la Goyave à pH proche de la neutralité, à dominante bicarbonatée calcique, avec Na, Mg,...), circule au contact des formations volcaniques ;
- 6) Au cours de la remontée et du mélange, l'effet de la température, du dégazage et de l'augmentation de pH consécutives se conjuguent selon



- 7) Sur un mélange déjà proche de la saturation, la calcite précipite obstruant progressivement le(s) conduit(s) d'amenée du fluide géothermal suivant la réaction chimique :



La part de fluide géothermal diminue ainsi progressivement.

Il est intéressant de noter, du point de vue géothermique (Figure 2), qu'à aucun moment, les eaux des sources de rivière Chaude ne se sont situées dans le domaine des eaux « matures », caractéristiques des systèmes géothermaux évolués (Giggenbach, 1991). Elles se sont maintenues entre des eaux « périphériques » (cas présent) et des eaux « chauffées par vapeurs acides » (analyses d'avant 1970).

### Temps d'interaction ou de résidence – comparaison avec les Eaux Ferrées (Petite Anse)

Les données obtenues sur les eaux des sources de la rivière Chaude par Sanjuan *et al.*, (2003b) sur le tritium et le carbone 14 (perturbation due au CO<sub>2</sub> magmatique), puis par Rad *et al.* (2013) sur les isotopes de l'uranium et du thorium (concentration trop faible) ne permettent pas d'aboutir à une quantification du temps de transit de l'eau géothermale. Il en est de même pour la source des Eaux Ferrées (Petite Anse) où seules des analyses de tritium et de carbone 14 ont été réalisées.

Néanmoins, il est possible d'en tirer des informations, même grossières.

Pour les sources de la rivière Chaude, les activités <sup>14</sup>C sont influencées par du CO<sub>2</sub> d'origine magmatique à activité nulle. En d'autres termes, les activités mesurées sont des activités minimales, et, par là même, les âges calculés sont maximaux. Il semble donc qu'on soit dans le cas d'eaux « récentes », ce que corroborent les autres données géochimiques disponibles :

- rapports <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U quasiment nuls, en dépit de la fiabilité médiocre des données Th ;
- la teneur en tritium mesurée de 3 UT (mesurée en 2003) indique un transit de moins de 50 ans ;

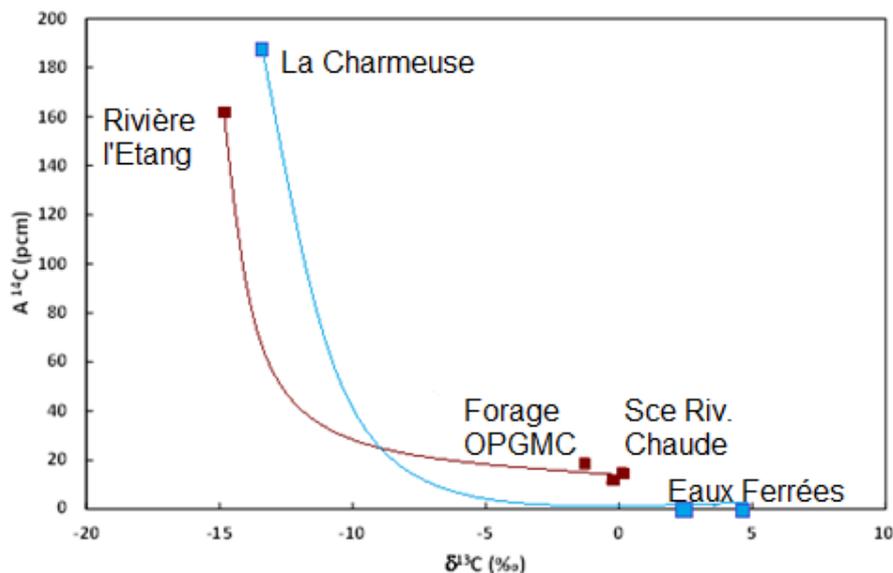


Figure 4 : Diagramme <sup>14</sup>C vs. δ<sup>13</sup>C pour les eaux de Montagne Pelée et des Anses d'Arlet.  
En marron : Montagne Pelée (Sanjuan *et al.*, 2003b)  
En bleu : Anses d'Arlet (Sanjuan *et al.*, 2003b)

La Figure 4 montre que les données (Montagne Pelée et Petite Anse) sont compatibles avec un mélange entre des eaux récentes et des pôles carbonatés.

Ce schéma peut être nuancé si on compare les activités en <sup>14</sup>C et les rapports isotopiques du carbone 13 (δ<sup>13</sup>C) aux données obtenues sur le tritium (<sup>3</sup>H, Sanjuan *et al.*, 2003). La Figure 5 montre l'existence de 3 groupes d'eaux distincts : (i) DIAM 1 (Eaux Ferrées) influencée par le CO<sub>2</sub> d'origine magmatique et dont les temps de résidence sont assez longs pour qu'il n'y ait plus de tritium ; (ii) DIAM 4 (eau superficielle de la Charmeuse) et MP 6 (eau de rivière L'Étang) qui sont des eaux très récentes à actuelles, avec des δ<sup>13</sup>C très négatifs et ; (iii) MP 1 (puits chaud littoral) et MP 4 (source de rivière Chaude), les plus proches de l'eau analysée en U-Th, qui sont des eaux très récentes au vu des données tritium mais semblent influencées par le CO<sub>2</sub> magmatique ainsi que le suggère la Figure 4. C'est-à-dire que toutes les eaux MP, au vue

des données tritium, sont actuelles ou sub-actuelles, ce qui n'est pas le cas de l'eau des Eaux Ferrées à Petite Anse (*cf. infra*). Les Eaux Ferrées sont compatibles avec le mélange d'un pôle ancien et d'une proportion importante d'eaux récentes.

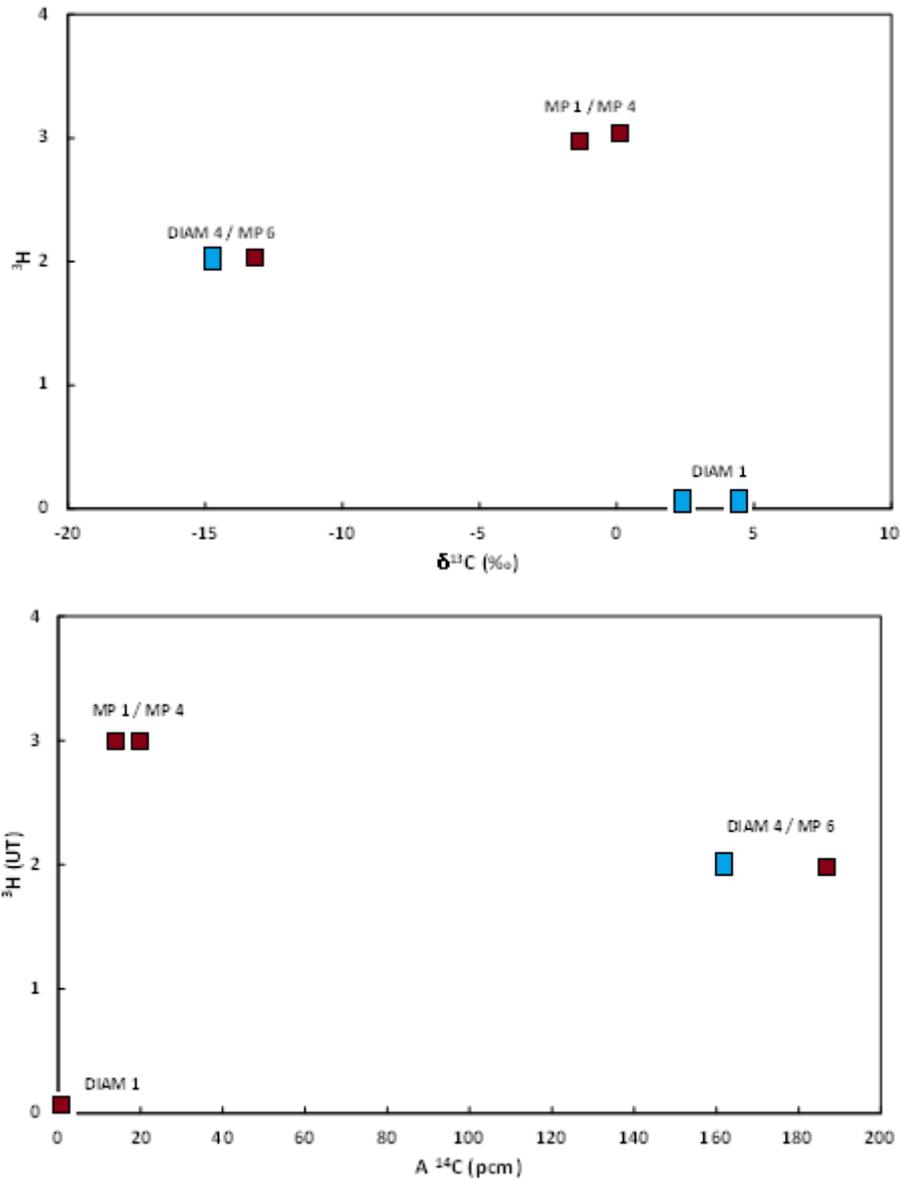


Figure 5 : Diagrammes  $^3\text{H}$  vs.  $\delta^{13}\text{C}$  (haut) et vs.  $^{14}\text{C}$  (bas) pour les eaux des sources de rivière Chaude - Montagne Pelée et des eaux Ferrées - Petite Anse.

Les analyses chimiques des eaux de rivières sont compatibles avec des phénomènes de mélange qui se produiraient à partir de la rivière Chaude vers la rivière Claire, puis, à travers la Coulée Blanche, vers la rivière Sèche. Cela confirme les observations hydrogéologiques.

### 2.3.2. Eaux thermales des sources et forages du littoral SO et sources sous-marines

Les études précédentes mettent en évidence :

- la concomitance de l'apparition des sources chaudes à la fois dans la rivière Chaude, en amont, et sur le littoral (puits Chaud), après l'éruption de 1902 (Traineau *et al.*, 2013) ;
- les baisses de température, sinon parallèles du moins convergentes des sources de rivière Chaude et du puits Chaud (suivi pluri-décennal de l'OVSM-IPGP Figure 25) ;
- les pertes en amont et les résurgences en aval à la suite des mesures et observations hydrogéologiques (e.g. Barat, 1987 et Vittecoq et Gutierrez, 2012) ;
- une anomalie positive dans les levés de polarisation spontanée (Zlotnicki *et al.*, 1999) ;
- un niveau conducteur sur les couches 128 et 213 m de profondeur dans les levés électromagnétiques de MarTEM, mentionné par Coppo *et al.*, 2014.

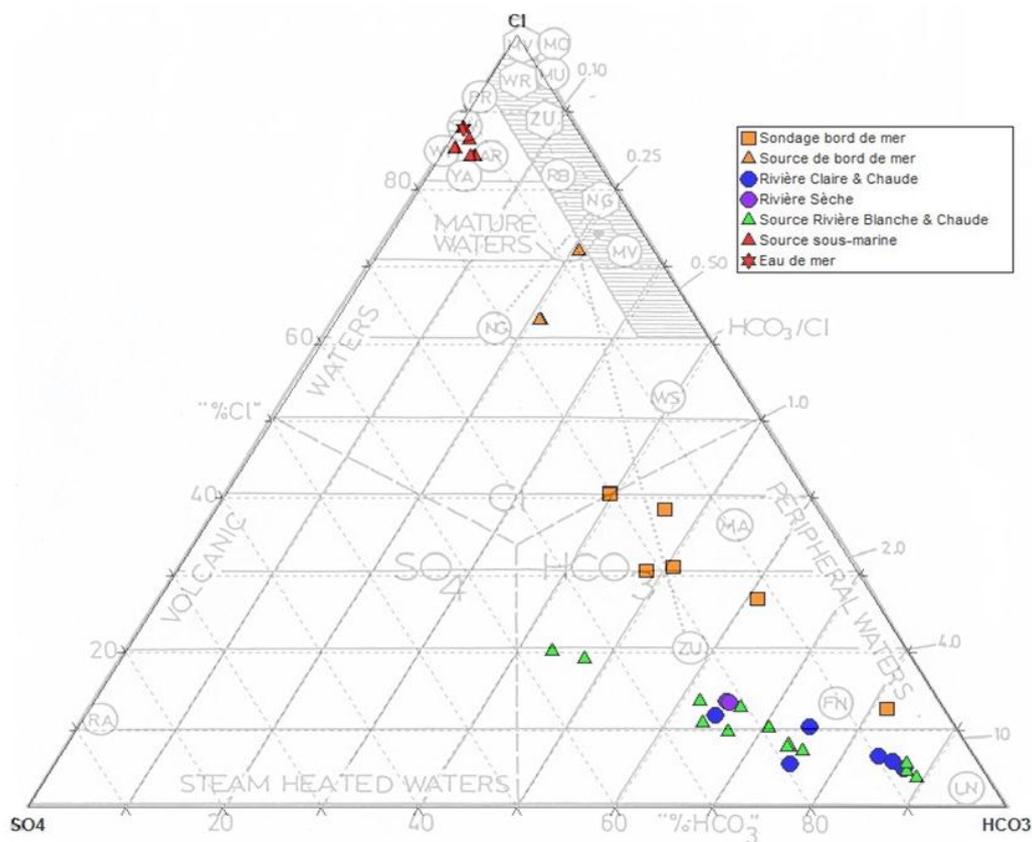


Figure 6 : Position dans un diagramme de Giggenbach (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>) les eaux des sources chaudes de la rivière Chaude, les eaux des rivières Chaude, Claire, et Sèche et les eaux des sources chaudes littorales (y compris sous-marines).

Ces différentes informations convergent vers l'existence d'un écoulement, à travers des nappes perchées, à partir de la zone où émergent les sources de rivière Chaude jusqu'à la mer. L'hypothèse d'une fuite d'un réservoir géothermique, à un niveau intermédiaire, a ainsi pu être écartée.

La composition de ces eaux souterraines comprend une composante d'eau de mer (1 % selon Sanjuan *et al.*, 2003b) induisant un caractère chloruré à ces eaux (Figure 6). Celle-ci peut masquer ou déplacer des indicateurs d'interaction à haute température ( $\delta^7\text{Li}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ , ...)

traçage de la nature lithologique volcanique ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ). Par contre, la température d'interaction eau-roche en profondeur, estimée par plusieurs géothermomètres (Tableau 1), demeure celle des sources de rivière Chaude.

Ce mélange avec l'eau de mer s'est donc produit après l'interaction eau-roche à haute température. Il résulte vraisemblablement de la position littorale de ces eaux qui subissent l'influence marine (aérosols,...). Cet impact des embruns marins sur les eaux souterraines de Martinique a été montré par Brenot *et al.* (2008), à partir des relations entre les chlorures et l'altitude, d'une part, et entre les chlorures et la distance à la mer, d'autre part.

La teneur en tritium mesurée (Sanjuan *et al.*, 2003b) confirme qu'il y a une part d'eau superficielle qui circule rapidement dans le mélange.

Par ailleurs, les analyses isotopiques  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  et  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  permettent de calculer un temps d'interaction minimum en profondeur (Rad *et al.*, 2011). Une eau captée à 10 m de profondeur en forage donne une durée d'interaction eau-roche de 380 ans. On peut supposer que cette valeur reflète un mélange entre deux sources de thorium et constitue donc une approximation par défaut, la durée d'interaction réelle en profondeur étant supérieure à cette valeur.

La relativement faible variation de température (13 °C, en moyenne selon les années) entre les sources de rivière Chaude, en amont, et les sources et forages du littoral, en aval, va dans le sens d'une circulation rapide de ces eaux de sub-surface.

Cette circulation rapide à travers les formations volcaniques du flanc sud-ouest de la Montagne Pelée est confirmée (Brenot *et al.*, 2008) par des analyses de SF<sub>6</sub> et de CFC (chloro-fluorocarbone) effectuées sur des eaux de forage (au CDST et à la Rivière du Prêcheur) ; ces contaminants atmosphériques permettent d'estimer l'infiltration de ces eaux à une période inférieure à 20 ans.

### 2.3.3. Eaux thermales des sources de la rivière Picodo et de la rivière Mitan

Les eaux des sources des rivières Mitan et Picodo ont un caractère plus chloruré que celles de la rivière Chaude (Figure 7). Il s'agit de traces de mélange avec l'eau de mer : le pôle marin représente environ 2 % pour les sources de la rivière Picodo. Pour la rivière Mitan, la composante d'eau douce superficielle semble plus importante (Sanjuan, *et al.*, 2003b). A la différence des eaux souterraines littorales, les indices d'interaction profonde ( $\delta^7\text{Li}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , ...) sont, ici, préservés témoignant d'un équilibre acquis postérieurement au mélange avec l'eau de mer. Les résultats d'analyses (rapports Li/Cl, B/Cl, Cs/Cl, Rb/Cl,...) et les géothermomètres confirment l'interprétation de Sanjuan *et al.* (2003b) d'un degré d'interaction plus faible et d'une plus faible température d'équilibre en profondeur (Tableau 1).

Comme pour les sources de la rivière Chaude, il existe plusieurs griffons dans les rivières Mitan et Picodo ; les compositions de ceux-ci peuvent varier (dilution plus ou moins grande en fonction des saisons) mais aucune tendance à la dégradation des indicateurs d'interaction à haute température n'a pu y être décelée depuis les analyses de 1976. La constance de la composition de la source Mitan au cours de l'année a été soulignée par Barat (1987) et celle des sources de la rivière Picodo par les observateurs de différentes époques (le Docteur Sambuc en 1869, A. Lacroix en 1904 *in* Traineau *et al.*, 2013).

Ces valeurs correspondent à peu près à la température mesurée en 2003, mais *in situ* (36,6 °C).

Ces caractéristiques, distinguant les sources des rivières Picodo et Mitan des sources de ravine Chaude, appuient l'hypothèse d'un autre réservoir géothermique, avec fuites au niveau de la rivière Picodo, déjà évoqué par Sanjuan *et al.* (2006b).

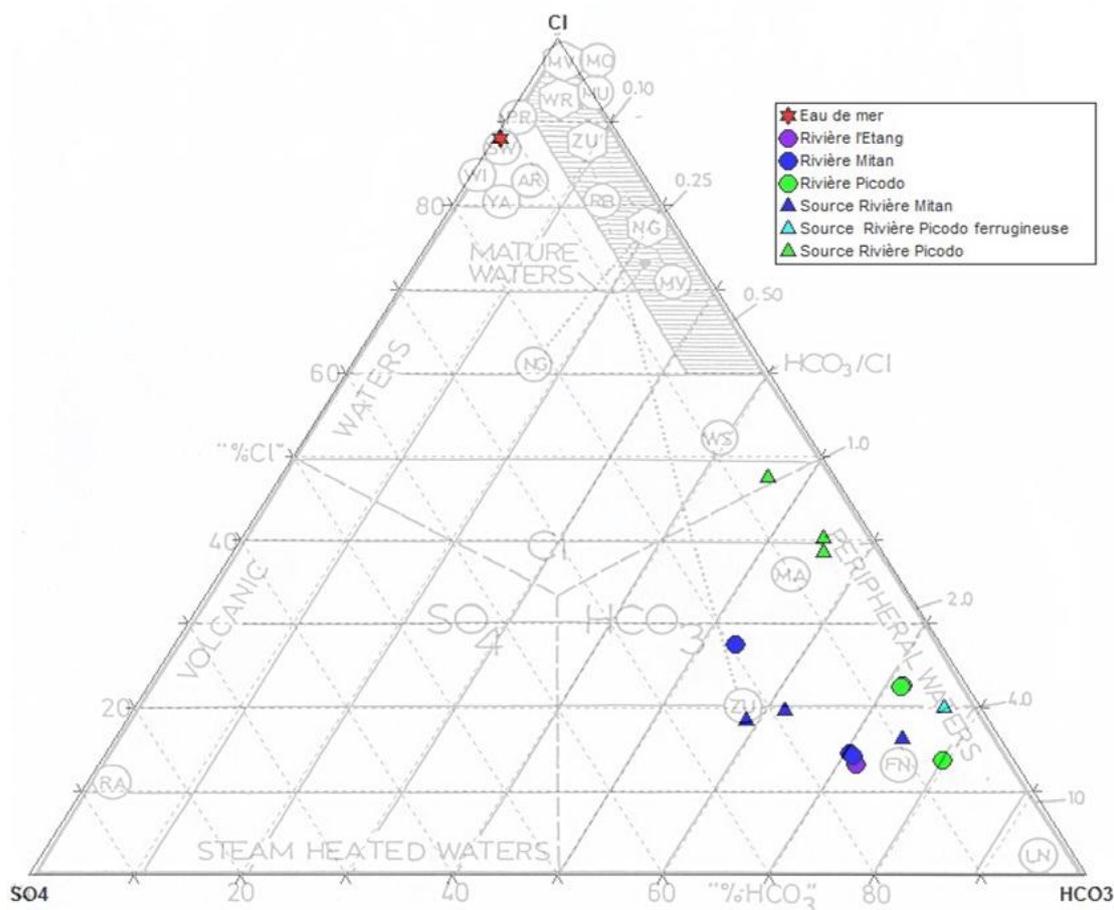


Figure 7 : Diagramme de Giggenbach (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>) indiquant la répartition des eaux des sources et des rivières Mitán et Picodo.

### 2.3.4. Sources de la haute rivière Claire

Ces sources et leur contexte ont été décrits par G. Lalubie (2010), certaines d'entre elles présentant un caractère thermal. Une des sources froides (22,9 °C) a été étudiée par Sanjuan *et al.* (2003b).

Du fait de son contexte (proximité de la caldeira intermédiaire, de la cicatrice du 3<sup>ème</sup> effondrement sectoriel, de la zone d'éruptions phréato-magmatiques et/ou hydrothermales de 1851, d'anciennes solfatares) et de la permanence d'émanations de gaz sulfureux, cette source présente un intérêt particulier (souligné par Lalubie, 2010). Sa proportion de sulfates (Figure 9) et son pH plus acide laisse penser qu'elle a été affectée par ces émanations sulfureuses selon la réaction chimique :



Elle possède aussi des indices d'interaction à haute température ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^7\text{Li}$ ; Figure 10 et Figure 32), d'une contribution magmatique ( $\delta^{13}\text{C}$ ) et un traçage lithologique volcanique ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), mais le degré d'interaction (rapports Li/Cl, B/Cl, Cs/Cl, Rb/Cl,...) et la température d'équilibration (Tableau 1) sont plus faibles que ceux des sources de rivière Chaude. Ni les rapports isotopiques de l'eau ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), ni le rapport B/Cl, ne viennent étayer l'hypothèse d'une contribution d'une phase vapeur, donc d'un réservoir à l'ébullition.

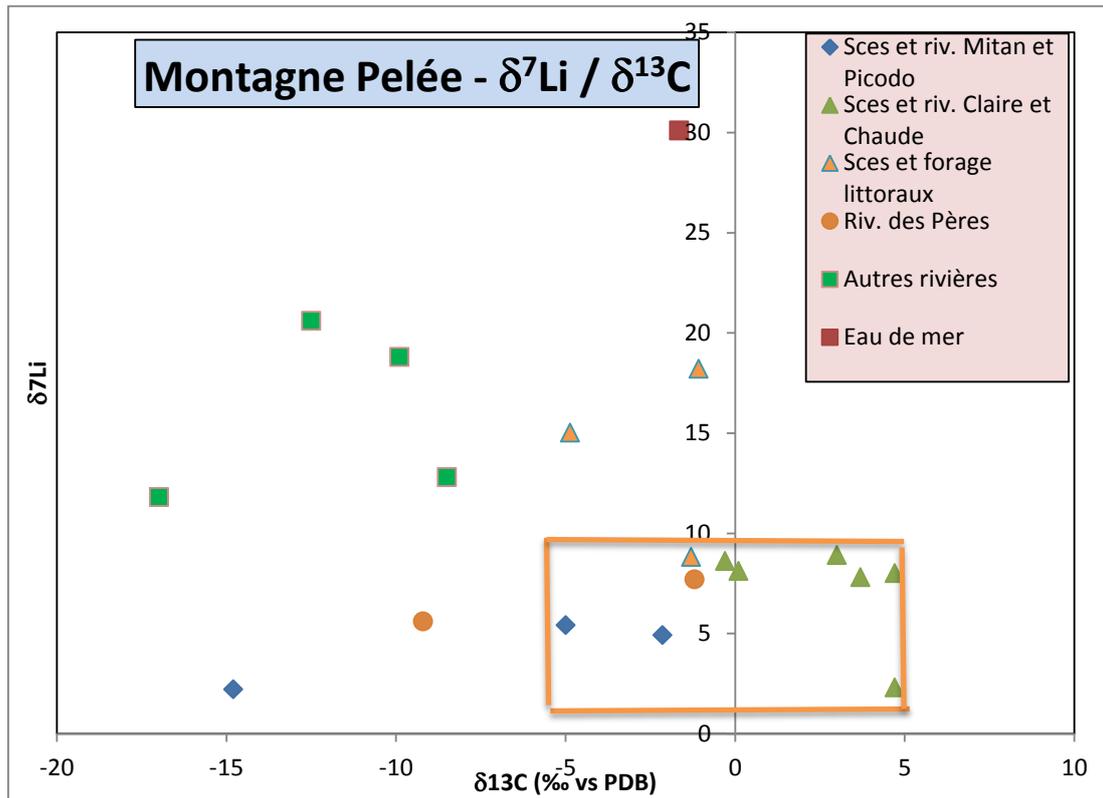


Figure 8 : Diagramme de répartition  $\delta^7\text{Li} / \delta^{13}\text{C}$ .

Le contour orange limite la zone des valeurs indicatives d'une influence magmatique à haute température

Du point de vue de sa composition, cette source n'a aucun signe de contamination marine et se distingue chimiquement et isotopiquement des sources des rivières Mitan et Picodo. Son degré d'interaction et sa température d'équilibration en profondeur (géothermométrie) ne permettent pas de l'associer strictement au réservoir alimentant les sources de la rivière Chaude. Malgré sa position plus centrale et proche de la rivière Chaude, elle fait partie des sources issues probablement d'un réservoir intermédiaire où s'effectue une ré-équilibration à plus basse température par rapport au système de la rivière Chaude.

### 2.3.5. Sources de la périphérie du dôme (rivière des Pères, Grande Rivière, rivière Falaise)

Du fait de leur accès difficile, de même que les sources de rivière Claire, les sources de la haute rivière des Pères ont été prélevées par G. Lalubie (*in* Sanjuan *et al.*, 2003b et Rad *et al.*, 2012). Il s'agit, dans les trois cas, de sources froides peu minéralisées (Figure 29), mais ne présentant pas de traces d'émanations gazeuses.

Au-delà de leur dilution importante par mélange avec des eaux de surface, leur degré d'interaction est comparable et leurs températures d'équilibration profonde (Tableau 1) sont, en général, inférieures à celles de la haute rivière Claire.

Les sources de la haute Grande Rivière et celle de la rivière des Pères ne présentent pas de traces de contamination par de l'eau de mer (Figure 30) ; leurs indices d'interaction à haute température (rapports Li/Cl, B/Cl, As/Cl, Rb/Cl) se rapprochent de ceux des sources de la haute rivière Claire (Figure 32) mais les géothermomètres indiquent des températures d'équilibration

profonde plus basses. La source de la haute rivière des Pères se situe dans le domaine des eaux ayant des  $\delta^{13}\text{C}$  marqués par des valeurs « magmatiques » et des  $\delta^7\text{Li}$  traduisant une interaction eau-roche haute température (Figure 8).

La source de la rivière Falaise (aval), encore moins minéralisée que les précédentes, présente des degrés d'interaction plus faibles et des rapports indiquant une possible contamination par l'eau de mer. Il en est probablement de même pour la source de la rivière Samperre et le forage de la rivière du Prêcheur

## **2.4. BILAN SUR LES EAUX DES RIVIÈRES DU MASSIF DE LA MONTAGNE PELÉE**

Un des objectifs de cette étude géochimique était d'utiliser les outils de l'analyse de certains éléments en traces (voire de majeurs) et quelques isotopes pour mettre en évidence d'éventuelles contaminations par des eaux thermales dans des zones où les manifestations hydrothermales ne sont pas décelables. Il n'était, en effet, pas exclu que des eaux ayant interagi en profondeur à haute température aient pu fuir, sans parvenir à la surface, à travers les eaux superficielles des bassins hydrographiques drainés par ces rivières. Certains éléments chimiques ou certains isotopes peuvent, du fait de leurs concentrations ou de leurs rapports isotopiques très différents des eaux superficielles, être repérés malgré la dilution.

En outre cette méthode a l'avantage de permettre de considérer des zones relativement vastes et souvent difficiles d'accès.

Grâce à l'analyse d'éléments traces tels que B, Li et Rb (mais aussi de majeurs tels que Na,  $\text{HCO}_3$  ou  $\text{SiO}_2$ ) et de rapports isotopiques comme  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^7\text{Li}$  (Figure 8) ce traçage est possible dans la rivière Chaude et la rivière Claire où reste décelable l'influence du pôle profond produit à travers les sources chaudes de la rivière Chaude (mais aussi probablement des nappes chaudes sub-superficielles alimentant ce bassin).

On retrouve par les mêmes moyens les traces du pôle profond des sources des rivières Mitan et Picodo dans ces mêmes rivières.

Bien que cela soit moins nette, ce phénomène est perceptible dans la rivière des Pères ; cependant la nature de ce pôle profond reste à préciser :

- source de la haute rivière des Pères avec une eau ayant interagi à relativement plus faible température ;
- infiltration d'eaux en provenance de la rivière Chaude via la rivière Sèche.

En effet, les analyses d'éléments traces et de majeurs montrent que la rivière Sèche est contaminée par une composante ayant interagi avec les roches volcaniques à haute température.

Par contre, dans les autres rivières analysées (Samperre - Prêcheur, Roxelane), et a fortiori celles drainant des bassins situés en dehors de l'emprise des effondrements sectoriels Grande Rivière, Capot, Blanche, Céron, Coulevre, Macouba, Pocquet), ni en amont, ni en aval, les analyses effectuées ne permettent de conclure à une éventuelle contamination par une composante thermique ( $\delta^7\text{Li} > 10 \text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C} < -8 \text{‰}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0,704500, \dots$ ).

On peut noter l'ambiguïté de certains paramètres pris isolément comme la concentration en silice. C'est le cas, par exemple pour la source Goyave (ou Morestin) qui présente une composition bicarbonatée sodi-calcique (Figure 29), proche du pôle superficiel dans les calculs de mélange. Sa concentration relativement élevée en silice (63 mg/l) peut être interprétée comme résultant de phénomènes superficiels d'altération rapide des particules volcaniques vitreuses en régime tropical humide. C'est également le cas dans des rivières telles que la Roxelanne ou la rivière l'Étang où les concentrations dépassent même 70 mg/l.

## 2.5. PROPOSITION DE MODÈLE HYDROGÉOCHIMIQUES POUR LES EAUX THERMALES DE LA MONTAGNE PELÉE

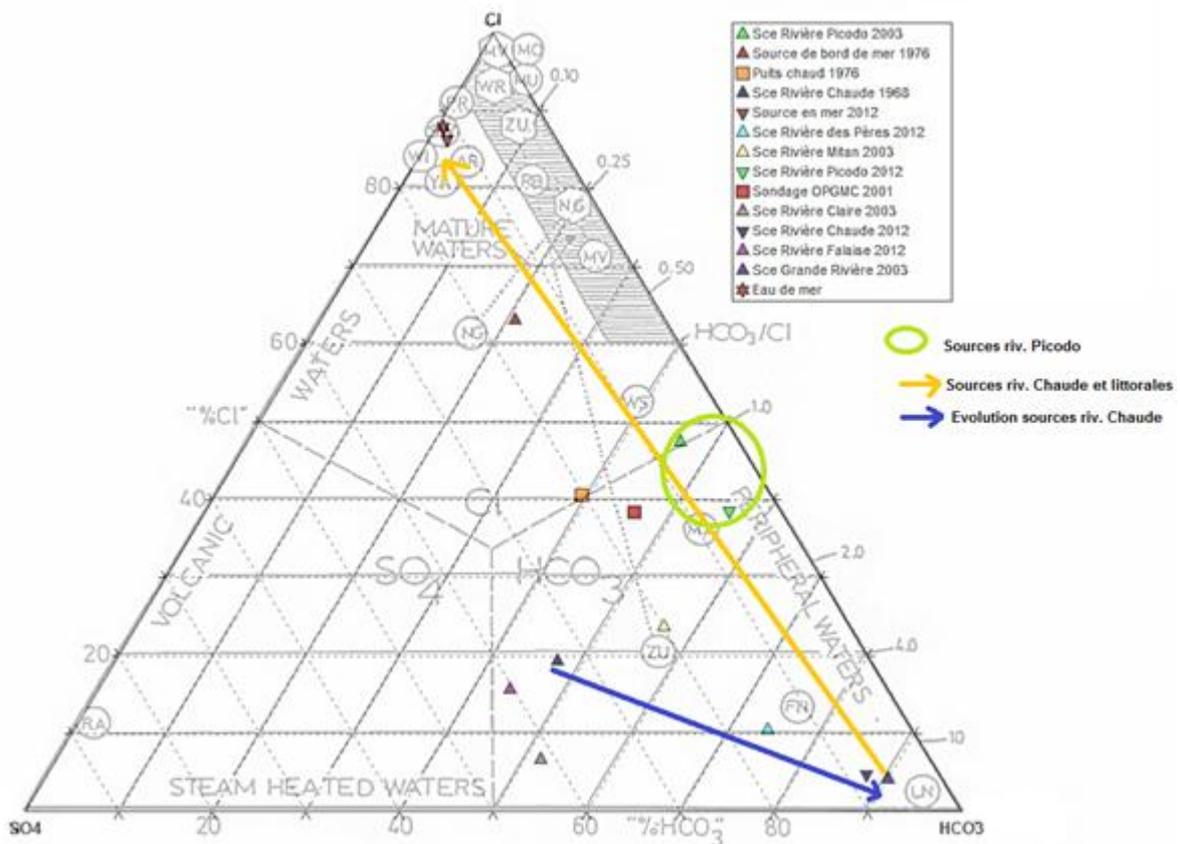


Figure 9 : Représentation synthétique des différentes sources thermominérales de la Montagne Pelée dans un diagramme de Giggenbach (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>).

L'étude géochimique confirme la plupart des résultats obtenus dans les études précédentes et aboutit aux conclusions suivantes :

- deux réservoirs géothermaux distincts principaux peuvent être identifiés : l'un comportant une composante marine initiale et alimentant les sources des rivières Mitan et Picodo ; l'autre, présentant des caractéristiques de plus haute température et de plus forte interaction eau-roche et alimentant les sources de la rivière Chaude. Dans les deux cas, les fluides des sources résultent d'un mélange avec des eaux superficielles ;
- dans le cas des sources de rivière Chaude, la part de la composante profonde et la température d'émergence diminuent depuis que ces sources sont suivies (hypothèse d'auto-colmatage en profondeur) ;

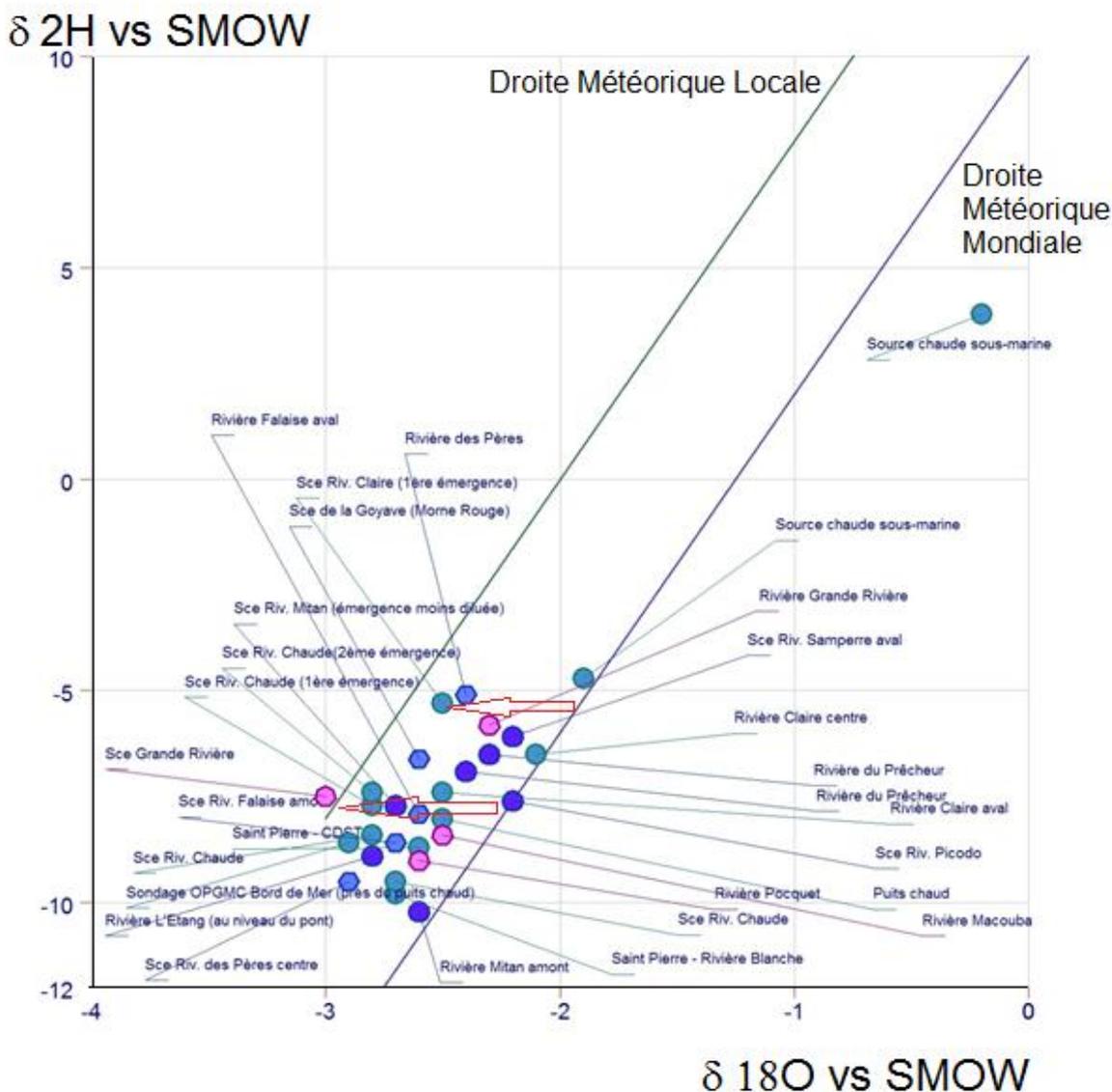


Figure 10 : Répartition dans un diagramme Deutérium / Oxygène 18 des eaux du Massif de la Montagne Pelée.

Points roses : sources et rivières des secteurs Nord et Est (bassins des rivières Grande Rivière, Macouba, Pocquet) ;  
 Points violets : sources et rivières des bassins des rivières Mitan, Picodo, Samperre et du Prêcheur ;  
 Points bleu foncé : sources et rivières des bassins des rivières des Pères, Falaise et Roxelanne) ;  
 Points bleu-vert : sources et rivières des bassins de la rivière Claire (et Chaude).

- les isotopes stables de l'eau (Figure 10) conduisent à envisager des réservoirs ayant un rapport eau-roche élevé ou une circulation des eaux en profondeur assez rapide pour ne pas atteindre un équilibre isotopique ( $\delta^{18}\text{O}$ ) entre les eaux et les roches ; l'ensemble des eaux souterraines analysées se situent entre les droites des eaux météoriques mondiale et locale (antillaise) ;
- l'existence d'autres sources, à proximité du conduit central du volcan (haute rivière Claire, haute rivière des Pères et haute Grande Rivière), présentant une composante d'interaction eau-roche à haute température mais d'un niveau plus faible que celui des sources de la rivière Chaude, indique de possibles niveaux intermédiaires où les eaux du réservoir central

se rééquilibrent ; cela peut confirmer que ce système géothermal, périodiquement perturbé par des éruptions, n'est pas stabilisé ;

- l'appauvrissement relatif en  $^{18}\text{O}$  des sources chaudes de la haute rivière Claire, de la rivière Chaude et de la haute Grande Rivière peut traduire l'influence du  $\text{CO}_2$  et un équilibre eau-gaz magmatique ( $\text{H}_2\text{O} + \text{C}^{18}\text{O}_2 \leftrightarrow \text{H}_2^{18}\text{O} + \text{CO}_2$ ), ce qui conforte l'hypothèse de pôles géothermaux au niveau d'au moins une partie des sources de la périphérie du dôme ;
- par contre, aucune trace chimique ou isotopique d'une composante ayant interagi à haute température avec les roches et les gaz et interprétable comme fuite géothermale, n'a été détectée dans les eaux des rivières drainant les flancs est et nord du massif.

L'écoulement sub-superficiel latéral depuis les sources de la rivière Chaude vers le littoral semble désormais établi.



## 3. Anses d'Arlet

### 3.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR LE SECTEUR DE LA « SOURCE DU DIAMANT »

Les études géo-scientifiques, en général, et hydrogéochimiques, en particulier, concernant le secteur des Anses d'Arlet sont beaucoup moins nombreuses que celles ayant trait à la Montagne Pelée et sont limitées à la seule source chaude des Eaux Ferrées (appelée aussi source de Petite Anse ou encore du Diamant). Celle-ci était considérée, en l'absence d'études proprement hydrogéochimiques, comme une émergence isolée, dans un contexte de volcanisme supposé ancien (Cormy *et al.*, 1970).

L'intérêt géothermique de cette source a commencé à être signalé lors de l'exploration des années 1980 (Iundt, 1984) sur des critères hydrogéochimiques. Les propriétés chimiques et isotopiques exceptionnelles de cette source, dans le contexte antillais, et son étroite association avec des venues de gaz d'origine clairement magmatique ont ensuite été mises en relief (Pedroni *et al.*, 1999). La poursuite de l'exploration géothermique a, alors, confirmé l'intérêt du secteur de la « source du Diamant » (Sanjuan *et al.*, 2003b) tandis qu'une étude géochronologique (*e.g.* Germa *et al.*, 2011) rajeunissait à un peu plus de 300 000 ans le volcanisme voisin de cette source.

### 3.2. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

Le volet géologie de cette étude conclut à l'extension passée de l'activité géothermale sur un axe NNO-SSE allant des Anses d'Arlet à Petite Anse. En outre, cette activité est supposée remonter à l'époque de l'activité volcanique de l'appareil des Roches Genty (au-delà de 350 ka). Il s'agirait donc d'une activité en voie de contraction.

Par ailleurs, l'étroite association avec le fonctionnement du Morne Jacqueline est soulignée par :

- la couverture argilisée (*caprock*) d'un système géothermal et intrusion dioritique, toutes deux découvertes à la faveur d'un effondrement sectoriel jouxtant la source des Eaux Ferrées ;
- les dépôts hydrothermaux fumeroliens signalant une période d'ébullition passée ayant succédé à une phase d'activité magmato-hydrothermale acide, liée au volcanisme.

Enfin, l'étude des gaz (CO<sub>2</sub> et hélium) des sols, des gaz libérés par l'émergence principale des Eaux Ferrées et des venues gazeuses sous-marines situées dans le prolongement de l'activité hydrothermale passée et du dyke dioritique, confirme l'origine magmatique de ces gaz.

D'autres sources situées à proximité de cet axe d'activité hydrothermale passée ont été étudiées. Du nord au sud, ce sont les sources Colette, Sucrierie, de la rivière Chaudière et Larcher. Leur lien éventuel avec la source des Eaux Ferrées est discuté.

### 3.3. CARACTÉRISTIQUES ET ORIGINES DES EAUX

#### 3.3.1. Source des Eaux Ferrées

##### *Caractéristiques générales*

La dénomination de cette source change selon les auteurs : appelée tantôt source de Petite Anse ou source du Diamant. Nous avons choisi sa dénomination actuelle : source des Eaux Ferrées.

La minéralisation relativement élevée reste à dominante chlorurée sodique et comprise entre 19 et 20 g/l (eau de mer à 35 g/l), sa température entre 34 et 35°C et son pH entre 5,99 et 6,3 (incertitude plus élevée due au dégazage de CO<sub>2</sub>)

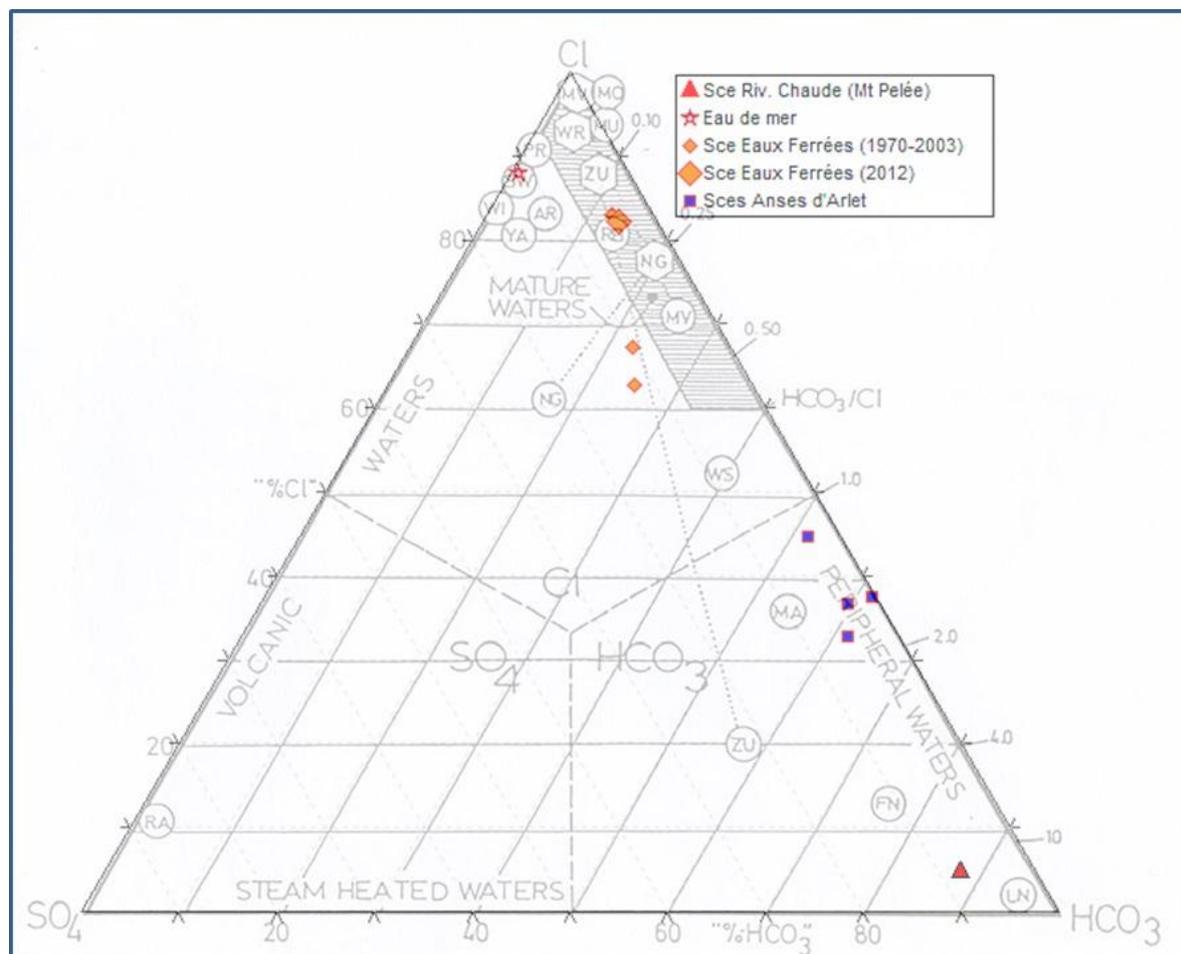


Figure 11 : Diagramme de Giggenbach de répartition des anions majeurs des sources de la zone des Anses d'Arlet.

L'étude des variations dans le temps, comme pour les sources chaudes de la Montagne Pelée, peut permettre d'apprécier l'évolution de la circulation hydrothermale. La plupart des indicateurs disponibles sur la durée (40 ans) vont dans le sens d'une interaction eau-roche à haute température plus marquée : hausse de B, Sr,  $\delta^{18}\text{O}$ , baisse de  $\delta\text{D}$ , légère augmentation de HCO<sub>3</sub> (donc de pCO<sub>2</sub>) et de Cl (Figure 33). La tendance générale à l'augmentation des teneurs en Li et Rb (sauf pour les valeurs obtenues en 2012) vont dans le même sens. La baisse de SO<sub>4</sub> peut correspondre à un développement de conditions plus réductrices en profondeur. L'évolution des

concentrations en SiO<sub>2</sub> (baisse de 12 %) semble contredire cette tendance à moins d'envisager une précipitation de silice au cours de la remontée du fluide. La coïncidence d'une interaction plus marquée et d'une précipitation de silice peut s'expliquer par une circulation rendue plus difficile, par exemple, à la suite d'un début de colmatage.

Les Eaux Ferrées se situent dans le domaine des eaux « matures » (*mature waters*) du diagramme de Giggenbach ou à proximité de ce domaine (Figure 11), ce qui les distingue des sources de la rivière Chaude (Montagne Pelée). Cette répartition doit cependant être complétée par d'autres indications afin de distinguer l'influence du pôle profond de ce qui peut résulter du seul effet de mélange avec l'eau de mer, qui influence le mélange contrairement aux sources de la rivière Chaude .

### Géothermométrie

L'estimation de la température d'interaction eau-roche par géothermométrie est illustrée par le diagramme Na-K-Mg de Giggenbach (Figure 12). Plusieurs géothermomètres convergent vers une gamme de température de 190 à 210 °C (Tableau 2). Les géothermomètres à silice sous-estiment nettement la température du fait :

- soit de la dilution probable de cette espèce avec des eaux superficielles ;
- soit de la précipitation de silice au cours d'une remontée avec un net refroidissement (plus probable).

	Calcédoine	Na-K			Na-K-Ca	
	Fournier et Potter, 1982	Tonani, 1980	Fournier, 1979	Giggenbach, 1983	Benjamin, et al., 1983	Fournier & Truesdell, 1973 $\beta=1/3$
Diamant 1 (2003)		206		183		
Diamant 2 (2003)		190				
MAR 29-0612	176	227	178	196	180	182

	Na-Li	Ca-K	Sr-K	Fe-K	<sup>18</sup> O (H <sub>2</sub> O-SO <sub>4</sub> )	Intervalle
	Kharaka et al., 1982	Michard, 1989	Michard, 1990	Michard, 1991	Mizutani & Rafter, 1969	T °C
Diamant 1 (2003)	176		225		211	180-225
Diamant 2 (2003)	179	226	225		213	180-225
MAR 29-06 (2012)				176		175-210

Tableau 2 : Géothermomètres appliqués à l'eau de la source des Eaux Ferrées (Petite Anse).

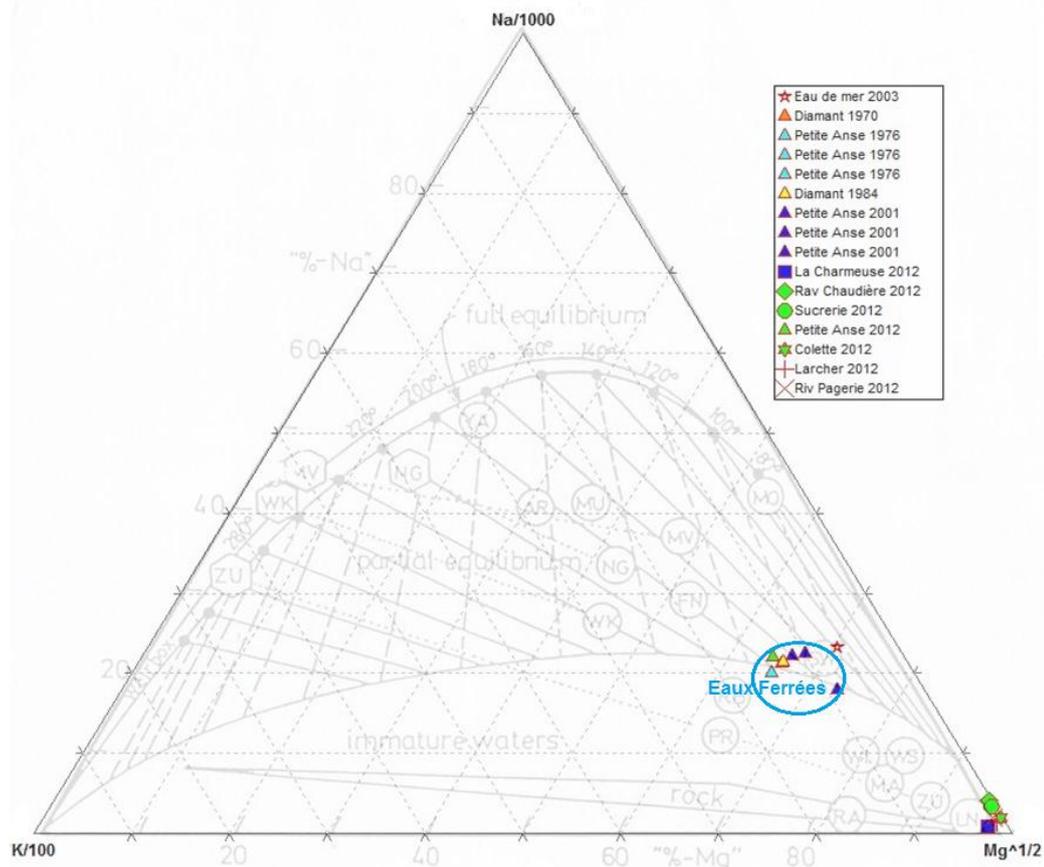


Figure 12 : Diagramme de Giggenbach de répartition des cations majeurs (géothermomètre) des sources de la zone des Anses d'Arlet.

### Origine du fluide hydrothermal et composantes du mélange

Plusieurs indices chimiques et isotopiques vont dans le sens non seulement d'une interaction eau-roche à haute température mais aussi d'une contribution magmatique à cet échange.

On peut noter (Figure 13) que les Eaux Ferrées s'écartent de la droite de mélange avec l'eau de mer dans un diagramme Br / Cl. Cet écart peut représenter :

- soit un déficit de bromures, difficile à expliquer ;
- soit un excès de chlorures allant jusqu'à 34 %.

Compte tenu des autres paramètres et du diagramme  $\delta D / \delta^{18}O$  (Figure 15), il est plus probable qu'il s'agisse de la deuxième hypothèse et que cet excès de chlore ait une origine magmatique.

Les concentrations élevées en certains éléments en traces (As, B, Cs, Li, Rb,...), les rapports isotopiques  $\delta^{18}O$  (Figure 14) et  $\delta^7Li$  (6,3 à 7,1 ‰) indiquent clairement une interaction eau-roche à haute température. Le rapport isotopique de l'hydrogène ( $\delta D$ ) ne semble pas présenter d'anomalie par rapport aux eaux souterraines locales mais il faut tenir compte de la contribution marine. Dans ce cas, une contribution d'eau d'origine profonde doit aussi être envisagée au niveau du réservoir (pôle profond de la Figure 14).

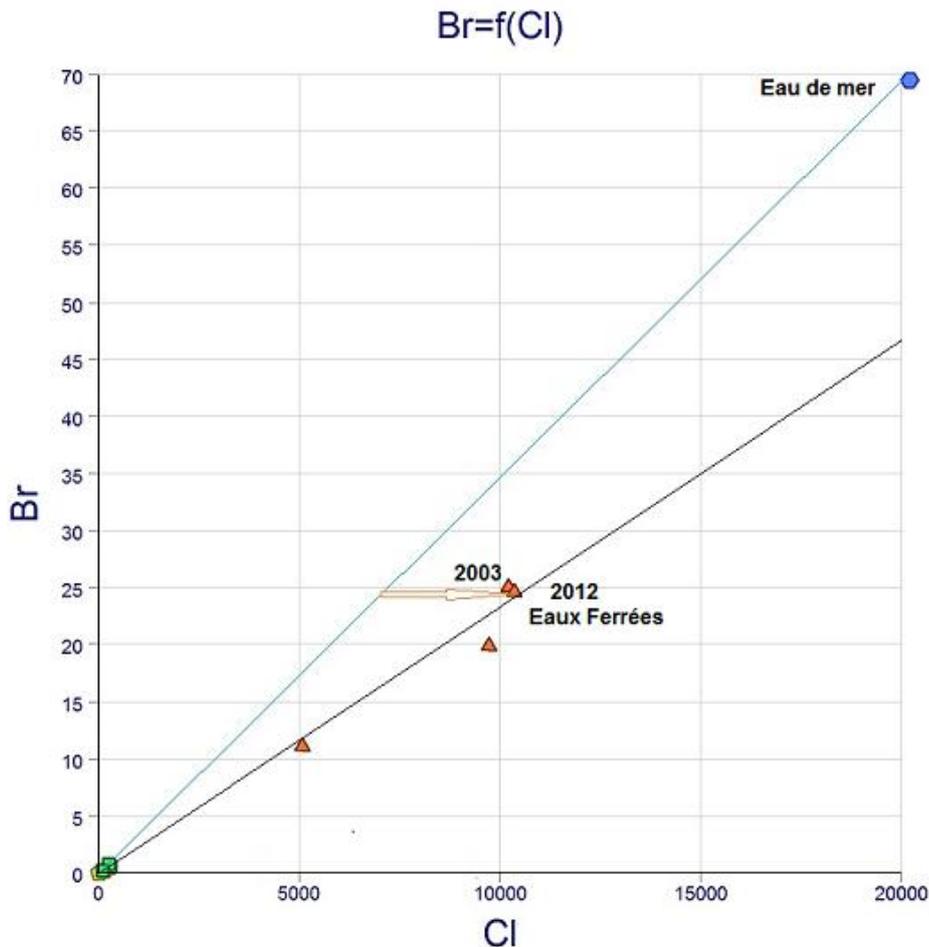


Figure 13 : Écart du rapport Br/Cl des Eaux Ferrées par rapport à l'eau de mer.

Comme pour les sources de la rivière Chaude la valeur du  $\delta^{13}C$  est élevée dans la source des Eaux Ferrées (+4,7 ‰ vs PDB). Cependant, la présence avérée d'une composante marine dans le mélange modifie les conditions. On peut supposer (Rivé, 2013, comm. pers.) que l'origine magmatique est plus probable que l'origine marine ; il y aurait un fractionnement par dégazage du  $CO_2$  accompagné de précipitation de carbonate. Le travertin est, d'ailleurs, visible autour de la source.

Une tentative d'estimation de la composition du pôle « chaud » du mélange peut se faire en utilisant la même méthode que pour les sources de la rivière Chaude sur la Montagne Pelée : mise à l'équilibre avec le quartz au moyen du code de calcul PHREEQ-C (Parkhurst *et al.*, 1999) et corrélation entre la concentration en silice obtenue et la concentration en chlorures à partir de la droite de mélange. La contribution d'eau de mer au liquide géothermal peut être ainsi estimée à environ 45 % (Figure 14). Cette approximation ne tient compte ni de la précipitation probable de silice au cours du refroidissement important (plus de 170 °C) qui accompagne la remontée, ni de l'excès de chlore (plus de 30 %, *cf. supra*). Ces deux approximations conduisent sans doute à une sous-estimation de la silice dissoute dans l'échantillon des Eaux Ferrées et à la surestimation du chlore d'origine marine.

Néanmoins, un contrôle par les isotopes de l'eau (indépendants des paramètres précédents) conduit à une estimation comprise entre 38 et 51 % d'eau de mer dans le fluide géothermal (Figure 15). Cette contribution marine, antérieure à l'interaction eau-roche à haute température,

a laissé quelques traces chimiques et isotopiques (Sanjuan *et al.*, 2003b) : notamment un rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  plus élevé (0,704812) que celui des sources chaudes de la Montagne Pelée (0,704233) ou de Tivoli (0,70443) et un  $\delta^{34}\text{S}$  intermédiaire entre celui des sulfates marins et celui des sulfures primaires.

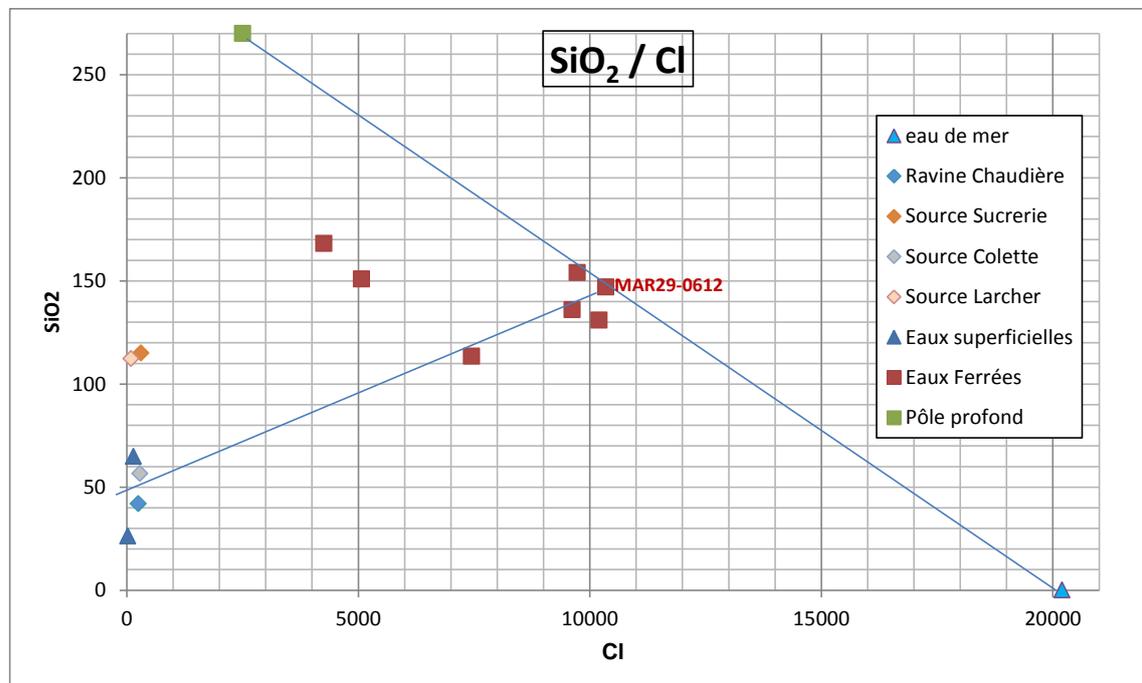


Figure 14 : Concentration en  $\text{SiO}_2$  en fonction de celle en chlorures pour les eaux des Anses d'Arlet.

Le pôle profond est constitué d'eaux ayant fortement interagi avec la roche magmatique encaissante (faible rapport eau/roche et/ou longue durée d'interaction). Il peut s'agir d'eaux météoriques mais qui se sont équilibrées chimiquement et isotopiquement avec les roches-hôtes profondes. À Bouillante, par exemple, l'eau météorique (intervenant dans la recharge actuelle) représente plus de 40 % du fluide géothermal (*e.g.* Sanjuan *et al.*, 2001). L'absence de contribution météorique actuelle significative confirme les conclusions de la géologie d'un réservoir en contraction et celles de l'hydrogéologie d'une recharge faible ou nulle autrement que par l'eau de mer.

Les diagrammes binaires (notamment  $\delta\text{D} / \delta^{18}\text{O}$ , Figure 15) mettent aussi en évidence un phénomène de mélange entre l'eau de la source des Eaux Ferrées et les eaux souterraines voisines (Colibri, Sucrierie,...). Au cours de la remontée, dans certains conduits, le fluide géothermal peut se mélanger avec des eaux souterraines locales.

Un simple mélange entre l'eau de mer et une composante magmatique, comme cela a été proposé dans d'autres contextes d'arc insulaire (Dotsika, 2009 ; Giggenbach, 1992) semble difficilement envisageable ici : les compositions très élevées en chlorures de ce pôle d'eaux magmatiques ( $\approx 100$  g/l) et le fort enrichissement en  $\delta^{18}\text{O}$  (Figure 15) ne semblent pas compatibles avec cette hypothèse.

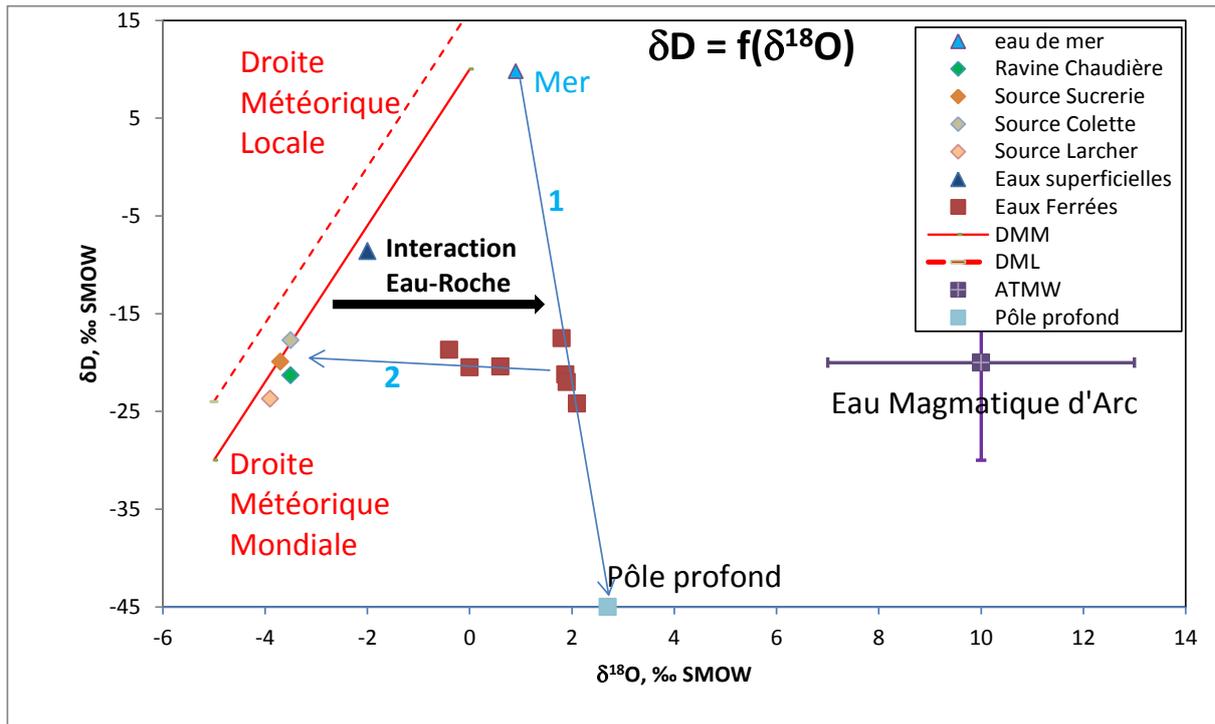


Figure 15 : Diagramme des isotopes stables de l'eau des sources de la zone des Anses d'Arlet.

Légende : DMM : Droite Météorique Mondiale,  $y = 8x + 10$  ; DML : Droite Météorique Locale (Guadeloupe),  $y = 8x + 16$  ; des droites de mélange supposées sont indiquées (1) entre l'eau de mer et un pôle profond pour les Eaux Ferrées (2) entre les Eaux Ferrées et des eaux souterraines locales.

Le caractère magmatique est confirmé par les isotopes du carbone et du lithium (Figure 16).

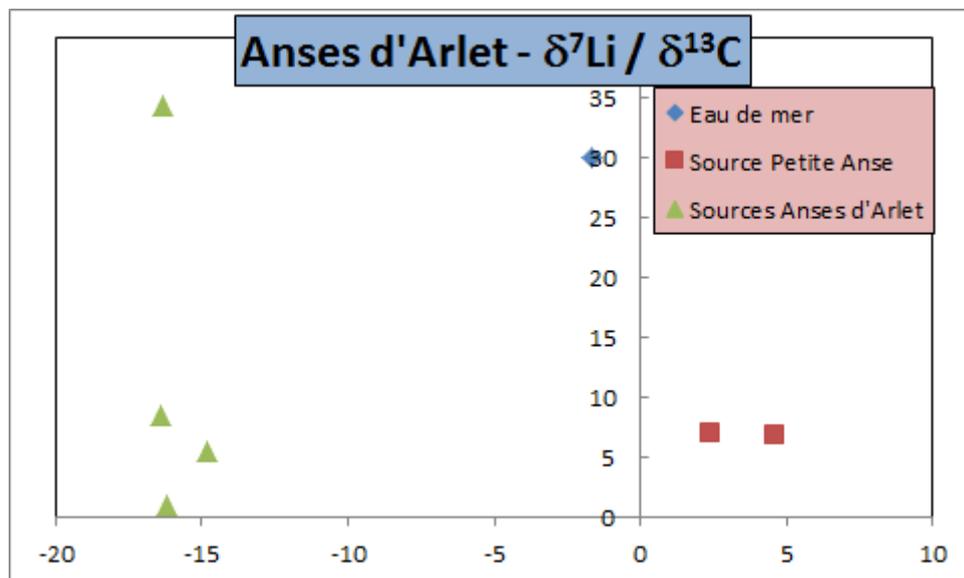


Figure 16 : Répartition des eaux de la zone des Anses d'Arlet dans un diagramme  $\delta^7\text{Li} / \delta^{13}\text{C}$ .

### **Phase « gaz »**

Un indice supplémentaire de remontée de fluides profonds dans cette zone est apportées par les quelques mesures faites sur des venues de gaz sous-marines prélevées dans la baie de Petite Anse, dans le prolongement de la zone des Eaux Ferrées. Il s'agit essentiellement de CO<sub>2</sub> (> 60 %) mais avec localement des concentrations anormales d'hélium (2,2 et 15,8 ppm pour 5,24 ppm dans l'atmosphère). Elles ont une signature clairement magmatique : les rapports isotopiques de l'hélium (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He) de l'échantillon ramené à celui de l'atmosphère (R/R<sub>a</sub>) atteignent 7,26 (Figure 22). C'est une valeur élevée, du même ordre (7,9) que celles trouvées par Pedroni *et al.* (1999), sur les eaux de cette même source, supérieure à celle (7,2) des sources de la Rivière Chaude (Jean-Baptiste, comm. pers., 2013) sous le dôme de la Montagne Pelée et proche de celle (8,2) des gaz émis par la Soufrière de Guadeloupe. Cela peut confirmer la permanence d'une alimentation mantellique et donc d'une activité magmatique à ce niveau.

D'autres éléments peuvent avoir été transportés dans la phase gaz magmatique, initiale, et être restés dissous : cela est sans doute le cas d'une partie du Chlore et du Bore. La signature isotopique de ce dernier (9 ‰ ; Sanjuan *et al.*, 2003b) est très proche de celle des condensats de fumerolles (2 à 8 ‰ selon Mossadik, 1997).

Les rapports isotopiques des gaz des sols (Gal, 2012) indiquent clairement une contribution magmatique tant pour l'hélium que pour le carbone du CO<sub>2</sub>.

### **Temps de transit**

L'absence de tritium dans les eaux en 2003 (Sanjuan *et al.*, 2003b) indique une circulation supérieure à 50 ans (*cf.* § 2.3.1). Sans évaluation plus précise, nous pouvons penser que la recharge de ce système par les eaux météoriques est limitée par un régime de précipitation au moins 4 fois plus « sec » que sur la Montagne Pelée et par des terrains *a priori* moins perméables (Vittecoq *et al.*, 2012). Il est possible d'interpréter les anomalies en éléments en traces et en isotopes par un rapport eau-roche faible et une durée d'interaction importante. Cela serait cohérent avec les conclusions géologiques évoquant un système en contraction.

#### **3.3.2. Autres sources du secteur des Anses d'Arlet (Colette, La Sucrierie, ravine Chaudière et Larcher)**

Ces sources n'ont pas été étudiées auparavant, à notre connaissance. Elles se répartissent sur le pourtour du secteur affecté par des altérations hydrothermales passées. Elles sont significativement moins minéralisées (0,45 à 1,1 g/l) que la source des Eaux Ferrées (18,6 à 20 g/l) et ne présentent aucun dégazage. Elles sont, néanmoins, aussi à dominante chlorurée sodique et deux d'entre elles déposent des carbonates.

L'examen des analyses tant chimiques (Figure 34) qu'isotopiques (Figure 15) ne permet pas de les relier à un système de mélange comprenant les Eaux Ferrées (et/ou son pôle profond).

Certaines présentent des concentrations en silice assez élevées (jusqu'à 110 mg/l) ce qui peut être l'indice de l'impact d'une haute température, la solubilité de la silice augmentant avec la température. Ces valeurs doivent, cependant, être comparées à celles des eaux superficielles de ce secteur (la rivière La Pagerie atteint 64 mg/l) qui sont marquées par les phénomènes d'altération superficielle tropicale (altération du verre et des minéraux des roches volcaniques, transformation en argiles avec mise en solution de calcium et de silice). La cinétique de précipitation de la silice étant plus lente que celle du carbonate de calcium, la silice reste dissoute tandis que des carbonates (travertins) se déposent.

La Figure 16 montre que le paramètre  $\delta^7\text{Li}$  peut se révéler ambigu et nécessite d'être croisé avec d'autres facteurs avant d'être interprété : pour 3 sources des Anses d'Arlet (Larcher, Chaudière et Sucrierie), les valeurs sont comparables à celles de la source des Eaux Ferrées. Ce phénomène se rencontre dans d'autres contextes dépourvus d'interaction eau-roche à haute température (comme rivière l'Étang sur la Montagne Pelée ou Deux Choux dans les Pitons du Carbet, *cf. infra*).

Ces sources présentent des valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  typiques d'une origine biogénique et de très faibles teneurs en éléments indicateurs d'interaction à haute température.

Les valeurs très négatives en deutérium peuvent être rapprochées de celles qui sont trouvées dans certaines eaux de pluie locales (*e.g.* Arnaud *et al.*, 2013), voire d'autres eaux souterraines (comme celle d'Habitation Dizac au Diamant, *in* Brenot *et al.*, 2008).

Leurs compositions ne portent donc de réelles traces ni d'une interaction eau-roche à haute température, ni d'une contribution magmatique (ou mantellique). Le diagramme de Giggenbach (Figure 12) est symptomatique : ces eaux restent près du pôle magnésien « superficiel » et se distinguent de fait des Eaux Ferrées.

L'absence de liens entre ces sources et les Eaux Ferrées va dans le sens d'un système hydrothermal relativement isolé, limité et/ou profond, centré sur Petite Anse.

### **3.4. PROPOSITION DE MODELE HYDROGÉOCHIMIQUE POUR LES EAUX THERMALES DES ANSES D'ARLET**

L'étude géochimique aboutit aux conclusions suivantes :

- la source des eaux Ferrées porte dans sa composition chimique et isotopique la signature d'une interaction avec les roches magmatique à haute température ;
- la température de cette interaction estimée par géothermométrie s'élève à 190-210 °C ;
- on peut supposer que l'interaction s'est faite avec un rapport eau-roche très faible et/ou sur une longue durée ;
- l'analyse des gaz émis confirme l'existence d'une contribution magmatique (mantellique) ;
- le fluide géothermal résulte d'un mélange entre un pôle profond, une composante d'eau de mer (estimée à moins de 50 %) et une composante magmatique (notamment gaz) ;
- de nouvelles sources analysées, bien que voisines des Eaux Ferrées et de l'ancien système hydrothermal, ne révèlent aucun lien de mélange avec les Eaux Ferrées. Aucune de ces eaux ne porte la trace d'interaction à haute température, ni de contribution de gaz magmatique.



## 4. Pitons du Carbet

### 4.1. HISTORIQUE

La zone des Pitons du Carbet a été relativement moins étudiée, du point de vue de la géochimie des fluides que les trois autres (Montagne Pelée, Petite Anse et Lamentin), à l'exception des sources et forages de Didier et d'Absalon. Deux sites (celui de Deux-Choux et de Champflore) bien que mentionnés dans le cadre de l'exploration de la Montagne Pelée (Sanjuan *et al.*, 2003) avaient été repérés comme sites d'intérêt géothermique de seconde priorité.

### 4.2. MÉTHODE

Notre étude s'est attachée à échantillonner et analyser les fluides des sources déjà connues (Didier, Absalon, Moutte, Deux Choux, Alma, la Médaille, Vieil Antoine,...), des sources nouvelles ou peu connues (rivière l'Abbé, ravine Absalon, rivière du Lorrain,...). Plusieurs sources n'ont pu être retrouvées et des forages ont disparu (Mairie de Fort-de-France, rivière Monsieur). Les phases gazeuses ont également été prélevées et analysées (Deux-Choux, Vieil Antoine). Les points d'eau échantillonnés ont été géo-localisés (Annexe 1).

La zone des Pitons du Carbet comporte une plus grande quantité de sources faiblement minéralisées ( $< 100 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), présentant éventuellement des dépôts ferrugineux et ayant un pH relativement bas ( $< 6,5$ ), mais résultant d'une circulation sub-superficielle (Vittecoq et Gutierrez, 2012). Des mesures physico-chimiques *in situ* (non reportées ici) ont permis une caractérisation sommaire de ces venues d'eau.

Nous avons ajouté aux eaux souterraines des prélèvements et des analyses des eaux d'une dizaine de rivières drainant ce massif des Pitons du Carbet.

### 4.3. RÉPARTITION SPATIALE DES EAUX DES SOURCES ET ÉMANATIONS GAZEUSES

Les eaux souterraines les plus minéralisées ( $> 0,5 \text{ g/l}$ ) et les émanations de gaz, qu'elles y soient associées ou non, se répartissent, pour l'essentiel, sur le pourtour des Pitons les plus récents (mis en place autour de  $337 \pm 5 \text{ ka}$ , cf. § 4.1), plutôt à l'intérieur de la cicatrice supposée d'effondrement sectoriel (Boudon *et al.*, 1992 et Figure 17).

Concernant les gaz libres, le forage Desgrottes se trouve au Nord de la cicatrice mais il se situe dans le prolongement d'une anomalie gravimétrique lourde orientée NO-SE (Coppo *et al.*, 2014) interprétée comme un axe d'alimentation magmatique majeur, reliant le Mont Conil aux Pitons du Carbet *via* la Montagne Pelée. La mofette de Deux Choux se trouve au pied du Piton Gelé ( $770 \pm 10 \text{ ka}$ ), à l'extrémité NNE de la cicatrice. Les sources d'eau carbo-gazeuses d'Absalon et Didier, situées à proximité de la branche Sud de la cicatrice et à proximité de la formation la plus récente du massif volcanique (lave de Plateau Courbaril datée à  $322 \pm 6 \text{ ka}$ , d'après Germa *et al.*, 2011), seraient associées à une paléo-vallée (Traineau *et al.*, 2013). La source du Vieil Antoine résulte probablement d'un dégagement gazeux dans un écoulement superficiel (Lopoukhine et Mouret, 1977) ; elle se situe au pied du Morne Tranchette qui appartient au groupe des Pitons récents.

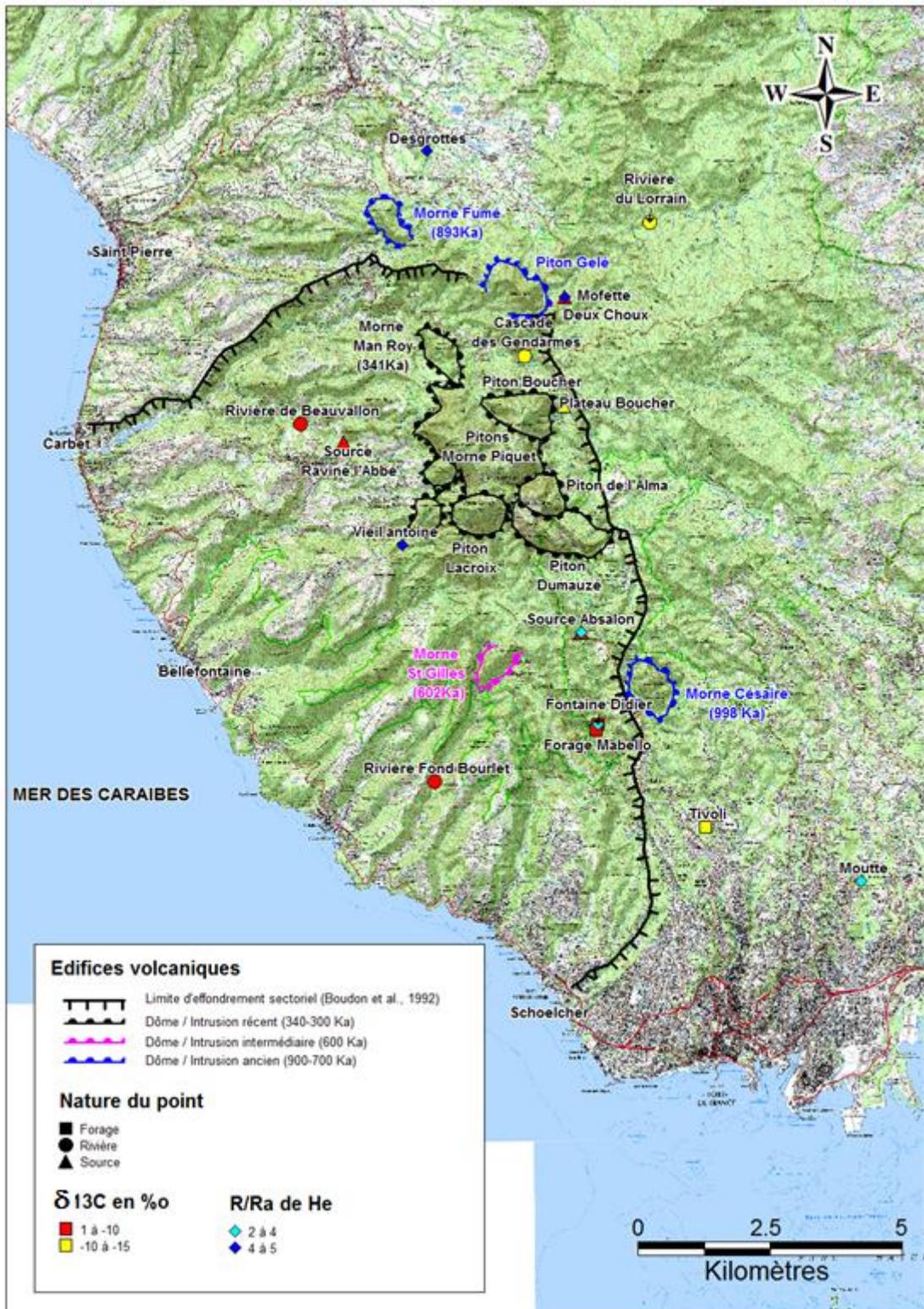


Figure 17 : Zones à émanations de gaz d'origine magmatique autour des Pitons du Carbet.

#### 4.3.1. Répartition par type chimique

Les différentes analyses d'eau réalisées dans la zone des Pitons du Carbet balayent une relative diversité de compositions (Figure 18). Certaines eaux sont clairement bicarbonatées sodiques comme celle des forages de Tivoli et de la rivière Monsieur ; d'autres sont nettement chlorurées sodiques comme le puits de Schoelcher-Case Navire et le captage de Moutte ; d'autres encore sont sulfatées calciques comme celles de la rivière du Lorrain et de la zone de Deux-Choux ; une majorité, enfin est bicarbonatée sodi-calcique.

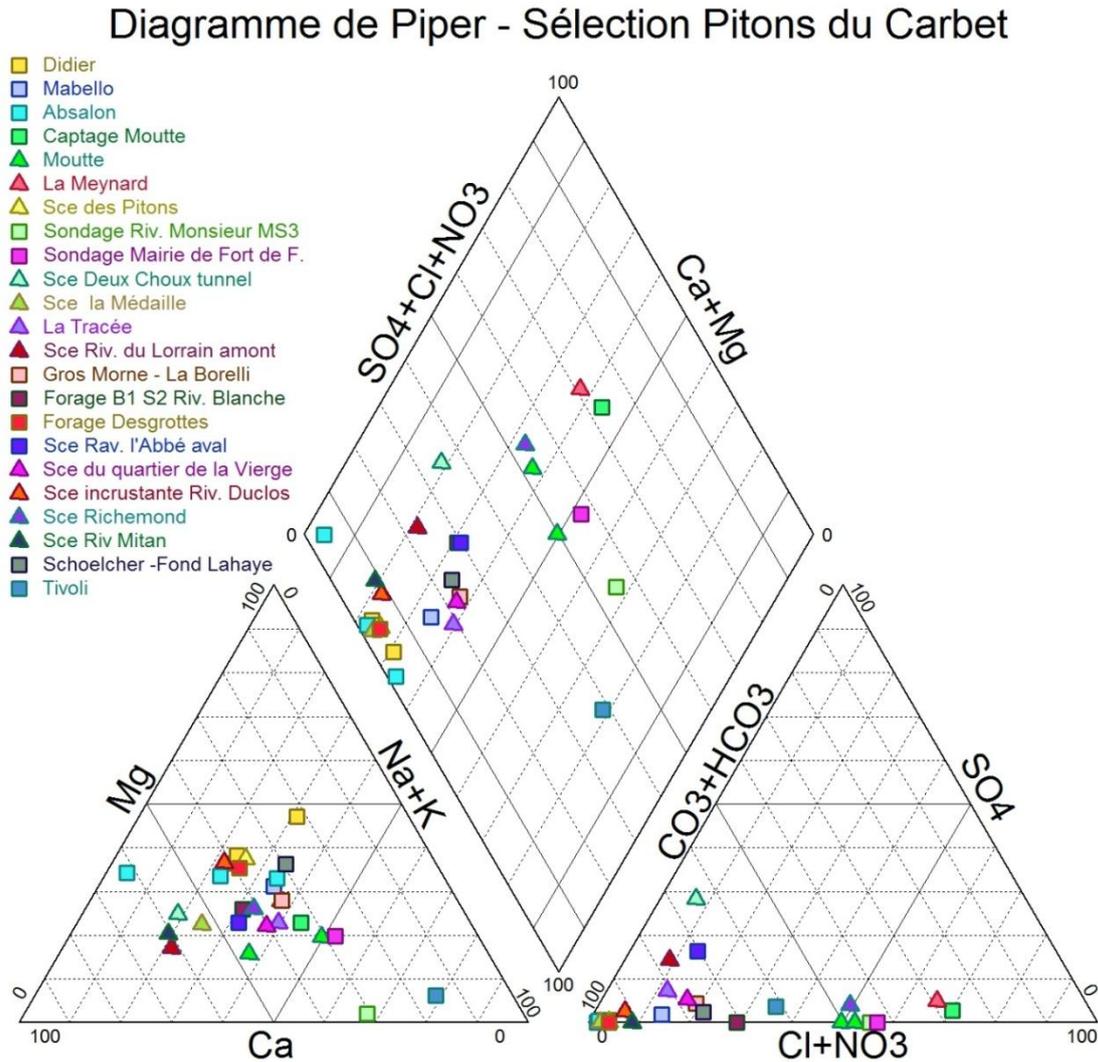


Figure 18 : Répartition d'une sélection d'eaux souterraines des Pitons du Carbet dans un diagramme de Piper.

Les eaux sulfatées (Figure 35) se situent essentiellement dans la zone des laves plus anciennes (Morne Jacob) hydrothermalisées à pyrite, au nord-est du massif, plus ponctuellement, au nord-ouest, dans les formations du démantèlement entourant Morne Vert et reprenant probablement les formations pyritisées du Morne Jacob.

Les eaux chlorurées se localisent uniquement au Sud sur une bande littorale orientée est-ouest entre Schoelcher et la rivière Monsieur, et sont probablement influencées par l'eau de mer.

## 4.4. CARACTÉRISATION ET ORIGINE DES EAUX SOUTERRAINES

### 4.4.1. Mofette de Deux Choux et alentours de la rivière du Lorrain

Le secteur de Deux-Choux, comprend des émanations de gaz (mofette), des sources avec ou sans dégazage, notamment dans le lit de la rivière du Lorrain et des eaux superficielles (rivières du Petit Nicolas et du Lorrain).

Le gaz émis au niveau de la mofette comporte plus de 97 % de CO<sub>2</sub> avec des traces de H<sub>2</sub>S (13 ppm mesurés au niveau des forages ; Gadalia *et al.*, 2012) et d'hélium (1,9 à 2,2 ppm ; Gal, 2012 ; Sanjuan *et al.*, 2003b). Le radon a également été dosé. Comme le signalent Chovelon et Marty (1985) pour le Lamentin et Gal (2012) pour Deux Choux, il existe une anti-corrélation entre CO<sub>2</sub> et Hélium. Radon et CO<sub>2</sub> seraient, par contre, corrélés au Lamentin mais, apparemment, pas à Deux-Choux où, avec une moyenne de 410 Bq/m<sup>3</sup>, sur des mesures en continu effectuées sur l'un des forages du site, aucune anomalie en <sup>222</sup>Rn n'est détectée.

Le dégazage n'introduit aucune augmentation mesurable de température ni dans les forages, ni dans l'eau où il se produit : il s'agit bien d'une mofette froide. Dans la mesure où le CO<sub>2</sub> libéré des eaux et des sols (-7,3 ‰ < δ<sup>13</sup>C < -6,28 ‰ vs PDB) ainsi que le CITD des eaux (*cf.* Figure 20) et l'hélium (4,45 R<sub>a</sub> < <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He < 4,74 R<sub>a</sub>) sont caractérisés par des signatures isotopiques magmatiques (Pedroni *et al.*, 1999 ; Gal, 2012 ; Sanjuan *et al.*, 2003), le mélange CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S peut avoir deux origines :

- l'émanation d'un réservoir géothermique profond en ébullition dont les gaz les plus agressifs auraient été soit neutralisés (HF, HCl), soit réduits (de SO<sub>2</sub> vers H<sub>2</sub>S) ;
- l'émanation (CO<sub>2</sub>, He) d'un corps magmatique profond en cours de refroidissement interagissant à faible profondeur avec une eau enrichie en sulfures et dégageant H<sub>2</sub>S par *stripping* (le flux de CO<sub>2</sub> arrache les molécules de H<sub>2</sub>S en solution).

Le contexte fortement hydrothermalisé (et en particulier pyritisé) des formations volcaniques du Morne Jacob dans cette zone (Traineau *et al.*, 2013) milite en faveur de la seconde option. Le caractère nettement insoluble de la pyrite suppose, dans un premier temps, un passage oxydant facilité par l'oxygène dissous des eaux de surface suivant la réaction chimique :



Une eau enrichie en sulfate (et acidifiée) s'infiltré donc dans ce secteur ; au cours de son infiltration, l'oxygène étant consommé, elle parvient à un niveau suffisamment réducteur où, dans un deuxième temps, le sulfate est réduit suivant la réaction chimique :



Les deux niveaux de réactions sont contrastés en termes acido-basiques : au niveau le plus superficiel (oxydation), 2H<sup>+</sup> sont produits pour chaque mole de pyrite oxydée, tandis que juste en dessous (réduction), 10H<sup>+</sup> sont consommés par mole de sulfate réduite (soit le double, si on garde la mole de pyrite en référence). Cela explique, en retour, le caractère très contrasté des pH des eaux de la mofette (de moins de 4 à plus de 9). Par contre, pour alimenter le système en ions H<sup>+</sup>, la dissolution du CO<sub>2</sub> profond joue un rôle complémentaire à celui de l'oxydation des sulfures suivant la réaction chimique :



Le flux de CO<sub>2</sub> mis en solution doit être suffisant pour fournir les 18 H<sup>+</sup> nécessaires à la réduction du sulfate et à la production de H<sub>2</sub>S. La réaction est probablement très incomplète, ce qui explique la relativement faible concentration en H<sub>2</sub>S et le maintien en solution de SO<sub>4</sub>. La mesure de l'alcalinité qui aurait pu mettre en évidence les ions sulfures ne donne pas de résultat significatif.

L'absence d'anomalie thermique détectable, liée au dégazage, pourtant d'origine profonde, peut résulter d'un rapport eau/gaz élevé des formations traversées (et une relativement faible pCO<sub>2</sub>) combiné à un trajet relativement long.

Cela confirme aussi le caractère superficiel des processus et l'origine peu profonde des eaux des sources de Deux Choux, qu'elles soient acides ou basiques.

La charge en sulfates des eaux (de sources ou de rivières) de l'ensemble du secteur correspondant à la zone hydrothermalisée des formations du Morne Jacob, et les précipitations ferrugineuses aux émergences des sources, vont également dans le sens d'un rôle majeur de la pyrite dans le contrôle de la composition de ces eaux. A l'oxydation / dissolution primaire de la pyrite, il convient d'ajouter l'oxydation de fer dissous qui peut également contribuer à alimenter en H<sup>+</sup> les eaux infiltrées où se produira la réduction des sulfates suivant la réaction chimique :



Les eaux de Deux-Choux ne présentent aucune trace d'interaction profonde ni contribution d'éléments associés à une phase gazeuse magmatique autre que le CO<sub>2</sub>. Par contre, leur acidité conduit à la dissolution de minéraux argileux qui les enrichissent en Al, Nd, Ga et conduisent aussi à la mise en solution d'éléments adsorbés comme le thorium (associé lui-même, sans doute, à la pyrite) et l'isotope <sup>6</sup>Li (expliquant la valeur relativement basse de δ<sup>7</sup>Li qui ne peut être retenue, ici, comme indice d'interaction actuelle à haute température).

L'uranium est un élément sensible aux réactions d'oxydo-réduction. On observe un enrichissement préférentiel en <sup>234</sup>U. À l'inverse des sources de rivière Chaude (Montagne Pelée), il n'y a pas de données permettant d'estimer les temps de résidence. Mais, là encore, il semble que les isotopes de l'uranium marquent les processus d'interaction eau/roche. Une hypothèse possible est que les isotopes de l'uranium portent l'empreinte du caractère réduit de l'eau (concentration basse, rapports d'activités enrichis en <sup>234</sup>U). Le passage à l'état réduit conduirait à un enrichissement en <sup>234</sup>U synchrone de la précipitation de U. Ainsi, les eaux superficielles pourraient être, à l'origine, à peu près à l'équilibre, puis acquérir leurs caractéristiques isotopiques lors de la réduction, ces dernières restant inchangées lors de l'oxydation finale se produisant à l'émergence. Ce type de processus est assez classique, notamment dans le cas des nappes d'eau souterraine passant de l'état libre à l'état captif.

Le système de circulation de Deux-Choux peut donc se résumer à une interaction entre :

- un gaz, constitué essentiellement de CO<sub>2</sub>, issu du refroidissement d'un corps magmatique ;
- des eaux peu profondes ayant lessivé des formations pyritisées à la suite d'un épisode hydrothermal fossile.

Le site de Deux-Choux présente donc bien des venues de gaz d'origine magmatique comme cela avait été souligné (Sanjuan *et al.*, 2003b), mais aucune trace d'eau ayant interagi à haute température n'y a été détectée.

#### 4.4.2. Sources de Didier et Absalon

##### **Caractéristiques générales**

Les eaux de Didier et d'Absalon présentent un caractère à la fois thermal ( $31\text{ °C} < T < 33\text{ °C}$  à Didier et  $35\text{ °C} < T < 37\text{ °C}$  à Absalon) et carbogazeux. Il ne s'agit pas simplement d'un dégazage dans une eau peu profonde, comme à Deux-Choux, mais bien d'une eau minérale où le gaz, dissous en profondeur, est libéré au cours de la remontée du fluide et à la pression atmosphérique.

La qualité des eaux de la source de Didier est suivie, au moins, depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Les teneurs en  $\text{HCO}_3$  sont irrégulières (variation du simple au double) ; elles peuvent résulter du dégazage du  $\text{CO}_2$  au cours du processus analytique mais aussi de variation du flux de gaz d'origine profonde ; les concentrations en bore, lithium, sulfates, chlorures et en deutérium (Figure 36) ont connu des variations de même amplitude.

La relative instabilité des compositions chimiques et isotopiques (près de 10 ‰ en  $\delta\text{D}$ ) peut indiquer, outre l'influence du  $\text{CO}_2$ , celle d'eaux météoriques marquées, en Martinique, par de fortes variations saisonnières (Brenot *et al.*, 2007). Cet impact météorique est confirmé par :

- la présence mesurée d'oxygène dissous en teneurs très variables (0,8 à 6,26 mg/l) (mesures Antea de 1994, P. Laurendon, comm.pers.) ;
- l'analyse de tritium dans les eaux de la source Didier (Chéry, 1994). L'activité mesurée indique, en tout état de cause, que l'eau (ou une partie de l'eau) s'est infiltrée moins de 40 ans avant son prélèvement.

##### **Mélange avec l'eau de mer**

Les rapports Br/Cl (Figure 19) des eaux des sources de Didier ( $1,9 \cdot 10^{-3}$ ) et d'Absalon ( $2,5 \cdot 10^{-3}$ ) se distinguent entre eux mais sont inférieurs à celui de l'eau de mer ( $3,3 \cdot 10^{-3}$ ).

L'analyse isotopique du soufre des sulfates (Chéry, 1994 ; Sanjuan *et al.*, 2002) donne des résultats contrastés entre les deux sources :  $\delta^{34}\text{S}$  est proche de la valeur de l'eau de mer (20 ‰ vs CDT) à Absalon (20,8 ‰ vs CDT) alors qu'il peut être interprété à Didier (8,6 ‰ vs CDT) comme résultant, au moins en partie, de l'oxydation de sulfures (pyrite). L'analyse de  $\delta^{18}\text{O}$  des mêmes sulfates à Didier (9,4 ‰ vs SMOW), comme à Absalon (12,2 ‰ vs SMOW), se rapproche également de la valeur obtenue sur l'eau de mer (9,45 ‰ vs SMOW).

Des rapports isotopiques du strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) significativement différents ont été obtenus sur l'eau de Didier par Sanjuan *et al.*, 2002 (0,7046) d'une part et par Rad *et al.*, 2007 (0,7078), d'autre part. La seconde mesure constitue la valeur la plus élevée des mesures  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  effectuées sur la zone des Pitons (*e.g.* Brenot *et al.*, 2006) et peut laisser penser à une nette contamination par l'eau de mer (0,709), contrairement à la première. On a vu que l'eau de Didier était sujette à des variations de composition chimique et isotopique due à la part variable d'eaux météoriques.

La question d'une faible contribution marine aux eaux de Didier-Absalon n'est pas tranchée, compte tenu de deux sources d'information apparemment contradictoires :

- les variations chimiques (Figure 39 et Figure 40) et les valeurs de  $\delta\text{D} / \delta^{18}\text{O}$  (Figure 21) situent les eaux de Didier-Absalon en dehors d'une droite de mélange avec l'eau de mer en dehors éventuellement des eaux de Mabello (*cf. infra*) ;

- les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  de  $\text{SO}_4$  obtenues à Absalon, l'une des deux valeurs de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  mesurée à Didier et celles de  $\delta^{18}\text{O}$  de  $\text{SO}_4$  sur les deux sites peuvent tracer une contribution de l'eau de mer.

À ce stade, si composante marine il y avait, elle ne dépasserait pas 0,1 % et ne concernerait pas la circulation actuelle. Des analyses isotopiques supplémentaires ( $\delta^{11}\text{B}$  notamment) permettraient de préciser ce point.

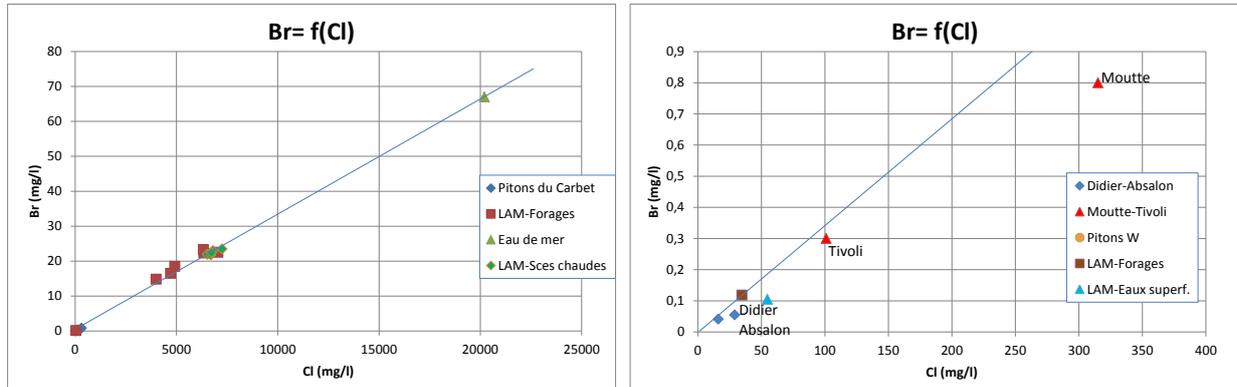


Figure 19 : Rapport Br/Cl des eaux des Pitons du Carbet comparés à celui de l'eau de mer.

### Interaction eau – roche

Pour caractériser ces eaux souterraines, des diagrammes binaires sont utilisés en reportant les concentrations en différentes espèces analysées en fonction de celle de l'ion chlorure (Cl), de l'ion bicarbonate ( $\text{HCO}_3$ ), de l'élément bore (B) ou de l'élément lithium (Li), donc à partir de critères indépendants (Figure 39, Figure 42, Figure 43, Figure 44). Un diagramme reliant les isotopes de l'eau (Figure 21) peut aussi être utilisé tout comme une combinaison d'espèces dissoutes et isotopes stables de l'eau (Figure 40). Ces diagrammes permettent de mettre en évidence les phénomènes de mélange survenus au cours de la circulation des eaux souterraines ; ceux-ci se traduisent par l'alignement des points représentatifs selon une « droite de mélange ».

Les diagrammes obtenus à partir des points représentatifs des sources de Didier et Absalon justifient leur regroupement dans une même série.

Les diagrammes binaires en fonction de l'ion chlorure indiquent que les droites de mélange du groupe Didier-Absalon, pour différentes espèces, convergent vers un pôle ayant entre 15 et 20 mg/l de Cl. Cette espèce conservatrice a tendance, ici, à diminuer ou rester constante avec l'augmentation des éléments caractéristiques de l'interaction eau-roche (B, Li, Cs, Rb,...). Hormis son éventuel rôle dans la formation d'un pôle profond (au niveau du réservoir), l'eau de mer n'intervient donc pas significativement dans la circulation hydrothermale actuelle. Par ailleurs, en ce qui concerne les eaux de Didier, on a vu qu'une instabilité de la concentration en chlorures s'observaient dans les analyses des 30 dernières années, ce qui peut fausser l'interprétation.

L'augmentation des teneurs en espèces de référence liées soit au dégazage d'origine magmatique ( $\text{HCO}_3$ , B), soit à l'interaction eau-roche (Li), va de pair avec :

- une augmentation des concentrations en Mg et Ca contrairement aux cas d'interaction à haute température (Pelée-Rivière Chaude et Petite Anse) ;

- une augmentation des traceurs de l'interaction eau-roche-gaz tels que Sr, Rb, Cs, As, Ge, Ba avec HCO<sub>3</sub>, B et Li confirmant ce type d'interaction ;
- une même tendance d'interaction pour les espèces majeures telles que Na, K et, dans une moindre mesure, SiO<sub>2</sub> ; il semble que le pôle de mélange moins minéralisé (plutôt que « eau douce ») soit déjà enrichi en silice comme cela a été noté pour les eaux superficielles (altération superficielle tropicale) ;
- une tendance de l'ion SO<sub>4</sub> à décroître, ce qui est cohérent avec une évolution vers des milieux plus réducteurs ;
- une gamme de variation significative sur une même source.

Ces diagrammes montrent que l'interaction eau-roche a bien contrôlé la composition des eaux mais que l'équilibre de ces eaux ne s'est pas produit à haute température et n'a pas été complet induisant des variations de composition d'une analyse à l'autre. Cette déduction est en accord avec l'observation du diagramme binaire des isotopes de l'eau (Figure 21) n'indiquant aucune dérive de  $\delta^{18}\text{O}$  due à une interaction eau-roche poussée.

### Géothermométrie

Le calcul de géothermométrie permet d'estimer, à partir de la composition chimique (voire isotopique), la température à laquelle les eaux de ces sources, ou une composante de celles-ci, a pu s'équilibrer avec les roches en profondeur. Le caractère carbogazeux des eaux rend délicat l'utilisation de plusieurs géothermomètres, notamment ceux à Na-K ; par ailleurs bien que plusieurs autres géothermomètres aient été calibrés en milieu granitique (Michard, 1990), leurs résultats restent dans l'intervalle général.

La convergence se fait entre 100 et 140 °C pour les deux sources de Didier et d'Absalon (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), ce qui est conforme aux estimations précédentes de anjuan *et al.* (2002).

Dans les diagrammes de Giggenbach, les eaux de Didier et Absalon sont confinées au pôle bicarbonaté (*immature waters* du diagramme HCO<sub>3</sub>-Cl-SO<sub>4</sub>) de la Figure 23 et au pôle magnésien, et restent très éloignées de l'équilibre partiel (diagramme Na-K-Mg Figure 24). Enfin, comme le notent Sanjuan *et al.* (2000), la coïncidence entre des valeurs élevées en SiO<sub>2</sub> et des concentrations limitées en Li (As, Rb, Cs, Ge) apparaît paradoxale.

	Calcédoine					Na-K		Na-K-Ca
	Fournier, 1977	Giggenbach, 1983	Michard, 1990	Arnorsson, 1983	Helgeson, 1978	Fournier & Truesdell, 1973	Fournier, 1979	Fournier & Truesdell, 1973
Didier	115	124	99	128	132			
Absalon	129	139	111	125	130			121,08
Mabello	122	132	105	121	126			
Moutte	132	142	113	128	132	132		138
Pitons	116	125	100	113	118			
Ravine l'Abbé aval	102	110	89	100	106	103		112
Tivoli	109	117	95	118	138		118	110
Fond Lahaye	121	130	104	118	123			110
Mairie de	71.9	77.6	64.8	73.2	80			

Fort-de-F.							
------------	--	--	--	--	--	--	--

	Ca-K	Na-Li	Sr-K	Cs-Na	Rb-Na	<sup>18</sup> O(H <sub>2</sub> O-SO <sub>4</sub> )	Intervalle
	Michard, 1990	Kharaka et al., 1982	Michard, 1990	Michard, 1990	Michard, 1990	Mizutani & Rafter, 1969	T°C
Didier	111	134	112		107	145	105<T<145
Absalon		138	101		114	115	100<T<140
Mabello	103	126	103		108		100<T<130
Moutte	101	124	102		96		95<T<140
Pitons	116	124	131				100<T<130
Ravine l'Abbé aval		90		124			90<T<125
Tivoli	96		102			105	95<T<120
Fond Lahaye	116	85					85<T<130
Mairie de Fort-de-F							65<T<80

Tableau 3 : Estimations des températures profondes des eaux des Pitons du Carbet à partir de divers géothermomètres.

### Interaction eau-gaz magmatique

La proportion de CO<sub>2</sub>, dans la phase « gaz », dépasse 99 % à Absalon (après correction d'une légère contamination par l'air) ainsi qu'à Didier (Chéry, 1994). Les évolutions des diagrammes binaires (y compris le diagramme des isotopes stables de l'eau) laissent penser que le CO<sub>2</sub> a eu un rôle déterminant dans la minéralisation des eaux en profondeur. Il semble aussi que le gaz carbonique soit lui-même associé à certaines espèces telles que le bore.

Le calcul de la pression partielle de CO<sub>2</sub> par le logiciel PHREEQ-C (Parkhurst et Appelo, 1999) indique une pCO<sub>2</sub> de 1,01 bar pour Didier et de 1,75 bar pour Absalon. Les analyses isotopiques de δ<sup>13</sup>C sur le CO<sub>2</sub> (qui sont de -9,43 ‰ vs PDB à Didier et de -8,65 et -8,8 ‰ vs PDB à Absalon) et sur le CITD des eaux (cf. Figure 20) indiquent une origine à dominante magmatique avec une composante biogénique de la phase gazeuse. La composante « biogénique » est conforme aux influences météoriques déjà notées.

La composante magmatique se confirme à l'examen des rapports isotopiques de l'hélium <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He de 3,39 R<sub>a</sub> à Didier et de 3,13 – 3,28 R<sub>a</sub> à Absalon (Pedroni *et al.*, 1999).

La valeur du δ<sup>13</sup>C sur le Carbone Inorganique Total Dissous (CITD) est plus élevée sur les deux sites (-5,2 à -2,1 à Didier et -0,4 ‰ vs PDB à Absalon). Cet écart, par rapport au δ<sup>13</sup>C de la phase « gaz », traduit soit un mélange entre le CO<sub>2</sub> magmatique et un carbonate d'origine marine, soit un fractionnement dû au dégazage et à la précipitation de carbonates au cours de la remontée du fluide. La deuxième option paraît plus vraisemblable : même si aucune trace de travertin n'est signalée à proximité des sources, les calculs de saturation effectués indiquent que les eaux sont sursaturées vis-à-vis des carbonates (Chéry, 1994 et Sanjuan *et al.*, 2002).

En résumé, les eaux du système de circulation hydrothermal de Didier et Absalon se caractérisent par les traits suivants :

- une interaction eau-roche à moyenne température (100-140 °C) ;
- une influence marquée du CO<sub>2</sub> d'origine magmatique (la plus forte analysée en Martinique) ;
- un mélange avec des eaux météoriques au cours de la remontée ;
- un pôle profond formé essentiellement à partir d'eaux souterraines marquées par l'altération superficielle ; il ne peut être exclu qu'une faible contribution marine soit intervenue dans la constitution de ce pôle profond.

### **Corrélations avec d'autres eaux souterraines**

Le nouveau forage de Mabello, implanté sur le site de Fontaine Didier (captage à -98 m), produit une eau non carbogazeuse mais qui reste bicarbonatée. Selon l'espèce choisie comme référence (Cl, HCO<sub>3</sub>, B ou Li) dans les diagrammes binaires (Figure 39, Figure 42, Figure 43, Figure 44), certaines espèces peuvent avoir un comportement géochimique intermédiaire entre les eaux du groupe Didier-Absalon et celui de Moutte (*cf. infra*). Sur le plan isotopique, l'eau de Mabello atteint le  $\delta^7\text{Li}$  le plus faible mesuré en Martinique (1,6 ‰) pratiquement au niveau d'Absalon (1,9 ‰) tandis que le  $\delta^{13}\text{C}$  du CITD est un peu plus faible (-5,6 contre -2,1 et -0,4 ‰ vs PDB, respectivement pour Didier et Absalon) laissant supposer une légère contamination par du carbone biogénique. L'eau de Mabello malgré une température identique et des caractéristiques géochimiques et isotopiques voisines de Didier et Absalon (mélange avec des eaux météoriques) n'est pas soumise à la même pCO<sub>2</sub> et se distingue du comportement géochimique de ses voisines, Didier et Absalon.

Lopoukhine et Mouret (1977), sur des critères purement statistiques (Analyse en Composante Principale) et à partir des seules analyses chimiques, ont associé aux sources de Didier et Absalon celles des Pitons, de la rivière Duclos mais aussi de la ravine l'Abbé, de la rivière Mitan, de la ravine Victorin et de Fond Marie-Reine (forage Desgrottes à Champflore). La liste peut être élargie, sur la base de l'étude des diagrammes binaires, à de nouvelles eaux : celles de la source Agathe (Chéry, 1994), de la source de la ravine Absalon.

Si une partie de ces sources se situe à proximité du groupe Didier-Absalon (rivière Duclos, le forage Mabello, les sources Agathe et ex-La Médaille ainsi que celle de la ravine Absalon), les autres se répartissent soit au Nord des Pitons du Carbet (forage Desgrottes), soit autour de Morne Vert (sources de ravine l'Abbé, de ravine Mitan et de ravine Victorin).

L'ensemble de ces eaux souterraines se caractérise par de faibles teneurs en chlorures et sulfates, par un caractère nettement bicarbonaté, des concentrations assez élevées en SiO<sub>2</sub> (> 65 mg/l), relativement fortes en Ca et Mg et appauvries en <sup>18</sup>O.

Les températures d'équilibre en profondeur, calculées à partir des géothermomètres se situent dans un intervalle comparable (90-140 °C).

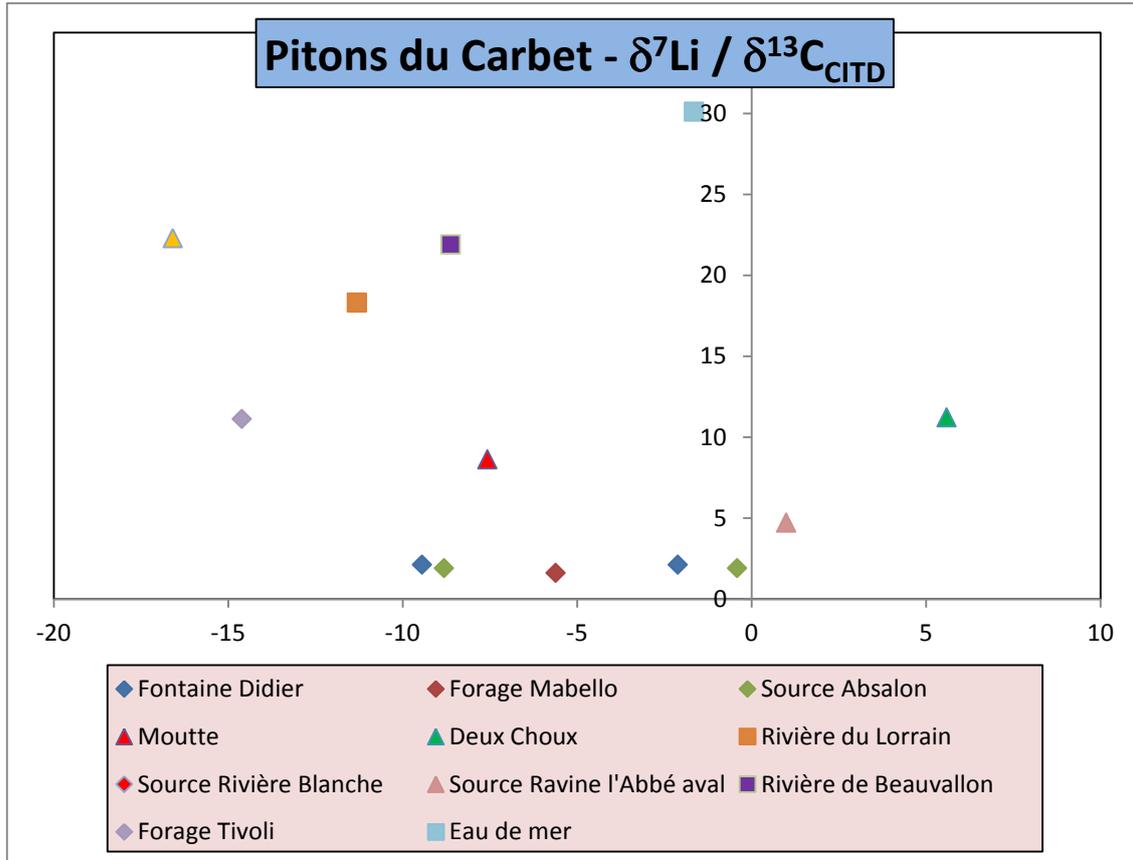


Figure 20 : Répartition dans un diagramme  $\delta^7\text{Li} / \delta^{13}\text{C}_{\text{CITD}}$  des eaux du massif des Pitons du Carbet.

Les concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  varient en liaison probablement avec des  $\text{pCO}_2$  différentes en fonction des venues de gaz. La phase gaz, présente dans le forage Desgrottes (Sanjuan *et al.*, 2003b), a des caractéristiques *a priori* différentes de celle de Didier et Absalon puisqu'elle comporte une part importante de méthane et d'azote (le  $\text{CO}_2$  ne représente que 49% après correction de la contamination par l'air) ; on peut relier la présence de méthane à l'accumulation de matière organique dans la dépression de Champflore (paléo-lac) ; sur le plan isotopique, l'existence d'une composante d'origine magmatique est claire:  $\delta^{13}\text{C}$  sur le  $\text{CO}_2$  de  $-8,3 \text{‰}$  vs PDB (Sanjuan *et al.*, 2003b) et  $^3\text{He}/^4\text{He}$  de  $4,4 - 4,91.R/R_a$  (Sanjuan *et al.*, 2003b ; Pedroni *et al.*, 1999). Cependant, comme pour le site de Deux-Choux, aucune trace d'interaction eau-roche à haute température n'y a été décelée et, donc, pas d'indice permettant de signaler un intérêt géothermique sur ces deux sites.

Au sud-ouest des Pitons, l'émanation de gaz (à dominante  $\text{CO}_2$ ) de Vieil Antoine présente un rapport isotopique  $^3\text{He}/^4\text{He}$  conforme aux valeurs d'origine magmatique ( $4,09.R/R_a$ ) mais n'est associé à aucune source d'eau souterraine.

Le gaz n'est pas toujours exprimé et les venues de gaz d'origine magmatique peuvent être détectées à travers le CITD (ou  $\text{HCO}_3^-$ ) des eaux souterraines. C'est le cas de la source de la ravine Labbé et de la rivière de Beauvallon où, respectivement,  $\delta^{13}\text{C} = +1$  et  $-8,6 \text{‰}$  vs PDB. Les rivières du Lorrain (amont) et la Cascade des Gendarmes présentent des valeurs  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  intermédiaires (magmatiques – biogéniques) respectivement de  $-11,3$  et  $-10,6 \text{‰}$  vs PDB. Incidemment, ces résultats indiquent la pertinence d'une prospection comprenant le réseau d'eaux superficielles pour identifier les zones de venues d'eau ou de gaz d'origine profonde.

Enfin, s'ajoute aux signatures magmatiques des gaz libres ou dissous des eaux (CITD) une analyse de  $\delta^{13}\text{C}$  (-6,9 ‰ vs PDB) sur le  $\text{CO}_2$  d'un sol du Sud du Plateau Boucher (Gal, 2012). Le site est localisé au pied oriental du Piton Boucher sur la cicatrice supposée de l'effondrement sectoriel.

#### 4.4.3. Source de Moutte et eaux souterraines autour de Fort-de-France

##### *Caractéristiques générales*

La source de Moutte se situe dans le faubourg nord-est de Fort-de-France. Sa composition a évolué de façon significative depuis qu'elle a été re-captée (en 2011 ?) : baisse de 16 % de la concentration en  $\text{HCO}_3$ , doublement de la teneur en  $\text{SO}_4$ , augmentation de plus de 50 % de la concentration en Cl et de 60% de celle du Li. On peut supposer que cette opération a permis de limiter les apports d'eaux superficielles (Figure 38).

Son caractère thermal (29-30 °C) est moins marqué qu'à Didier ou Absalon.

##### *Composante de mélange avec l'eau de mer*

Le moyen classique d'évaluer la présence d'un mélange avec l'eau de mer par le rapport Br/Cl (Figure 19) et sa comparaison avec le rapport marin fait ressortir un léger excès de chlorure pour l'eau de Moutte (comparable à celle d'Absalon). Les rapports entre les différentes espèces dissoutes se rapprochent de celui de l'eau de mer. Selon le rapport indiqué par le brome vis-à-vis du chlore, le pôle « eau de mer » ne représenterait pas plus de 1,2 % et trois fois moins pour l'eau de Tivoli.

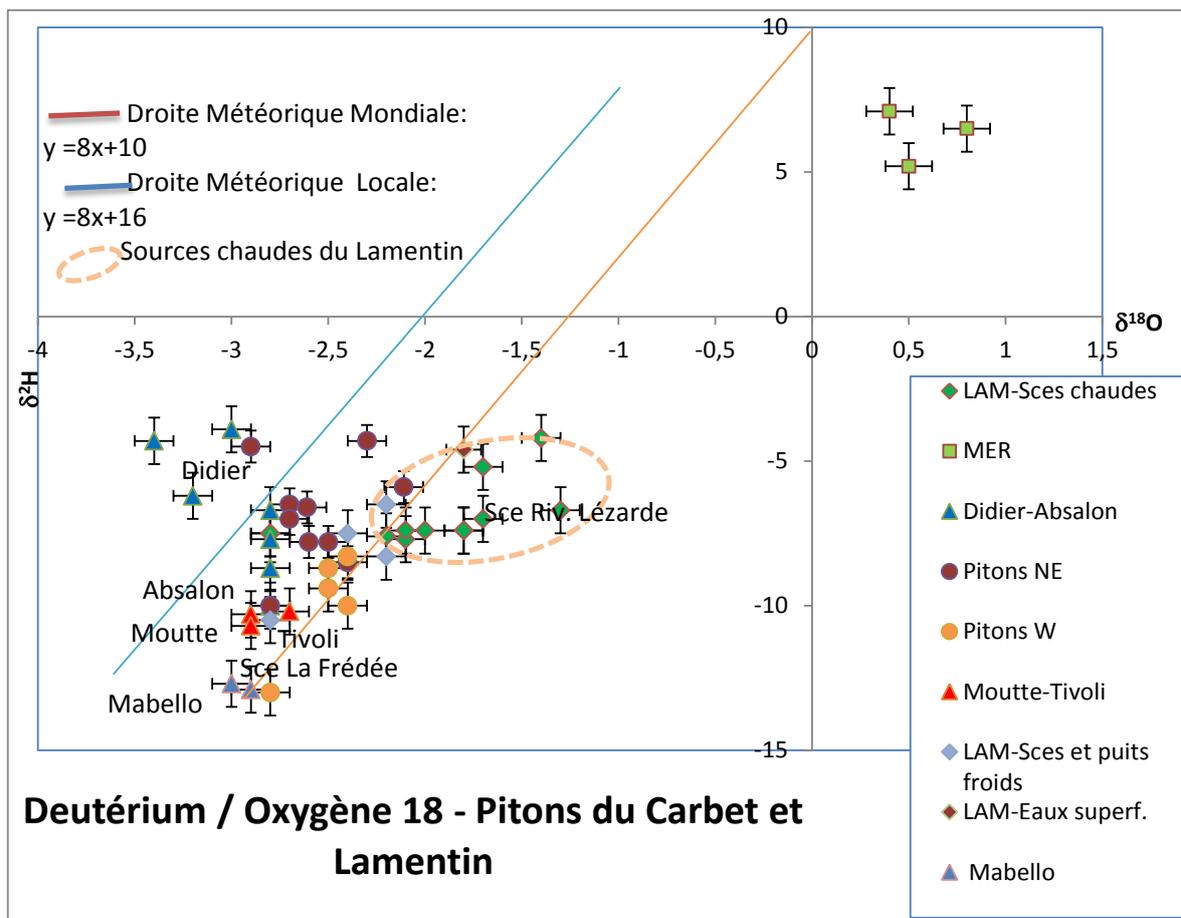
La valeur de  $\delta^{34}\text{S}$  (23,5 ‰ vs CDT) se rapproche de celle de l'eau de mer

Le diagramme,  $\delta\text{D} / \delta^{18}\text{O}$  (Figure 21) situe, par contre, l'eau de Moutte loin de l'eau de mer (appauvrie en isotopes lourds) indiquant le poids prépondérant des eaux météoriques pour ces paramètres.

##### *Interaction eau – roche et géothermométrie*

L'eau de Moutte affiche une composition nettement chlorurée sodique, (Figure 18) à la différence de celle de Didier et Absalon. Par ailleurs sa composition se singularise aussi par des concentrations nettement plus faibles en espèces caractéristiques de l'interaction eau-roche à hautes températures telles qu'As, B, Cs, Li et, dans une moindre mesure, Rb, Sr et K (Figure 39, Figure 42, Figure 43, Figure 44). Pour certaines espèces (B, Sr, Rb, Mg,...) les concentrations sont semblables à celles rencontrées dans l'eau de Mabello.

Les calculs de géothermomètres (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) indiquent, par contre, une gamme de températures identique à celle du groupe de Didier et Absalon (90-140 °C). L'estimation géothermométrique ne peut s'appuyer sur les teneurs en Na, K, Ca et Mg, toutes déterminées par l'eau de mer.



### Deutérium / Oxygène 18 - Pitons du Carbet et Lamentin

Figure 21 : Répartition des eaux de source des Pitons du Carbet et du Lamentin dans un diagramme « Deutérium – Oxygène 18 ».

Pitons NE : Deux Choux, Source Médaille, Source de l'Alma, Source de la Rivière du Lorrain, La Borelli, Source Rivière Blanche, Cœur Bouliki, La Charmille, Champflore - Fond Marie-Reine ;

Pitons W : Sources de Ravine l'Abbé (amont et aval), Source de la Plassonerie, Rivière Fond Bourlet, Fond Laillet ;

Moutte – Tivoli : Fontaine Moutte, forage de Tivoli, Fond Lahaye ;

LAM Eaux superf. : Rivière Caleçon ;

LAM Sces et puits froids : Sarrault, Habitation Ressource, Source La Frédée, Forage Habitation Carrère ;

LAM Sces chaudes : Source de la voie ferrée, Source aéroport civil, Source Mangrove, Source de la Lézarde, Sources de l'Habitation Carrère.

Dans les diagrammes de Giggenbach, les eaux de Moutte se placent à la limite des eaux « matures » (diagramme  $\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{SO}_4$ ) du fait de la proportion plus élevée de chlorures (Figure 23) mais aussi loin de l'équilibre partiel (diagramme  $\text{Na} - \text{K} - \text{Mg}$ ) que les eaux de Didier et Absalon (Figure 24). Les indications d'interaction eau-roche à haute température sont donc très limitées pour l'eau de Moutte.

### Interaction eau-gaz magmatique

Comme cela a été souligné, il n'y a pas de dégazage à la source de Moutte. La valeur de  $\delta^{13}\text{C}$  obtenue (Pedroni *et al.*, 1999) sur le carbone inorganique dissous (-7,6 ‰ vs PDB) est cohérente soit avec une origine magmatique, soit avec une origine mixte marine, biogénique et magmatique. Le rapport  $^3\text{He}/^4\text{He}$  de 2,21  $R_a$  tend à confirmer l'existence d'une composante « gaz » d'origine magmatique bien que cette valeur soit faible au regard des autres rapports d'origine magmatique des Petites Antilles (Pedroni *et al.*, 1999).

## Corrélations

D'autres eaux souterraines, toutes voisines du littoral Sud et situées à l'est de la cicatrice de l'effondrement sectoriel, se retrouvent sur une tendance voisine de celle de Moutte. Cela concerne les forages de la rivière Monsieur, de Tivoli, de Fond Lahaye et la source de La Meynard dont les eaux sont légèrement thermales.

Le forage Tivoli a été étudié relativement en détail (Klinka *et al.*, 2011). Le  $\delta^{13}\text{C}$  de l'eau (-14,6 ‰ vs PDB) reflète probablement un apport mixte « magmatique » - « biogénique » ; de même, le  $\delta^7\text{Li}$  présente aussi une valeur intermédiaire (11,1 ‰) que l'on peut interpréter comme résultant d'un mélange entre un apport profond de haute température et des eaux superficielles ; les valeurs de  $\delta^{34}\text{S}$  (17,9 ‰ vs CDT),  $\delta^{18}\text{O}$  (13,3 ‰ vs SMOW) des sulfates et  $\delta^{11}\text{B}$  (24,95 ‰) se rapprochent de celles de l'eau de mer (20 ‰, 9,45 ‰ et 39 ‰) respectivement) mais sont probablement impactées par une composante profonde (oxydation de sulfures pour S,...). Il est notable que le rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,70443) soit un des plus éloignés de celui de l'eau de mer (0,70919) et reflète un équilibre avec la roche volcanique encaissante postérieur au mélange avec l'eau de mer, comme à Didier et Absalon. Cette contribution marine, d'après le rapport Br/Cl n'excéderait pas 0,4 % comme, du reste, à La Meynard et Fond Lahaye.

Les estimations géothermométriques indiquent des températures d'équilibre eau-roche en profondeur du même ordre que celle de Moutte (100-120 °C pour Tivoli et 110-130 °C pour Fond Lahaye, cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

## 4.5. INDICATIONS FOURNIES PAR LES ISOTOPES DE L'HÉLIUM

Les venues de gaz d'origine magmatique se répartissent sur le pourtour des Pitons du Carbet et apportent des informations sur la permanence d'une activité magmatique (source de chaleur possible du système géothermale).

Les rapports isotopiques de l'hélium (Pedroni *et al.*, 1999 ; Jean-Baptiste, 2014, comm. pers. et cette étude) traduisent des proportions variables d'hélium radiogénique ( $^4\text{He}$ ) qui évoluent avec la distance depuis la Montagne Pelée. Ruzié *et al.* (2013) ont souligné la tendance à la diminution du rapport  $^3\text{He}/^4\text{He}$  en s'éloignant du dôme de la Soufrière de Guadeloupe. Le même processus s'observe ici à partir du dôme de la Montagne Pelée jusqu'à la source de Moutte. Notons, cependant, que si le rapport  $^3\text{He}/^4\text{He}$  est dépendant de la distance à la source magmatique active, il dépend également de l'âge du magmatisme et diminue avec celui-ci.

À la différence de la Soufrière de Guadeloupe, en raison des plus fortes  $p\text{CO}_2$  locales, on ne peut corrélérer, ni la concentration en  $\text{HCO}_3$  ou la  $p\text{CO}_2$ , ni le  $\delta^{13}\text{C}$ , ni la température avec les rapports  $^3\text{He}/^4\text{He}$ . Il faut donc supposer :

- que le magmatisme actif de la Montagne Pelée alimente le système hydrothermal en  $^3\text{He}$  et qu'au niveau des Pitons du Carbet (et du Lamentin), cette alimentation n'existe pratiquement plus ;
- et/ou que la production de  $\text{CO}_2$  ne résulte probablement plus que de la cristallisation finale d'un stock magmatique en cours de refroidissement (au niveau des Pitons du Carbet, notamment).

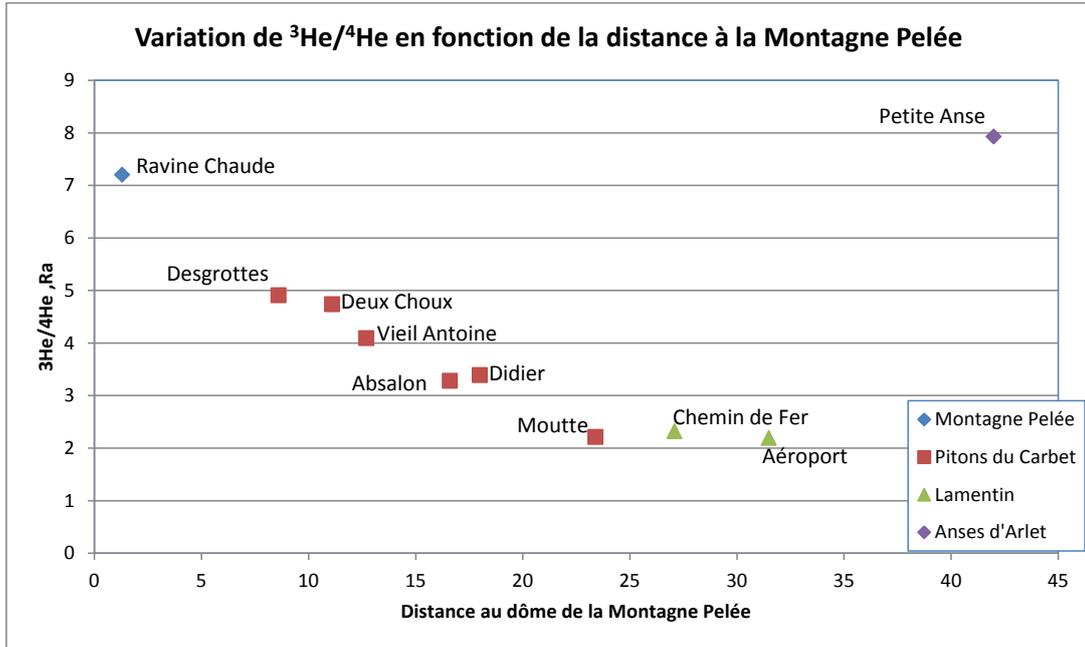


Figure 22 : Variation du rapport  $^3\text{He}/^4\text{He}$  par rapport à la distance au dôme de la Montagne Pelée.

Ces informations n'ont pas d'incidence directe sur l'activité hydrothermale ou sur le potentiel géothermique. Des rapports  $^3\text{He}/^4\text{He}$  relativement faibles peuvent se rencontrer sur des champs géothermiques actifs comme à Bouillante où  $^3\text{He}/^4\text{He} = 4$  à  $4,7$  Ra (d'après Pedroni *et al.*, 1999). Ils confirment, cependant, l'atténuation, à l'échelle du temps géologique, de l'activité magmatique, en tant que source de chaleur, au niveau des Pitons du Carbet et du Lamentin.

#### 4.6. BILAN SUR LES EAUX DES RIVIÈRES DU MASSIF DES PITONS DU CARBET

Comme sur le massif de la Montagne Pelée, des eaux de rivière ont été prélevées et analysées afin de détecter d'éventuelles traces de mélange avec une composante d'eau ayant interagi avec des roches volcaniques à haute température.

On note, sur les eaux superficielles de ce massif, des concentrations globalement plus faibles en  $\text{SiO}_2$  (compris entre 20 et 40 mg/l au lieu de 40 à 70 mg/l). On peut les attribuer à l'âge plus ancien des formations lessivées et des épisodes hydrothermaux qui les accompagnent. Par contre l'épisode hydrothermal à pyrite (antérieur à 770 ka selon Traineau *et al.*, 2013) est bien tracé par les concentrations en  $\text{SO}_4$  de la rivière du Lorrain (de 16 à 40 mg/l au lieu de 1 à 9 mg/l dans les autres rivières). On peut supposer que les concentrations du même ordre (22 mg/l) de la rivière de Case Pilote proviennent du lessivage de panneaux de formations hydrothermalisées acides dans les avalanches de débris, du même type que celles des falaises de Bellefontaine (antérieures ou synchrones à 330 ka selon Traineau *et al.*, 2013)

En s'appuyant sur des paramètres tels que Na,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , B, Rb et, dans une moindre mesure, Sr, As, (voire  $^{13}\text{C}$ , quand il est mesuré), trois rivières présentent des concentrations systématiquement un peu plus élevées (ou plus faibles pour le  $^{13}\text{C}$ ) : la rivière Fond Bourlet, la rivière de Case Pilote et la ravine Vannan. Les bassins de ces rivières sont limitrophes et correspondent au secteur Sud du Piton Lacroix (proche des émanations de gaz magmatique du Vieil Antoine), au NO de Fort-de-France. Une exploration plus détaillée de la partie amont de ce secteur serait justifiée afin de mettre en évidence d'éventuelles émergences, non connues jusqu'ici.

Les analyses des autres rivières, qu'elles se situent dans l'emprise de l'effondrement sectoriel supposé (rivière Grand Carbet, rivière de Beauvallon, rivière Coco, rivière Fond Capot, rivière Monsieur, rivière du Carbet, Cascade des Gendarmes, rivière Mitan) ou en dehors (rivière du Lorrain, rivière Petit Nicolas, rivière Lézarde) ne présentent pas d'indices permettant de suspecter une contribution d'eau ayant interagi à haute température avec les roches volcaniques.

#### **4.7. PROPOSITION DE MODÈLE HYDROGÉOCHIMIQUE POUR LES EAUX THERMALES DES PITONS DU CARBET**

Les eaux souterraines des Pitons du Carbet peuvent être décomposées en deux grandes catégories :

##### **4.7.1. Groupe « Didier et Absalon »**

Il s'agit d'un ensemble de sources réparties sur le pourtour des Pitons du Carbet, à dominante bicarbonatée Ca-Na-Mg et souvent associées à des émanations de CO<sub>2</sub>, dont le système de circulation hydrothermal de Didier-Absalon constitue le coeur.

Une évolution à partir de 3 facteurs peut être envisagée :

- mélange en profondeur entre une eau d'origine météorique et une eau marine (autour de 0,1 %), lors d'un premier équilibre chimique et isotopique partiel ;
- interaction eau-roche à moyenne température (90-140 °C) ;
- interaction plus ou moins marquée avec le CO<sub>2</sub> d'origine magmatique ;
- mélange avec des eaux météoriques au cours de la remontée, à plus basse température.

##### **4.7.2. Groupe « Moutte »**

Les eaux de ce groupe sont toutes situées à moins de 3 km du littoral et portent la marque d'un mélange plus marqué avec l'eau de mer (de 0,4 à 1,2 %) : elles sont nettement chlorurées sodiques. La plus faible pCO<sub>2</sub> contrôlant l'évolution explique la plupart des différences de composition entre les eaux du groupe de Moutte et celles du groupe Didier - Absalon.

L'interaction avec l'encaissant volcanique s'est aussi produit après le mélange avec l'eau de mer. Différents intermédiaires entre les deux groupes (Didier-Absalon et Moutte) existent, notamment les eaux du nouveau forage de Mabello.

Les niveaux de température fournis par les géothermomètres sont cependant équivalents (90-140 °C).

En résumé, le système hydrothermal des Pitons du Carbet est donc constitué par des eaux s'infiltrant probablement sur différentes aires de recharge, interagissant avec les roches encaissantes, sous des pressions de CO<sub>2</sub> plus ou moins fortes, à moyenne température en profondeur. Une faible composante d'eau de mer se mêle aux eaux météoriques avant interaction et n'est plus détectable que par certains isotopes. Sur la bande littorale, au Sud des Pitons, ce système se trouve modifié par un mélange plus prononcé avec l'eau de mer et, sauf exception, une moindre contribution du CO<sub>2</sub>.

L'aire de répartition de ces eaux souterraines ne permet pas de définir s'il s'agit d'un réservoir unique ou de plusieurs appendices d'un système de circulation évoluant dans des conditions voisines.

## 5. Plaine du Lamentin (Nord)

Les données et études géochimiques des fluides hydrothermaux des sources et des puits d'exploration de la plaine du Lamentin proviennent notamment d'EURAFREP (1970), Lopoukhine et Mouret, 1977 ; lundt, 1984 ; Fabriol et Ouzounian, 1985, Pedroni *et al.*, 1999, Sanjuan *et al.*, 2002.

### 5.1.1. Caractéristiques chimiques des eaux

On peut distinguer trois catégories d'eaux naturelles souterraines : les eaux froides de sources ou de puits ( $26 < T < 28$  °C), les sources chaudes ( $34 < T < 61$  °C) et les eaux des trois forages d'exploration (et trois forages de gradient) productifs  $40 < T < 90$  °C .

#### **Eaux froides de sources ou de puits**

Indépendamment de leur température plus faible, ces eaux (Habitation Ressource, Sarrault, La Frédée, celles du forage de gradient LA5 et du forage de l'Habitation Carrère à 135 m) sont nettement moins minéralisées (conductivités de 300 à 600  $\mu$ S/cm et sels totaux dissous de 350 à 500 mg/l). Par ailleurs elles sont plutôt bicarbonatées calco-sodiques (Figure 41), leur pH est plus élevé (de 6,6 à 7,7).

#### **Sources chaudes**

De nombreuses sources chaudes sont observées au niveau de la plaine du Lamentin, depuis Morne Cabrit, au nord, jusqu'à Carrère au sud (Gadalia *et al.*, 2014). Il est probable qu'un certain nombre d'entre elles soient disséminées dans la mangrove qui borde la baie du Lamentin ou dans la baie elle-même (y compris le Cohé). L'altitude d'émergence de ces sources est inférieure à 5 mètres.

Les sources thermales (Ancienne voie ferrée, Aéroport, Habitation Carrère, la Lézarde,...) sont remarquables par :

- leur conductivité comprise entre 10 et 20 mS/cm (minéralisation comprise entre 9 et 13 g/l) ;
- leur caractère chloruré – sodique (Figure 41) ;
- le dégazage de dioxyde de carbone et des pH ne dépassant pas 6,1-6,3 ... ;
- des précipitations de carbonates et d'hydroxydes de fer aux émergences ;
- des débits généralement faibles, inférieurs ou égaux à quelques litres par minute.

#### **Eaux des forages productifs**

Sur les 12 forages de gradients réalisés en 1969, quatre (LA2, LA5, LA10, LA12) ont rencontré des niveaux producteurs dont les eaux ont été analysées. L'eau de LA5 peut être considérée comme froide et se corrèle très bien avec les autres eaux froides de la nappe du Lamentin (*cf. supra*). Les autres peuvent être considérées comme des eaux thermo-minérales à dégagement de gaz, comparables aux eaux des sources chaudes. Les niveaux producteurs n'ont pas été repérés précisément mais se situent en-dessous de 56 m pour LA-2, de 52 m pour LA-10 et de 150 m pour LA-12. À noter que tous les forages de gradient « chauds » (LA-1 et LA-11) ne sont pas producteurs. Dans la zone où se concentrent les anomalies (entre les pistes de l'aéroport et le quartier Californie), une part du transfert de chaleur se fait donc par conduction.

Par ailleurs, trois forages d'exploration ont recoupé un conduit producteur : LA-101 en 1970, Carrère (ou LA-02) et Californie (ou LA-03) en 2000-2001. Ce conduit semble également alimenter les sources thermales. Les fluides ont été prélevés à partir des forages mais sans que leur représentativité ne soit garantie (contamination possible des boues et fluides utilisés pour de forage).

Le contexte et les caractéristiques chimiques et physico-chimiques rapprochent les eaux des forages de celles des sources thermales (Figure 39 à Figure 44).

### 5.1.2. Origine des fluides

#### ***Eaux froides de sources ou de puits***

Les eaux froides des puits et sources du Lamentin sont représentées, avec les eaux des Pitons du Carbet, dans des diagrammes binaires reliant la concentration en différentes espèces dissoutes en fonction de la concentration en lithium, bore, en ion chlorure ou en ion bicarbonate ou associant les rapports isotopiques de l'eau (Figure 39 à Figure 44). Elles y sont associées aux droites de mélange des eaux du groupe de Moutte (Tivoli, Fond Lahaye, La Meynard, Rivière Monsieur, cf. § 4.4.3.), en amont et à l'ONO de la plaine du Lamentin.

Ces eaux de sources et forages du Lamentin sont, en général, de minéralisation et de température inférieure à celles de leurs homologues amont. Elles évoluent vers un faciès bicarbonaté alors que les eaux de l'amont sont plutôt chlorurées. Parallèlement à leur dilution par des eaux météoriques, le contexte de dégazage de CO<sub>2</sub> du Lamentin contribue à accroître la pCO<sub>2</sub> et, donc, augmenter la proportion de HCO<sub>3</sub> par rapport au Cl. Le rapprochement du littoral ne conduit donc pas à augmenter la part d'eau de mer (de l'ordre du pourcent) dans ces eaux. Cela conduit à supposer, comme pour les eaux de Didier et Absalon, que la contribution marine a été apportée soit par des aérosols, soit par une eau de mer ancienne. Or :

- Brenot *et al.* (2008) ont montré que, dans les eaux peu profondes qu'ils ont étudiées sur l'ensemble de la Martinique, la teneur en chlorures diminuait avec la distance à la mer ; dans le groupe « Moutte-sources froides du Lamentin », l'évolution de la concentration en chlorures dans l'espace est plutôt inversée (diminution en se rapprochant du littoral) ;
- l'hydrogéologie de la zone du Lamentin (Vittecoq, 2014 comm. pers.) confirme la pression exercée par les eaux en provenance des Pitons du Carbet s'écoulant vers le littoral du Lamentin dans les réservoirs peu profonds.

L'hypothèse d'une alimentation par une eau de mer ancienne diluée semble, donc, plus vraisemblable.

Les rapports isotopiques du strontium (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) sont un peu plus élevés (0,70514 à 0,70586) que celui de Tivoli (0,70443) ou de sources chaudes du Lamentin (0,70493-0,70494) mais encore marqués par l'interaction eau - roche volcanique. Le rapport isotopique du bore δ<sup>11</sup>B (20,2 ‰ au puits Sarrault) se situe entre celui de l'eau de mer (39 ‰) et celui d'un équilibre eau-roche volcanique d'arc (-6,3 à +7,3 ‰) ou eau - gaz magmatique (+1,5 à +6,5 ‰) d'après les données de Mossadik (1997). Cette position intermédiaire relevée pour les deux paramètres isotopiques <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr et δ<sup>11</sup>B, entre un pôle « lithologique », un pôle « météorique » avec une légère contribution marine a été soulignée par Brenot *et al.* (2008). L'origine à dominante météorique de ces eaux se confirme par l'alignement sur une droite parallèle à la droite météorique locale, comme les eaux des sources et forage associés à Moutte (Figure 21).

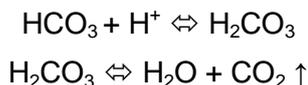
Un pôle minéralisé correspondant à celui de Moutte participe, donc, à la minéralisation des eaux froides de sources et de puits peu profonds (< 200 m) du Lamentin. L'évolution des

différents paramètres chimiques et isotopiques et de la température conduit à envisager sa localisation en amont de Moutte, Tivoli et Fond Lahaye (cf § 4.3). Les signes d'interaction eau-roche-gaz sont modérés et les géothermomètres situent la température profonde entre 85 et 110 °C (Tableau 4).

### ***Eaux thermales des sources et des forages productifs***

Une incertitude particulière entoure les données des eaux chaudes du Lamentin : elle combine (1) un certain manque de repérage dans les sources, (2) des difficultés analytiques particulières dues à la forte pCO<sub>2</sub> (et à ses variations au cours de la chaîne analytique), (3) une force ionique (minéralisation) qui n'est plus négligeable (sels dissous totaux –TDS- de 12 à 13 g/l) et, (4), concernant les eaux des forages, l'absence d'essais de production permettant d'accéder au fluide hydrothermal originel. Ces différents facteurs contribuent probablement à la relative dispersion des analyses et à la difficulté, parfois, à dégager une tendance. S'y ajoutent, pour les analyses de 1985, une baisse des concentrations en Rb (d'un facteur 2 à 10), sans doute d'origine analytique.

Les états de saturation sont probablement modifiés du fait du dégazage du CO<sub>2</sub>, provoquant notamment, une augmentation du pH suivant les réactions chimiques :



Le pH mesuré (entre 5,9 et 7,1) est donc sans doute plus près de la borne inférieure.

- **Composante marine**

Dans le diagramme ternaire HCO<sub>3</sub>-Cl-SO<sub>4</sub> de Giggenbach (1991), les eaux des sources chaudes (et des forages productifs) tombent à proximité du pôle « chlorure » (Figure 23), ce qui reflète principalement une composante marine (Sanjuan *et al.*, 2002). Cette composante marine se confirme à l'examen :

- des rapports Br / Cl équivalents à celui de l'eau de mer ;
- du diagramme binaire Na / Cl.

Dans les deux cas, une droite de mélange relie les points représentatifs de ces eaux avec ceux de l'eau de mer.

Sur la base de ces éléments on peut estimer la contribution de l'eau de mer à 30-35 % (Sanjuan *et al.*, 2000). Néanmoins, cette relation ne se retrouve plus pour d'autres espèces. Comme l'ont souligné Sanjuan *et al.* (2000), les eaux captées par les différents puits et produites par les sources thermales de la plaine du Lamentin, sont enrichies en Ca, HCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Sr, Ba, B, As, Fe, Mn, Li, Rb, Cs, Ge et appauvries en SO<sub>4</sub> et Mg par rapport à de l'eau de mer diluée par de l'eau météorique (ou une eau peu minéralisée). D'autres processus, d'autres pôles minéralisés doivent donc être envisagés.

- **Rôle de l'interaction eau-roche**

#### Signatures isotopiques

Les analyses isotopiques conservent des caractéristiques rencontrées dans l'étude des eaux thermales des Pitons du Carbet :

- certains isotopes tels que ceux des sulfates ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{34}\text{S}$ ) gardent en général la caractéristique de l'eau de mer (valeurs proches de 10 ‰ vs SMOW pour  $\delta^{18}\text{O}$  et de 20 ‰ vs CDT pour  $\delta^{34}\text{S}$ ) pour la plupart des sources analysées (le forage Habitation Carrère portant sans doute la trace d'une réduction des sulfates, comme l'ont signalé Sanjuan *et al.*, 2002) ; un niveau fortement minéralisé en sulfures a été signalé dans l'étude des carottes de ce forage et peut expliquer l'existence d'un faible potentiel d'oxydo-réduction, voire la réduction de certaines espèces ; on retrouve probablement ce phénomène sur la source de l'ancienne voie ferrée où les teneurs en  $\text{SO}_4$  sont systématiquement inférieures, pratiquement d'un facteur 2 ;

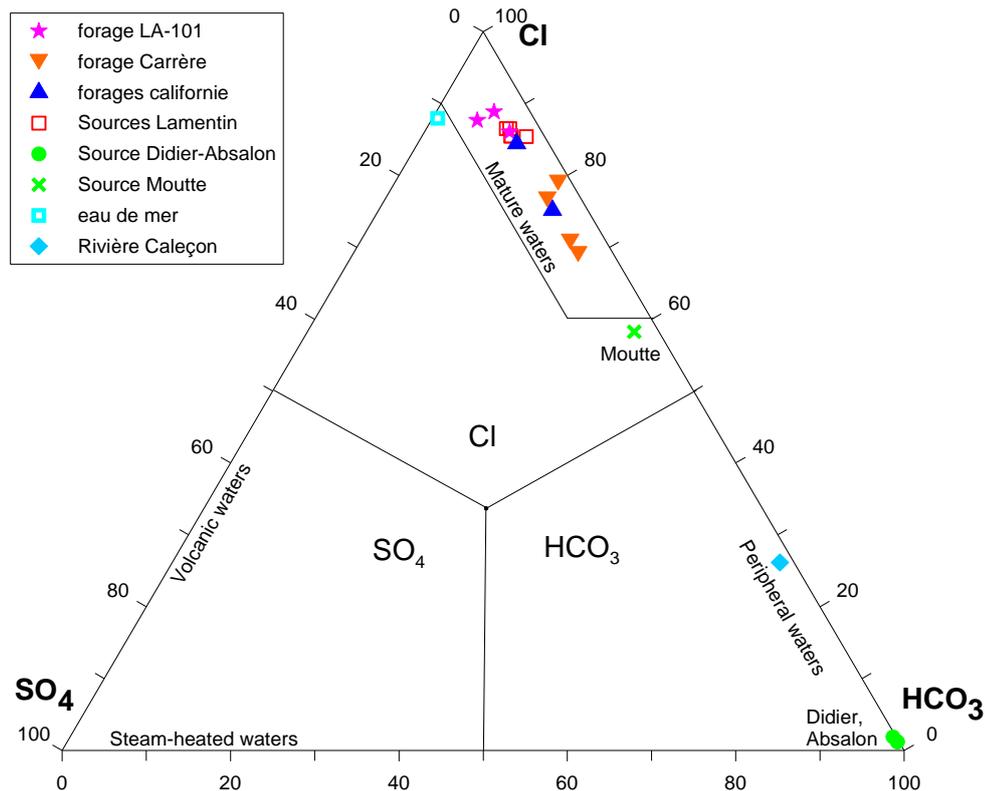


Figure 23 : Position des échantillons d'eaux des forages et des sources thermales de la plaine du Lamentin et de sa périphérie dans le diagramme ternaire  $\text{Cl-HCO}_3\text{-SO}_4$  de Giggengbach (1991).

- les isotopes du strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) sont proches des valeurs mesurées sur des roches volcaniques de composition andésitique (0,704-0,705). Ceci indique un degré d'interaction eau-roche important : faible rapport eau/roche et/ou temps de transit assez long (Sanjuan *et al.*, 2001a) ;
- le rapport isotopique du lithium  $\delta^7\text{Li}$  assez bas (6,7) mesurée sur l'eau du forage Californie témoigne d'un passage (plutôt passé, ici) par une interaction à haute température ;
- dans le diagramme des isotopes stables de l'eau ( $\delta\text{D} / \delta^{18}\text{O}$ , Figure 21), les points représentatifs des eaux thermales du Lamentin sont clairement dans le champ des eaux météoriques même si leur tendance à l'enrichissement en  $\delta^{18}\text{O}$  est cohérent avec le mélange avec l'eau de mer ;
- les variations de  $\delta\text{D}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  semblent répercuter les écarts saisonniers enregistrés au niveau des eaux météoriques (comme pour les eaux de Didier-Absalon) ; comme sur les

autres zones explorées, ces variations ont jusqu'ici rendu impossible la détermination d'un gradient altimétrique permettant de préciser l'altitude de l'aire de recharge ;

- les isotopes du carbone inorganique dissous ( $\delta^{13}\text{C}$ ) portent une signature magmatique (sources de la Lézarde et d'Habitation Carrère) pouvant être localement mélangée à un apport biogénique (sources de l'aéroport, de la voie ferrée) ;
- les isotopes de l'hélium traduisent une atténuation de la source magmatique (Figure 22) mais celle-ci est toujours présente.

Au total ces informations, donnent une image mitigée des caractéristiques de l'eau thermale du Lamentin : le maintien d'une signature marine au niveau des sulfates laisse penser que l'interaction eau-roche dont témoignent d'autres isotopes (Sr, Li) ne s'est pas faite en milieu réducteur. Comme à Didier-Absalon, l'influence des eaux météoriques (variations saisonnières, degré d'oxydation) semble au moins partiellement maintenue. Cela se confirme par l'absence de dérive de  $\delta^{18}\text{O}$ , qui aurait signalé un ré-équilibre isotopique eau-roche (comme à Petite Anse). Cette absence de dérive de  $\delta^{18}\text{O}$  peut aussi être due à un rapport eau-roche élevé ou à un faible temps de transit (Sanjuan *et al.*, 2002). Par ailleurs, la venue de gaz d'origine magmatique, même éloigné ou tardif, est confirmée. Ces caractéristiques isotopiques contrastées ne sont pas sans rappeler celles des eaux thermales des Pitons du Carbet (groupes de Didier – Absalon ou de Moutte - Tivoli).

### Signatures chimiques

Pour examiner les processus envisageables et mieux comprendre la circulation des eaux chaudes du Lamentin (origine, trajet,...), nous utiliserons les représentations par diagrammes binaires des espèces chimiques dissoutes en fonction d'une espèce de référence (Cl,  $\text{HCO}_3$ , B ou Li).

Sur le plan chimique, à partir des diagrammes binaires (Figure 39, Figure 42, Figure 43, Figure 44), plusieurs points peuvent être soulignés :

- les sources thermales forment bien un ensemble particulier quoique relativement dispersé ;
- les eaux produites par les forages, pendant leur foration, présentent une tendance de mélange entre (i) des eaux plus douces, mélangées avec de l'eau de mer en proportion inférieure (20%) à celle des sources et formées probablement par les eaux utilisées pour le mélange des boues de forage (Sanjuan *et al.*, 2002) et (ii) les eaux thermales des sources ;
- la convergence entre les eaux de sources thermales du Lamentin et les plus minéralisées des eaux de forage (après un petit test de production) est nette à l'exception de certaines espèces ( $\text{HCO}_3$ , Li et Ba) qui sont significativement enrichies et d'autres (Cs et As) appauvries dans les eaux de forage ; certains éléments peuvent avoir été apportés par les boues de forage (Ba) et d'autres peuvent résulter d'une interaction plus forte avec le  $\text{CO}_2$  ( $\text{HCO}_3$  et Li), sous plus forte pression partielle, en profondeur ; les eaux des sources thermales, elles, peuvent s'être chargées davantage au cours de leur remontée au contact de dépôts et altérations hydrothermaux accumulés vers la surface (zones silicifiées et zones argilisées) ; au total, la convergence de composition chimique et isotopique entre les eaux des sources thermales et des forages confirme que l'on sollicite la même ressource ; cela ne dispensera pas d'essais de production pour capter et mieux définir la ressource géothermale sans risque de contamination ;
- les variations dans le temps sur une même source peuvent être importantes et expliquent, en partie aussi, la dispersion de la représentation en diagrammes binaires ;

- les diagrammes binaires (Figure 39 à Figure 44) apportent des informations différentes en fonction du choix de l'espèce de référence :
  - Cl est déterminé par la part importante d'eau de mer initiale ; il apparaît que cette teneur ne change pas ou peu (pas d'apport ni de consommation de Cl lors d'une éventuelle interaction avec la roche ou la phase gaz),
  - $\text{HCO}_3^-$  et B montrent pour les différentes espèces des comportements voisins conduisant à déduire qu'une partie au moins du bore est lié à la phase gaz, de même, sans doute, que l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ; l'augmentation de  $\text{HCO}_3^-$ , donc de la  $\text{pCO}_2$ , semble aller de pair avec la réduction du sulfate d'origine marine,
  - Li est corrélé positivement avec des espèces classiques de l'interaction eau-roche (As, Cs, Sr, Ge) mais pas avec d'autres (B, Rb,  $\text{SiO}_2$  ou Ba) ; il semble néanmoins qu'il y ait (ou qu'il y ait eu) interaction eau-roche ;
- l'incertitude de la variation de nombreuses espèces en fonction de l'une ou l'autre des espèces de référence (Cl,  $\text{HCO}_3^-$ , B, Li), le manque de cohérence dans les corrélations et surtout la géothermométrie et les mesures de température, conduisent à penser que, si interaction il y a, elle se fait à moyenne température (<140 °C), sans atteindre un équilibre complet ;
- les concentrations encore assez importantes en magnésium et en sulfates dissous confortent l'hypothèse de températures d'interaction assez modérées, ces espèces ayant des concentrations proches de zéro dans les fluides de réservoirs géothermiques haute température ;
- l'observation géologique (Traineau *et al.*, 2014), l'analyse des dépôts de *sinters* jointes aux résultats des mesures de MarTEM illustrant l'extension de ces formations (Coppo *et al.*, 2014), l'étude minéralogique des carottes des forages d'exploration, appuient l'hypothèse d'un lessivage, en profondeur, des anciennes minéralisations « haute température », sous relativement forte  $\text{pCO}_2$ ; plusieurs espèces caractéristiques d'interaction à haute température seraient donc « héritées » d'une phase ancienne : concentrations élevées en Sr, Ba, B, As, Fe, Mn, Li, Rb, Cs, Ge, ..., valeurs des rapports isotopiques de Sr et Li ; Cette transmission pouvant se faire à travers des réactions de dissolution, de désorption à la surface des argiles et de la silice et surtout et d'échange cationique entre les feuillets d'argiles ;
- les traces d'interaction eau-gaz-roche sont donc probablement, en grande partie, masquées par le lessivage des formations issues de la phase hydrothermale précédente ;
- les calculs de saturation effectués au moyen du code de calcul EQ3 NR par Sanjuan *et al.* (2002) sur les analyses d'eaux thermales du Lamentin à 90 - 120 °C, indiquent un état de saturation vis-à-vis de la silice (calcédoine), de la kaolinite, de smectites, de la barytine et une sursaturation vis-à-vis des carbonates (de Ca, Mg, Sr, Ba), ce que confirme la présence de travertins aux émergences des sources thermales du Lamentin (et du forage LA101 lorsqu'il est entré en éruption en 1969).

### 5.1.3. Géothermométrie

Dans le diagramme ternaire Na-K-Mg de Giggenbach (1988), ces eaux chlorurées sodiques se situent à la limite du domaine des eaux en équilibre avec la roche (Figure 24), ce qui va également à l'encontre d'une température élevée en profondeur.

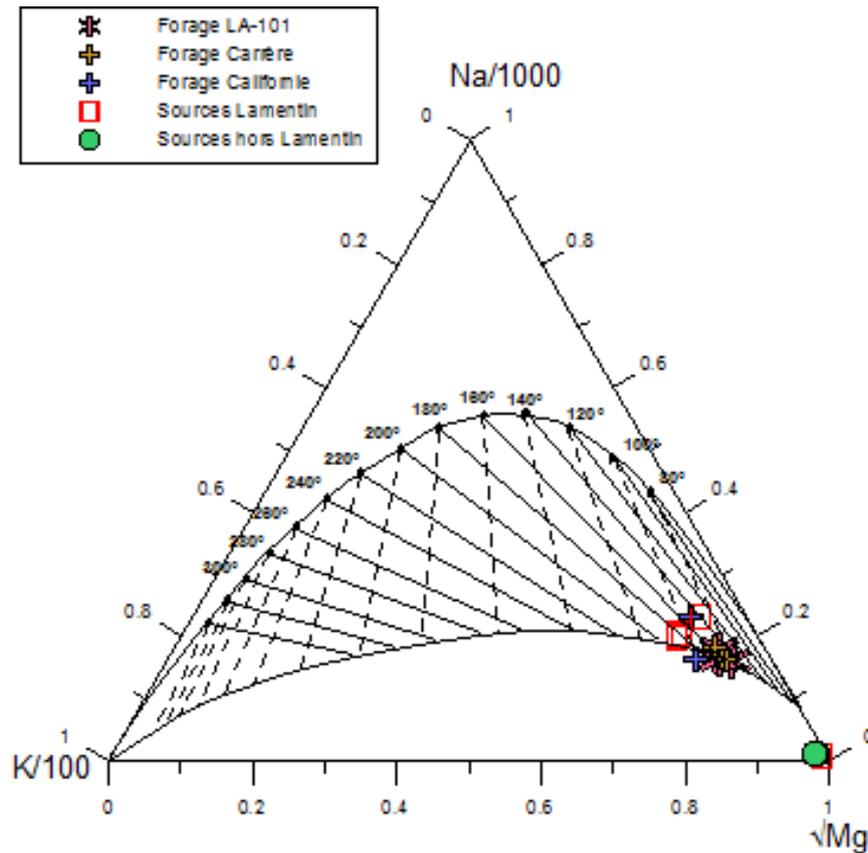


Figure 24 : Position des eaux des forages et des sources thermales de la plaine du Lamentin et de sa périphérie dans le diagramme ternaire Na-K-Mg de Giggenbach (1988).

	Calcédoine					Na-K			Na-K-Ca
	Fournier, 1977	Giggenbach, 1983	Michard, 1990	Arnorsson, 1983	Helgeson, 1978	Michard, 1979	Fournier & Truesdell, 1973	Fournier, 1979	Fournier & Truesdell, 1973 avec correct. Mg
Source Hn ressource	89	96		89	95			108	85
Forage Hn Carrère	105	113	91	103	109	113	93	146	
Californie	110	119	96	108	114		136		87
Voie ferrée	124	134	107	121	125	143	125		
Aéroport	88	95		87	94	111	92	145	
La Lézarde	99	107	87	97	104	141	123		89
Source Hn Carrère	97	104	85	95	101	133	115		88

	K-Mg	Na-Li		Cs-Na	Rb-Na	Mn-K	Fe-K	<sup>18</sup> O (H <sub>2</sub> O-SO <sub>4</sub> )	Intervalle
	Michard, 1990	Kharaka <i>et al.</i> , 1982	Fouillac (Cl>0.3 M)	Michard, 1990	Michard, 1990	Michard, 1990	Michard, 1991	Mizutani & Rafter, 1969	T°C
Source Hn ressource									85<T°<110
Forage Hn Carrère	92	112		128	87				85<T°<145
Californie	104	123			90	93			85<T°<135
Voie ferrée	108		115	130	85				85<T°<140
Aéroport	96	102					105		85<T°<140
La Lézarde	107		116	138	86	135		140	85<T°<140
Source Hn Carrère	105	91	134	139	87	131		142	85<T°<140

Tableau 4 : Estimations des températures profondes des eaux du Lamentin à partir de divers géothermomètres.

Les géothermomètres chimiques doivent donc être appliqués avec précaution. Sanjuan *et al.* (2002) estiment que ces eaux ont été équilibrées à des températures de l'ordre de 90-130 °C, notamment grâce au géothermomètre à silice (équilibre avec la calcédoine) et au géothermomètre Na/Li de Kharaka *et al.* (1982). Ces valeurs de température sont donc proches des températures de l'ordre de 90 °C mesurées dans les puits « Californie » et LA-101.

Les températures obtenues à partir de différents géothermomètres sur les eaux des sources et forages du Lamentin convergent vers une gamme de 85-140 °C. Les géothermomètres à silice (calcédoine) sont relativement cohérents de même que les géothermomètres Na - K, K-Mg, Cs-Na et Rb-Na.

#### 5.1.4. Modèle géochimique

##### **Origine des eaux thermales**

L'hypothèse retenue dans l'étude précédente (Sanjuan *et al.*, 2002) a été d'attribuer une aire similaire de recharge en eau douce pour le réservoir du Lamentin et celui de Didier-Absalon (versant sous le vent des Pitons du Carbet) ; la seule interprétation des diagrammes représentatifs des isotopes stables de l'eau ne permet, cependant, pas de trancher, du fait des variations importantes de  $\delta D$  et  $\delta^{18}O$  d'une saison à l'autre, tant pour les eaux thermales de Didier-Absalon que pour celles du Lamentin. Les deux groupes d'eaux thermales du massif des Pitons du Carbet identifiés (*cf.* § 4.4.2 et 4.4.3) pourraient convenir : Didier-Absalon ou Moutte. Ces deux hypothèses sont vraisemblables du point de vue géologique (directions des fractures majeures) et hydrogéologique (zone de recharge située à l'amont).

Rappelons déjà que les eaux thermales du Lamentin ont des points en commun avec celles des Pitons du Carbet. On trouve ainsi dans les deux groupes :

- un pôle météorique présentant une certaine convergence des signatures isotopiques en  $\delta D$  et  $\delta^{18}O$  pouvant suggérer une aire de recharge commune (Figure 21) ;
- des rapports de  $^{87}Sr / ^{86}Sr$  comparables à ceux des andésites et témoignant d'une interaction eau-roche ;

- des rapports de  $\delta^7\text{Li}$  faibles pouvant indiquer un passage (présent ou, plus probablement ici, passé) par une interaction eau-roche volcanique à haute température ;
- des teneurs en silice compatibles avec une même gamme de température d'interaction;
- une phase gaz comportant une signature magmatique ( $\delta^{13}\text{C}$  et  $^3\text{He} / ^4\text{He}$ ) voisine ;
- des signatures isotopiques non univoques entre celles de l'eau de mer ( $\delta^{11}\text{B}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  des sulfates) et celles d'une interaction eau-roches volcaniques ( $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ ) et/ou dépôts hydrothermaux ( $\delta^7\text{Li}$ ).

Les teneurs en As, B, Ba, Ca, Cs, Ge, Li,  $\text{NH}_4$ , Rb, voire Sr des eaux du Lamentin sont trop élevées pour dériver d'un simple mélange Didier – Absalon / eau de mer. Sanjuan *et al.* (2002) avaient souligné la contradiction entre l'association de faibles concentrations en Li et fortes en  $\text{SiO}_2$  à Didier – Absalon et les fortes valeurs trouvées pour ces 2 espèces (Li et  $\text{SiO}_2$ ) dans les eaux chaudes du Lamentin. Il n'est pas possible de faire dériver l'une de l'autre par simple dilution.

Les diagrammes binaires chimiques (fonction de Cl,  $\text{HCO}_3$ , B et Li) pointent les espèces qui subissent un fort enrichissement à partir d'un mélange eau de mer – eau de Didier-Absalon. Il s'agit toujours d'As, B, Ba, Ca, Cs, Ge, Li,  $\text{NH}_4$ , Rb et Sr, alors que Na, K, Mg,  $\text{HCO}_3$ , Cl et  $\text{SO}_4$  restent en concentrations inférieures à l'un des deux termes du mélange (soit l'eau de mer, soit celle de Didier-Absalon).

Les diagrammes binaires isotopiques (Figure 21) ou combinant paramètres isotopiques et chimiques (Figure 40) ne permettent pas de trancher clairement la question de la localisation du pôle « eaux douces » des eaux thermales du Lamentin : les diagrammes  $\delta\text{D} / \delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{18}\text{O} / \text{HCO}_3$ ,  $\delta\text{D} / \text{HCO}_3$  sont compatibles avec un pôle « Didier-Absalon » tandis qu'un diagramme comme  $\delta\text{D} / \text{Cl}$  semble plutôt indiquer « Mabello ».

S'il semble se confirmer que le pôle « eaux douces » des eaux thermales du Lamentin provient des Pitons du Carbet et peut avoir une origine commune aux eaux de Didier-Absalon, il faut faire intervenir un autre processus que le simple mélange entre deux pôles.

Le processus de formation de la composition des thermales du Lamentin pourrait se décomposer en deux temps : (i) mélange entre une eau de type « Pitons du Carbet » et de l'eau de mer et (ii) interaction avec la roche, les dépôts hydrothermaux et le gaz carbonique à moyenne température. Cette deuxième phase conduit à libérer des éléments qui avaient été fixés dans les zones altérées (a) par cristallisation sous forme de minéraux, (b) par adsorption à la surface des altérations et dépôts ou (c) par échange ionique au niveau des feuillets d'argile, lors de l'épisode hydrothermal haute température précédent.

Le forage de la mairie de Fort-de-France (Cayol, 1975) constitue un cas particulier intéressant. Sa composition à dominante chlorurée – bicarbonatée sodique situe cette eau à proximité d'une droite de mélange eau de mer – eau enrichie en bicarbonates. La proportion d'eau de mer y atteint 6% et la température d'équilibre calculée est comprise entre 65 et 80°C. Sa position géographique comme sa composition (basée sur les seules espèces majeures) en font un intermédiaire possible entre les eaux thermales des Pitons du Carbet et celles du Lamentin (Figure 41).

Ses teneurs en  $\text{HCO}_3$  (donc sa  $\text{pCO}_2$  en profondeur) en font une des eaux les plus bicarbonatées de Martinique avec celles des forages du Lamentin et permettent de découpler, ici, le rôle du  $\text{CO}_2$  du gradient thermique et du degré d'interaction eau-roche. Cela se manifeste, notamment, par un relatif appauvrissement en  $\text{SiO}_2$ . La température de l'eau à l'émergence n'a

pas été mesurée (Cayol, 1975 la qualifie de « tiède »). Les sulfates n'ont pas été détectés, peut-être du fait d'un contexte plus réducteur, comme pour les eaux de Carrère ou de la source de la voie ferrée. Une lacune analytique n'est cependant pas exclue.

En gardant l'hypothèse d'un mélange (30-35 % d'eau de mer), antérieur ou simultané à l'interaction eau-gaz-roche, celui-ci peut se réaliser entre des eaux du type « Pitons du Carbet » soit (i) avec des poches d'eau de mer, en amont du Lamentin à une époque où le niveau relatif de la mer était plus élevé soit (ii) vers l'ouest du Cohé du Lamentin avec une eau de mer subactuelle. Cette seconde hypothèse aurait l'avantage :

- d'être plus cohérente avec la pression des eaux souterraines provenant des Pitons du Carbet ;
- d'expliquer la position géochimique intermédiaire du sondage de la Mairie de Fort de France.

Elle ne permet cependant pas de résoudre les questions de localisation :

- de la source locale de chaleur (et de gaz) ;
- du réservoir, lieu de mélange entre l'eau des Pitons du Carbet et l'eau de mer.

### **Temps de transit**

Les mesures d'activité tritium n'ont pas permis de détecter cet isotope dans les eaux thermales du Lamentin. Sachant que les eaux douces de surface ont des activités de 2 UT, l'absence de tritium peut être due :

- à la dilution par des eaux dont le temps de transit dépasse 50 ans (et ayant une activité tritium nulle) ;
- au mélange avec de l'eau de mer, en proportion importante dans l'eau thermale, et ayant aussi une activité tritium nulle.

Les émanations de CO<sub>2</sub> d'origine magmatique (activité en carbone nulle) empêchent aussi d'obtenir un âge « radiocarbone » (<sup>14</sup>C) pour ces eaux (Sanjuan *et al.*, 2002). Le temps de transit ne peut donc être précisé.

## **5.2. PROPOSITION DE MODÈLE HYDROGÉOCHIMIQUE POUR LES EAUX THERMALES DU LAMENTIN**

En dehors des eaux sub-superficielles (nappe alluviale de la Lézarde), deux types d'eaux souterraines peuvent être identifiées sur le plan géochimique : (i) les eaux des sources et puits froids (nappe du Lamentin) et (ii) les eaux thermales de sources et forages (d'exploration ou de gradient).

Les eaux froides identifiées comme provenant de la nappe du Lamentin, se rattachent de par leur composition chimique et isotopique au groupe des eaux minérales du groupe de Moutte (*cf.* § 4.3.5). Elles sont légèrement plus froides, plus diluées et plus bicarbonatées (en relation avec la pCO<sub>2</sub> plus élevée des formations de la Plaine du Lamentin) que les eaux de Moutte. Leurs caractéristiques restent les mêmes : une légère composante marine (moins de 0,3 %), des signatures isotopiques mixtes entre eaux d'origine météorique ( $\delta D^*$ ,  $\delta^{18}O^*$ ), eau d'origine marine et eau marquée par l'interaction avec la roche et le gaz magmatique ( $\delta^{11}B$ ,  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ). La température calculée par les **géothermomètres\*** se situe dans l'intervalle 85-110 °C.

Les eaux thermales des sources et des forages (de gradient et d'exploration géothermique) forment un même ensemble bien distinct du précédent par la température (> 35 °C), la minéralisation (autour de 12 g/l), le pH (< 6,5) et un dégazage systématique de gaz carbonique.

Les eaux provenant des forages, juste après la foration, sont issues d'un mélange alliant le fluide géothermal du Lamentin (similaire à celui des sources chaudes) à une eau utilisée pour la réalisation des forages comportant environ 20 % d'eau de mer et 80 % d'eau douce (donc relativement plus diluées que les eaux de sources). Elles se distinguent des eaux de source pour quelques éléments (As, Ba, Cs, HCO<sub>3</sub>, Li) du fait de leur maintien sous plus forte pCO<sub>2</sub> (en forage) et en raison de l'utilisation d'additifs de forage (boues,...). De nouveaux essais de production devraient permettre d'obtenir des eaux affranchies de la contamination par les additifs de foration et, en supposant une durée de production suffisante pour mobiliser le réservoir, permettant de préciser la qualité de l'eau du réservoir profond.

Les eaux thermales du Lamentin (sources et forages) possèdent une composante marine à hauteur de 30-35 %. Celle-ci imprime au fluide des signatures isotopiques ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{34}\text{S}$  des sulfates) et chimiques (espèces majeures). Le fluide géothermal est, en outre, marqué par l'interaction avec la roche, les minéraux des altérations (argiles,...) et dépôts (silice,...) hydrothermaux et les gaz d'origine magmatique (CO<sub>2</sub>, hélium).

Le calcul de géothermométrie permet de préciser que la température d'interaction eau-roche se situerait entre 85 et 140 °C. L'enrichissement du fluide en éléments en traces peut s'expliquer non seulement par des phénomènes de dissolution (de minéraux, d'espèces issues de la phase gaz) mais aussi de désorption et d'échange ionique à partir notamment des phases argileuses.

Le modèle hydrogéochimique suppose un premier processus de mélange entre un pôle d'eau de mer et un pôle d'eau d'origine météorique. Le second processus (pouvant être simultanément) est celui de l'interaction avec la roche, le gaz d'origine magmatique et les minéraux hydrothermaux.

Si le temps de transit ne peut être précisé, la provenance peut difficilement être trop en amont du fait de la pression exercée par les eaux des Pitons du Carbet. L'existence (sondage de la mairie de Fort-de-France en 1975 ?) d'une eau de composition et de localisation intermédiaire entre les Pitons du Carbet et la Plaine du Lamentin conduit à privilégier, à ce stade des connaissances, une provenance depuis l'ouest du Lamentin.



## 6. Conclusions et recommandations

L'approche hydrogéochimique des quatre secteurs étudiés (Montagne Pelée, Anses d'Arlet, Pitons du Carbet et Lamentin) a permis de proposer des modèles de circulation des eaux thermales qui contribuent aux modèles conceptuels géothermiques.

### Montagne Pelée

Sur la base de l'analyse des fluides de la Montagne Pelée, l'étude géochimique a montré que :

- deux réservoirs géothermaux distincts principaux peuvent être identifiés : l'un (155-180 °C) alimentant les sources des rivières Mitan et Picodo ; l'autre, présentant des caractéristiques de plus haute température (180-200 °C), alimentant les sources de la rivière Chaude ;
- dans le cas des sources de rivière Chaude, on suppose qu'un auto-colmatage en profondeur provoque diminution de la composante profonde et de la température d'émergence depuis que ces sources sont suivies ;
- l'analyse des isotopes stables de l'eau montre que l'ensemble des eaux souterraines se situent entre les droites des eaux météoriques mondiale et locale (antillaise) ; ce qui conduit à envisager des réservoirs ayant un rapport eau / roche élevé ou une circulation des eaux en profondeur assez rapide pour ne pas atteindre un équilibre isotopique entre les eaux et les roches ;
- d'autres sources, à proximité du conduit central du volcan présentent une composante témoignant d'une interaction eau-roche à haute température mais d'un niveau plus faible que celui des sources de la rivière Chaude ; il existerait donc des réservoirs intermédiaires ; cela peut confirmer que ce système géothermal, périodiquement perturbé par des éruptions, n'est ni unifié, ni stabilisé ;
- un appauvrissement relatif en isotope lourd de l'oxygène ( $^{18}\text{O}$ ) des sources chaudes de la haute rivière Claire, de la rivière Chaude et de la haute Grande Rivière peut traduire l'influence du  $\text{CO}_2$  et un équilibre eau-gaz magmatique ; cela conforte l'hypothèse de pôles géothermaux au niveau d'au moins une partie des sources de la périphérie du dôme ;
- par contre, aucune trace chimique ou isotopique d'une composante ayant interagi à haute température avec les roches et les gaz et interprétable comme fuite géothermale, n'a été détectée dans les eaux des rivières drainant les flancs est et nord du massif ;
- les sources chaudes du littoral (y compris sous-marines) s'expliquent par l'écoulement sub-superficiel latéral depuis les sources de la rivière Chaude.

La connaissance des systèmes géothermaux de la Montagne Pelée pourrait être précisée dans les directions suivantes :

- un nouvel échantillonnage des sources et éventuelles émanations gazeuses de la Haute Rivière Claire permettrait d'éclaircir les relations entre fluides magmatiques et fluides géothermaux à ce niveau qui semble être le plus proche de la zone volcanique active ;
- la caractérisation des différents systèmes géothermaux (profondeur, type de réservoir,...) liés aux sources de la zone centrale du volcan (rivière Chaude, rivière Claire, Grand'Rivière, rivière des Pères) reste à accomplir plus systématiquement ;
- la poursuite du suivi géochimique des sources de la rivière Chaude et des sources et puits chauds littoraux permettrait de confirmer et mieux caractériser les phénomènes de mélange et auto-colmatage des fuites de ce système géothermal ;

- l'analyse des eaux des sources et des rivières de la zone affectée par l'effondrement sectoriel permettrait de préciser les circulations sub-superficielles d'eaux thermales issues de la zone centrale du volcan ainsi que
- les relations entre les différentes rivières dans cette zone remplie par des volcanites récentes (et perméables) ;
- la dynamique des différents systèmes de circulation (temps de transit) reste à préciser ;
- en liaison avec les autres thématiques (géologie, hydrogéologie et géophysique), les relations entre les systèmes géothermaux, les structures volcaniques profondes (caldeiras, intrusions magmatiques, direction régionale active,...) et moins profondes (effondrement sectoriels) peuvent être affinées, notamment en précisant la relation hydrothermalisme – altération et zone conductrice mise en évidence par les méthodes électromagnétiques.

### **Les Anses d'Arlet**

Dans le secteur des Anses d'Arlet, les analyses de fluides montrent que :

- la source des Eaux Ferrées porte dans sa composition chimique et isotopique la signature d'une forte interaction avec les roches magmatique (rapport eau-roche très faible et/ou sur une longue durée) à haute température (190-210 °C) ;
- l'analyse des gaz émis confirme l'existence d'une contribution magmatique ;
- le fluide géothermal résulte d'un mélange entre un pôle profond, une composante d'eau de mer (estimée à moins de 50 %) et une composante magmatique (notamment issue des gaz) ;
- les sources voisines des Eaux Ferrées et dans l'emprise de l'ancien système hydrothermal, ne révèlent aucun lien de mélange avec les Eaux Ferrées et aucune d'entre elles ne porte la trace d'interaction à haute température, ni de contribution de gaz magmatique.

La connaissance du système géothermal des Anses d'Arlet pourrait être approfondie en étudiant les points suivants :

- préciser la dynamique du système des Eaux Ferrées (temps de transit,...) ;
- définir les aires de recharge (si recharge il y a) et la part possible de l'eau météorique dans le système de circulation profond ;
- préciser les relations entre fluides magmatiques et géothermaux actuels ;
- resituer plus finement la géochimie des Eaux Ferrées en prolongement de l'activité géothermale passée sur les Anses d'Arlet ;
- en liaison avec les autres thématiques (géologie et géophysique), les relations entre les systèmes géothermaux, les structures magmatiques plus ou moins profondes (intrusions, direction régionale active,...) peuvent être affinées, notamment en précisant la relation hydrothermalisme – altération et zone conductrice mise en évidence par les méthodes électromagnétiques.

### **Les Pitons du Carbet**

Les eaux souterraines des Pitons du Carbet peuvent être décomposées en deux catégories : celles dont la composition les rapproche des sources de Didier et Absalon, plutôt situées dans le centre du massif des Pitons, et celles voisines de Moutte, vers le littoral sud des Pitons du Carbet.

Le système hydrothermal des Pitons du Carbet est donc constitué par des eaux interagissant avec les roches encaissantes, sous des pressions de CO<sub>2</sub> plus ou moins fortes, à moyenne température (90-140 °C) en profondeur. Une faible (de 0,1 à 1,2 %) composante d'eau de mer se mêle aux eaux météoriques avant qu'elles n'interagissent avec la roche et n'est plus détectable que par certains isotopes. Sur la bande littorale, au sud des Pitons, ce système se trouve modifié par un mélange plus prononcé avec l'eau de mer et, sauf exception, une moindre contribution du CO<sub>2</sub>.

L'aire de répartition de ces eaux souterraines ne permet pas de définir s'il s'agit d'un réservoir unique ou de plusieurs appendices d'un système de circulation évoluant dans des conditions voisines.

Une meilleure connaissance des systèmes hydrothermaux de la zone des Pitons du Carbet, si elle n'a pas nécessairement en perspective un gisement local, peut aider à mieux comprendre le système voisin du Lamentin. Notamment en recherchant dans les directions suivantes :

- préciser la localisation des aires de recharge alimentant les systèmes de circulation souterraine ;
- valider l'hypothèse d'une contribution marine aux systèmes de circulation hydrothermal de Didier (et Absalon) ;
- préciser la dynamique des systèmes de circulation (temps de transit) ;
- explorer la zone sud du Piton Lacroix (bassins supérieurs des rivières Fond Bourlet, Vannan et de case Pilote) ;
- affiner les relations entre les systèmes hydrothermaux des Pitons du Carbet (Didier, Absalon, Moutte) et celui du Lamentin.

### **Plaine du Lamentin**

En dehors des eaux sub-superficielles (nappe alluviale de la Lézarde), deux types d'eaux souterraines peuvent être identifiées sur le plan géochimique : (i) les eaux des sources et puits froids (nappe du Lamentin) et (ii) les eaux thermales de sources et forages (d'exploration ou de gradient).

Les eaux froides se rattachent de par leur composition chimique et isotopique au groupe des eaux minérales du groupe de Moutte. Elles sont légèrement plus froides, plus diluées et plus bicarbonatées (en relation avec la pCO<sub>2</sub> plus élevée des formations de la Plaine du Lamentin) que les eaux de Moutte mais leurs caractéristiques restent les mêmes : moins de 0,3% d'eau de mer, des signatures isotopiques mixtes entre eaux d'origine météorique, eau d'origine marine et eau marquée par l'interaction avec la roche et le gaz magmatique, une température d'équilibre en profondeur comprise entre 85 et 110 °C.

Les eaux thermales des sources et des forages (de gradient et d'exploration géothermique) forment un même ensemble bien distinct du précédent par la température (> 35 °C), la minéralisation (autour de 12 g/l), le pH (< 6,5) et un dégazage systématique de gaz carbonique.

Les eaux provenant des forages sont issues d'un mélange alliant le fluide géothermal du Lamentin (commun aux sources chaudes) à une eau utilisée pour la réalisation des forages.

Le modèle hydrogéochimique suppose deux processus :

- les eaux thermales du Lamentin (sources et forages) résultent d'un mélange entre une composante marine (30-35 %) et un pôle d'eau d'origine météorique issu des Pitons du Carbet ; la température d'interaction eau-roche se situe entre 85 et 140 °C ;

- le fluide géothermal est, en outre, marqué par l'interaction avec (i) les minéraux d'altération (argiles,...) et dépôts (silice,...) hydrothermaux d'épisodes géothermaux précédents et (ii) les gaz d'origine magmatique (CO<sub>2</sub>, hélium).

Bien qu'étudiée plus en profondeur que les autres sites, la zone du Lamentin nécessite des compléments d'exploration qui passent par :

- la réalisation d'essais hydrogéologiques et d'un suivi associé de la géochimie des fluides afin de quantifier les capacités du réservoir et de mieux définir la nature de la ressource ;
- la meilleure définition des relations entre les circulations hydrothermales des Pitons du Carbet et celles du Lamentin et, donc, la précision des (de l') aires de recharge alimentant la ressource du Lamentin ;
- une meilleure connaissance des interactions entre fluide géothermal et magmatisme (fluides et roches) ;
- la quantification du temps de transit dans le système de circulation ;
- la définition des liens entre le fluide actuel et les systèmes locaux plus anciens ;
- la meilleure connaissance des relations entre l'altération, les couches conductrices identifiées par les méthodes électromagnétiques et le fluide géothermal.

## 7. Bibliographie

**Barat A.** (1987) - 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. Document BRGM n° 115, 205 p.

**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.

**Cayol A.** (1975) - Contribution à l'étude hydrologique et hydrogéochimique de la Martinique. Thèse 3è cycle Université Pari-VI.

**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 R37 990, 34 p., 2 annexes.

**Chovelon P., Fabriol R., Ouzounian G. (1986)** – Évaluation des ressources géothermiques de l'île de la Martinique – Synthèse hydrogéochimique. Rapport n° 86 CFG 012, 103 p.

**Coppo N., Baltassat J.-M., Girard J.-F., Jacob T., Martelet G., Mathieu F., Wawzzyniak P.** (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, 278 p., ill., 160 fig., 10 ann.

**Cormy G., Demians d'Archimbaud J., Surcin J.** (1970) - Prospection géothermique aux Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique, Geothermics, Special Issue U.N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, 1970, vol.2, part 1.

**Fabriol R., Ouzounian G.** (1985) - Prospection géothermique de la Plaine du Lamentin (Martinique) - Modèle hydrogéochimique. Rapport BRGM 85 SGN 384 GTH, 28 p.

**Fleischer R.L.** (1980) - Isotopic disequilibrium of uranium : alpha-recoil damage and preferential solution effects. *Science* 207, p. 979-981.

**Gadalia A., Baltassat J.M., Bouchot V., Caritg S., Coppo N., Gal F., Girard J.F., Gutierrez A., Jacob T., Martelet G., Rad S., Tailame A.L., Traineau H., Vittecoq B., Wawrzyniak P., Zammit C.** (2014) - Compléments d'exploration géothermique en Martinique : conclusions et recommandations pour les zones de la Montagne Pelée, des Anses d'Arlet, des Pitons du Carbet et du Lamentin. Rapport final BRGM/RP- -FR, 229 p., 75 fig., 7 tabl., 4 ann., 1 CD.

**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, 84 p.

**Germa A., Quidelleur X., Lahitte P., Labanieh S., Chauvel C.** (2011) - The K-Ar Cassignol-Gillot technique applied to western Martinique lavas: A record of Lesser Antilles arc activity from 2 Ma to Mount Pelée volcanism. *Quaternary Geochronology*, 6, p. 341-355.

**Giggenbach W.F. (1988)** - Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, p. 2749-2765.

**Giggenbach W.F. (1991)** - Collection and analysis of geothermal and volcanic waters and gas discharges. In : *Application of geochemistry in geothermal reservoir development*, ed. F. D'Amore, pp. 119-144. UNITAR, Rome.

**Iundt F. (1984)** - Ré-évaluation géochimique du potentiel géothermique de l'île de la Martinique. Rapport BRGM 84 SGN 292 GTH, 21 p.

**Klinka T., Arnaud L., Vittecoq B., Gadalia A. (2011)** - Suivi géologique et hydrogéologique de 3 forages de reconnaissance sur le site de Tivoli, Fort de France (Martinique). Rapport BRGM/RP-60339-Fr, 105 pp., 48 ill., 6 ann.

**Lalubie G. (2010)** - 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 des Antilles et de la Guyane, 318 p., 12 appendices techniques, 1 atlas de 29 cartes

**Lopoukhine M., Mouret C. (1977)** - Étude géothermique des sources de la Martinique. Rapport BRGM 77ANT36, 8 annexes, 32 p.

**Millot, R., Scaillet, B., Sanjuan, B. (2010)** - Lithium isotopes in island arc geothermal systems: Guadeloupe, Martinique (French West Indies) and experimental approach. *Geochimica & Cosmochimica Acta*. 74, p. 1852-1871.

**Millot R., Guerrot C. and Vigier, N. Rad, S. D., Allègre, C. J., Louvat, P. (2007)** - Hidden erosion on volcanic islands. *Earth and Planetary Science Letters*. 262, p. 109-124.

**Mossadik H. (1997)** - Les isotopes du Bore, traceurs naturels dans les eaux : mise au point de l'analyse en spectrométrie de masse à source solide et applications à différents environnements. Thèse de doctorat de l'université d'Orléans, 208 p.

**Mouret C. (1979)** - Synthèse des connaissances sur les sources thermales de la Martinique – Application au thermalisme. Rapport BRGM 79ANT8, 28 p., 6 annexes.

**Parkhurst D.L. et Appelo C.A.J. (1999)** - User's guide to PHREEQ-C (Version 2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 99-4259, 312 p.

**Pedroni, A., Hammerschmidt, K., and Friedrichsen, H.(1999)** - He, Ne, Ar, and isotope systematics of geothermal emanations in the lesser Antilles Islands Arc, *Geochimica & Cosmochimica Acta*, **63**, 3/4, (1999), p. 515-532.

**Rad, S. D., Allègre, C. J., Louvat, P. (2007)** - Hidden erosion on volcanic islands. *Earth and Planetary Science Letters*. 262, p.109-124.

**Rad, S., Rivé, K., Allègre, C.J. (2011)** - Weathering regime associated with subsurface circulation on volcanic islands. *Aquat. Geochem.* 17, 3, p. 221-241.

**Rad S., Tailame A.L., Gadalia A. (2013)** – Compléments d'exploration géothermiques en Martinique. Volet géochimie des fluides. Rapport d'avancement BRGM/RP-61889-FR, 61 p., 12 fig., 5 tab., 8 ann., 1 CD.

**Rivé, K., Gaillardet, J., Agrinier, P., Rad, S. (2013)** - Carbon isotopes in the rivers from the Lesser Antilles: origin of the carbonic acid consumed by weathering reactions in the Lesser Antilles. Accepted manuscript, *Earth Surface Processes and Landforms*, *Earth and Planetary Science Letters*.

**Ruzié L., Aubaud C., Moreira M., Agrinier P., Dessert C., Gréau C., Crispi O.** (2013) - Carbon and Helium isotopes in thermal springs of La Soufrière volcano (Guadeloupe, Lesser Antilles): Implications for volcanological monitoring, *Chemical Geology*, vol.359, pp.70-80.

**Sanjuan B., Genter A., Correia H., Girard J.P., Roig J.Y., Brach M.** (2002) - Travaux scientifiques associés à la réalisation des trois puits d'exploration géothermique dans la plaine du Lamentin (Martinique). Rapport final BRGM/RP-51671-FR, 253 p.

**Sanjuan, B., Genter, A., Baltassat, J.M., Serra H., Roig J.Y., Brach M.** (2003a) - 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 BRGM n° RP-52283-FR, 140 p.

**Sanjuan, B., Brach, M., Foucher, J.C.** (2003b) - Ré-évaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge-Montagne Pelée et du Diamant (Martinique) : étude géochimique. Rapport BRGM n° RP-52547-FR, 79 p.

**Sanjuan, B., Millot, R., Brach, M., Foucher, J.C., Roig, J.Y., Baltassat, J.M.** (2003c) - Geothermal exploration in the Mount Pelée volcano - Morne Rouge- and Diamant areas (Martinique, French West Indies). Geochemical data. In *World Geothermal Congress 2005 (WGC 2005)*, Antalya, Turkey, 24-29/04/2005, 12 p.

**Traineau H., Négrel G.** (2012) - Évaluation préalable de la ressource géothermale du Lamentin, Martinique. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-61759-FR, 79 p., 24 fig., 5 tabl., 1 ann..

**Traineau H., Bouchot V., Caritg S., Gadalía A.** (2013) - Compléments d'exploration géothermique en Martinique : volet géologie. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-62349-FR, 153 p., 69 fig., 9 tabl., 3 ann.

**Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini S., Maréchal J.C.** (2010) - Évaluation des ressources en eau de la Martinique : calcul spatialisé de la pluie efficace et validation à l'échelle du bassin versant. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 23, n° 4, p.361-373.

**Vittecoq B., Gutierrez A.** (2012) - Compléments d'exploration géothermique de la Martinique - Volet « hydrogéologie ». Rapport intermédiaire. Rapport BRGM/RP-61406-FR.



## **Annexe 1**

### **Géolocalisation des échantillons d'eau**



## Campagne de février 2012

Période	Echantillon	Date	Zones	Origine	Détails origine	Commune	Bassin	Lieu	Xwgs84	Ywgs84	décimales X	Y
févr-12	MAR-1-0212	14/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière Sèche	Rivière Sèche aval	694629,48	1633120,19	-61,191842	14,765028
févr-12	MAR-2-0212	15/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière Sèche	Rivière Sèche amont	695965,56	1634239,39		
févr-12	MAR-3-0212	16/02/2012	Carbet	Source	Minérale Froide	Morne vert	Rivière du Carbet	Ravine l'Abbé aval	700582,73	1627097,83	-61,137018	14,710167
févr-12	MAR-4-0212	15/02/2012	Pelée	Superficielle		Lorrain	Rivière Capot	Source	705357,00	1641576,42	-61,09155	14,84064
févr-12	MAR-5-0212	15/02/2012	Pelée	Superficielle		Grand Rivière	Grande Rivière	Grande Rivière	696349,66	1644459,71	-61,175008	14,867375
févr-12	MAR-6-0212	15/02/2012	Pelée	Superficielle		Macouba	Rivière de Macouba	Rivière Macouba	699199,74	1645047,56	-61,148483	14,872475
févr-12	MAR-7-0212	15/02/2012	Pelée	Superficielle		Ajoupa-Bouillon	Rivière Capot	Rivière Blanche	701854,42	1637769,37	-61,124384	14,806505
févr-12	MAR-8-0212	16/02/2012	Carbet	Superficielle		Morne-Vert	Rivière du Carbet	Rivière Mitan amont	701955,79	1627439,51		
févr-12	MAR-9-0212	17/02/2012	Carbet	Superficielle		Case-Pilote	Rivière de Fond Bourlet	Rivière Fond Bourlet	702305,74	1620607,81		
févr-12	MAR-10-0212	16/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière des pères	Rivière des pères	696920,64	1632814,41	-61,170587	14,762097
févr-12	MAR-11-0212	16/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	La Roxelane	La Roxelane	697677,95	1632340,63	-61,16359	14,75776
févr-12	MAR-12-0212	16/02/2012	Carbet	Superficielle		Fond-Saint-Denis	Rivière du Carbet	Cascade des Gendarmes	703999,43	1628741,78	-61,105168	14,724765
févr-12	MAR-13-0212	16 et 21/02/2012	Pelée	Superficielle		Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Rivière du Prêcheur	692263,23	1638118,77	-61,213447	14,810371
févr-12	MAR-14-0212	16/02/2012	Pelée	Superficielle		Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Sampierre amont	694926,45	1639049,33	-61,188639	14,818587
févr-12	MAR-15-0212	16/02/2012	Pelée	Source	Douce Froide	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Sampierre aval	694669,99	1639153,24	-61,191014	14,819545
févr-12	MAR-16-0212	17/02/2012	Carbet	Superficielle		Bellefontaine	Rivière Fond Laillet	Ravine Vannan	701662,03	1623893,62	-61,127244	14,681131
févr-12	MAR-16bis-0212	17/02/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Bellefontaine	Rivière Fond Laillet	Ravine Vannan	701666,72	1623899,02	-61,1272	14,681179
févr-12	MAR-17-0212	17/02/2012	Carbet	Superficielle		Case-Pilote	Rivière de Case Pilote	Rivière de Case Pilote	702378,31	1621711,19		
févr-12	MAR-18-0212	16 et 21/02/2012	Pelée	Superficielle		Prêcheur	Rivière de la Pointe Lamare	Rivière Mitan amont	693299,19	1636454,25	-61,203948	14,795254
févr-12	MAR-19-0212	18/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière Claire	Rivière Claire aval	694370,22	1634317,85	-61,19416	14,77587
févr-12	MAR-20-0212	18/02/2012	Carbet	Superficielle		Carbet	Rivière du Carbet	Rivière du Carbet	697884,63	1627732,26	-61,16202	14,7161
févr-12	MAR-21-0212	18/02/2012	Carbet	Superficielle		Carbet	Rivière Fond Capot	Rivière Fond Capot	697724,92	1624062,63	-61,16378	14,68295
févr-12	MAR-22-0212	20/02/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière Blanche	Source de l'Alma	704690,11	1627625,69	-61,098843	14,714627

Période	Échantillon	Date	Zones	Origine	Détails origine	commune	Bassin	Lieu	Xwgs84	Ywgs84	décimales X	Y
févr-12	MAR-23-0212	20/02/2012	Carbet	Source	Thermale	Fort-de-France	Rivière Case Navire	Source Absalon	705076,61	1623463,93	-61,09558	14,67699
févr-12	MAR-24-0212	20/02/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Deux Choux	704775,85	1629749,26	-61,09788	14,73381
févr-12	MAR-25-0212	20/02/2012	Carbet	Superficielle		Fond-Saint-Denis	Rivière Blanche	Ravine Sévère	705346,57	1626555,53		
févr-12	MAR-26-0212	20/02/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Rivière du Lorrain Source centre 1	704972,39	1628870,56	-61,096124	14,725855
févr-12	MAR-27-0212	20/02/2012	Pelée	Superficielle		Basse-Pointe	Rivière Capot	Rivière Falaise amont	699288,40	1638071,96	-61,148196	14,809433
févr-12	MAR-28-0212	20/02/2012	Pelée	Source	Douce froide	Ajoupa-Bouillon	Rivière Capot	Rivière Falaise Source amont	699227,57	1637996,84		
févr-12	MAR-29-0212	21/02/2012	Pelée	Superficielle		Prêcheur	Rivière de la Pointe Lamare	Rivière Picodo aval	693228,99	1636265,18	-61,204614	14,793551
févr-12	MAR-30-0212	21/02/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Fort-de-France	Rivière Blanche	Source la Médaille	705573,21	1625912,13	-61,090778	14,699075
févr-12	MAR-31-0212	21/02/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Carbet	Rivière du Carbet Source	704342,79	1629120,85	-61,10195	14,728164
févr-12	MAR-33-0212	22/02/2012	Pelée	Source	Thermale	Saint-Pierre	Rivière Claire	Source Rivière chaude	696171,08	1636843,99	-61,174703	14,800459
févr-12	MAR-34-0212	22/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière Claire	Rivière Claire centre	694705,55	1634793,06	-61,19101	14,78014
févr-12	MAR-35-0212	23/02/2012	Pelée	Superficielle		Ajoupa-Bouillon	Rivière Capot	Rivière Falaise aval	701137,03	1639322,01	-61,130927	14,82059
févr-12	MAR-35bis-0213	23/02/2012	Pelée	Source	Douce Froide	Ajoupa-Bouillon	Rivière Capot	Rivière Falaise Source aval	701236,75	1639384,46	-61,129996	14,821147
févr-12	MAR-36-0212	23/02/2012	Pelée	Superficielle		Basse-Pointe	Rivière Pocquet	Rivière Pocquet	1641493,80	702248,57		
févr-12	MAR-37-0212	23/02/2012	Carbet	Superficielle		Fort-de-France	Rivière Case Navire	Ravine Absalon	705044,72	1623571,00	-61,095868	14,67796
févr-12	MAR-38-0212	24/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière de la Pointe Lamare	Rivière Picodo amont	694624,33	1636990,59	-61,1916	14,800005
févr-12	MAR-39-0212	24/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière de la Pointe Lamare	Rivière Picodo centre	694555,90	1636964,89	-61,192237	14,799777
févr-12	MAR-40-0212	24/02/2012	Pelée	Source	Thermale	Saint-Pierre	Rivière de la Pointe Lamare	Rivière Picodo Source	694498,49	1636919,92	-61,192774	14,799375
févr-12	MAR-41-0212	24/02/2012	Pelée	Source	Douce Froide	Saint-Pierre	Rivière des Pères	Rivière des Pères Source amont	698108,891	1637195,183		
févr-12	MAR-42-0212	24/02/2012	Pelée	Source	Mimérale Froide	Saint-Pierre	Rivière des Pères	Rivière des Pères Source centre	698101,049	1637197,423		
févr-12	MAR-43-0212	24/02/2012	Pelée	Source	Douce Froide	Saint-Pierre	Rivière des Pères	Rivière des Pères Source aval	698194,004	1637151,502		
févr-12	MAR-44-0212	24/02/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière des Pères	Rivière des Pères	698404,08	1636979,48	-61,156493	14,799626

Période	Échantillon	Date	Zones	Origine	Détails origine	Commune	Bassin	Lieu	Xwgs84	Ywgs84	décimales X	Y
févr-12	MAR-45-0212		Carbet	Source	Minérale Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Mofette Deux Choux 1	704773,89	1629864,05	-61,097889	14,734847
févr-12	MAR-46-0212		Carbet	Source	Minérale Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Mofette Deux Choux 2	704772,58	1629867,84	-61,097901	14,734882
févr-12	MAR-47-0212		Carbet	Source	Minérale Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Source Deux Choux tunnel	704583,59	1629423,09		
févr-12	MAR-48-0212		Carbet	Source	Thermale	Fort-de-France	Rivière Case Navire	Source Didier 1	705403,78	1621689,21	-61,092682	14,660928
févr-12	MAR-49-0212		Carbet	Forage	Thermale	Fort-de-France	Rivière Case Navire	Forage Mabello 1	705357,60	1621582,64	-61,093119	14,659968
	K24	23/02/2012						(Carbet) sud plateau Boucher	704746,02	1627796,91	-61,09831	14,71617

#### Prélèvements en forage d'avril - mai 2012

Période	Échantillon	Date	Zones	Origine	Détails origine	Commune	Bassin	Lieu	Xwgs84	Ywgs84	décimales X	Y
avr-12	Fond Canal	11/04/2012		Forage		Carbet	Rivière du Carbet	Fond Canal	696620,05	1627283,15		
avr-12	La Borelli	17/04/2012		Forage		Gros Morne	Rivière du Gallion	La Borelli	714322,48	1628796,70		
avr-12	Habitation Ressource	17/04/2012		Forage		Lamentin	La Lézarde	Habitation Ressource	717587,21	1616528,34		
avr-12	Fond Lahaye	18/04/2012		Forage		Schoelcher	Rivière Fond Lahaye	Fond Lahaye	704073,01	1619788,78		
avr-12	Rivière Prêcheur	18/04/2012		Forage		Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Rivière Prêcheur	691475,23	1637564,51		
avr-12	CDST	18/04/2012		Forage		Saint-Pierre	Rivière des Pères	CDST	695886,17	1631930,27		

#### Prélèvements en forage d'avril - mai 2012

Période	Échantillon	Date	Zones	Origine	Détails origine	Commune	Bassin	Lieu	Xwgs84	Ywgs84	décimales X	Y
Mai 2011	Tivoli TF3	31/05/2011	Carbet	Forage		Fort-de-France	Rivière Madame	Tivoli				

**Campagne de juin 2012**

Période	Echantillon	Date	Zones	Origine	Détails origine	Commune	Bassin	Lieu	Xwgs84	Ywgs84	décimales X	Y
juin-12	MAR-01-0612	05/06/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Rivière du Lorrain Source aval	705466,66	1629121,90	-61,091515	14,728088
juin-12	MAR-05-0612	05/06/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Rivière du Lorrain Source centre 2	704975,47	1628867,03	-61,096096	14,725823
juin-12	MAR-07-0612	05/06/2012	Carbet	Source	Minérale Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Rivière du Lorrain Source amont	704862,25	1628547,90	-61,097172	14,722947
juin-12	MAR-08-0612		Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière Claire	Rivière Claire amont	695886,37	1636939,05	-61,179881	14,799447
juin-12	MAR-09-0612	06/06/2012	Carbet	Source	Minérale Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Mofette Deux Choux 3	704772,94	1629867,40	-61,097898	14,734878
juin-12	MAR-09bis-0612	09/06/2012	Carbet	Source	Minérale Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Mofette Deux Choux 4	704772,57	1629865,88	-61,097901	14,734864
juin-12	MAR-11-0612	07/06/2012	Carbet	Forage	Thermale	Fort-de-France	Rivière Case Navire	Absalon Forage	705462,76	1623633,75	-61,091982	14,678495
juin-12	MAR-12-0612	07/06/2012	Carbet	Superficielle		Morne Vert	Rivière Fond Capot	Rivière Coco	699771,62	1625787,12	-61,144648	14,698383
juin-12	MAR-13-0612	07/06/2012	Carbet	Source	Minérale Froide	Morne vert	Rivière du Carbet	Ravine l'Abbé amont Source	700611,74	1627092,87	-61,136749	14,71012
juin-12	MAR-15-0612	07/06/2012	Carbet	Superficielle		Morne vert	Rivière du Carbet	Rivière Mitan aval	701663,63	1627447,14	-61,126955	14,713242
juin-12	MAR-18-0612	08/06/2012	Pelée	Superficielle		Saint-Pierre	Rivière Claire	Rivière Claire aval	694370,21	1634317,85	-61,194416	14,77587
juin-12	MAR-20-0612	08/06/2012	Carbet	Source	Thermale	Fort-de-France	Rivière Case Navire	Source Didier 2	705403,78	1621689,21	-61,092682	14,660928
juin-12	MAR-21-0612	08/06/2012	Carbet	Forage	Thermale	Fort-de-France	Rivière Case Navire	Forage Mabello 2	705357,60	1621582,64	-61,093119	14,659968
juin-12	MAR-22-0612	08/06/2012	Carbet	Superficielle		Fort-de-France	Rivière Case Navire	Rivière Didier	706004,86	1619818,70	-61,087249	14,643979
juin-12	MAR-23-0612	09/06/2012	Carbet	Superficielle		Lorrain	Rivière du Lorrain	Rivière du Lorrain	706388,01	1631294,10	-61,082789	14,747646
juin-12	MAR-24-0612	09/06/2012	Carbet			Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Rivière Petit Nicolas	704584,76	1630008,96	-61,099634	14,736171
juin-12	MAR-25-0612	11/06/2012	Carbet			Fond-Saint-Denis	Rivière Blanche	Rivière Blanche Source	704760,00	1626583,00		
juin-12	MAR-26-0612	11/06/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Morne vert	Rivière du Carbet	Rivière de Beauvallon	699762,25	1627451,76	-61,0755	14,48080
juin-12	MAR-27-0612	11/06/2012	Petite Anse	Source	Minérale Froide	Anses d'Arlet	Anse Chaudière	Ravine Chaudière	707402,23	1601753,08	-61,075696	14,480624
juin-12	MAR-28-0612	12/06/2012	Petite Anse	Source	Minérale Froide	Anses d'Arlet	Anse d'Arlet	Source Sucrierie	707374,55	1603055,50	-61,075852	14,492395
juin-12	MAR-29-0612	12/06/2012	Petite Anse	Source	Thermale	Anses d'Arlet	Petite Anse	Source Petite Anse	707440,28	1600390,67	-61,07545	14,468309
juin-12	MAR-30-0612	13/06/2012	Pelée	Superficielle	eau de mer	Saint-Pierre	Rivière Sèche	Eau de mer	694126,16	1633190,35	-61,196511	14,765699
juin-12	MAR-31-0612	13/06/2012	Pelée	Source	Thermale	Saint-Pierre	Rivière Sèche	Source en mer 1	694126,16	1633190,35	-61,196511	14,765699

juin-12	MAR-32-0612	13/06/2012	Pelée	Source	Thermale	Saint-Pierre	Rivière Claire	Source en mer 2	693666,17	1633800,38	-61,200737	14,771245
juin-12	MAR-33-0612	14/06/2012	Pelée	Superficielle		Prêcheur	Rivière de la Pointe Lamare	Rivière Mitan aval	693116,85	1636346,11	-61,20565	14,79429
juin-12	MAR-34-0612	14/06/2012	Petite Anse	Superficielle		Trois-îlets	Rivière de la Pagerie	Rivière de la Pagerie	709975,00	1606734,00	-61,0639	14,4642
juin-12	MAR-35-0612	14/06/2012	Petite Anse	Source	Minérale Froide	Anses d'Arlet	Anse d'Arlet	Source Colette	707981,37	1602353,66	-61,0703	14,486006
juin-12	MAR-36-0612	14/06/2012	Petite Anse	Source	Minérale Froide	Anses d'Arlet	Petite Anse	Source Larcher	708693,19	1599949,25	-61,0639	14,464225
juin-12	MOUTTE		Carbet	Source	Minérale Froide	Fort-de-France	Rivière Monsieur	Source Moutte	710389,00	1618685,00	-61,04666	14,63337
	Gaz n°1	13/06/2013	Petite Anse	Gaz		Anses d'Arlet	Petite Anse	Baie de Petite Anse 1	707900,00	1600245,00		
	Gaz n°2	13/06/2013	Petite Anse	Gaz		Anses d'Arlet	Petite Anse	Baie de Petite Anse 2	707525,00	1599760,00		
	Gaz n°3	13/06/2013	Petite Anse	Gaz		Anses d'Arlet	Petite Anse	Baie de Petite Anse 3	707560,00	1600360,00		

**Campagne de Décembre 2012**

déc-12	MAR-12-1212	04/12/2012	Carbet	Eau superficielle		Morne Vert	Rivière Fond Capot	Rivière Coco (Canton Suisse)	699762,95	1625772,37	-61,14473	14,69825
déc-12	Deux-Choux	04/12/2012	Carbet	Source	Minérale Froide	Fond-Saint-Denis	Rivière du Lorrain	Mofette Deux Choux 5	704772,57	1629865,88		
déc-12	Ravine Chaude amont	05/12/2012	Pelée	Source		Saint-Pierre	Rivière Claire	Rivière Chaude amont	696480,53	1637052,20	61,17752	14,79829
déc-12	Ravine Chaude aval	05/12/2012	Pelée	Source	Thermale	Saint-Pierre	Rivière Claire	Source ferrugineuse Rivière Chaude aval	696337,16	1637014,30	61,17752	14,79829
déc-12	Source Larcher	08/12/2012	Petite Anse	Source	Minérale Froide	Anses d'Arlet	Petite Anse	Source Larcher	708693,19	1599949,25		
déc-12	Rivière Monsieur aval	11/12/2012	Carbet	Eau superficielle		Fort-de-France	Rivière Monsieur	Rivière Monsieur aval	710595,2	1619020,2	61,04471	14,63641
déc-12	Vieil Antoine	06/12/2012	Carbet	Source	Douce Froide	Morne Vert	Rivière Fond Capot	Source du Vieil Antoine	701695,346	1625127,979		
déc-12	Rivière Monsieur amont	12/12/2012	Carbet	Eau superficielle		Fort-de-France	Rivière Monsieur	Rivière Monsieur amont	708024,68	1623516,61	61,06821	14,67724



## **Annexe 2**

# **Résultats des mesures sur site de paramètres physico-chimiques**



Échantillons	Date	T °C	pH	Conductivité µS/cm à 25°C	Eh brut mV	Eh corr mV	Alcalinité (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	
							meq/L	mg/l
MAR-1-0212	14/02/2012	28,6	8,15	197	242	446	-	
MAR-2-0212	15/02/2012	25,2	6,66	184	162	369	0,93	57
MAR-3-0212	16/02/2012	25,2	5,73	532	67	273	3,64	222
MAR-4-0212	15/02/2012	24,4	7,84	187	238	445	1,00	61
MAR-5-0212	15/02/2012	22,7	7,97	117	255	463	0,73	44
MAR-6-0212	15/02/2012	23,8	7,84	180	259	467	0,87	53
MAR-7-0212	15/02/2012	22,2	7,83	107	275	484	0,65	40
MAR-8-0212	16/02/2012	21,0	7,36	114	59	269	0,66	41
MAR-9-0212	17/02/2012	22,1	7,81	206	65	274	1,26	77
MAR-10-0212	16/02/2012	23,3	7,66	147	262	470	0,88	54
MAR-11-0212	16/02/2012	24,1	7,95	174	280	487	1,05	64
MAR-12-0212	16/02/2012	22,1	7,51	84	305	514	0,46	28
MAR-13-0212	16 et 21/02/2012	26,3	7,95	147	268	474	0,93	57
MAR-14-0212	16/02/2012	21,1	7,83	123	191	401	0,89	54
MAR-15-0212	16/02/2012	24,3	6,91	165	224	431	1,13	69
MAR-16-0212	17/02/2012	21,5	7,53	168	49	258	0,95	58
MAR-16bis-0212	17/02/2012	22,1		182				0
MAR-17-0212	17/02/2012	21,9	7,59	235	197	406	1,08	66
MAR-18-0212	16 et 21/02/2012	25,2	7,72	299	254	461	1,64	100
MAR-19-0212	18/02/2012	21,7	8,66	552	204	413	4,91	299
MAR-20-0212	18/2/12 14:14	24,4	8,14	152	229	436	1,05	64
MAR-21-0212	18/2/12 16:05	23,3	8,01	167	225	433	1,32	80
MAR-22-0212	20/02/2012	21,6	6,50	107	365	574	0,82	50
MAR-23-0212	20/02/2012	36,8	5,98	1762	11	209	21,07	1285
MAR-24-0212	20/02/2012	22,9	4,25	79	323	531	0,07	4
MAR-25-0212	20/02/2012	21,5	7,73	120	263	473	0,92	56
MAR-26-0212	20/02/2012		4,69	98	395	620	n.a	0
MAR-27-0212	20/02/2012	20,5	7,31	73	62	272	n.a	0
MAR-28-0212	20/02/2012	20,4	6,87	87	-8	202	n.a	0
MAR-29-0212	21/02/2012	25,1	8,39	425	181	388	n.a.	0
MAR-30-0212	21/02/2012	22,5	7,01	133	229	438	0,94	57
MAR-31-0212	21/02/2012	21,4	7,00	77	311	520	0,26	16
MAR-33-0212	22/02/2012	25,6	6,63	528	326	532	12,54	765
MAR-34-0212	22/02/2012	29,7	8,74	518	106	309	4,33	264
MAR-35-0212	23/02/2012	22	7,42	86	27	236	0,48	29

Échantillons	Date	T °C	pH	Conductivité µS/cm à 25°C	Eh brut mV	Eh corr mV	Alcalinité (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	
							meq/L	mg/l
MAR-35bis-0213	23/02/2012	22,9	6,25	182	27	236	0,58	35
MAR-36-0212	23/02/2012	23,4	7,68	141	146	353	0,97	59
MAR-37-0212	23/02/2012	25,8	6,10	1472	97	303	17,76	1083
MAR-38-0212	24/02/2012	25,3	8,01	427	266	472	2,35	143
MAR-39-0212	24/02/2012	24,0	7,74	269	201	408		0
MAR-40-0212	24/02/2012	34,0	6,31	1495	246	446	6,32	386
MAR-41-0212	24/02/2012			145		225		0
MAR-42-0212	24/02/2012	22,6	6,72	333	-59	149	2,18	133
MAR-43-0212	24/02/2012	20,4	6,92	157	-83	127		0
MAR-44-0212	24/02/2012	19,7	7,48	85	248	458		0
MAR-45-0212		20,7	9,25	420	105	315	-	-
MAR-46-0212		20,7	4,07	240	-88	122	-	-
MAR-47-0212		21,7	5,22	278	118	327	1,13	69
MAR-48-0212		31,5	6,16	1918	18	220	-	-
MAR-49-0212		32,2	6,54	716	11	212	3,47	212

Échantillons	Date	T °C	pH	Conductivité µS/cm à 25°C	Eh (mV) brut corr.	Alcalinité (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		O <sub>2</sub> d	
						meq/l	mg/l	mg/l	%
Carbet - Fond Canal; n° BSS 1172ZZ0063	11/04/2012	26,5	6,68	231	-52,8 139,2			1,78	21,9
Gros Morne - La Borelli; n° BSS 1174ZZ0088	17/04/2012	27,2	6,7	178,6	15,9 211,6			1,61	20,6
Le Lamentin - Habitation Ressource; n° BSS 1179ZZ0070	17/04/2012	27,6	7,69	607	-260 -64,7			0,05	0,4
Schoelcher -Fond Lahaye; n° BSS 1177ZZ0177	18/04/2012	30,4	6,78	1085	51,4 244,6			0,52	6,9
Le Précheur - Rivière Prêcheur; n° BSS 1167ZZ0024	18/04/2012	26,3	6,73	288	132,8 329,1			6,7	84,1
Saint Pierre - CDST; n° BSS 1167ZZ0045	18/04/2012	27	6,75	174	65,1 260,9			5,58	70,2
Tivoli TF3		34,4	7,44	847	-150 50			0,04	0,5
MOITTE	19/04/2012	29,8		1458	22,6	216,9			

Échantillons	Date	T °C	pH	Conductivité µS/cm à 25°C	Eh (mV)		Alcalinité (HCO3-)		O <sub>2</sub> d	
					brut	corr.	meq/l	mg/l	mg/l	%
MAR-01-0612	05/06/2012	22,7	6,75	95	67	275	0,58	35	8,07	
MAR-05-0612	05/06/2012	22,3	5,05	68	368	577	-0,03		7,77	95
MAR-07-0612	05/06/2012	25,0	6,30	213	43	250			1,85	25
MAR-08-0612	05/06/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAR-09-0612	06/06/2012	21,5	4,29	194	0	209			0,02	0
MAR-09bis-0612	06/06/2012	22,3	3,87	598	140	349			0,08	1
MAR-11-0612	06/06/2012	36,2	6,05	1712	-5	194			0,06	0
MAR-12-0612	07/06/2012	24,3	7,94	147	260	467	1,02	62	8,21	100
MAR-13-0612	07/06/2012	25,2	5,82	421	195	402	3,37	205	3,98	49
MAR-15-0612	07/06/2012	22,4	7,54	117	224	433	0,93	57	8,00	96
MAR-18-0612	08/06/2012						5,21	318		
MAR-20-0612	08/06/2012	33,0	6,24	2010	5	206	23,60	1440	0,05	1
MAR-21-0612	08/06/2012	33,0	6,51	737	9	210	6,44	393	0,36	5
MAR-22-0612	08/06/2012	24,7	7,93	112	286	493			8,15	100
MAR-23-0612	09/06/2012	24,2	7,01	153	206	413	0,26	16	7,37	98
MAR-24-0612	09/06/2012	22,7	5,82	67	216	424	0,34	21	6,65	82
MAR-25-0612	11/06/2012	22,8	6,45	98			0,81	49		
MAR-26-0612	11/06/2012	24,5	8,10	164			1,30	79		
MAR-27-0612	11/06/2012	27,5	7,46	1550	265	470	7,76	473	5,75	68
MAR-28-0612	12/06/2012	27,6	7,82	1577	197	402	5,80	354		71
MAR-29-0612	12/06/2012	34,7	6,26	29300	30	230	28,94	1765		81
MAR-30-0612	13/06/2012	28,3	7,78	52400	253	457	2,34	143	7,70	98
MAR-31-0612	13/06/2012	31,3	6,57	12550	224	426	3,28	200		46
MAR-32-0612	13/06/2012	29,2	6,75	27800	245	449	3,53	215	6,60	87
MAR-33-0612	14/06/2012	26,1	7,73	286	274	480	1,68	103	8,12	101
MAR-34-0612	14/06/2012	26,2	7,65	714	259	464	2,49	152		72

Échantillons	Date	T °C	pH	Conductivité µS/cm à 25°C	Eh (mV)		Alcalinité (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		O <sub>2</sub> d	
					brut	corr.	meq/l	mg/l	mg/l	%
MAR-35-0612	14/06/2012	25,3	7,20	1554	-302	-95	7,67	468		2
MAR-36-0612	14/06/2012	28,3	6,89	539	73	277	2,36	144		67
MAR-12-1212	04/12/2012 à 12h15	23	159	8,3						100,3
MAR-46-1212	04/12/2012 à 15h00	21	220	4,34						
MAR-33-0212		25,6	6,63	528	326	533				87
MAR-33-0212		25,1	6,98	583	87	294				92,8
MAR-33-0212		22,5	8,28	596	155	364				98
MAR-33-0212		25,5	6,12	900	137,5	344				15
MAR-33-0212		27	6,14	1065	112	318				55
MAR-33-0212		29,2	6,09	1067	43	247				30
MAR-33-0212		36,7	6,28	1270	81	280				11
MAR-33-1212	05/12/2012 à 10h25	26	6,7	563						
MAR-33-1212		26	6,1	903						0,2
MAR-33-1212		24	7,1	466						96
MAR-33-1212	05/12/2012 à 11h19	29	6,2	1029						1,6
MAR-36-1212	08/12/2012 à 10h00	27	6,9	330						
MOUTTE	11/12/2012 à 9h00	30	5,5	1370						12
MOUTTE		29	5,5	1363						12
MOUTTE		30	5,54	1364						11
MOUTTE		30	5,6	1345						15
MOUTTE		30	5,7	1289						36
Rivière Monsieur aval	11/12/2012 à 10h15	24	7,26	56,8						99,5
Vieil Antoine		22	5,9	85						90
MAR-28-1212	12/12/2012 à 9h30	25	7,85	1864						80
Rivière Monsieur amont	12/12/2012 à 12h15	23	7,5 – 7,3	54,5						101

## **Annexe 3**

# **Résultats d'analyses des espèces majeures dissoutes**

(Laboratoire BRGM Orléans)

## Campagne d'échantillonnage de février 2012

	Na (Sodium)	K (Potassium)	Ca (Calcium)	Mg (Magnésium)	HCO <sub>3</sub> (Bicarbonates)	Cl (Chlorures)	SO <sub>4</sub> (Sulfates)	NO <sub>3</sub> (Nitrates exprimés en NO3)	SiO <sub>2</sub> (Silice)
	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5	0,5	0,5	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
<b>MAR-1-0212</b>	20,6	3,1	10	3,9	60	12,6	19,9	< LQ	84,6
<b>MAR-2-0212</b>	19,7	3,7	10,1	3,7	57	12,1	19,2	< LQ	82,3
<b>MAR-3-0212</b>	37	1,6	47,7	14,5	222	24,5	40,7	< LQ	86,4
<b>MAR-4-0212</b>	12,5	3,2	16,6	5,3	61	13,9	12,9	6,6	59,2
<b>MAR-5-0212</b>	9,9	1,6	8,9	2,6	44	9,6	2,7	< LQ	47,9
<b>MAR-6-0212</b>	12,4	2,6	13	4,9	53	15	6,9	9,5	67
<b>MAR-7-0212</b>	8,5	1,8	9	2	40	8,1	2,7	1	51,8
<b>MAR-8-0212</b>	8,1	0,7	10,2	3,2	52	7,3	1,6	< LQ	31,1
<b>MAR-9-0212</b>	17,1	1,8	14,5	5,9	77	17,7	8,7	< LQ	47,9
<b>MAR-10-0212</b>	11,8	2,7	10,9	3,2	54	11,1	4,3	< LQ	77,4
<b>MAR-11-0212</b>	12,6	2,3	13,9	4,2	64	12,2	4,6	5,1	76,9
<b>MAR-12-0212</b>	7,6	0,8	6,1	1,3	28	6,8	4,4	< LQ	24,1
<b>MAR-13-0212</b>	10,6	2,2	11,4	4	57	8,4	6,9	< LQ	58,7
<b>MAR-14-0212</b>	9	1,7	9,5	3,5	54	6,9	5,5	< LQ	52,4
<b>MAR-15-0212</b>	11,9	2,2	14,2	4,2	69	9,8	7,9	< LQ	58,9
<b>MAR-16-0212</b>	15,7	1,5	10,6	4,7	65	15,6	2,7	< LQ	44,9
<b>MAR-17-0212</b>	20,4	1,9	15,5	6	66	22,3	21,9	< LQ	47,2
<b>MAR-18-0212</b>	24,7	3,7	20,9	7,3	100	20,6	21,6	< LQ	99,7
<b>MAR-19-0212</b>	53,6	9	31,6	23	299	20,6	30,5	< LQ	100,8
<b>MAR-20-0212</b>	10,4	1	13,3	3,9	64	8,9	5,8	1,4	34,8
<b>MAR-21-0212</b>	10,8	1,2	13,5	5,4	80	10,1	2,2	< LQ	38,8
<b>MAR-22-0212</b>	7,3	< LQ	9,4	3	50	6,8	1,7	< LQ	31,7
<b>MAR-23-0212</b>	104,8	11,5	187,9	87,4	1285	14	2,6	< LQ	133,8
<b>MAR-24-0212</b>	4,9	< LQ	2,5	1,3	4	6,8	9,6	< LQ	12,4
<b>MAR-25-0212</b>	8,1	0,7	10,2	3,7	56	7,9	1,8	< LQ	32
<b>MAR-26-0212</b>	4,7	< LQ	2,9	1,5	< LQ	6,8	16	< LQ	15
<b>MAR-27-0212</b>	6,4	1,9	4,9	1,1	27	5,5	3	< LQ	55,7
<b>MAR-28-0212</b>	7,2	1,5	5,6	1,5	26	6,6	9,4	< LQ	54,1
<b>MAR-29-0212</b>	35,2	5	27,2	11,1	143	45,3	12,6	< LQ	102,1
<b>MAR-30-0212</b>	10,3	1,1	10,7	3,3	57	9,4	1,9	< LQ	49,8

	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub> (	SiO <sub>2</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
MAR-31-0212	7,3	0,7	4,7	1,3	21	8,4	5,2	< LQ	25,8
MAR-33-0212	166,7	32,4	69,3	29,9	765	41	68,4	< LQ	118,4
MAR-34-0212	53,5	9,2	23,4	21	264	21	30,8	< LQ	101,4
MAR-35-0212	7,4	1,8	5,9	1,5	29	6,6	5,8	< LQ	57,9
MAR-35bis-0213	11,2	2,2	15,1	2,7	35	12,4	32,1	< LQ	85,8
MAR-36-0212	10,9	2,2	11,2	3,1	59	9,9	3,2	1,3	73,4
MAR-37-0212	72,9	9,5	153,7	85,4	1083	10,5	2,3	< LQ	120
MAR-38-0212	34,9	4,8	27,3	11,1	143	45,3	12,2	< LQ	103,6
MAR-39-0212	22,9	3,6	17,8	6,8	110	19	9,4	< LQ	96,9
MAR-40-0212	167,6	21	74,2	38,7	386	266,3	38,4	< LQ	128,1
MAR-41-0212	9,9	1,5	11,3	3,9	50	7,3	14,8	< LQ	55,4
MAR-42-0212	28	3,8	20,8	10,2	133	18,7	27,9	< LQ	87,7
MAR-43-0212	11,6	2,4	9	4,1	50	8,3	13,5	< LQ	70,9
MAR-44-0212	7,3	1,8	5	1,7	27	8	4,5	< LQ	43,6
MAR-45-0212	5,2	0,8	7,8	1,4	< LQ	7,5	85,5	< LQ	15,4
MAR-46-0212	4,6	0,6	9,2	1,6	< LQ	6,5	75,2	< LQ	16,9
MAR-47-0212	9,1	0,9	25,3	6,7	105	6,6	35,9	< LQ	48,6
MAR-48-0212	121,6	13,1	186,5	112,3	1415	23,2	5,6	< LQ	107,4
MAR-49-0212	57	6,1	53	29,1	391	36,2	6,6	< LQ	125,3

## Campagne d'échantillonnage de juin 2012

	Na (Sodium)	K (Potassium)	Ca (Calcium)	Mg (Magnésium)	HCO3 (Bicarbonates)	Cl (Chlorures)	SO4 (Sulfates)	NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	SiO2 (Silice)
	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5	0,5	0,5	0,5
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>MAR-01-0612</b>	5,8	0	8,7	1,7	35	4,7	5,8	0	22,3
<b>MAR-05-0612</b>	4,8	0	2,4	1,3	< LQ	6,8	13,7	0	14,8
<b>MAR-07-0612</b>	7,9	0,9	21	3,5	78	5,2	11,4	< LQ	34,2
<b>MAR-08-0612</b>	21,8	3,6	35,6	9,7	145	10,9	37,3	< LQ	87,6
<b>MAR-09-0612</b>	5,3	0,9	9,2	1,9	< LQ	7,2	132	< LQ	15,9
<b>MAR-12-0612</b>	10,5	1	11,4	4,6	62	10	2,4	4,6	40,6
<b>MAR-13-0612</b>	34,5	1,5	41,6	12,7	205	21,8	33,5	< LQ	81,3
<b>MAR-15-0612</b>	8,5	< LQ	9,8	3,1	57	7,2	1,2	< LQ	34
<b>MAR-18-0612</b>	51,8	9	38,1	21,5	318	18,2	29,1	< LQ	100,7
<b>MAR-20-0612</b>	124,3	13,5	185,4	112,6	1440	21,8	5,4	< LQ	139
<b>MAR-21-0612</b>	58,7	6,3	51,7	28,5	393	35,8	6,8	< LQ	120,5
<b>MAR-22-0612</b>	9,5	1,2	6,9	2,6	39	10,8	2,6	< LQ	33,3
<b>MAR-23-0612</b>	7,4	< LQ	13,7	3,6	16	7,5	40,6	< LQ	21,7
<b>MAR-24-0612</b>	5	< LQ	4,8	1,6	21	6,6	2,8	< LQ	15,7
<b>MAR-25-0612</b>	6,4	0,7	7	3	49	6,2	0,8	0,7	27
<b>MAR-26-0612</b>	10,5	1	15,5	4,5	79	9	1,6	0,6	38,8
<b>MAR-27-0612</b>	217,2	1,7	73,3	25,3	473	249,4	40	2,4	42
<b>MAR-28-0612</b>	199,7	2,7	63,1	31,6	354	304,2	22,9	< LQ	115,1
<b>MAR-29-0612</b>	5536,5	337,6	934,5	262,7	1765	10343	495	< LQ	147
<b>MAR-30-0612</b>	10950,4	406,4	406,3	1269,8	143	20210	2625	< LQ	< LQ
<b>MAR-31-0612</b>	2867,1	110,4	117,8	326,1	200	4789	696	< LQ	78,8
<b>MAR-32-0612</b>	5559,5	206,3	202,8	623,5	215	9903	1335	< LQ	49,5
<b>MAR-33-0612</b>	25,2	3,8	19,6	7	103	20,7	21,8	< LQ	100,9
<b>MAR-34-0612</b>	77,8	4,1	37,5	14,5	152	141	11,2	0,9	64,9
<b>MAR-35-0612</b>	139	1	113,8	45,2	468	282	3,6	< LQ	56,6
<b>MAR-36-0612</b>	58,6	4,2	17,6	18,4	144	88	8,1	3,6	112,3
<b>MOUTTE</b>	117,7	7,1	80,3	33,5	210	315	15,9	< LQ	139

**Campagne d'échantillonnage d'avril-mai 2012**

	Na	K	Ca	Mg	NH4	HCO3	SO4	Cl	NO3	SiO2	COD
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,05	5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	mg/l	mg/l									
Carbet - Riv du Carbet- Fond Canal	11,6	1,9	15,4	4,4	0,48	84	1,3	9,7	< LQ	55,6	3,2
Carbet - Riv du Gallon - La Borelli	13,4	2,3	11,8	5,8	< LQ	79	3,5	10,6	1,4	86,7	0,7
Lamentin - La Lézarde - Habitation Ressource	45,8	0,9	55,2	17,2	< LQ	204	18,3	83,9	5	69,3	0,6
Carbet - Schoelcher- Fond Lahaye	86,8	9,3	69,4	51,6	< LQ	493	12,3	80,2	< LQ	117,9	0,7
Pelée - Rivière Prêcheur	18,3	5,3	21	6,7	< LQ	66	23,9	25,3	13,4	75,9	3,3
Pelée - Rivière des pères - CDST	13,4	3,6	12,9	4,2	0,09	68	4,8	10,7	5,7	72,8	0,9

**Campagne d'échantillonnage de mai 2011**

	Na	K	Ca	Mg	NH4	HCO3	SO4	Cl	NO3	PO4	SiO2
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,05	5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,5
	mg/l										
Tivoili TF3	150	3,54	25,4	6,29	< LQ	305	14,3	101	< LQ	0,1	97,3

**Campagne d'échantillonnage de décembre 2012**

	Na	K	Ca	Mg	NH4	SiO2	HCO3	Cl	SO4	NO3
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,05	0,5	5	0,5	0,5	0,5
	mg/l									
Carbet - Rivière Monsieur amont	5,8	0,9	2,8	1,2	< LQ	18	14	8	1,6	1
Carbet - Vieil Antoine	6,5	1	8	2,6	< LQ	25,3	36	7,5	1,8	1
Pelée - Ravine Chaude Fe	55,7	10,6	92,2	32,2	< LQ	120	519	22,3	42,5	< LQ
Pelée - Ravine Chaude 2	24,2	4,1	37,6	13,1	< LQ	96,4	200	12,9	17	< LQ



## **Annexe 4**

# **Résultats d'analyses des éléments dissous en traces**

*(Laboratoire BRGM Orléans)*

Campagne d'échantillonnage de février 2012

	Al	Br	F	Fe	As	B	Ba	Cd	Cs	Ga	Ge	Li	Mn	Nd	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	U
	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	ng/l
	0,5	0,1	0,1	0,02	0,05	0,5	0,05	0,01	0,5	1	0,5	0,1	0,1	1	0,1	0,05	0,5	0,1	0,5	0,5
MAR-1-0212	7,25	<LQ	0,2	<LQ	1,03	91,2	1,03	<LQ	<LQ	4,9	<LQ	14,9	0,38	5,7	<LQ	<LQ	11,5	30,6	7,1	11
MAR-2-0212	2,63	<LQ	0,1	<LQ	0,89	77,8	1,09	<LQ	<LQ	3,4	<LQ	16,9	<LQ	7,7	<LQ	<LQ	13,9	30	2,2	16,4
MAR-3-0212	1,11	<LQ	<LQ	3,618	1,85	64,7	15,6	<LQ	1,7	32,9	<LQ	9,2	520	59,9	0,13	<LQ	5,6	229	81,2	7,7
MAR-4-0212	17,9	<LQ	<LQ	0,067	0,21	20,5	2,51	<LQ	<LQ	18,7	<LQ	1,25	8,19	12	<LQ	<LQ	7,2	62,4	5,2	10,4
MAR-5-0212	15	<LQ	<LQ	<LQ	0,34	19,5	0,96	<LQ	<LQ	19,5	<LQ	1,25	1,04	11,3	<LQ	<LQ	5,2	31,4	2,6	7,7
MAR-6-0212	23,7	<LQ	<LQ	0,063	0,26	20,2	1,59	0,81	<LQ	19,9	<LQ	1,02	1,46	11,3	<LQ	<LQ	7,5	47,2	4,4	17,7
MAR-7-0212	20,8	<LQ	<LQ	<LQ	0,11	16,9	1,21	<LQ	<LQ	20,6	<LQ	0,47	0,21	10,2	<LQ	<LQ	5,6	33,2	3	3,3
MAR-8-0212	8,11	<LQ	<LQ	<LQ	0,2	13,9	0,66	<LQ	<LQ	10,2	<LQ	0,28	5,9	6	<LQ	<LQ	1,4	42,9	1,2	5
MAR-9-0212	7,87	<LQ	<LQ	<LQ	0,49	34,4	5,51	<LQ	<LQ	8,4	<LQ	0,59	0,97	16	<LQ	<LQ	6,7	69,7	3,8	9,7
MAR-10-0212	10,6	<LQ	<LQ	<LQ	0,77	31,7	1,04	<LQ	<LQ	6,9	<LQ	7,3	0,29	6	<LQ	<LQ	11,1	31,7	1,8	17,8
MAR-11-0212	17,8	<LQ	<LQ	<LQ	0,62	24,7	1,61	<LQ	<LQ	14,9	<LQ	3,94	0,52	5,7	<LQ	<LQ	8,3	49,1	3,7	17,1
MAR-12-0212	5,72	<LQ	<LQ	<LQ	0,06	13,7	2,82	<LQ	<LQ	5,4	<LQ	0,23	0,23	13,6	<LQ	<LQ	2,6	34	0,6	1
MAR-13-0212	45,6	<LQ	<LQ	<LQ	0,37	33,1	1,1	<LQ	<LQ	51,7	<LQ	2,68	13,9	16,8	<LQ	<LQ	8,4	38,7	5,7	27,3
MAR-14-0212	27,3	<LQ	<LQ	<LQ	0,34	26,7	1,08	<LQ	<LQ	24,4	<LQ	3,34	14,6	15	<LQ	<LQ	7,1	31,8	5,4	17,5
MAR-15-0212	23,4	<LQ	<LQ	0,045	0,25	31,1	1,47	<LQ	<LQ	13,6	<LQ	3,55	35,4	42,8	<LQ	<LQ	8,7	46,8	8,7	15,8
MAR-16-0212	30,9	<LQ	<LQ	0,033	0,21	29,3	2,73	<LQ	<LQ	13,5	<LQ	0,48	9,17	33,2	<LQ	<LQ	4,5	49,2	6,4	6,3
MAR-17-0212	10,9	<LQ	0,2	<LQ	0,57	45,3	7,39	0,02	<LQ	4,7	<LQ	1,18	1,09	30,5	<LQ	<LQ	6,2	77,9	7,5	4,5
MAR-18-0212	5,07	<LQ	0,1	<LQ	0,89	22,3	1,93	<LQ	<LQ	4,7	<LQ	2,27	2,13	3,1	<LQ	<LQ	14,7	65,7	3,8	17,3
MAR-19-0212	3,19	<LQ	<LQ	0,039	0,43	55,3	21,5	<LQ	2,4	3,1	0,5	375	0,81	5,2	<LQ	<LQ	39,8	147	3	261,3
MAR-20-0212	8,6	<LQ	<LQ	<LQ	0,54	21,3	2,85	<LQ	<LQ	12,7	<LQ	0,55	3,74	8,1	<LQ	<LQ	3	56,3	1,4	8
MAR-21-0212	13,7	<LQ	<LQ	<LQ	0,2	19,7	2,35	<LQ	<LQ	14,9	<LQ	0,33	2,47	10,5	<LQ	<LQ	3,3	61,2	1,6	17,8
MAR-22-0212	0,7	<LQ	<LQ	<LQ	0,19	15,7	0,28	<LQ	<LQ	3,9	<LQ	0,23	<LQ	4,4	<LQ	<LQ	1,4	44	<LQ	6,7
MAR-23-0212	0,58	<LQ	<LQ	4,791	33,5	22,4	1,92	<LQ	1,5	12,2	1,7	84,8	385	11,9	0,28	<LQ	42,5	965	9,7	34,2
MAR-24-0212	373	<LQ	<LQ	0,483	0,09	11,9	4,98	0,04	<LQ	4,6	<LQ	0,65	36,8	344	0,44	0,07	0,6	12,2	7,4	3,4
MAR-25-0212	5,94	<LQ	<LQ	<LQ	0,16	16,3	0,85	<LQ	<LQ	11,8	<LQ	0,37	0,16	4,6	<LQ	<LQ	1,5	46,6	1,9	7,8
MAR-26-0212	283	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10,6	7,57	0,21	<LQ	21,7	<LQ	0,64	188	107,4	<LQ	<LQ	0,9	25,2	2,5	1,5
MAR-27-0212	6,79	<LQ	<LQ	<LQ	0,48	17,2	0,66	<LQ	<LQ	8,4	<LQ	1,24	<LQ	7,2	<LQ	<LQ	7,7	14,4	6	3,7
MAR-28-0212	2,71	<LQ	0,2	0,751	0,19	20,1	1,14	<LQ	<LQ	13,1	<LQ	2,86	139	8,4	<LQ	<LQ	6,7	15,8	8	2,9
MAR-29-0212	7,58	<LQ	<LQ	<LQ	0,93	439	4,15	<LQ	0,6	7,6	<LQ	52,4	1,54	6,1	<LQ	<LQ	15,6	84,6	6,3	42,5
MAR-30-0212	0,73	<LQ	<LQ	<LQ	0,15	17	0,55	<LQ	<LQ	2,7	<LQ	0,67	<LQ	1,8	<LQ	<LQ	1,9	67,1	1,2	5,1
MAR-31-0212	5,22	<LQ	<LQ	<LQ	0,06	13,9	1,75	<LQ	<LQ	5,5	<LQ	0,29	0,37	11,2	<LQ	<LQ	2,4	26,7	1,2	0,5
MAR-33-0212	2,99	<LQ	0,1	0,575	1,39	114,8	153	<LQ	8,1	75,7	2,4	1263	1340	32,1	0,28	<LQ	97,2	233	9,3	710,2
MAR-34-0212	6,37	<LQ	0,1	0,083	0,51	55,4	20	<LQ	2,8	11,8	0,8	387	2,2	4,9	0,16	<LQ	42,1	123	9,1	256,7
MAR-35-0212	9,68	<LQ	<LQ	<LQ	0,39	18	0,82	<LQ	<LQ	16,6	<LQ	1,66	0,49	12,1	0,26	<LQ	6,4	18,6	2,3	4
MAR-35bis-0213	4,08	<LQ	<LQ	2,685	0,2	23,2	3,96	<LQ	13,3	<LQ	<LQ	3,87	98,5	14	0,16	<LQ	11,8	42,6	19,5	1,9
MAR-36-0212	8,43	<LQ	<LQ	<LQ	0,33	19,7	1,48	<LQ	<LQ	11,2	<LQ	1,14	0,3	4,4	<LQ	<LQ	8	39,9	3,5	16,6
MAR-37-0212	0,59	<LQ	<LQ	4,17	39,7	181	1,91	0,03	1,5	42	<LQ	54,5	1500	9	0,22	<LQ	40	690	3,3	197,3
MAR-38-0212	4,55	<LQ	0,2	0,029	0,84	44,4	5,04	<LQ	0,7	8,9	<LQ	54,1	10,1	3	<LQ	<LQ	15,8	84,9	10,2	44
MAR-39-0212	5,8	<LQ	0,2	0,025	0,66	196	4,79	<LQ	<LQ	4,8	<LQ	39,6	14,3	4,6	<LQ	<LQ	11,2	53	5,8	15,2
MAR-40-0212	7,64	0,7	<LQ	<LQ	2,52	397,3	12,1	0,01	4,6	16,7	4,4	257	201	8,8	<LQ	<LQ	66,6	256	4,1	101
MAR-41-0212	1,86	<LQ	0,1	0,568	0,97	29,8	1,56	<LQ	<LQ	7,6	<LQ	8,52	111	2,5	<LQ	<LQ	7,1	33,3	6,3	1,2
MAR-42-0212	0,98	<LQ	0,3	2,767	0,94	19,4	6,71	<LQ	0,9	24,1	1,3	62,2	294	<LQ	<LQ	<LQ	14,6	73,7	18,1	<LQ
MAR-43-0212	2,02	<LQ	0,2	1,952	1,87	65,4	2,97	<LQ	0,5	20,1	0,6	17,7	269	4,5	<LQ	<LQ	9,1	28,4	10,1	<LQ

	Al	Br-	F	Fe	As	B	Ba	Cd	Cs	Ga	Ge	Mn	Nd	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	U
	0,5	0,1	0,1	0,02	0,05	0,5	0,05	0,01	0,5	1	0,5	0,1	1	0,1	0,05	0,5	0,1	0,5	0,5
	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	ng/l	ng/l
MAR-44-0212	15,8	<LQ	<LQ	0,028	0,52	28,2	0,43	<LQ	<LQ	11,5	<LQ	4,91	17,6	<LQ	<LQ	10,2	13,5	3,9	13,1
MAR-45-0212	4500	<LQ	<LQ	8,791	0,87	13,3	11,4	0,39	<LQ	59,7	<LQ	98,1	739	0,94	0,48	2,3	26,2	168,4	5,2
MAR-46-0212	4100	<LQ	<LQ	18,558	0,36	11,4	13,9	0,85	<LQ	46	<LQ	0,72	142	1,22	0,15	1,9	34,5	145,6	5,4
MAR-47-0212	43,7	<LQ	<LQ	15,114	0,23	15,5	28,2	0,1	<LQ	56,6	<LQ	1,31	775	0,86	<LQ	2,9	80,6	19,5	8,3
MAR-48-0212	0,68	<LQ	<LQ	3,355	41,2	304	194	0,01	1	7,2	2,3	92,9	241	0,3	<LQ	42,6	829	4,6	139,7
MAR-49-0212	0,7	<LQ	<LQ	1,104	24,7	110	45,7	0,02	<LQ	17,9	1,8	35,6	576	0,39	<LQ	19,2	256	5	15,8

**Campagne d'échantillonnage de juin 2012**

	Al	Br-	F	Fe	As	B	Ba	Cd	Cs	Ga	Ge	Li	Mn	Nd	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	U
	0,5	0,1	0,1	0,02	0,05	0,5	0,05	0,01	0,5	1	0,5	0,1	0,1	1	0,1	0,05	0,5	0,1	0,5	0,5
	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ng/l	ng/l
MAR-01-0612	5,39	<LQ	<LQ	<LQ	0,22	11,6	0,95	0,02	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,16	6,9	<LQ	<LQ	<LQ	28,7	<LQ	<LQ
MAR-05-0612	162	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	14,7	6,87	0,06	<LQ	<LQ	<LQ	0,7	134	688	<LQ	<LQ	0,91	24,1	<LQ	<LQ
MAR-07-0612	4,45	<LQ	<LQ	4,191	3,05	15,3	24,4	0,03	<LQ	<LQ	<LQ	0,91	530	32,4	<LQ	<LQ	1,73	66,7	<LQ	<LQ
MAR-08-0612	4,46	<LQ	<LQ	0,145	0,15	145	2,96	<LQ	0,64	<LQ	<LQ	53,5	17	<LQ	<LQ	<LQ	14,4	12,7	<LQ	0,02
MAR-09-0612	4862	<LQ	<LQ	14,425	1,34	20,2	14,8	0,11	<LQ	0,12	<LQ	0,63	120	958	1,05	1,11	2,86	34,3	1	0,02
MAR-12-0612	23,4	<LQ	<LQ	0,045	0,16	19,5	1,89	0,47	<LQ	<LQ	<LQ	0,37	4,58	10,5	<LQ	<LQ	2,77	55,2	<LQ	0,01
MAR-13-0612	3,46	<LQ	<LQ	3,08	1,49	64,6	12,3	0,04	1,56	<LQ	<LQ	8,66	439	43	0,14	<LQ	5,31	197	<LQ	<LQ
MAR-15-0612	4,36	<LQ	<LQ	0,21	0,21	17,7	0,61	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,43	0,24	<LQ	<LQ	<LQ	1,42	46,5	<LQ	<LQ
MAR-18-0612	3,4	<LQ	<LQ	0,05	0,4	305	28,8	0,01	2,67	<LQ	0,75	368	50,7	<LQ	0,1	<LQ	40,1	158	<LQ	0,24
MAR-20-0612	1,13	<LQ	<LQ	3,692	34,8	347	196	0,04	0,95	<LQ	2,19	93,4	255	7,8	0,25	<LQ	40,6	859	<LQ	0,15
MAR-21-0612	2,72	<LQ	<LQ	1,236	23,9	129	43,7	0,07	<LQ	<LQ	1,65	36,1	534	<LQ	0,17	<LQ	18,9	236	<LQ	0,02
MAR-22-0612	14,7	<LQ	<LQ	<LQ	0,22	23,7	1,9	0,04	<LQ	<LQ	<LQ	0,43	1,72	12,3	<LQ	<LQ	3,41	38,4	<LQ	<LQ
MAR-23-0612	20,1	<LQ	0,3	<LQ	0,07	16,7	3,5	0,02	<LQ	<LQ	<LQ	0,62	3,66	23,2	<LQ	<LQ	0,83	41,9	<LQ	<LQ
MAR-24-0612	5	<LQ	<LQ	0,097	<LQ	14,1	7,1	0,02	<LQ	<LQ	<LQ	0,73	27	6,5	0,14	0,58	0,78	20,9	<LQ	<LQ
MAR-25-0612	2,61	<LQ	<LQ	0,512	0,1	15	1,03	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,3	359	8,2	<LQ	<LQ	1,89	54	<LQ	<LQ
MAR-26-0612	11,9	<LQ	<LQ	<LQ	0,45	22,4	2,62	0,01	<LQ	<LQ	<LQ	0,66	5,35	8,4	0,11	0,07	3,07	62,4	<LQ	0,02
MAR-27-0612	1,6	0,4	<LQ	<LQ	1,34	274	1,62	0,03	<LQ	<LQ	<LQ	4,33	3,86	<LQ	<LQ	<LQ	3,23	401	<LQ	0,36
MAR-28-0612	4,11	0,5	0,2	<LQ	0,81	215	2,88	0,17	<LQ	<LQ	<LQ	7,58	6,36	<LQ	0,11	0,05	6,17	333	<LQ	0,2
MAR-29-0612	15,9	24,6	<LQ	5,429	2493	94270	161	0,04	305	<LQ	64,5	7516	1420		0,98	0,06	899	14070	<LQ	<LQ
MAR-30-0612	3,78	69,5	<LQ	<LQ	1,61	5300	6,67	0,19	<LQ		0,66	167	0,85		0,45	0,37	1,15	7609	<LQ	3,03
MAR-31-0612	2,25	15,6	0,5	<LQ	2,56	1860	3,86	0,03	1,45		0,78	171	1,41		<LQ	1,74	47,9	1994	<LQ	0,83
MAR-32-0612	3,12	35,4	0,4	<LQ	1,66	3186	10,4	0,1	1,09		<LQ	221	283,1		0,24	14,95	73,37	3362	<LQ	1,48
MAR-33-0612	7,19	<LQ	0,2	<LQ	0,87	186	1,94	0,01	<LQ	<LQ	<LQ	23,2	3,25	<LQ	<LQ	<LQ	13,96	67	<LQ	0,02
MAR-34-0612	5,03	0,3	<LQ	<LQ	0,3	82,4	35,6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2,04	8,84	10,4	0,25	<LQ	11,08	191	<LQ	0,06
MAR-35-0612	2,16	0,8	<LQ	0,505	0,19	109	19,9	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	4,48	472	27,7	0,25	<LQ	3,41	606	<LQ	0,19
MAR-36-0612	10,4	0,2	0,1	0,033	0,55	92,1	5,63	0,01	<LQ	<LQ	<LQ	3,17	7,78	14	0,35	0,08	4,82	116	<LQ	0,06
MOUTTE	1,81	0,8	<LQ	22,361	0,8	83,5	204	0,04	0,68	<LQ	<LQ	16	1219	10,5	0,1	<LQ	27,3	356	<LQ	<LQ

**Campagne d'échantillonnage de mai 2011**

	Ag	Al	As	B	Be	Ba	Br	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	F	Fe	Ge	Li	Mn	Ni	Pb	Rb	Sr	U	Zn
	0,01	0,5	0,05	0,5	0,01	0,05	0,01	0,01	0,05	0,1	5	0,1	0,1	0,02	5	0,1	0,1	0,1	0,05	0,5	0,1	0,01	0,5
	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l																			
	<				<			<	<	<	<	<	<		<			<	<			0,18	
Forage Tivoli TF3	LQ	6,31	2,7	92,1	LQ	25,6	0,3	LQ	<	<	<	0,17	<	0,02	<	6,16	91,9	<	<	5,58	88,3		0,59

**Campagne d'échantillonnage d'avril 2012**

	Al	As	B	Cu	Fe	Li	Mn	Zn
	0,5	0,05	0,5	0,1	0,02	0,1	0,1	0,5
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Rivière du Carbet- Fond Canal	26,63	5,95	25,2	1,02	10,21	0,46	926,86	13,95
Rivière du Gallion - La borelli	22,2	0,76	32	0,72	0,082	3,12	184,05	3,89
La Lézarde - Habitation Ressource	7,73	0,26	54,6	7,58	<	1,92	0,73	25,23
Schoelcher- Fond Lahaye	8,01	3,41	196,3	0,1	0,083	18,7	207,92	1,36
Rivière Prêcheur	15,47	0,6	52,8	5,74	0,021	4,92	10,3	49,38
Rivière des pères - CDST	14,94	0,65	35,3	0,55	0,035	6,72	0,56	2,43

**Campagne d'échantillonnage de décembre 2012**

	Al	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	F	Fe	Ge	Li	Mn	Ni	Pb	Rb	Sr	Zn
	0,5	0,05	0,5	0,05	0,01	0,05	0,1	0,5	0,1	0,1	0,02	0,5	0,1	0,1	0,1	0,05	0,5	0,1	0,5
	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l															
Rivière Monsieur amont	45,7	0,08	19,4	2,38	0,01	<	<	<	0,23	<	<	<	0,58	2,32	<	0,11	2,95	16,7	0,51
Vieil Antoine	71,6	0,07	21,5	2,03	0,02	<	<	<	0,34	<	<	<	0,66	5,67	<	0,14	2,83	42,7	1,45
Ravine Chaude Fe	12,7	0,41	726	115	0,08	0,53	<	3,87	0,28	0,2	1,907	1,24	534	746	0,22	0,33	51,4	285	3,12
Ravine Chaude 2	2,19	0,39	289	24,5	<	<	<	1,42	0,13	0,1	<	0,54	183	0,73	<	0,13	22,4	96,7	0,8

## **Annexe 5**

# **Résultats des analyses isotopiques de la phase dissoute des eaux de rivières et forages**

**Isotopes stables 1 :  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{13}C$  (Laboratoire BRGM Orléans)**

<i>Nb</i>	Réf. Labo	ÉCHANTILLON	DATE de PRÉLÈVEMENT	$\delta D$ ‰ vs SMOW* ( $\pm 0,8\%$ )	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMOW* ( $\pm 0,1\%$ )	$\delta^{13}C$ ‰ vs PDB ( $\pm 0,1\%$ )
1	12E 195	MAR-3 0212	16/02/2012	-10,0	-2,4	1,0
2	12E 196	MAR-5 0212	15/02/2012	-5,8	-2,3	-9,9
3	12E 197	MAR-6 0212	15/02/2012	-8,4	-2,5	-12,5
4	12E 198	MAR-9 0212	17/02/2012	-8,7	-2,5	-9,3
5	12E 199	MAR-13 0212	16-21/02/2012	-6,5	-2,3	-8,5
6	12E 200	MAR-15 0212	16/02/2012	-6,1	-2,2	
7	12E 201	MAR-18 0212	16-21/02/2012	-10,2	-2,6	-5,0
8	12E 202	MAR-19 0212	18/02/2012	-7,4	-2,5	
9	12E 203	MAR-23 0212	20/02/2012	-10,0	-2,8	-0,4
10	12E 204	MAR-24 0212	20/02/2012	-7,8	-2,6	5,6
11	12E 205	MAR-28 0212	20/02/2012	-8,6	-2,7	-11,8
12	12E 206	MAR-33 0212	22/02/2012	-9,5	-2,7	3,0
13	12E 207	MAR-34 0212	22/02/2012	-6,5	-2,1	4,7
14	12E 208	MAR-35 0212	23/02/2012	-7,9	-2,6	-12,6
15	12E 209	MAR-36 0212	23/02/2012	-9,0	-2,6	-16,2
16	12E 210	MAR-42 0212	24/02/2012	-9,5	-2,9	-1,2
17	12E 211	MAR-44 0212	24/02/2012	-5,1	-2,4	-9,2
18	12E 212	MAR-49 0212		-12,9	-2,9	-5,6
1	12E 494	MAR-21-0612	08/06/2012	-12,7	-3,0	
2	12E 495	MAR-25-0612	11/06/2012	-7,8	-2,5	
3	12E 496	MAR-27-0612	11/06/2012	-21,3	-3,5	
4	12E 497	MAR-28-0612	12/06/2012	-19,9	-3,7	
5	12E 498	MAR-29-0612	12/06/2012	-24,2	2,1	
6	12E 499	MAR-35-0612	14/06/2012	-17,7	-3,5	
7	12E 500	MAR-36-0612	14/06/2012	-23,7	-3,9	
	13E 23	MAR-12-0212	04/12/2012			-10,6
	11E164	Tivoli TF3	31/05/2011	-10,2	-2,7	-14,6

\*SMOW : Standard Mid Ocean Water (Référence isotopique pour l'hydrogène et l'oxygène de l'Eau du Milieu de l'Océan).

**Isotopes stables 1 (suite) :  $\delta^{13}\text{C}$  (Laboratoire IPGP / CEGEO)**

N°	Échantillons	$\delta^{13}\text{C}$ vs PDB ( $\pm 0.3\text{‰}$ )	DIC (mol/l)
9 IS	MAR-09bis-0612	0,3	1,251E-03
15	MAR-15-0212	-17,0	1,139E-03
16 IS	MAR-16bis-0212	-24,2	2,123E-03
19	MAR-19-0212	3,7	3,789E-03
23	MAR-23-0612	-11,3	5,043E-04
25	MAR-25-0612	-16,6	1,238E-03
26	MAR-26-0612	-8,6	1,378E-03
27	MAR-27-0612	-16,4	6,078E-03
28	MAR-28-0612	-14,8	5,360E-03
29	MAR-29-0612	4,7	1,390E-04
30	MAR-30-0612	-1,6	2,343E-03
31	MAR-31-0612	-4,9	2,791E-03
32	MAR-32-0612	-1,1	3,249E-03
34	MAR-34-0612	-14,2	2,741E-03
35	MAR-35-0612	-16,3	6,334E-03
35 IS	MAR-35bis-0213	-20,3	1,165E-03
36	MAR-36-0612	-16,2	2,406E-03
37	MAR-37-0212		1,390E-04
38	MAR-38-0212	-1,9	2,374E-03
40	MAR-40-0212	-2,1	1,390E-04
41	MAR-41-0212	-11,7	1,280E-03
43	MAR-43-0212	-6,3	1,146E-03

**Isotopes stables 2 :  $\delta^{34}\text{S}$  (Laboratoire BRGM Orléans)**

ECHANTILLON	Date de prélèvement	$\delta^{34}\text{S}$ ‰ vs CDT* ( $\pm 0, 3\text{‰}$ )
Source Larcher	08/12/2012	19,3
Fontaine Moutte	11/12/2012	23,5
Source Sucrierie	12/12/2012	16,5
Mofette Deux Choux	04/12/2012	11,5
Tivoli TF3	31/05/2011	17,9

\*CDT : Référence isotopique pour le soufre de la Troïlite de Canyon Diablo

**Isotopes stables 2 :  $\delta^{18}\text{O}$  (Laboratoire BRGM Orléans)**

ECHANTILLON	Date de prélèvement	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ vs SMOW* ( $\pm 0, 3\text{‰}$ )
Tivoli TF3	31/05/2011	13,3

**Isotopes du strontium:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Laboratoire BRGM Orléans)**

	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma$ (m)
Tivoli TF3	0,704430	0,000006

**Isotopes du Bore :  $\delta^{11}\text{B}$  (Laboratoire BRGM Orléans)**

	$\delta^{11}\text{B}$ en ‰	$\pm 2\sigma$ (m) (‰)
Tivoli TF3	24,95	0,10

Isotopes du lithium:  $\delta^7\text{Li}$  (Laboratoire BRGM Orléans)

Échantillons	Site	Li	$\delta^7\text{Li}$	$2\sigma_m$
		$\mu\text{g/l}$	‰	‰
MAR-3-0212	Carbet_Ravine l'Abbé aval Source	9,2	4,7	0,2
MAR-22-0212	Carbet_Source Alma	0,23	22,5	1,1
MAR-23-0212	Carbet_Absalon	84,8	1,9	0,1
MAR-24-0212	Carbet_2Choux	0,65	11,2	0,2
MAR-48-0212	Carbet-Source Didier 1	92,9	2,1	0,1
MAR-49-0212	Carbet-Forage Mabello 1	35,6	1,6	0,1
Schoelcher - Fond Lahaye	Carbet-Fond Lahaye	17,7	19,0	0,1
Tivoli	Carbet-Tivoli	6,16	11,1	0,1
MAR-5-0212	Pelée_Gde Riv	1,25	18,8	0,2
MAR-6-0212	Pelée_Riv Macouba	1,02	20,6	0,7
MAR-13-0212	Pelée_Riv du Prêcheur	2,68	12,8	0,2
MAR-15-0212	Pelée_Riv Samperre aval Sce	3,55	11,8	0,1
MAR-18-0212	Pelée_Riv Mitan amont	22,7	5,4	0,1
MAR-19-0212	Pelée_Riv Claire	375	7,8	0,1
MAR-33-0212	Pelée_Source Riv Chaude	1263	8,9	0,2
MAR-34-0212	Pelée_Riv Claire aval	387	8,0	0,1
MAR-40-0212	Pelée_Sce chaude Picodo	257	4,9	0,1
MAR-42-0212	Pelée_Sce Riv des Pères centre	62,2	7,7	0,2
MAR-44-0212	Pelée_Riv des Pères	4,91	5,6	0,1
MAR-12-0612	Carbet_Rivière Coco	0,4	31,2	0,2
MAR-13-0611	Carbet_source Ravine l'Abbé amont	8,7	4,6	0,1
MAR-15-0612	Carbet_Rivière Mitan aval	0,4	14,6	0,1
MAR-23-0612	Carbet_Rivière Lorrain	0,6	18,3	0,1
MAR-25-0611	Carbet_Riv Alma	0,3	22,3	0,3
MAR-26-0612	Carbet_Rivière de Beauvallon Sce	0,7	21,9	0,1
MAR-27-0612	Sud_Ravine Chaudière (Colibri)	4,3	8,5	0,1
MAR-28-0612	Sud_Sucrerie	7,6	5,6	0,1
MAR-31-0612	Pelée_source en mer 1	171,0	15,0	0,1
MAR-32-0612	Pelée_source en mer 2	221,0	18,2	0,1
MAR-35-0612	Sud_Sce Colette	4,5	34,4	0,9
MAR-36-0612	Sud_Sce Larcher	3,2	1,0	0,1
MOUTTE 19/04/12	Fontaine Moutte	16,0	8,6	0,1
MAR-20-0212	Carbet_Riv du Carbet	0,6	21,9	0,1
MAR-39-0212	Pelée_Rivière Picodo centre	39,6	7,2	0,2
MAR-21-0212	Carbet_Riv Fond Capot	0,3	31,8	0,1
Tivoli TF3	Forage Tivoli	6,16	11,1	0,1



## **Annexe 6**

# **Résultats des analyses des gaz**

## Analyses chimiques des gaz totaux (Laboratoire BRGM Orléans)

Unité	Baie de Petite Anse n°1		Baie de Petite Anse n°2		Baie de Petite Anse bis		Baie de Petite Anse n°3		Baie de Petite Anse n°3 bis	Limite
	%	moles/l	%	moles/l	%	moles/l	%	%		
Pression (en mb) lors de la 1ère détente	973	960					942			%
Pression dans l'ampoule (en mb)	1021	1008					989			
Date	12-06-12	12-06-12					16-06-12			
<b>Dioxyde de Carbone</b>	73,5 *	63,0	2,5 x10 <sup>-2</sup>		97,3520%	2,5 x10 <sup>-2</sup>	83,9*	91,5*		0,001
<b>Argon</b>	0,28	0,33	1,3 x10 <sup>-5</sup>		0,0506%	1,3 x10 <sup>-5</sup>	0,13	0,059		0,001
<b>Oxygène</b>	5,36	7,68	2,0 x10 <sup>-4</sup>		0,7788%	2,0 x10 <sup>-4</sup>	2,81	1,26		0,001
<b>Azote</b>	19,9	28,0	4,7 x10 <sup>-4</sup>		1,8302%	4,7 x10 <sup>-4</sup>	11,3	5,73		0,001
<b>Hélium</b>	< **	< **	< 2,3 x10 <sup>-7</sup>		0,0000**%	< 2,3 x10 <sup>-7</sup>	<	<		0,005
<b>Hydrogène</b>	<	<			0,0000%	< 2,5 x10 <sup>-7</sup>	< **	< **		0,005
<b>Méthane</b>	0,0079	0,0005	8,8 x10 <sup>-8</sup>		0,0003%	8,8 x10 <sup>-8</sup>	0,011	0,013		0,0002
Somme	98,9	100,0%				98,2	98,6	98,6		Somme

**Sulfure d'hydrogène**\*\*\* H<sub>2</sub>S < 2,5 x10<sup>-7</sup>, < 0,005 %, **Ethane** C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> < 1,3 x10<sup>-8</sup> mole/l, 0,0002 % ; **Propane** C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> < 8,5 x10<sup>-9</sup> mole/l, < 0,0002 % ; **iso-Butane** iso-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> < 8,5 x10<sup>-9</sup>, 0,0002 %, **n-Butane** C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> < 8,5 x10<sup>-9</sup> mole/l, < 0,0002 % ; **Butane** Somme C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> < 1,7 x10<sup>-8</sup> mole/l, < 0,0004 % ; **n-Pentane** Somme C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> < 8,5 x10<sup>-9</sup> mole/l, < 0,0002 %, **n-Hexane** Somme C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> < 8,5 x10<sup>-9</sup>, < 0,0002 %

	Baie de Petite Anse n°1	Baie de Petite Anse n°2	Baie de Petite Anse n°3 bis
* CO <sub>2</sub> mesuré par spectrométrie infrarouge in situ	100,6 %	-	100,5 %
** He mesuré par spectrométrie de masse sur site	6,04 ppm	4,07 ppm	≈ 6 ppm

	Deux Choux Forage PVC	Deux Choux Mofette
*** H <sub>2</sub> S mesuré par Jerome 631 X in situ	≈ 13 ppm	≈ 1,5 ppm

**Analyses des isotopes de l'hélium (Laboratoire CEA-CNRS : LSCE)**

	Date	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He brut (ppm)	R/Ra* brut	He (ppm)c	(R/Ra)c
			gaz humide		gaz humide	
Baie de Petite Anse n°2	12/06/2012	4,40	2,2	2,54	2,0	2,66
Baie de Petite Anse n°3	12/06/2012	89,17	15,8	7,24	15,7	7,26
Deux Choux mofette n°1	12/06/2012	8,45	1,8	4,53	1,8	4,67
Deux Choux mofette n°2	12/06/2012	13,79	1,9	4,49	1,9	4,57
Vieil Antoine	11/12/2012	24,67	2,05	4,05	26,2	4,53

R\* :  $^3\text{He} / ^4\text{He}$  du gaz prélevé; Ra\* :  $^3\text{He} / ^4\text{He}$  de l'atmosphère

**Analyses des isotopes du carbone du CO<sub>2</sub> (Laboratoire BRGM Orléans)**

	Date	$\delta^{13}\text{C} \text{‰ vs PDB}^*$	Incertitude
Baie de Petite Anse n°1	12/06/2012	-3,7	± 0.3‰
Baie de Petite Anse n°2	12/06/2012	-4,7	± 0.3‰
Baie de Petite Anse n°3	12/06/2012	-3,3	± 0.3‰
Baie de Petite Anse n°3bis	12/06/2012	-3,3	± 0.3‰

PDB\* : référence isotopique de la Bélemnite de Pee Dee pour le carbone

	CO <sub>2</sub>	Ar	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	He	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	ΣC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	ΣC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	ΣC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Somme	δ <sup>13</sup> C <sub>CO2</sub> (‰ VPDB) ± 0.1‰
Limite	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.005	0.005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002		
G1	10.8	0.97	7.61	80.4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	99.8	-28.1
I16	3.92	0.96	16.2	78.6	<	0.0053	<	<	<	<	<	<	<	99.7	-25.7
J15	9.62	0.85	18.5	70.8	<	<	<	<	<	<	<	<	<	99.7	
J30	3.51	0.95	18.0	76.9	<	<	<	<	<	<	<	<	<	99.3	-25
K2	4.62	0.95	16.3	77.6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	99.5	
K8	14.3	0.99	3.25	81.8	<	0.011	<	0.0006	<	<	<	<	<	100.4	-22.3
K24	47.4	0.49	9.16	43.1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	100.1	-6.9
AB3	63.0	0.35	7.71	28.7	<	<	<	0.011	0.0006	0.0005	<	<	<	99.8	-9.6
AB4	4.57	0.92	16.9	77.4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	99.8	-24.1
AB17	5.62	0.95	15.9	77.7	<	<	<	<	<	<	<	<	<	100.2	-25.3
AB18 (sac Tedlar)	3.59	0.85	17.9	77.5	<	<	<	0.0002	<	<	<	<	<	99.8	-16.3
AB22	7.22	0.90	14.8	77.4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	100.3	-24.3
BO4	5.77	0.92	14.8	79.0	<	<	<	<	<	<	<	<	<	100.5	-26.6
BO20	95.3	0.011	0.28	3.97	<	<	<	0.092	<	<	<	<	<	99.6	-7.3
BO27	5.58	1.02	7.78	84.1	<	<	<	1.58	<	<	<	<	<	100.0	-25.3
MO23	3.52	0.81	17.4	78.7	<	<	<	<	<	<	<	<	<	100.4	-21.4
GA3	3.98	0.92	19.6	75.6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	100.1	-5.5
GA18	14.8	0.97	5.70	79.1	<	<	<	0.0015	<	<	<	<	<	100.6	-24.6

Extrait du rapport de F. Gal, 2012

GA3 : source de Petite Anse

BO20 : Mofette de Deux Choux

AB3 : forage d'Absalon

K24 : Sud Plateau Boucher

## **Annexe 7**

# **Données issues des travaux précédents**

**Brenot et al. (2008)**

	$\delta\text{D}$ ‰	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{11}\text{B}$
	vs SMOW*	vs SMOW*	‰	‰
Gros Morne - La Borelli	-10	-2,8	0,70562	n.a.
Saint Joseph - Cœur Bouliki	-7	-2,7	n.a.	n.a.
Saint Joseph - La Charmille	-8,5	-2,4	0,70567	n.a.
Bellefontaine - Fond Laillet	-13	-2,8	0,70601	n.a.
Schoelcher -Case Navire	-9,3	-2,7	0,70589	n.a.
Schoelcher -Fond Lahaye	-10,7	-2,9	0,7056	n.a.
Case Pilote - Maniba	-9	-2,3	0,70637	n.a.
Fond St Denis - Source de l'Alma	-6,5	-2,7	0,70571	n.a.
Le Prêcheur - Rivière du Prêcheur	-6,9	-2,4	0,70457	17,1
Saint Pierre - Rivière Blanche	-9,8	-2,7	0,70476	4,8
Saint Pierre - CDST	-8,7	-2,6	0,70534	n.a.
Le Lamentin - Habitation Ressource;	-6,5	-2,2	0,70581	n.a.
Le Lamentin - Sarrault	-7,5	-2,4	0,70586	20,2
Le Lamentin - Source La Frédée	-10,5	-2,8	0,70514	n.a.
Anses d'Arlet - Grande Anse	-9,6	-2,6	0,70738	37,9
Diamant - Habitation Dizac	-14,6	-3,0	0,70568	n.a.

## **RAD (2007)**

	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Li	Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	‰
Riv. Couleuvre	n.a.	15,3	4,5	15,9	1,2	64,5	17,9	4,9	38,7	0,2	58,0	n.a.
Riv. Céron	8.11	13,1	3,5	11,3	1,1	55,3	11,9	3,6	36,9	0,1	45,0	0.704825
Riv. Du Précheur	7.9	11,7	4,5	10,9	2,2	58,3	8,9	6,7	55,0	5,5	34,0	n.a.
Riv. Claire	n.a.	12,5	5,1	23,5	3,9	72,0	13,4	26,7	85,0	18,8	106,0	n.a.
Riv. Capot	7.73	12,7	4,3	10,4	2,9	48,3	11,4	7,1	50,2	1,7	44,0	0.704821
Riv. Macouba	n.a.	13,9	5,5	14,1	2,3	51,3	16,0	7,1	67,3	0,9	47,1	n.a.
Riv du Lorrain	7.62	10,7	2,9	7,3	1,3	16,7	8,3	16,8	22,0	0,1	33,0	0.705216
Riv. Grand Carbet	n.a.	11,9	3,5	8,8	0,9	42,6	8,9	8,8	29,0	0,3	52,0	0.704129
Riv. Lézarde	7.02	7,1	2,8	8,3	1,1	30,5	11,3	2,9	26,0	0,3	17,0	0.705531
Coulée Blanche	n.a.	41,6	14,9	69,8	17,0	252,8	26,7	62,1	98,7	n.a.	107,0	n.a.
Forage 10 m	6.64	35,2	26,6	174,4	13,7	251,3	155,3	92,5	103,0	399,5	179,0	0.704346
Forage 25 m	7.41	18,1	8,7	28,9	3,0	83,3	36,9	16,1	74,1	8,7	73,0	0.704544
Source Didier	6.90	173,6	102,1	123,2	12,4	767,7	24,1	6,1	124,7	108,0	501,1	0.707773

## **Sanjuan *et al.* (2003)**

## Mesures physico-chimiques

Point de prélèvement	n°	Date de prélèvement	T <sub>émerg.</sub> °C	Débit l/mn	Cond. 25°C mS/cm	pH	Eh <sub>brut</sub> mV	O <sub>2diss.</sub>		Alc. méq/l	Commentaires
								mg/l	%		
Source Petite Anse - Diamant (prélèvement dans le bac)	DIAM1	06/12/2001 09:45	35,3	2,13	28,4	5,99	-23	0,22	4	27,53	Argiles vertes - Bulles de dégazage
Source Petite Anse - Diamant (prélèvement dans le bac)	DIAM1	25/03/2001 17:30	34,0	n.d.	23,8	6,15	-35	n.a.	n.a.	24,59	Argiles vertes - Bulles de dégazage
Source Petite Anse - Diamant (émergence avant le bac)	DIAM2	06/12/2001 14:20	31,3	n.d.	17,6	6,53	-53	1,70	27	28,02	Plusieurs émergenes avant d'arriver au bac
Source Petite Anse - Diamant (émergence avant le bac)	DIAM2	25/03/2001 16:30	30,4	n.d.	14,7	7,10	-55	n.a.	n.a.	27,87	Plusieurs émergenes avant d'arriver au bac
Pluie Plage Petite Anse	DIAM3	06/12/2001 15:10	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Mare au pied du Morne Larcher		06/12/2001 16:00	26,2	n.d.	0,417	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Ravine Dominique en bord de route		06/12/2001 16:30	25,9	n.d.	0,978	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Mare proche D37		07/12/2001 08:30	25,5	n.d.	0,190	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Retenue d'eau La Charmeuse	DIAM4	07/12/2001 09:00	26,6	n.d.	0,158	6,76	230	3,38	42	0,82	Retenue située dans l'enceinte d'une carrière
Sondage OPGMC Bord de Mer (près du puits chaud)	MP1	07/12/2001 15:30	36,4	n.d.	1,382	6,55	-125	0,11	2	4,62	10 m de profondeur - niveau d'eau à 3-4 m
Source chaude sous-marine	MP2	09/12/2001 13:30	33,0	n.d.	42,1	7,00	57	3,40	62	2,95	
Source chaude sous-marine (N°45°60"-W61°1'54")	MP3	09/12/2001 15:00	36,0	n.d.	17,7	6,65	-105	1,92	35	3,59	à 1,6 m de profondeur
Eau de mer (N14°48'29"-W61°13'40")	Mer	09/12/2001 17:00	28,5	n.d.	53,5	8,19	-32	2,23	39	2,35	à 4 m de profondeur
Source Riv. Chaude (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP4	11/12/2001 09:50	51,4	n.d.	1,490	6,40	-43	0,50	10	10,18	au pied de la cascade
Source Riv. Chaude (2 <sup>ème</sup> émergence)	MP5	11/12/2001 11:00	39,6	n.d.	1,060	6,47	-63	1,92	27	8,70	au pied de la cascade
Rivière L'Étang (au niveau du pont)	MP6	11/12/2001 15:15	24,4	n.d.	0,176	7,15	140	7,70	94	1,13	alt. : 350 m

Point de prélèvement	n°	Date de prélèvement	T <sub>émerg.</sub> °C	Débit l/mn	Cond. 25°C mS/cm	pH	Eh <sub>brut</sub> mV	O <sub>2</sub> diss.		Alc. méq/l	Commentaires
								mg/l	%		
Source Riv. Chaude (3 <sup>ème</sup> émergence) N14°47,7'46" - W61°10,8"58" - alt. : 156 m	MP7	16/07/2002 09:45	38,0	n.d.	1,085	6,58	n.a.	n.a.	n.a.	8,05	au pied de la cascade - légère odeur à soufre
Source Riv. Claire (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP8	11/03/2003 12:30	22,9	0,03	0,356	6,23	-19	n.a.	n.a.	n.a.	odeur à soufre - altitude : 669 m
Source Riv. Claire (2 <sup>ème</sup> émergence)		11/03/2003 15:00	23,1	n.d.	0,368	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	odeur à soufre - altitude : 655 m
Source Riv. Mitan (émergence moins diluée)	MP9	14/03/2003 13:00	28,3	0,30	0,637	6,29	222	n.a.	n.a.	n.a.	altitude : 112 m
Rivière Mitan en amont de la source		14/03/2003 14:00	25,6	n.d.	0,251	7,50	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Rivière Mitan en aval de la source		14/03/2003 14:30	26,1	n.d.	0,313	7,20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Rivière Picodo		14/03/2003 09:00	24,4	1800	0,445	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	altitude : 152 m
Rivière Picodo		16/03/2003 12:00	24,4		0,246	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	altitude : 260 m
Source Riv. Picodo	MP10	16/03/2003 13:30	36,6	1,20	2,150	6,37	-103	n.a.	n.a.	n.a.	légère odeur à soufre - altitude : 218 m
Rivière Picodo en amont de la source		16/03/2003 14:00	26,1	n.d.	0,422	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Rivière Picodo en aval de la source		16/03/2003 14:30	26,3	n.d.	0,433	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Source Grande Rivière	MP11	12/05/2003 12:30	27,1	n.d.	353	6,29	137	n.a.	n.a.	n.a.	

## Analyses chimiques des éléments majeurs (1)

Point de prélèvement	n°	Na	K	Ca	Mg	Cl	Alc.	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TDS	B.I.
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l HCO <sub>3</sub>	mg/l	mg/l	mg/l	g/l	%
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	5800	295	1100	300	10200	1679	500	< 1	131	20,01	4,14
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	5396	237	991	263	9730	1500	493	< 1	154	18,76	0,83
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	3340	178	565	174	5200	1709	817	< 1	137	12,12	0,34
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	3253	161	594	175	5070	1700	760	< 1	151	11,86	1,57
Barrage d'eau La Charmeuse	DIAM4	19,8	4,2	5,5	4,0	23,6	50	3,1	< 0,1	26,3	0,14	1,43
Sondage OPGMC Bord de Mer	MP1	213	13,9	34,3	25,9	237	282	96,6	< 0,1	103	1,01	1,08
1 <sup>ère</sup> source chaude sous-marine	MP2	8060	240	299	872	14500	180	2311	< 1	26,6	26,49	-3,69
2 <sup>ème</sup> source chaude sous-marine	MP3	3320	103	141	362	5960	219	888	< 1	75,5	11,07	-3,38
Eau de mer	Mer	11400	309	390	1200	20200	143	2626	< 1	0,19	36,27	-0,77
Source Riv. Chaude (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP4	263	25,5	35,9	13,5	68,1	621	153	< 0,1	143	1,32	-1,93
Source Riv. Chaude (2 <sup>ème</sup> émergence)	MP5	220	21,6	31,6	12,1	51,5	531	121	< 0,1	134	1,12	0,14
Rivière L'Étang (au niveau du pont)	MP6	16,3	2,4	13,1	4,0	12,7	69	14,6	< 0,1	76,3	0,21	-2,26
Source Riv. Chaude (3 <sup>ème</sup> émergence)	MP7	212	23,0	29,0	13,4	51,6	491	123	< 1	115	1,06	2,41
Source Riv. Claire (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP8	24,0	3,9	35,7	8,5	12,3	97	78,0	< 0,4	133	0,39	1,04
Source Riv. Mitan (émergence moins diluée)	MP9	60,8	14,6	51,6	18,5	78,1	185	65,0	< 0,4	120	0,63	-2,48
Source Riv. Picodo	MP10	268	33,3	95,4	50,6	451	440	60,5	< 0,4	181	1,59	1,04
Source Grande Rivière	MP11	21,1	4,2	24,5	17,0	9,2	200	12,7	< 0,1	106	0,4	-2,39

## Analyses chimiques des éléments majeurs et traces(2)

Point de prélèvement	n°	NH <sub>4</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	Br mg/l	F mg/l	B mg/l	As mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Li mg/l	Sr mg/l	Ba mg/l	Mn mg/l	Cs mg/l	Rb mg/l
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	0,9	3,3	n.a.	25,0	< 0,1	78,2	2,500	0,058	6,14	10,1	14,84	0,168	1,689	0,299	1,011
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	0,9	< 5	< 0,01	19,9	< 0,1	79,5	2,530	0,490	0,31	3,27	9,62	0,054	1,641	0,327	0,920
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	0,7	1,8	n.a.	11,8	0,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	0,3	< 5	< 0,01	11,1	< 0,1	42,5	0,808	< 0,3	0,02	2,40	5,41	< 0,05	1,635	0,172	0,586
Barrage d'eau La Charmeuse	DIAM4	0,1	< 0,1	n.a.	< 0,2	0,1	0,043	0,016	0,507	1,92	< 0,005	0,034	0,0077	0,0428	0,00008	0,00329
Sondage OPGMC Bord de Mer	MP1	< 0,1	< 0,1	n.a.	0,81	0,4	1,03	0,005	0,0079	1,02	0,38	0,185	0,0052	0,679	0,0017	0,0418
1 <sup>ère</sup> source chaude sous-marine	MP2	0,2	8,8	n.a.	58,0	1,0	2,98	0,056	0,132	0,30	0,34	5,63	0,0125	0,217	0,0012	0,105
2 <sup>ème</sup> source chaude sous-marine	MP3	0,2	< 0,1	n.a.	26,5	0,6	2,15	0,037	< 0,024	0,09	0,30	2,49	0,0063	0,0013	0,0022	0,0639
Eau de mer	Mer	< 0,1	< 0,1	n.a.	67,0	1,3	3,84	0,093	0,056	0,40	0,23	7,52	0,0076	0,0010	0,00054	0,123
Source Riv. Chaude (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP4	< 0,1	< 0,1	n.a.	< 0,2	0,3	1,77	0,015	0,010	0,23	1,50	0,135	0,060	0,869	0,00959	0,100
Source Riv. Chaude (2 <sup>ème</sup> émergence)	MP5	< 0,1	< 0,1	n.a.	< 0,2	0,4	1,42	0,008	0,0098	0,24	1,30	0,114	0,040	0,636	0,00704	0,0801
Rivière L'Étang (au niveau du pont)	MP6	< 0,1	< 0,1	n.a.	< 0,2	0,3	0,059	0,003	0,010	0,02	0,008	0,04	0,00097	0,00101	0,00007	0,0090
Source Riv. Chaude (3 <sup>ème</sup> émergence)	MP7	< 0,1	< 0,1	n.a.	< 0,2	0,2	1,60	0,00318	0,0177	0,16	0,99	0,120	0,0246	0,134	0,00412	0,0701
Source Riv. Claire (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP8	< 0,1	0,7	< 0,01	< 0,1	0,2	0,119	< 0,001	0,006	1,06	0,059	0,140	0,014	0,907	0,0011	0,011
Source Riv. Mitan (émergence moins diluée)	MP9	0,5	< 0,1	32,4	0,165	0,2	0,785	< 0,001	0,006	< 0,02	0,055	0,170	0,011	0,659	0,0006	0,029
Source Riv. Picodo	MP10	< 0,1	0,2	< 0,01	1,426	0,1	4,74	0,005	0,020	0,57	0,37	0,350	0,098	2,48	0,007	0,085
Source Grande Rivière	MP11	< 0,1	0,1	< 0,01	< 0,01	0,1	0,073	< 0,001	0,001	1,67	0,034	0,080	0,009	0,173	0,0006	0,014

## Analyses chimiques des éléments traces (3)

Point de prélèvement	n°	Ge µg/l	Ag µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	U µg/l
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	63,9	1,0	2,0	2,6	2,0	7,0	13,0	1,4	32,0	< 0,1
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	n.a.	< 50	< 20	< 20	2,3	< 20	< 50	< 20	111	n.a.
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	n.a.	n.a.								
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	n.a.	< 50	< 20	< 20	1,2	< 20	< 50	< 20	90,0	n.a.
Barrage d'eau La Charmeuse	DIAM4	0,12	0,03	0,51	0,43	2,0	10,0	4,1	0,45	19,6	0,02
Sondage OPGMC Bord de Mer	MP1	0,42	0,09	0,14	0,16	< 1,0	1,5	< 0,8	0,43	15,3	< 0,01
1 <sup>ère</sup> source chaude sous-marine	MP2	0,8	0,9	1,0	0,98	13,0	10,0	4,3	0,70	14,0	3,1
2 <sup>ème</sup> source chaude sous-marine	MP3	1,2	0,9	1,0	< 0,2	< 9,0	4,0	< 0,8	0,40	15,0	1,0
Eau de mer	Mer	1,5	1,1	1,0	1,04	13,0	10,0	6,4	0,60	22,0	3,5
Source Riv. Chaude (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP4	4,8	0,09	0,15	0,37	< 1,0	0,4	< 0,8	0,28	15,8	0,2
Source Riv. Chaude (2 <sup>ème</sup> émergence)	MP5	4,1	0,09	0,09	0,24	< 1,0	0,7	< 0,8	0,17	5,5	0,05
Rivière L'Étang (au niveau du pont)	MP6	0,033	0,03	0,04	0,029	0,2	0,58	0,3	0,06	2,2	0,011
Source Riv. Chaude (3 <sup>ème</sup> émergence)	MP7	3,0	0,02	0,06	0,11	< 2,0	1,95	0,88	0,23	4,7	n.a.
Source Riv. Claire (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP8	< 0,5	< 0,5	0,4	< 0,5	< 0,5	0,5	0,9	< 1	3	n.a.
Source Riv. Mitan (émergence moins diluée)	MP9	< 0,5	< 0,5	0,4	< 0,5	< 0,5	1,8	0,7	< 1	4	n.a.
Source Riv. Picodo	MP10	6,3	< 0,5	0,4	1,1	< 0,5	0,9	2,8	3	2	n.a.
Source Grande Rivière	MP11	0,9	< 0,5	0,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	< 1	2	n.a.

## Analyses isotopiques (1)

Point de prélèvement	n°	δD ‰	δ <sup>18</sup> O ‰	<sup>3</sup> H UT	δ <sup>34</sup> S (SO <sub>4</sub> ) ‰	δ <sup>18</sup> O (SO <sub>4</sub> ) ‰	δ <sup>13</sup> C ‰	<sup>14</sup> C ‰	Age <sup>14</sup> C ans	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	δ <sup>11</sup> B ‰
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	-17,5	1,8	< 1	n.a.	n.a.	4,6	< 0,3	> 46970	0,704822	9,05
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	-22,0	1,9	< 1	11,6	10,0	2,4	< 0,3	> 46970	0,704812	n.a.
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	-18,7	-0,4	< 1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Pluie Plage Petite Anse	DIAM3	6,7	-0,8	< 1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Barrage d'eau La Charmeuse	DIAM4	-8,6	-2,0	2	17,0	7,2	-13,4	187,4	moderne	n.a.	n.a.
Sondage OPGMC Bord de Mer	MP1	-8,6	-2,9	3	11,4	8,7	-1,3	19,2	13260	0,706276	n.a.
1 <sup>ère</sup> source chaude sous-marine	MP2	3,9	-0,2	n.a.	19,7	9,5	n.a.	n.a.	n.a.	0,709141	n.a.
2 <sup>ème</sup> source chaude sous-marine	MP3	-4,7	-1,9	n.a.	20,0	9,5	n.a.	n.a.	n.a.	0,709017	n.a.
Eau de mer	Mer	9,8	0,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,709188	n.a.
Source Riv. Chaude (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP4	-7,7	-2,8	3	11,7	9,1	0,1	15,2	15130	0,704233	6,25
Source Riv. Chaude (2 <sup>ème</sup> émergence)	MP5	-7,4	-2,8	n.a.	10,7	9,0	-0,3	12,0	17050	0,704247	n.a.
Rivière L'Étang (au niveau du pont)	MP6	-8,9	-2,8	2	5,8	7,4	-14,8	161,6	moderne	0,704484	n.a.
Source Riv. Claire (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP8	-5,3	-2,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,704250	n.a.
Source Riv. Mitan (émergence moins diluée)	MP9	-7,7	-2,7	< 1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,704383	n.a.
Source Riv. Picodo	MP10	-7,6	-2,2	< 1	10,4	8,6	n.a.	n.a.	n.a.	0,704317	n.a.
Source Grande Rivière	MP11	-7,5	-3	2	11,4	12,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

### Analyses isotopiques (2)

Point de prélèvement	n°	$\delta^7\text{Li}$
		‰
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	6,8
Source Petite Anse - Diamant (bac)	DIAM1	7,1
Source Petite Anse - Diamant (émergence)	DIAM2	6,3
Sondage OPGMC Bord de Mer	MP1	8,8
Source Riv. Chaude (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP4	8,1
Source Riv. Chaude (2 <sup>ème</sup> émergence)	MP5	8,6
Rivière L'Étang (au niveau du pont)	MP6	2,2
Source Riv. Claire (1 <sup>ère</sup> émergence)	MP8	2,3
Source Riv. Mitan (émergence moins diluée)	MP9	5,2
Source Riv. Picodo	MP10	5,4
Source Grande Rivière	MP11	<i>n.a.</i>

**Analyses chimiques des gaz (mesure *in situ* et sur site)**

Point de prélèvement	Référence	Date de prélèvement	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		O <sub>2</sub>		He	
			% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	ppm		
Forage Deux Choux	MPG1	10/07/2002	86,9	0,2	0,0	2,18				
Rivière Roxelane	MPG2	11/07/2002	8,2	0,0	11,4	5,24				
Morne Calebasse	MPG3	12/07/2002	8,1	0,0	11,7	5,29				
Camp Chazeau - Petite Savane	MPG4	12/07/2002	20,4	1,0	0,0	5,28				
Riv. des Ecrevisses - Chazeau	MPG5	13/07/2002	10,0	0,0	1,8	5,43				
Propriété De Paz - Chemin principal	MPG6	15/07/2002	9,8	0,0	8,7	5,24				
Propriété De Paz - Chemin principal	MPG7	15/07/2002	15,2	0,0	0,2	5,45				
Forage Desgrottes	MPG8	17/07/2002	61,2	30,6	0,5	5,21				
Source Diamant	DIAMG1	19/07/2002	98,1	0,0	2,4	5,83				
Zone altérée Diamant 1	DIAMG2	19/07/2002	42,5	0,0	10,3	6,11				
Zone altérée Diamant 2	DIAMG3	20/07/2002	99,2	0,0	0,0	7,56				

**Analyses chimiques faites en laboratoire**

Point de prélèvement	Référence	CO <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		Ar		CH <sub>4</sub>		O <sub>2</sub>	
		% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.		
Forage Deux Choux	MPG1	90,2	6,51	0,06	0,08	1,21					
Camp Chazeau - Petite Savane	MPG4	19,7	80,6	1,00	0,57	0,78					
Riv. des Ecrevisses - Chazeau	MPG5	10,7	84,4	1,09	< 0,0002	3,61					
Propriété De Paz - Chemin principal	MPG7	14,9	82,0	1,03	< 0,0002	1,39					
Forage Desgrottes	MPG8	44,5	23,5	0,32	30,0	1,85					
Source Diamant	DIAMG1	97,2	0,17	< 0,001	< 0,0002	< 0,001					
Zone altérée Diamant 1	DIAMG2	34,7	50,3	0,64	< 0,0002	12,5					
Zone altérée Diamant 2	DIAMG3	81,1	14,8	0,16	0,002	3,14					

## Analyses isotopiques des gaz

Point de prélèvement	Référence	Date de prélèvement	$\delta^{13}\text{C}$		$^3\text{He} / ^4\text{He}$	Incert.	$R_{\text{éch.}}/R_a$
			$\text{‰ VS PDB}$				
Forage Deux Choux	MPG1	10/07/2002	-6,1		6,64E-06	4,5	4,74
Rivière Roxelane	MPG2	11/07/2002	-24,5		<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>
Morne Calebasse	MPG3	12/07/2002	-16,1		<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>
Camp Chazeau - Petite Savane	MPG4	12/07/2002	-17,2		1,36E-06	10	0,97
Riv. des Écrevisses - Chazeau	MPG5	13/07/2002	-26,1		1,48E-06	10	1,05
Propriété De Paz - Chemin principal	MPG6	15/07/2002	-21,8				
Propriété De Paz - Chemin principal	MPG7	15/07/2002			1,28E-06	12	0,91
Forage Desgrottes	MPG8	17/07/2002	-8,3		6,16E-06	4	4,40
Source Diamant	DIAMG1	19/07/2002	-4,4		6,20E-06	10	4,43
Zone altérée Diamant 1	DIAMG2	19/07/2002	-1,7		3,93E-06	4,5	2,81
Zone altérée Diamant 2	DIAMG3	20/07/2002	-2,5		7,49E-06	9	5,35

## **Sanjuan *et al.* (2002)**

## Mesures physico-chimiques

Point de prélèvement	n°	Date de prélèvement	T <sub>émerg.</sub> °C	Cond 25°C mS/cm	pH	Eh <sub>brut</sub> mV	O <sub>2</sub>		Aic. meq/l
							mg/l	%	
Source Ferme de Perrine (sud canal Carrère)	LAM 1	13/03/2001 13:50	37,0	18,6	6,3	-33	3,29	50	13,6
Source Habitation Carrère (Nord canal Carrère, plus proche de l'aéroport que la suivante)	LAM 2	14/03/2001 07:15	53,3	17,37 (34,6°C)	5,9	-45	1,39	26	13,6
Source Habitation Carrère (Nord canal Carrère, plus proche de la ferme Perrine que la précédente)	LAM 3	14/03/2001 07:20	58	17,31 (28,8°C)	5,87	-109	0,68	12	12,1
Source ancienne voie ferrée	LAM 4	14/03/2001 14:30	51	16,72 (38,7°C)	6,08	-82	1,11	22	15,5
Source Rivière Lézarde	LAM 5	14/03/2001 15:30	48,7	17,17 (36,3°C)	6,11	-32	1,84	32	13,8
Fontaine Didier	LAM 6	15/03/2001 14:20	32,3	1,92		-15	1,5	30	24,6
Source Absalon	LAM 7	15/03/2001 15:30	33,1	1,57	6,3	-4	1,28	28	20,9
Source Absalon	LAM 8	15/03/2001 16:37	36,3	1,58	6,12	-2	0,81	11	22,0
Rivière Dumauzé		15/03/2001 16:00	23,5	0,236	7,4	40	8,17	95	1,0
Forage Habitation Carrère	LAM 9	14/03/2001 08:00	27,1	0,342	5,76	76	1,35	17	2,4
Rivière Lézarde		16/03/2001 09:00	25	29	6,1	0			
Rivière Caleçon	LAM 10	16/03/2001 09:20	25,2	0,454	7,08	45.	3,31	40	2,5
Forage Habitation Carrère /151,63 m	HABCAR 2	25/01/01	44	15,07	6,29				29,94
Forage Habitation Carrère /211,63 m	HABCAR 3	25/01/01	44	12,89	6,33				23,08
Forage Habitation Carrère (tête de puits)	HABCAR 4	21/11/01	41	19,69	6,08	-172	1,11		26,11
Forage Habitation Carrère (tête de puits)	HABCAR 5	05/12/01	40	19,63	6,12	-250	0,37		25,6
Forage Californie / 399,2 m	CALIF-1A	15/03/2001	48	14,87	6,27	-95	3		22,15
Forage Californie / (tête de puits)	CALIF-2	26/03/2002	73,6	20,6	6,04	-38	0,83		16,1

## Analyses chimiques des éléments majeurs et traces (1)

Point de prélèvement	n°	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub> (Alc.)	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TDS	BI	Br	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	F
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Source Ferme de Perrine (sud canal Carrère)	LAM 1	3692	191	924	150	7250	830	301	< 1	66,9	13,4	-0,19	23,5	0,7	< 0,1	0,4
Source Habitation Carrère (Nord canal Carrère, plus proche de l'aéroport que la suivante)	LAM 2	3523	185	879	139	6700	830	310	< 1	80,2	12,65	2,01	21,8	3	< 5	0,5
Source Habitation Carrère (Nord canal Carrère, plus proche de la ferme Perrine que la précédente)	LAM 3	3523	175	853	138	6730	738	311	< 1	79,1	12,55	1,54	22,4	2,5	< 5	0,3
Source ancienne voie ferrée	LAM 4	3439	193	777	141	6520	948	166	< 1	124	12,31	0,98	21,9	6	< 0,1	< 0,1
Source Rivière Lézarde	LAM 5	3510	192	901	144	6810	842	316	< 1	82,8	12,8	0,91	23	2,3	< 5	0,4
Fontaine Didier	LAM 6	128	17,3	200	112	28,9	1500	5,9	< 1	155	2,15	-1,27	0,055	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Source Absalon	LAM 7	97,7	12,9	208	82,7	16	1277	2,6	< 1	145	1,84	1,52	0,035	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Source Absalon	LAM 8	113	15,6	209	90	16	1345	2,8	< 1	161	1,95	2,58	0,041	< 0,1	0,1	< 0,1
Forage Habitation Carrère	LAM 9	30,5	0,8	29,8	11,6	34,7	145	10,9	1,7	78,6	0,34	4,83	0,118	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Rivière Caleçon	LAM 10	31	2,3	37,1	12,1	54,7	151	3,5	< 1	51,4	0,34	3,80	0,105	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Forage Habitation Carrère /151,63 m	HABCAR 2	2504	101	880	134	4715	1826,34	295	n.a.	112	10,6	-1,48	16,5	n.a.	< 2	0,2
Forage Habitation Carrère /211,63 m	HABCAR 3	2120	77	676	100	4000	1407,88	240	n.a.	78	8,7	-3,46	14,8	n.a.	< 2	0,4
Forage Habitation Carrère (tête de puits)	HABCAR 4	3310	125	830	187	6335	1592,71	333	n.a.	91	12,8	-3,77	23,3	2,4	< 0,1	< 0,2
Forage Habitation Carrère (tête de puits)	HABCAR 5	3280	122	778	183	6358	1561,6	127	n.a.	90	12,5	-3,92	22,3	1,2	< 0,1	< 0,2
Forage Californie 399,2 m	CALIF-1A	2650	168	824	138	4915	1351,15	274	n.a.	100	10,4	3,25	18,5	n.a.	2	0,3
Forage Californie (tête de puits)	CALIF-2	3790	124	725	130	7050	982,1	316	n.a.	69	13,2	-3,07	22,5	14,8	< 0,1	0,5

## Analyses chimiques des éléments traces

n°	B	Li	Sr	Ba	Mn	Fe	Rb	Cs	As	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Pb	Ge
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
LAM 1	44,055	0,84	17,2	0,148	0,33	0,06	0,642	267	< 10	< 0,3	88.	< 20	< 50	< 20	88	< 50	< 20	< 20	9
LAM 2	41,838	0,79	16,7	0,14	0,265	1,45	0,605	293	383	< 0,3	126.	< 20	< 50	< 20	80	< 50	< 20	< 20	9
LAM 3	40,988	0,91	19,4	0,183	0,332	< 0,02	0,603	285	555	< 0,3	150	< 20	< 50	< 20	102	< 50	< 20	< 20	12
LAM 4	48,778	0,64	17,2	0,322	0,453	1,8	0,562	201	59	0,32	122	< 20	< 50	< 20	83	< 50	< 20	< 20	2
LAM 5	44,793	0,67	15,6	0,197	0,351	0,79	0,586	272	172	< 0,3	82	< 20	< 50	< 20	84	< 50	< 20	< 20	9
LAM 6	0,493	0,05	0,77	0,115	0,295	0,99	0,041	1	38	0,06	29	4	< 5	4	11	< 5	< 2	< 2	3
LAM 7	0,266	0,04	0,75	0,12	0,773	2,22	0,035	1	27	0,05	20	7	< 5	3	8	< 5	< 2	< 2	1
LAM 8	0,349	0,04	0,74	0,104	0,388	4,82	0,035	1	35	0,06	31	5	< 5	3	11	< 5	< 2	< 2	2
LAM 9	0,045	< 0,01	0,1	0,013	0,039	0,03	0,001	< 1	< 10	< 0,03	8	< 2	< 5	7	31	< 5	< 2	< 2	< 1
LAM 10	0,055	< 0,01	0,09	0,01	0,046	0,04	0,003	< 1	< 10	< 0,03	6	< 2	< 5	< 2	< 5	< 5	< 2	< 2	< 1
HABCAR 2	6,29	1,18	13,9	0,33	2,03	23	0,45	103	73	12	< 4,5	10,9	75,3	4,4	128	< 0,25	4,8	< 0,4	n.a.
HABCAR 3	6,33	1,00	11,9	0,32	2,18	22,6	0,38	90,3	21	11,8	< 4,5	10,6	68,7	3,6	184	< 0,25	2,7	< 0,4	n.a.
HABCAR 4	35,3	1,47	17,9	0,42	3,18	170	0,57	180	106	19	< 3	2,5	7	3	14	< 0,2	< 1	< 1	12
HABCAR 5	35,2	1,67	18,1	0,28	2,75	186	0,57	133	87	< 11	350	3,6	110	15	< 2	< 0,2	< 1	< 1	10
CALIF-1A	33,3	1,55	17,6	0,47	1,72	90,2	0,51	182	90	10,5	< 4,5	13,4	97,2	4,4	2436	< 0,25	0,9	< 0,4	n.a.
CALIF-2	41,5	1,59	22,3	0,57	0,82	24,1	0,53	215	160	14	9	3,2	< 0,07	3	831	0,3	< 0,8	< 0,5	12

## Analyses isotopiques

Point de prélèvement	n°	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$^3\text{H}$	$\delta^{34}\text{S}$ ( $\text{SO}_4$ )	$\delta^{18}\text{O}$ ( $\text{SO}_4$ )	$\delta^{13}\text{C}$ (CITD)	$^{14}\text{C}$	Age $^{14}\text{C}$	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$
		‰ VS SMOW	‰ VS SMOW		‰ VS CDT	‰ VS SMOW	‰ VS PDB			‰
Source Habitation Carrère (Nord canal Carrère, plus proche de la ferme Perrine que la précédente)	LAM 3									
Source Rivière Lézarde	LAM 5									
Fontaine Didier	LAM 6									
Source Absalon	LAM 8									
Forage Habitation Carrère	LAM 9									
Rivière Caleçon	LAM 10									

‰ (valeurs comprises entre 6 et 7,8 ‰)

## **Pedroni *et al.* (1999)**

Abondances élémentaires et isotopiques du CO<sub>2</sub> et des gaz rares dans des échantillons géothermiques de Martinique

Échantillon			CO <sub>2</sub>		<sup>4</sup> He	<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He		<sup>4</sup> He/ <sup>20</sup> Ne	<sup>20</sup> Ne/ <sup>22</sup> Ne	<sup>20</sup> Ne/ <sup>36</sup> Ar	<sup>36</sup> Ar/ <sup>38</sup> Ar	<sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar	
Code	Localité	Source	Type	cm <sup>3</sup> STP/ cm <sup>3</sup>	δ <sup>13</sup> C <sub>PDB</sub> (±)	10 <sup>-9</sup> cm <sup>3</sup> STP/ cm <sup>3</sup>	R/Ra ±[%] (mesuré)	Rc/Ra± [%] (air corr.)	R/Ra	δair (±)	R/Ra	δair (±)	δair (±)
BST49AK	Bodelle	Minérale	Eau	0,13	-17,9 (.05)	56	1,00 5	1,00 5	0,84	1 (6)	0,38	-1 (8)	3 (6)
AST10A	Diamant	Hydrothermale	Saumure*	0,98	-2,70 (.05)	104	7,75 4	7,75 4	3,33	17 (9)	0,83	6 (13)	-4 (8)
AST8A	Diamant	Hydrothermale	Saumure*	1,04	n.m.	74	7,83 4	7,83 4	3,8	16 (13)	0,86	5 (17)	3 (11)
BST34AK	Diamant	Hydrothermale	Saumure*	1,31	-3,08 (.03)	34	7,93 3	7,93 3	55,5	58 (62)	0,34	24 (16)	-33
BST43C	Airport	Mofette	Gaz	0,93	-7,80 (.02)	191	2,24 4	2,24 4	129	15 (77)	0,43	19 (25)	38
BST32AK	Ch.d.Fer	Hydrothermale	Gaz	0,91	-6,16 (.07)	1340	2,32 2	2,32 2	59,4	7 (6)	0,45	-4 (12)	6 (7)
BGL4AK	Ch.d.Fer	Hydrothermale	Gaz	0,81	-7,40 (.03)	1240	2,27 2	2,27 2	61,31	8 (6)	0,48	8 (9)	3 (6)
ACU107A	Moutte	Hydrothermale	Saumure	0,55	-7,56 (.05)	51	2,21 11	2,21 11	6,24	17 (36)	0,25	12 (18)	-4
BST35AK	Didier	Hydrothermale	Gaz	0,97	-9,43 (.03)	11	3,39 16	3,39 16	2,19	11 (12)	0,33	1 (8)	-1 (6)
ACU111A	Absalon	Hydrothermale	Gaz	0,8	-8,80 (.05)	31	3,13 13	3,13 13	6,24	11 (56)	0,16	14 (9)	24 (7)
BGL2A	Absalon	Hydrothermale	Gaz	0,79	-8,77 (.05)	22	3,28 4	3,28 4	6,88	4 (6)	0,32	1 (7)	8 (6)
BGL3AK	Absalon	Hydrothermale	Gaz	0,81	-8,65 (.05)	38	3,27 5	3,27 5	7,21	5 (8)	0,21	5 (11)	7 (7)
AST9A	Deux Choux	Puits	Gaz	0,76	-6,37 (.05)	2040	4,45 2	4,45 2	8040	n.m.	0,08	11 (14)	87 (9)
BST44AK	Deux Choux	Mofette 1	Gaz	0,93	-6,28 (.05)	2130	4,73 2	4,73 2	301	5 (9)	0,42	-3 (8)	24 (6)
BGL1A	Deux Choux	Mofette.2	Gaz	0,48	-6,38 (.05)	1010	4,68 3	4,68 3	207	7 (13)	0,9	3 (11)	7 (7)
BST26AK	Champflore	Minérale	Eau	0,04	n.m.	74	—	—	0,74	5 (5)	0,47	4 (7)	1 (6)
BST22C	Desgrottes	Puits	Gaz	0,59	n.m.	4920	4,91 3	4,91 3	7,03	3 (5)	0,5	4 (1)	10 (6)

Légende : <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He, <sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Ne et <sup>20</sup>Ne/<sup>36</sup>Ar sont reportés en unités R/Ra où R = rapport dans l'échantillon et Ra = rapport dans l'air. Les erreurs 2σ des unités R sont données en %. Les rapports <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He corrigés de l'air (colonne 10) sont calculés selon la procédure mentionnée dans le texte (Pedroni et al, 1999. Les rapports <sup>20</sup>Ne/<sup>22</sup>Ne, <sup>36</sup>Ar/<sup>38</sup>Ar, <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar et les erreurs 2σ sont donnés en unités δ<sub>air</sub>, i.e. 1000\*(R<sub>ech</sub> - R<sub>air</sub>)/R<sub>air</sub>; n.m. : non mesuré ; saumure\* : mélange de gaz et saumure.

## **Chéry (1994)**

## Paramètres physico – chimiques des eaux voisines de la source Didier

	Date de prélèvement	Température	Conductivité à 18°C	pH	Oxygène dissous
Source de Didier	04/1992		573 µS/cm	6,52	6,26 mg/l
Source de Didier	13/12/1993	32,5		7,35	
Source Médaille	13/12/1993	22,1		5,5	
Ravine Case Navire (Absalon)	13/12/1993	22,5		5,6	
Source Agathe	13/12/1993	22,1		5,5	

## Analyses chimiques des eaux voisines de la source Didier

Point de prélèvement	Date de prélèvement	Na	Ca	Mg	Cl	Alc.	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l HCO <sub>3</sub>	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Source de Didier	04/1992	132,5	187	116,4	24,2	1519	17	0,2	132	0,01	<0,01
Source de Didier	13/12/93	132	217	118	25,3	1435	5,4	<0,1			
Source Agathe	13/12/93	8,6	8	2,1	11,1	39	3,1	<0,1			
Ravine Case Navire (Absalon)	13/12/93	9,6	11,4	3,2	10,8	59	2,2	<0,1			
Source Médaille	13/12/93	9,4	12,7	3,1	9,6	63	1,7	<0,1			

Point de prélèvement	F	Ag	Al	As	B	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sn	Sr	Zn
	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l													
Source Didier 04/1992	<0,01	<0,2	30	80	390	225	0,15	<0,5	0,7	3,69	50	296	1,5	<1	<1	<1	<1	0,94	<1

## Analyses isotopiques des eaux voisines de la source Didier

Site	Date de prélèvement	$\delta^{18}\text{O}$		$\delta^2\text{H}$		$\delta^{13}\text{C}$ (CITD)		$\delta^{18}\text{O}$ (SO <sub>4</sub> )		$\delta^{34}\text{S}$ (SO <sub>4</sub> )		<sup>3</sup> H
		% vs SMOW	% vs SMOW	% vs SMOW	% vs SMOW	% vs PDB	% vs SMOW	% vs SMOW	% vs CDT			
Source de Didier	13/12/93	-3,0	-3,0	-3,9	-3,9	-5,2	9,4	8,6			3 ± 1	
Source Agathe	13/12/93	-2,9	-2,9	-4,5	-4,5	-17,2	3,7	8,6			4 ± 1	
Case navire (rivière Absalon)	13/12/93	-3,4	-3,4	-4,3	-4,3	-15,0	5,8	11,1			4 ± 1	
Source Médaille	13/12/93	-3,2	-3,2	-6,2	-6,2	-21,9	6,3	21,3			2 ± 1	

## Analyses des gaz de la source Didier

Point de prélèvement	Date	CO <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		Ar		CH <sub>4</sub>		O <sub>2</sub>	
		% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.
Source de Didier	02/1994	99,0	99,0	1,03	0,0018	<0,001	<0,001	0,17			
Source de Didier	04/1992	99,0	99,0	0,8				0,08			

## Analyses isotopiques du gaz de la source Didier

Point de prélèvement	Date	$\delta^{13}\text{C}$ (CO <sub>2</sub> )		$\delta^{18}\text{O}$ (SO <sub>4</sub> )	
		% vs PDB	% vs SMOW	% vs SMOW	% vs SMOW
Source de Didier	02/1994	-8,9	-8,9	26,9	26,9

## **Fabriol & Ouzounian (1985)**

**Résultats des analyses chimiques (1) des sources de la région du Lamentin (en moles/l)**

N°	Température	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
L1	52,5	6,21	1,43E-01	3,35E-03	1,75E-02	5,56E-03	1,80E-01	1,55E-02	1,71E-03
L2	54,2	6,09	1,48E-01	3,25E-03	2,03E-02	5,61E-03	1,85E-01	1,37E-02	3,37E-03
L3	47,3	6,22	1,52E-01	3,35E-03	2,00E-02	5,73E-03	1,96E-01	1,22E-02	3,49E-03
L4	43,9	6,02	1,30E-01	2,81E-03	1,82E-02	4,95E-03	1,70E-01	1,22E-02	3,44E-03
L5	41,0	5,96	1,37E-01	2,92E-03	1,84E-02	6,51E-03	1,77E-01	1,74E-02	2,61E-03
L6	29,3	5,63	4,22E-03	1,79E-04	1,61E-03	1,02E-03	5,64E-03	4,14E-03	7,29E-05
L7	39,0	6,14	1,43E-01	3,12E-03	1,98E-02	5,51E-03	1,87E-01	1,49E-02	3,18E-03
L8	50,4	5,99	1,43E-01	3,17E-03	1,96E-02	5,33E-03	1,87E-01	1,34E-02	3,40E-03
L9	53,0	6,18	1,38E-01	3,17E-03	1,92E-02	5,28E-03	1,85E-01	1,41E-02	3,27E-03
MANG	26,8	7,69	2,41E-01	4,82E-03	5,70E-03	2,65E-02	2,90E-01	7,00E-03	8,71E-03
MER	29,0	8,19	5,00E-01	1,07E-02	1,05E-02	5,76E-02	6,01E-01	2,43E-03	2,91E-02
FOR	88,0	0	1,60E-01	3,20E-03	2,20E-02	6,00E-03	2,20E-01		

**Résultats des analyses chimiques (1) des sources de la région du Lamentin (recalculés en mg/l)**

N°	Site	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
L1	Scie Voie Ferrée	3287,5	131,0	701,4	135,2	6381,5	945,8	164,3
L2	Scie Hn Carrère (Sud canal)	3402,5	127,1	813,6	136,4	6558,8	835,9	323,7
L3	Scie la Lézarde	3494,4	131,0	801,6	139,3	6948,8	744,4	335,3
L4	Scie Hn Carrère (Nord canal)	2988,7	109,9	729,5	120,3	6027,0	744,4	330,5
L5	Scie Mangrove	3149,6	114,2	737,5	158,3	6275,2	1061,7	250,7
L6	Fontaine de Moutte	97,0	7,0	64,5	24,8	200,0	252,6	7,0
L7	Aéroport civil (parking)	3287,5	122,0	793,6	134,0	6629,7	909,2	305,5
L8	Aéroport civil (parking)	3287,5	124,0	785,6	129,6	6629,7	817,6	326,6
L9	Parking autocars Aéroport civil (I)	3172,6	124,0	769,5	128,4	6558,8	860,3	314,1
MANG		5540,5	188,5	228,5	644,3	10281,4	427,1	836,7
MER		11494,9	418,4	420,8	1400,4	21307,3	148,3	2795,4
FOR		3678,4	125,1	881,8	145,9	7799,7	n.a.	n.a.

## Résultats des analyses chimiques (2) des sources de la région du Lamentin (en moles/l)

N°	SiO <sub>2</sub>	Li	Sr	Rb	B	As	F	NH <sub>4</sub>	Al	Fe
L1	2,03E-03	1,15E-04	1,87E-04	3,14E-06	4,39E-03	5,67E-06	4,21E-05	3,33E-04	5,19E-06	2,20E-04
L2	1,19E-03	1,80E-04	2,16E-04	3,86E-07	3,95E-03	1,47E-05	3,16E-05	1,39E-04	7,31E-06	1,19E-04
L3	1,23E-03	1,66E-04	2,21E-04	6,08E-07	4,01E-03	6,41E-06	3,16E-05	1,55E-04	1,39E-05	4,92E-05
L4	9,69E-04	1,41E-04	1,95E-04	1,99E-06	3,50E-03	7,74E-06	3,16E-05	8,89E-05	4,93E-06	4,83E-05
L5	1,60E-03	1,38E-04	1,97E-04	2,55E-06	3,72E-03	3,67E-06	3,68E-05	6,28E-04	0,00E+00	2,18E-04
L6	2,15E-03	2,16E-06	2,85E-06	2,34E-07	1,39E-05	0,00E+00	7,90E-06		0,00E+00	1,31E-04
L7	1,13E-03	1,66E-04	2,11E-04	3,18E-06	3,80E-03	1,09E-05	3,16E-05	1,67E-04	5,15E-06	1,32E-04
L8	1,08E-03	1,66E-04	2,09E-04	3,38E-06	3,86E-03	3,74E-06	3,16E-05	1,33E-04	8,71E-06	1,97E-06
L9	1,04E-03	1,66E-04	2,04E-04	3,18E-06	3,60E-03	1,44E-05	3,16E-05	1,33E-04	1,22E-05	1,06E-04
MANG	5,20E-04	9,00E-06	4,50E-05	0,00E+00	1,20E-03	0,00E+00	2,00E-05	0,00E+00	0,00E+00	3,00E-06
MER	5,00E-05	2,00E-05	7,40E-05		4,30E-04		3,16E-05	5,00E-05		

## Résultats des analyses chimiques (2) des sources de la région du Lamentin (recalculés en mg/l)

N°	Site	SiO <sub>2</sub>	Li	Sr	Rb	B	As	F	NH <sub>4</sub>	Al	Fe
L1	Scé Voie Ferrée	122,0	0,80	16,38	0,27	47,46	0,42	0,80	6,01	0,14	12,29
L2	Scé Hn Carrère (Sud canal)	71,5	1,25	18,93	0,03	42,70	1,10	0,60	2,51	0,20	6,65
L3	Scé la Lézarde	73,9	1,15	19,36	0,05	43,35	0,48	0,60	2,80	0,38	2,75
L4	Scé Hn Carrère (Nord canal)	58,2	0,98	17,09	0,17	37,84	0,58	0,60	1,60	0,13	2,70
L5	Scé Mangrove	96,1	0,96	17,26	0,22	40,22	0,27	0,70	11,33	0,00	12,17
L6	Fontaine de Moutte	129,2	0,01	0,25	0,02	0,15	0,00	0,15	0,00	0,00	7,32
L7	Aéroport civil (parking)	67,9	1,15	18,49	0,27	41,08	0,82	0,60	3,01	0,14	7,37
L8	Aéroport civil (parking)	64,9	1,15	18,31	0,29	41,73	0,28	0,60	2,40	0,24	0,11
L9	Parking autocars Aéroport civil	62,5	1,15	17,87	0,27	38,92	1,08	0,60	2,40	0,33	5,92
MANG		31,2	0,06	3,94	0,00	12,97	0,00	0,38	0,00	0,00	0,17
MER		3,0	0,14	6,48	0,00	4,65	0,00	0,60	0,90	0,00	0,00

## Analyses isotopiques en Martinique

Site	N°	$\delta^{18}\text{O}$		$\delta^2\text{H}$
		% vs SMOW		
Lamentin – Source de la Voie Ferrée	L1	-2,8 ± 0,1		-7,5 ± 0,5
Lamentin – Source de l'Habitation Carrère Sud	L2	-1,8 ± 0,1		-7,4 ± 0,5
Lamentin – Source de la Lézarde	L3	-1,3 ± 0,1		-6,7 ± 0,5
Lamentin – Source de l'Habitation Carrère Nord	L4	-1,7 ± 0,1		-7,0 ± 0,5
Lamentin – Mangrove	L5	-2,2 ± 0,1		-7,6 ± 0,5
Carbet – Fontaine Moutte	L6	-2,9 ± 0,1		-10,3 ± 0,5
Lamentin – Aéroport civil	L7	-2,1 ± 0,1		-7,7 ± 0,5
Lamentin – Aéroport civil	L8	-2,1 ± 0,1		-7,4 ± 0,5
Lamentin – Parking aéroport civil	L9	-2,0 ± 0,1		-7,4 ± 0,5
Lamentin – Mangrove (mer)		0,5 ± 0,1		5,2 ± 0,5

#### Résultats des analyses de gaz libres de trois sources chaudes du Lamentin (% en volume)

	L1	L2	L3
CO <sub>2</sub>	97,80%	98,50%	99,70%
Ar	0,01%	0,02%	< 30 ppm
O <sub>2</sub>	0,15%	0,32%	< 30 ppm
N <sub>2</sub>	2,10%	1,24%	0,29%
CH <sub>4</sub>	2180 ppm	420 ppm	780 ppm
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2 ppm	0,5 ppm	0,5 ppm

He < 20 ppm, H<sub>2</sub> < 15 ppm, H<sub>2</sub>S < 90 ppm, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> < 0,3 ppm, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> < 0,2 ppm, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> < 0,2 ppm, C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> < 0,2 ppm pour les 3 sources

## **lundt (1984)**

## Résultats des mesures et analyses chimiques (majeurs) sur les eaux prélevées (en Millimoles/l)

Nom	T °C	pH	Cond µS/cm	Débit l/s	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
Source aval (Rivière Mitan)	28,8	6,22	540	1	2,05	0,16	0,69	0,39	2,25	1,22	0,56
Source amont (Rivière Mitan)	27,2	7,3	373	2	1,3	0,12	0,51	0,26	1,5	0,82	0,29
Source Rivière Mitan	26,3	7,17	279	5	1,05	0,11	0,43	0,21	1,5	0,56	0,12
Rivière Mitan	25,8	6,37	395	0,8	1,18	0,09	0,66	0,38	1,5	1,34	0,35
Source de la voie ferrée (Lamentin)	53,8	6,32	34000	ε	151,3	3,21	18,70	6,1	7,25	190	1,77
Mangrove	26,8	7,69	32800	-	240,9	4,82	5,70	26,5	7	290	8,74
Source du Diamant	32,0	6,15	30400	0,1	198,3	6,97	17,00	8,1	13,5	210	7,08
Source Habitation Carrère	52,6	6,35	34800	ε	157,4	3,13	21,40	5,9	6,25	195	3,33
Source Absalon (proximité réservoir)	35,4	6,16	2240	0,1	4,26	0,29	4,50	3,16	13,5	0,42	0,02
Source Rivière chaude (Pelée) Rive droite	61,0	6,87	2940	0,5	12,4	0,83	0,68	0,42	9,25	3,1	1,83
Source Rivière chaude (Pelée) Rive gauche	42,2	6,62	1280	0,5	6,39	0,6	1,45	0,74	7,25	1,82	1,25
Rivière Chaude amont	32,0	-	-	-	3,83	0,36	1,02	0,51	4,75	1,15	0,6
Puits chaud	47,0	6,9	-	-	8,52	0,57	0,93	0,84	5	5,5	1,42

## Analyses chimiques (majeurs) des eaux prélevées (recalculés en mg/l)

N°	Nom	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
1	Source aval (Rivière Mitan)	47,1	6,3	27,7	9,5	137,3	43,3	53,8
2	Source amont (Rivière Mitan)	29,9	4,7	20,4	6,3	91,5	29,1	27,9
3	Source Rivière Mitan	24,1	4,3	17,2	5,1	91,5	19,9	11,5
4	Rivière Mitan	27,1	3,5	26,5	9,2	91,5	47,5	33,6
5	Source de la voie ferrée (Lamentin)	3478,4	125,5	749,5	148,3	442,4	6736,1	170,0
6	Mangrove	5538,2	188,5	228,5	644,3	427,1	10281,4	839,6
7	Source du Diamant	4558,9	272,5	681,4	196,9	823,7	7445,1	680,1
8	Source Habitation Carrère	3618,6	122,4	857,7	143,4	381,4	6913,3	319,9
9	Source Absalon (proximité réservoir)	97,9	11,3	180,4	76,8	823,7	14,9	1,9
10	Source Rivière chaude (Pelée) Rive droite	285,1	32,5	27,3	10,2	564,4	109,9	175,8
11	Source Rivière chaude (Pelée) Rive gauche	146,9	23,5	58,1	18,0	442,4	64,5	120,1
12	Rivière Chaude amont	88,1	14,1	40,9	12,4	289,8	40,8	57,6
13	Puits chaud	195,9	22,3	37,3	20,4	305,1	195,0	136,4

## Résultats des analyses chimiques (traces) des eaux prélevées (en moles/l)

N°	NO3	F	B	SiO2	NH4	Li	Rb	Sr	Fe	Mn	As
1	0,03	0,01	0,55	57	< 0,5	0,6	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
2	0,05	0,01	0,52	52	< 0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
3	0,03	0,01	0,46	57	< 0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
4	0,05	0,01	0,65	29	< 0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1
5	0,42	< 0,01	3,15	98	31,5	12	0,6	20,5	20,6	5,5	2,9
6	-	0,02	1,2	52	-	0,9	< 0,1	4,5	0,3	16,4	NM
7	0,9	< 0,01	3,52	189	3,5	115,3	0,8	10,3	10,7	25,5	28,7
8	0,47	0,01	3,15	106	13	18	0,6	24	6,6	6,6	5,6
9	0,08	< 0,01	0,46	173	< 0,5	1,2	< 0,1	1,1	8,4	7,6	NM
10	0,08	0,02	0,7	191	< 0,5	18	NM	< 0,1	< 0,2	8,6	< 0,1
11	0,06	0,02	0,46	90	NM	14	NM	0,2	NM	10,9	< 0,1
12	0,04	-	< 0,01	25	NM	8,9	NM	0,2	NM	< 0,1	NM
13	0,17	0,03	0,03	142	NM	6,9	NM	0,2	NM	< 0,1	NM

## Analyses chimiques (traces) des eaux prélevées (recalculés en mg/l)

Nom	NO <sub>3</sub>	F	B	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	Li	Rb	Sr	Fe	Mn	As
1 Source aval (Rivière Mitan)	1,9	0,19	5,95	34,2	< 0,10	0,04	< 0,10	< 0,10	< 0,1	< 0,01	< 0,01
2 Source amont (Rivière Mitan)	3,1	0,19	5,62	31,2	< 0,10	0,02	< 0,10	< 0,10	< 0,1	< 0,01	< 0,01
3 Source Rivière Mitan	1,9	0,19	4,97	34,2	< 0,10	0,02	< 0,10	< 0,10	< 0,1	< 0,01	< 0,01
4 Rivière Mitan	3,1	0,19	7,03	17,4	< 0,10	0,02	< 0,10	< 0,10	< 0,1	< 0,01	< 0,01
5 Source de la voie ferrée (Lamentin)	26,0	< 0,2	34,05	58,9	5,67	0,83	0,513	17,962	11,5	0,302	0,22
6 Mangrove	-	0,38	12,97	31,2	-	0,06	< 0,10	3,943	0,17	0,901	NM
7 Source du Diamant	55,8	< 0,2	38,05	113,6	0,63	8,00	0,684	9,025	5,98	1,401	2,15
8 Source Habitation Carrère	29,1	0,19	34,05	63,7	2,34	1,25	0,513	21,029	3,69	0,363	0,42
9 Source Absalon (proximité réservoir)	5,0	< 0,2	4,97	103,9	< 0,10	0,08	< 0,10	0,964	4,69	0,418	NM
10 Source Rivière chaude (Pelée) Rive droite	5,0	0,38	7,57	114,8	< 0,10	1,25	NM	< 0,10	< 0,1	0,472	< 0,01
11 Source Rivière chaude (Pelée) Rive gauche	3,7	0,38	4,97	54,1	NM	0,97	NM	0,175	NM	0,599	< 0,01
12 Rivière Chaude amont	2,5	-	< 0,1	15,0	NM	0,62	NM	0,175	NM	< 0,01	NM
13 Puits chaud	10,5	0,57	0,32	85,3	NM	0,48	NM	0,175	NM	< 0,01	NM

## Résultats des analyses chimiques des gaz prélevées

	Gaz libres		Gaz dissous (mol/l)	
	Source de la voie ferrée	Source voie ferrée	Source voie ferrée	Source diamant
CO <sub>2</sub>	97,10%	1,4E-02	1,4E-02	3,7E-02
Ar	0,01%	5,1E-06	5,1E-06	1,4E-06
O <sub>2</sub>	0,25%	< 1,2E-06	< 1,2E-06	< 1,2E-06
N <sub>2</sub>	2,10%	2,8E-04	2,8E-04	1,3E-04
He	< 10 ppm	< 1E-07	< 1E-07	< 1E-07
H <sub>2</sub>	< 10 ppm	< 1E-07	< 1E-07	< 1E-07
CH <sub>4</sub>	0,22%	1,5E-06	1,5E-06	< 1E-08
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1 ppm			

**Résultats des Analyses isotopiques des eaux prélevées**

	n°	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
		‰ vs SMOW	‰ vs SMOW
Source riv. Mitan (aval)	1	$-2,8 \pm 0,1$	$-7,7 \pm 0,5$
Source riv. Mitan (amont)	2	$-2,8 \pm 0,1$	$-7,3 \pm 0,5$
Source riv. Mitan	3	$-2,9 \pm 0,1$	$-7,6 \pm 0,5$
Lamentin – Source de la Voie Ferrée	5	$-3,2 \pm 0,1$	$-6,6 \pm 0,5$
Source du Diamant	7	$0,6 \pm 0,1$	$-20,4 \pm 0,5$
Source Habitation Carrère	8	$-1,9 \pm 0,1$	$-8,8 \pm 0,5$
Source Absalon	9	$-3,0 \pm 0,1$	$-8,1 \pm 0,5$
Source riv. Chaude (rive droite)	10	$-2,8 \pm 0,1$	$-6,3 \pm 0,5$
Source riv. Chaude (rive gauche)	11	$-3,0 \pm 0,1$	$-5,9 \pm 0,5$
Rivière. Chaude (amont)	12	$-2,9 \pm 0,1$	$-8,1 \pm 0,5$
Puits chaud	13	$-2,8 \pm 0,1$	$-8,8 \pm 0,5$

## **Mouret (1979)**

## Résultats des analyses chimiques (majeurs) des eaux prélevées (en meq/l)

N°	Site	Date	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	TDS
1	Riv. Chaude	1976	7,1	2,07	1,04	3,26	0,349	0,99	1,75	3,9	0,016	101	601,5
2		1976	7,1	2,96	1,51	6,48	0,662	1,92	3,33	6,51	0,023	130	1008,7
3		1976	7,1	1,31	0,79	9,48	0,638	2,59	3,42	6,8	0,029	132	1083,5
167		1934	n.d.	3,6	1,06	7,5	2,2	3,2	4,24	4	0	n.d.	
168		1968	6,75	1,6	0,74	9,7	0,79	3,5	4,5	5	0	174	940,15
4	Sce bord de mer	1976	7,1	1,98	2,95	15,22	0,615	14,59	2,75	2,8	0,016	92	1363,4
171	Sce bord de mer	1976	6,75	1,6	2,8	13	0,67	14	1,1	2,3	0	126	1081,25
5	Puits chaud	1976	6,9	2,27	2,16	10,91	0,695	8,39	3,08	4,7	0,016	109	1192,7
42	Sce Riv. Picodo	1976	7,2	3,28	2,55	6,57	0,477	6,7	0,58	5,34	0,015	113	972,2
15		1976	7,2	10,5	7,44	5	0,323	0,41	0	22,95	0,053	129	1974,8
153		1869	n.d.	9,6	5,9	4,29	0,52	0,41	0	21	0	n.d.0	
154	Captage d'Absalon	1937	6,2	9,79	5,4	4,36	0,27	0,39	0	21	0	n.d.	
155		1956	n.d.	13,25	7,3	0,86	0	0,86	0	21	0	115	1854
156		1969	6,25	7,5	7,5	4,6	3,2	0,39	0	22	0	126	1830,93
43		1976	7,4	4,5	9,55	5,91	0,382	0,68	0,08	19	0,055	124	1671,3
148		1869	n.d.	9,51	4,75	3,34	0,56	0,79	0	17,16	0	n.d.	
149		1935	n.d.	8,85	7,48	5,7	0,56	0,78	0	21,7	0	n.d.	
150	Sce Didier	1939	n.d.	7	4,06	2,9	0,2	0,4	0	13,7	0	132	1245,73
151		1961	n.d.	8,39	8,83	4,85	0,33	0,78	0	22,6	0	102	1907,79
152		1968	6,15	8,3	9,7	5,9	0,1	0,66	0,1	23	0	150	1854,68
33		1976	6,6	2,55	1,61	3,94	0,164	3,89	0,02	3,95	0,01	122	670,6
158		1869	0	3,9	1,4	3	0,2	4,6	0	4,1	0	n.d.	
159	Fontaine Moutte	1939	0	2,8	0,72	4,1	0,2	4,6	0	4	0	n.d.	
160		1955	0	3,9	1,3	2,9	0,2	4,5	0	4,1	0	115	693,14
161		1968	6,05	2,7	1,1	4,1	0,21	4,1	0,13	4,3	0	138	583,94
118	Sondage Rivière Monsieur MS3	1973	0	7,1	3	0,2	6,52	0,07	5,46	0	4,4	25	677,35

n°	Site		pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	TDS
44	Scie des Pitons	1976	7,2	6,7	6,83	4,35	0,331	0,68	0,04	17	0,061	109	1505,7
56	Forage Desgrottes	1977	6,7	2,66	2,4	1,64	0,1	0,28	0,02	6,7	0	100	643,7
225	Scie de la Médaille		n.d.	6	2,55	2,8		0,27		11		n.d.	
116	Sondage de la mairie de Fort de France		5,85	17	12	30,1	1,5	35,49	0	27	0	50	4193,49
163	Plaine du Lamentin	1968	6,15	42	14,5	150	3,7	190	8,2	15	0	72	12665,28
162	Plaine du Lamentin	1869	n.d.	43,47	12	133,7	6	177,4	6	12,1	0	n.d.	
34	Parking de l'aéroport	1976	7,1	42,5	12,67	149,57	3,538	190	5,83	13,9	0,185	62	12528,5
35	Bord de la Lézarde	1976	7	40,9	13,02	154,35	3,436	197,49	7,08	9,85	1,613	76	12788,2
36	Voie ferrée	1976	7	37,5	12,21	143,48	3,846	181,01	3,58	14,44	0,084	120	11952,6
45	Héliport	1976	7,3	40,15	12,43	150,87	3,923	193,01	6,67	10,25	0,016	65	12440
46	Carrère n°1	1976	7,1	38	12,18	149,13	4,436	191,01	6,88	8	0,016	69	12180
47	Carrère n°2	1976	7,1	37,5	12,76	153,48	4,333	195,49	6,88	7,2	0,084	73	12391
48	Carrère n°3	1976	7,1	39	12,44	151,3	4	192,51	7,29	8,51	0,185	70	12351
37		1976	6,6	5,9	1,76	23,83	0,359	26,2	4,08	1,3	0,016	75	1982,4
164	Scie de la Frégate	1869	n.d.	6,29	1,79	16,58	2,8	23,16	2,5	1	0	84	1725,27
165		1937	n.d.	5,86	1,66	21,3	0,42	25,9	3,9	1	0	n.d.	
166		1968	7,45	5,8	1,8	24	0,59	25	6,1	1,5	0	72	1984,68
169	Petite Anse -		6,2	20	7	130	4,6	120	17	28	0	168	10438,45
40	Diamant	1976	6,7	46,5	22,88	223,48	9,538	271,01	10,63	27,49	0,274	136	18681

## Analyses chimiques (majeurs) des eaux prélevées (recalculés en mg/l)

n°	Site	Date	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	TDS
1	Riv. Chaude	1976	7,1	41,5	12,6	74,9	13,6	35,1	84,1	238,0	1,0	101	601,5
2		1976	7,1	59,3	18,4	149,0	25,9	68,1	159,9	397,2	1,4	130	1008,7
3		1976	7,1	26,3	9,6	217,9	24,9	91,8	164,3	414,9	1,8	132	1083,5
167		1934	na	72,1	12,9	172,4	86,0	113,4	203,7	244,1	n.a.	n.a.	
168		1968	6,75	32,1	9,0	223,0	30,9	124,1	216,1	305,1	0,0	174	940,15
4	Sce bord de mer	1976	7,1	39,7	35,9	349,9	24,0	517,3	132,1	170,8	1,0	92	1363,4
171	Sce bord de mer	1976	6,75	32,1	34,0	298,9	26,2	496,3	52,8	140,3	0,0	126	1081,25
5	Puits chaud	1976	6,9	45,5	26,3	250,8	27,2	297,5	147,9	286,8	1,0	109	1192,7
42	Sce Riv. Picodo	1976	7,2	65,7	31,0	151,0	18,7	237,5	27,9	325,8	0,9	113	972,2
15		1976	7,2	210,4	90,4	114,9	12,6	14,5	n.a.	1400,3	3,3	129	1974,8
153		1869	n.a.	192,4	71,7	98,6	20,3	14,5	n.a.	1281,4	0,0	na	
154	Captage d'Absalon	1937	6,2	196,2	65,6	100,2	10,6	13,8	n.a.	1281,4	0,0	n.a.	
155		1956	n.a.	265,5	88,7	19,8	0,0	30,5	n.a.	1281,4	0,0	115	1854
156		1969	6,25	150,3	91,2	105,8	125,1	13,8	n.a.	1342,4	0,0	126	1830,93
43		1976	7,4	90,2	116,1	135,9	14,9	24,1	3,8	1159,3	3,4	124	1671,3
148		1869	n.a.	190,6	57,7	76,8	21,9	28,0	0,0	1047,1	0,0	n.a.	
149		1935	n.a.	177,4	90,9	131,0	21,9	27,7	0,0	1324,1	0,0	n.a.	
150	Sce Didier	1939	n.a.	140,3	49,4	66,7	7,8	14,2	0,0	835,9	0,0	132	1245,73
151		1961	n.a.	168,1	107,3	111,5	12,9	27,7	0,0	1379,0	0,0	102	1907,79
152		1968	6,15	166,3	117,9	135,6	3,9	23,4	4,8	1403,4	0,0	150	1854,68
33		1976	6,6	51,1	19,6	90,6	6,4	137,9	1,0	241,0	1,0	122	670,6
158		1869	n.a.	78,2	17,0	69,0	7,8	163,1	0,0	250,2	0,0	n.a.	
159	Fontaine Moutte	1939	n.a.	56,1	8,8	94,3	7,8	163,1	0,0	244,1	0,0	n.a.	
160		1955	n.a.	78,2	15,8	66,7	7,8	159,5	0,0	250,2	0,0	115	693,14
161		1968	6,05	54,1	13,4	94,3	8,2	145,4	6,2	262,4	0,0	138	583,94

n°	Site	Date	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	TDS
118	Sondage Rivière Monsieur MS3	1973	7,1	60,1	2,4	149,9	2,7	193,6	0,0	268,5	0,0	25	677,35
44	Scie des Pitons	1976	7,2	134,3	83,0	100,0	12,9	24,1	1,9	1037,3	3,8	109	1505,7
56	Forage Desgrottes-Fonds Marie-Reine	1977	6,7	53,3	29,2	37,7	3,9	9,9	1,0	408,8	0,0	100	643,7
225	Scie de la Médaille			120,2	31,0	64,4	0,0	9,6	0,0	671,2	0,0		
116	Sondage de la mairie de Fort de France		5,85	340,7	145,9	692,0	58,7	1258,2	0,0	1647,5	0,0	50	4193,49
163	Plaine du Lamentin	1968	6,15	841,7	176,3	3448,5	144,7	6736,1	393,9	915,3	0,0	72	12665,28
162	Plaine du Lamentin	1869	n.a.	871,1	145,9	3073,7	234,6	6289,4	288,2	738,3	0,0	n.a.	
34	Parking de l'aéroport	1976	7,1	851,7	154,0	3438,6	138,3	6736,1	280,0	848,1	11,5	62	12528,5
35	Bord de la Lézarde	1976	7	819,6	158,3	3548,5	134,4	7001,6	340,1	601,0	100,0	76	12788,2
36	Voie ferrée	1976	7	751,5	148,4	3298,6	150,4	6417,3	172,0	881,1	5,2	120	11952,6
45	Héliport	1976	7,3	804,6	151,1	3468,5	153,4	6842,8	320,4	625,4	1,0	65	12440
46	Carrère n°1	1976	7,1	761,5	148,1	3428,5	173,5	6771,9	330,5	488,1	1,0	69	12180
47	Carrère n°2	1976	7,1	751,5	155,1	3528,5	169,4	6930,7	330,5	439,3	5,2	73	12391
48	Carrère n°3	1976	7,1	781,6	151,2	3478,4	156,4	6825,1	350,1	519,3	11,5	70	12351
37		1976	6,6	118,2	21,4	547,8	14,0	928,9	196,0	79,3	1,0	75	1982,4
164		1869	n.a.	126,1	21,8	381,2	109,5	821,1	120,1	61,0	0,0	84	1725,27
165	Scie de la Frégate	1937	n.a.	117,4	20,2	489,7	16,4	918,2	187,3	61,0	0,0	n.a.	
166		1968	7,45	116,2	21,9	551,8	23,1	886,3	293,0	91,5	0,0	72	1984,68
169	Scie de Petite Anse-Diamant	1976		400,8	85,1	2988,7	179,9	4254,4	816,5	1708,5	0,0	168	10438,45
40		<t<1979	6,2	931,9	278,1	5137,8	373,0	9608,1	510,6	1677,4	17,0	136	18681

**ÉLÉMENTS EN TRACE DANS LES EAUX THERMALES DE MARTINIQUE (en µg/l)**  
 (d'après A. CAYOL, 1975)

Dates	Sources	B	Ti	Mn	Pb	Ga	W	Cr	Ge	Mo	Sn	V	Ag	Cu	Sr	Ba	Li	Rb	Ni	Co
Juin 1970	Absalon	234		156	1,6				-	-	-	<7,8;	7,8	7,8	>780	468	78	< 23		
	Frégate	83		166	2,5				<3			<-8,3	<8,3	8,3	>832	83,2	16,6	<25		
	Moutte	60		300	30							<3	3	3,	>301	301	6	<9		
	Tracée	3,9		0,4	0,4			0,13				3,9	0,13	<0,13	0,4	13	< 1,3	0,04	0,4	
Février 1971	Médaille	3,4		0,37	1,7			< 0,17			1,7	0,17	< 0,17	0,51	17	< 17	0,04	0,4		
	Montagne Pelée bord de mer)	>1000		300	<3		3			3	50	<3	<3	3	100	100	1000	30		
	Rivière Chaude ( ?)	>1000		5	<3		3			3	50	3	<3	3	300	<100	1000	30		
	Lamentin	>1000		5	<3		3			<3	<3	<3	<3	<3	>>1000	100	200	10		
Janvier 1971	Didier		10	300	<10			5			100	30		10	1000	300	100	10		
	Eau des Pitons			800	<10			10			300	150		10	>1000	300	100	20		
	Absalon			800	<10			10			200	150		10	>1000	300	100	20		
	Moutte			>1000	<10			10			200	30		10	800	300	10	10	30	
Octobre 1970	Frégate		80	<10			<3			<3	100	150	10	>1000	30	30	10	<3		
Janvier 1971	Lamentin (?)		1000	20			10			<3	300	100	150	500	30	30	20	10		
Août 1970	Diamant		300	<10	3		<3			<3	<3	80	3	>1000	<30	>1000	30	<3	<3	
Octobre 1970	Diamant		500	<10						<3	20	80	3	>1000	<-30	>1000	30			

## **Lopoukhine et Mouret (1977)**

## Résultats des analyses chimiques (majeurs) des eaux prélevées

N°	Site	T. °C	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	F mg/l	B mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	Ba mg/l	Sr mg/l	Li mg/m <sup>3</sup>	Rb mg/m <sup>3</sup>	Résidu sec mg/l
1	Sources chaudes de Rivière Chaude (Montagne Pelée)	36,0	7,1	41,4	12,6	74,9	13,6	238,0	35,0	84	≤1,0	0,32	0,4	≤0,1	101	≤1	≤0,1	650	≤100	473
2		51,0	7,1	59,2	18,3	149,0	25,8	397,0	68,0	160	1,4	0,35	1,1	-	130	-	-	1050	-	804
3		58,0	7,1	26,2	9,6	218,0	24,9	415,0	92,0	164	1,8	0,54	1,3	-	132	-	-	980	-	904
4	Source de bord de mer	41,0	7,1	39,6	35,8	350,0	24,0	171,0	518,0	132	≤1,0	0,72	2,0	0,2	92	-	0,2	270	-	1362
5	Puits chaud	45,5	6,9	45,4	26,2	251,0	27,1	287,0	298,0	148	-	≤0,72	2,5	≤0,1	109	-	≤0,1	520	-	1174
6	Source Morestin	24,0	6,9	12,8	4,3	12,7	2,6	70,0	10,5	4	-	0,10	≤0,1	0,2	63	-	-	≤10	-	151
7	Source du Mont Béni	23,0	6,9	10,0	2,7	11,2	1,2	52,0	11,5	≤1	-	-	-	≤0,1	34	-	-	-	-	108
8	Source Dadame	24,5	6,6	12,4	3,1	11,5	1,7	67,0	9,0	-	-	-	-	0,3	43	-	-	-	-	110
9	Sources de Deux Choux	22,5	4,8	2,4	1,0	4,6	0,3	9,1	6,4	-	-	-	-	≤0,1	10	-	-	-	-	<100
10		24,0	4,8	3,6	1,2	6,1	0,6	<1	9,0	16	-	-	-	0,2	9	-	-	-	-	-
11		22,5	4,8	7,6	1,3	6,4	1,6	6,1	11,0	22	-	-	-	0,2	13	-	-	-	-	-
12	Source n°1 de Plateau Boucher	22,5	6,5	3,2	1,7	6,1	0,2	12,2	12,5	≤1	-	-	-	0,2	14	-	-	-	-	-
13	Source du quartier La Vierge	23,5	6,5	19,0	6,3	17,7	4,4	113,0	13,5	6	1,2	0,16	-	≤0,1	72	-	-	-	-	139
14	Source Marie- Thérèse	23,0	6,8	9,8	3,1	11,3	2,1	52,0	14,0	≤1	1,9	≤0,10	-	-	48	-	-	-	-	113
15	Source d'Absalon	35,0	7,2	210,0	90,4	115,0	12,6	1400,0	14,5	-	3,3	-	-	0,2	129	-	1,0	80	-	1148
16	Source de la Médaille	22,0	7,0	11,4	3,5	10,6	1,3	61,0	11,0	-	≤1,0	-	-	≤0,1	44	-	≤0,1	≤10	-	119
17	Source n°1 de la Rivière Blanche	24,0	6,8	4,8	1,6	6,7	0,7	21,4	10,5	-	-	-	-	0,2	22	-	-	-	-	<100
18	Source n°2 de la Rivière Blanche	24,0	6,8	6,8	1,8	7,7	1,0	27,4	13,0	-	1,2	-	-	≤0,1	23	-	-	-	-	-
19	Source de l'Alma	21,0	6,6	9,6	3,2	7,7	0,7	49,0	10,5	-	≤1,0	-	-	-	31	-	-	-	-	-
20	Source n°2 de Plateau Boucher	23,5	6,6	7,6	1,2	9,2	1,9	18,3	8,6	17	-	-	-	-	49	-	-	-	-	113
21	Source Thébaut	23,5	6,2	4,0	1,6	7,6	0,2	21,4	9,4	≤1	1,3	-	-	≤0,1	20	-	-	-	-	<100
22	Source ferrugineuse de la Rivière Duclos	22,5	6,1	14,4	3,5	12,2	3,2	21,4	26,0	21	12,5	-	-	-	43	-	-	-	-	135
23	Source incrustante de la Rivière Duclos	23,0	7,1	82,2	44,2	45,0	9,6	558,1	20,0	12	2,2	-	-	0,6	67	-	0,3	40	-	544

N°	Site	T.	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F	B	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ba	Sr	Li	Rb	Résidu sec
24	Forage B1 S2 de la Rivière Blanche	29,0	7,0	27,0	9,8	19,2	5,3	143,3	26,0	≤1	14,5	0,13	-	0,4	69	-	≤0,1	≤10	-	245
25	Forage F2 de l'Habitation Ressource	29,0	7,0	26,2	11,2	69,0	5,8	95,0	124,0	17	≤1,0	≤0,10	-	2,6	51	-	-	-	-	398
26	Source du quartier Bernadette	23,0	5,3	3,0	1,2	5,2	0,8	18,3	8,2	≤1	-	-	-	0,3	15	-	-	-	-	<100
27	Source Richemond	24,0	6,3	28,8	11,1	25,4	2,1	104,0	49,0	7	27,0	0,13	-	0,2	75	-	-	-	-	377
28	Source de la rivière Foyal	24,0	6,6	6,6	2,1	9,3	2,0	37,0	11,5	≤1	2,5	≤0,10	-	≤0,1	29	-	-	-	-	117
29	Source ferrugineuse de la Rivière Foyal	23,5	6,5	13,6	2,8	10,7	1,2	55,0	14,5	-	2,0	-	-	-	26	-	-	-	-	126
30	Source du Morne Tranchette	23,0	6,6	17,8	6,9	11,6	1,4	101,0	11,0	-	≤1,0	-	-	0,2	42	-	-	-	-	166
31	Source n°1 de Champflöre	23,0	6,6	9,2	2,8	9,4	0,8	40,0	13,0	≤1	≤1,0	≤0,10	≤0,1	0,2	34	≤1	≤0,1	≤10	≤100	<100
32	Source de la Meynard	27,0	6,7	50,0	24,3	61,3	1,9	122,0	160,0	16	-	0,13	-	0,3	57	-	-	-	-	635
33	Source de Moutte	30,5	6,6	51,0	19,6	90,6	6,4	241,0	138,0	≤1	-	0,11	-	≤0,1	122	-	-	-	-	670
34	Source du parking de l'aéroport	38,0	7,1	850,0	154,0	3440,0	138,0	848,0	6745,0	280	11,5	0,56	37,5	0,2	62	-	20,0	1180	500	13195
35	Source du bord de la Lézarde	46,0	7,0	818,0	158,2	3550,0	134,0	601,0	7011,0	340	10,0	0,40	44,0	0,2	76	-	18,9	1230	490	14236
36	Source de la voie ferrée	52,0	7,0	750,0	148,4	3300,0	150,0	881,0	6426,0	172	5,2	0,12	44,0	0,2	120	-	16,8	850	540	12749
37	Source de la Frégate	32,5	6,6	118,0	21,4	548,0	14,0	79,0	930,0	196	≤1,0	0,22	0,5	0,2	75	-	0,3	20	≤100	2106
38	Trou Salé	25,4	7,2	424,0	314,0	950,0	7,9	329,0	2627,0	460	-	0,13	0,2	0,3	20	-	2,6	≤10	-	5787
39	Sondage S1 de La Mauny	25,0	7,4	9,0	1,6	366,0	3,8	256,0	391,0	43	-	0,78	0,4	≤0,1	39	-	≤0,1	-	-	1016
40	Source de Petite Anse du Diamant	32,0	6,7	930,0	278,0	5140,0	372,0	1677,0	9621,0	510	17,0	≤0,10	72,0	0,6	136	-	11,6	7500	800	19703
41	Source ferrugineuse de la rivière Picodo	24,5	7,4	18,8	5,8	20,2	3,4	88,0	23,0	4	1,6	0,19	≤0,1	0,2	81	-	≤0,1	30	≤100	235
42	Source "chaude" de la Rivière Picodo	35,5	7,2	65,6	31,0	151,0	18,6	326,0	238,0	28	≤1,0	0,12	2,2	0,3	113	-	0,2	240	-	860
43	Source de Didier	32,0	7,4	90,0	116,0	136,0	14,9	1159,0	24,0	4	3,4	≤0,10	0,4	0,3	124	-	0,2	100	-	1018
44	Source des Pitons	28,0	7,2	134,0	83,0	100,0	12,9	1037,0	24,0	2	3,8	-	0,4	0,3	109	-	0,4	60	-	898
45	Source de l'Héliport	34,5	7,3	803,0	151,0	3470,0	153,0	625,0	6852,0	320	≤1,0	0,29	35,0	0,4	65	-	19,5	1200	520	13543
46	Source n°1 de l'Habitation Carrère	49,0	7,1	760,0	148,0	3430,0	173,0	488,0	6781,0	330	-	0,19	35,0	1,4	69	-	19,1	1210	530	13222

N°	Site	T.	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F	B	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ba	Sr	Li	Rb	Résidu sec
47	Source n°2 de l'Habitation Carrère	50,0	7,1	750,0	155,0	3530,0	169,0	439,0	6940,0	330	5,2	0,13	37,0	0,6	73	-	18,2	1230	530	14021
48	Source n°3 de l'Habitation Carrère	50,5	7,1	780,0	151,2	3480,0	156,0	519,0	6834,0	350	11,5	0,21	35,0	0,4	70	-	19,8	1210	510	14475
49	Source n°1 de la Rivière du Lorrain	23,0	4,8	12,0	3,6	9,9	0,6	27,5	7,2	20	≤1,0	≤0,10	≤0,1	0,3	30	-	≤0,1	≤10	≤100	<100
50	Source n°2 de la Rivière du Lorrain	23,0	5,4	19,6	3,7	9,8	1,1	40,0	6,8	37	1,6	-	-	0,2	28	-	-	-	-	123
51	Source du Vieil Antoine	23,0	5,9	15,4	4,6	8,8	0,9	64,0	10,0	≤1	1,5	-	-	0,2	30	-	-	-	-	<100
52	Source de Ravine l'Abbé	26,0	7,0	61,0	19,1	49,3	2,0	326,0	26,0	37	2,4	-	-	0,2	88	-	0,2	-	-	446
53	Source de la Rivière Mitan	26,0	5,8	54,8	11,1	19,1	1,7	253,0	14,0	≤1	≤1,0	-	-	0,2	71	-	≤0,1	-	-	290
54	Source de la Plassonerie	26,0	7,1	26,2	11,9	33,5	0,3	149,0	35,0	2	3,5	-	-	0,3	44	-	-	-	-	194
55	Source de la Ravine Victorin	26,0	7,0	18,6	5,0	18,1	2,2	95,0	17,5	5	1,6	-	-	≤0,1	71	-	-	-	-	166
56	Forage de Fonds Marie-Reine	28,6	6,7	53,2	29,1	37,8	3,9	408,7	10,0	≤1	-	-	-	6,0	100	-	0,3	-	-	455

**Analyses isotopiques en Martinique (Lopoukhine et Mouret, 1977)**

Site	Date de prélèvement	δ <sup>2</sup> H		δ <sup>18</sup> O	
		‰ VS SMOW	‰ VS SMOW	‰ VS SMOW	‰ VS SMOW
Pelée - Rivière Chaude	04/08/76	-8,4 ± 0,5	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1
Pelée - Puits chaud – St Pierre	30/08/76	-8,0 ± 0,5	-2,5 ± 0,1	-2,5 ± 0,1	-2,5 ± 0,1
Pelée - Source de la Goyave (Morne Rouge)	30/08/76	-6,6 ± 0,5	-2,6 ± 0,1	-2,6 ± 0,1	-2,6 ± 0,1
Carbet - Source de Didier	27/09/76	-8,7 ± 0,5	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1
Carbet - Absalon	01/09/76	-7,7 ± 0,5	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1
Source de ravine l'Abbé (Morne Vert)	04/10/76	-8,3 ± 0,5	-2,4 ± 0,1	-2,4 ± 0,1	-2,4 ± 0,1
Carbet - Source de rivière du Lorrain	30/09/76	-4,3 ± 0,5	-2,3 ± 0,1	-2,3 ± 0,1	-2,3 ± 0,1
Carbet - Source Plassonerie	04/10/76	-9,4 ± 0,5	-2,5 ± 0,1	-2,5 ± 0,1	-2,5 ± 0,1
Carbet – Fontaine Moutte	17/09/76	-10,3 ± 0,5	-2,9 ± 0,1	-2,9 ± 0,1	-2,9 ± 0,1
Lamentin – Source de la Voie Ferrée	20/09/76	-7,5 ± 0,5	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1	-2,8 ± 0,1
Lamentin – Source de la Frégate	21/09/76	-9,0 ± 0,5	-2,6 ± 0,1	-2,6 ± 0,1	-2,6 ± 0,1
Lamentin – Source de l'Habitation Carrère	28/09/76	-7,4 ± 0,5	-1,8 ± 0,1	-1,8 ± 0,1	-1,8 ± 0,1

## **Cormy *et al.* (1970)**

## Résultats des analyses chimiques (majeurs) des eaux prélevées (en meq/l)

	T °C	Cond mS/cm.	pH	Eh mV	Ca meq/l	Mg meq/l	Na meq/l	K meq/l	HCO <sub>3</sub> meq/l	SO <sub>4</sub> meq/l	Cl meq/l	NH <sub>4</sub> meq/l	Fe meq/l	NO <sub>3</sub> meq/l	F mmol/l	B mmol/l	SiO <sub>2</sub> mmol/l
Rivière Blanche basse	37	1,9	6,75	75	1,6	2,8	13	0,67	2,3	1,1	14	0,011			0,047	0,35	2,1
Rivière Blanche haute	61	1	6,75	240	1,6	0,74	9,7	0,79	5	4,5	3,5				0,034	0,29	2,9
La Tracée	27	0,22	6,75	135	0,87	0,53	0,81	0,11	1,9	0,17	0,28				0,009	0,023	1,3
Deux Choux	22	0,073	4,05	335	0,12	0,09	0,24	0,016		0,16	0,2			0,24		0,008	0,27
Absalon	36	1,6	6,25		7,5	7,5	4,6	3,2	22	0,07	0,39					0,017	2,1
La Médaille	27	0,86	5,95		5,7	2,5	2,6	0,17	11	0,075	0,28					0,035	1,9
Moutte	29	0,8	6,05	200	2,7	1,1	4,1	0,21	4,3	0,13	4,1				0,01	0,025	2,3
Didier	33	1,8	6,15	150	8,3	9,7	6	0,1	23	0,1	0,66				0,003	0,06	2,5
Soufrière	42	19	6,15	0	42	14	150	3,7	15	8,2	190	0,077	0,26		0,022	3,4	1,4
Carrière	36	20	6,15	135	49	8,9	160	3,6	14	11	190	0,046			0,019	3,6	1,2
Héliport	41	18	6,15	100	40	16	150	4	14	12	190	0,092	0,12		0,02	3,4	1,2
Morne Cabrit	46	19	6,15	40	43	18	170	3,7	17	12	210		0,18		0,022	3,4	1,4
Forage LA 101	88				44	12	160	3,2			220					5	
Forage LA 101					46	22	140	3,2			220					4,5	
LA2	46	17	5,8		40	20	140	2,9	6,9	11	190	0,029			0,038	4,1	
LA5	26	0,35	6,6		1,3	0,86	1,9	0,056	2,1	0,53	1,6				0,0052	0,031	
LA10	52	16	5,8		39	16	130	3,3	13	6,3	190	0,086			0,0052	4,9	
LA12	61	16			41	15	140	2,9	9	7,1	200	0,0025			0,016	4	
Frégate	32	3	7,45	170	5,8	1,8	24	0,59	1,5	6,1	25	0,001			0,01	0,037	1,2
Diamant	34	14	6,2	75	20	7	130	4,6	28	17	120		0,13		0,007	3,4	2,8

### Résultats des analyses chimiques (majeurs) des eaux prélevées (en mg/l)

	T	Cond.	pH	Eh	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NH <sub>4</sub>	Fe	NO <sub>3</sub>	F	B	SiO <sub>2</sub>
	°C	mS/cm		mV	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Rivière Blanche basse	37	1,9	6,75	75	32,1	34,0	298,9	26,2	140,3	52,8	496,3	0,2			0,9	3,8	126,2
Rivière Blanche haute	61	1	6,75	240	32,1	9,0	223,0	30,9	305,1	216,1	124,1				0,6	3,1	174,2
La Tracée	27	0,22	6,75	135	17,4	6,4	18,6	4,3	115,9	8,2	9,9				0,2	0,2	78,1
Deux Choux	22	0,073	4,05	335	2,4	1,1	5,5	0,6	0,0	7,7	7,1			14,9		0,1	16,2
Absalon	36	1,6	6,25		150,3	91,2	105,8	125,1	1342,4	3,4	13,8					0,2	126,2
La Médaille	27	0,86	5,95		114,2	30,4	59,8	6,6	671,2	3,6	9,9					0,4	114,2
Moutte	29	0,8	6,05	200	54,1	13,4	94,3	8,2	262,4	6,2	145,4				0,2	0,3	138,2
Didier	33	1,8	6,15	150	166,3	117,9	137,9	3,9	1403,4	4,8	23,4				0,1	0,6	150,2
Soufrière	42	19	6,15	0	841,7	170,2	3448,5	144,7	915,3	393,9	6736,1	1,4	7,3		0,4	36,8	84,1
Carrière	36	20	6,15	135	982,0	108,2	3678,4	140,8	854,2	528,3	6736,1	0,8			0,4	38,9	72,1
Héliport	41	18	6,15	100	801,6	194,5	3448,5	156,4	854,2	576,4	6736,1	1,7	3,4		0,4	36,8	72,1
Morne Cabrit	46	19	6,15	40	861,7	218,8	3908,3	144,7	1037,3	576,4	7445,1		5,0		0,4	36,8	84,1
Forage LA 101	88				881,8	145,9	3678,4	125,1			7799,7					54,1	0,0
Forage LA 101					920	267,3	3220	125,1			7810					48,6	
LA2	46	17	5,8		800	243	3220	113,4	420,9	528	6745				0,72	44,28	
LA5	26	0,35	6,6		26	10,4	43,7	2,3	128,1	25,4	56,8				0,1	0,33	
LA10	52	16	5,8		780	194,4	2990	129	793	302,4	6745	1,5			0,1	52,92	
LA12	61	16	7,9		820	182,2	3220	113,4	549	340,8	7100	0,045			0,3	43,2	
Frégate	32	3	7,45	170	116,2	21,9	551,8	23,1	91,5	293,0	886,3	0,0			0,2	0,4	72,1
Diamant	34	14	6,2	75	400,8	85,1	2988,7	179,9	1708,5	816,5	4254,4		3,6		0,1	36,8	168,2



## **Annexe 8**

# **Diagrammes complémentaires**



## **Montagne Pelée**

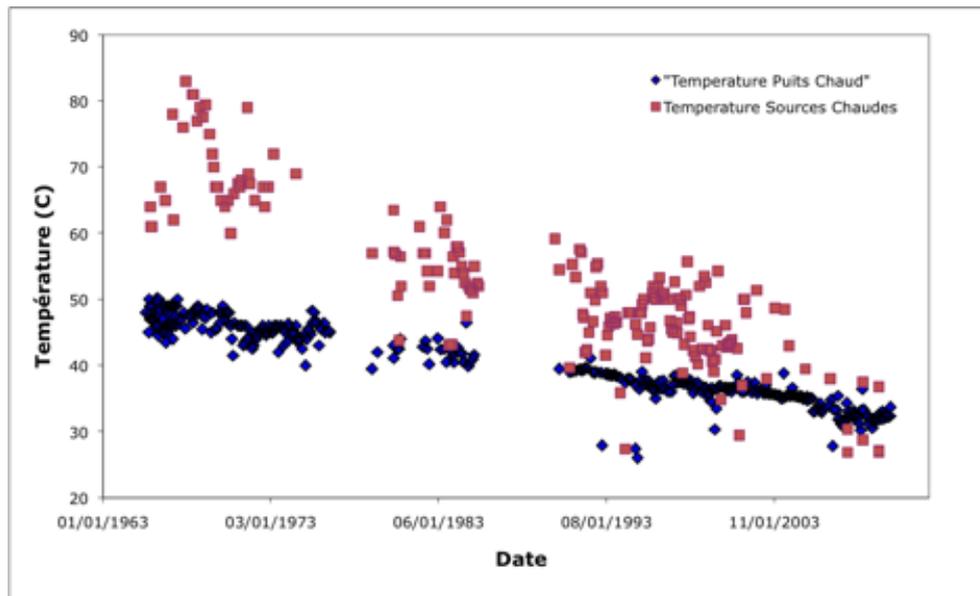


Figure 25 : Evolution dans le temps de la température des sources chaudes (Rivière Chaude en rouge) et du Puits Chaud (bord de mer, en bleu) (données de l'OPGMP).

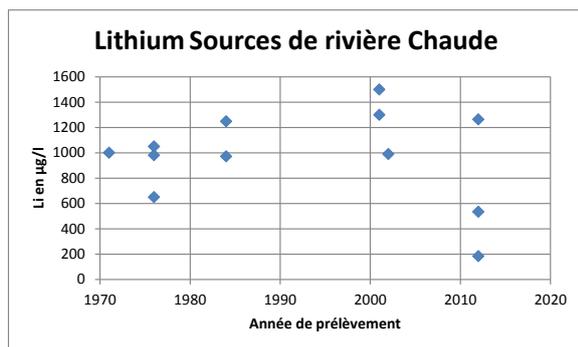


Figure 26 : Évolution dans le temps des teneurs en lithium des sources de la rivière Chaude.

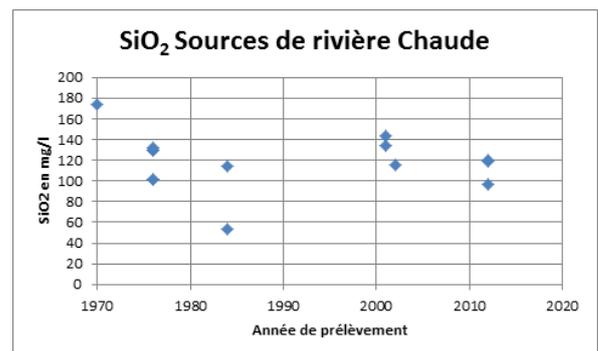


Figure 27 : Évolution dans le temps des teneurs en silice des sources de la rivière Chaude.

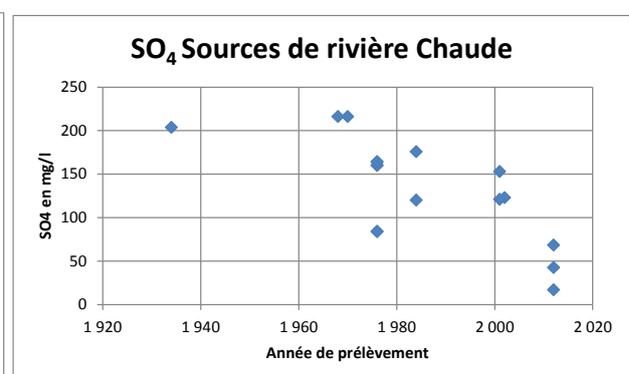
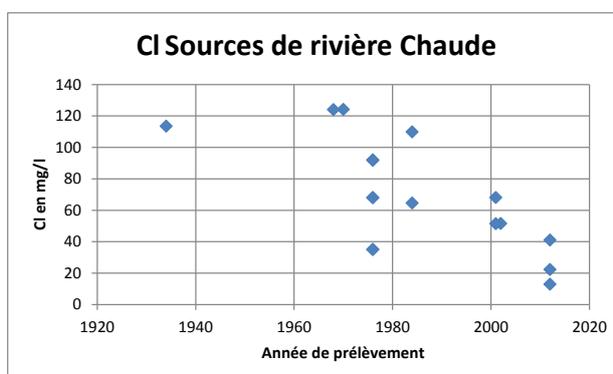


Figure 28 : Évolution dans le temps des teneurs en chlorures et sulfates des sources de la rivière Chaude.

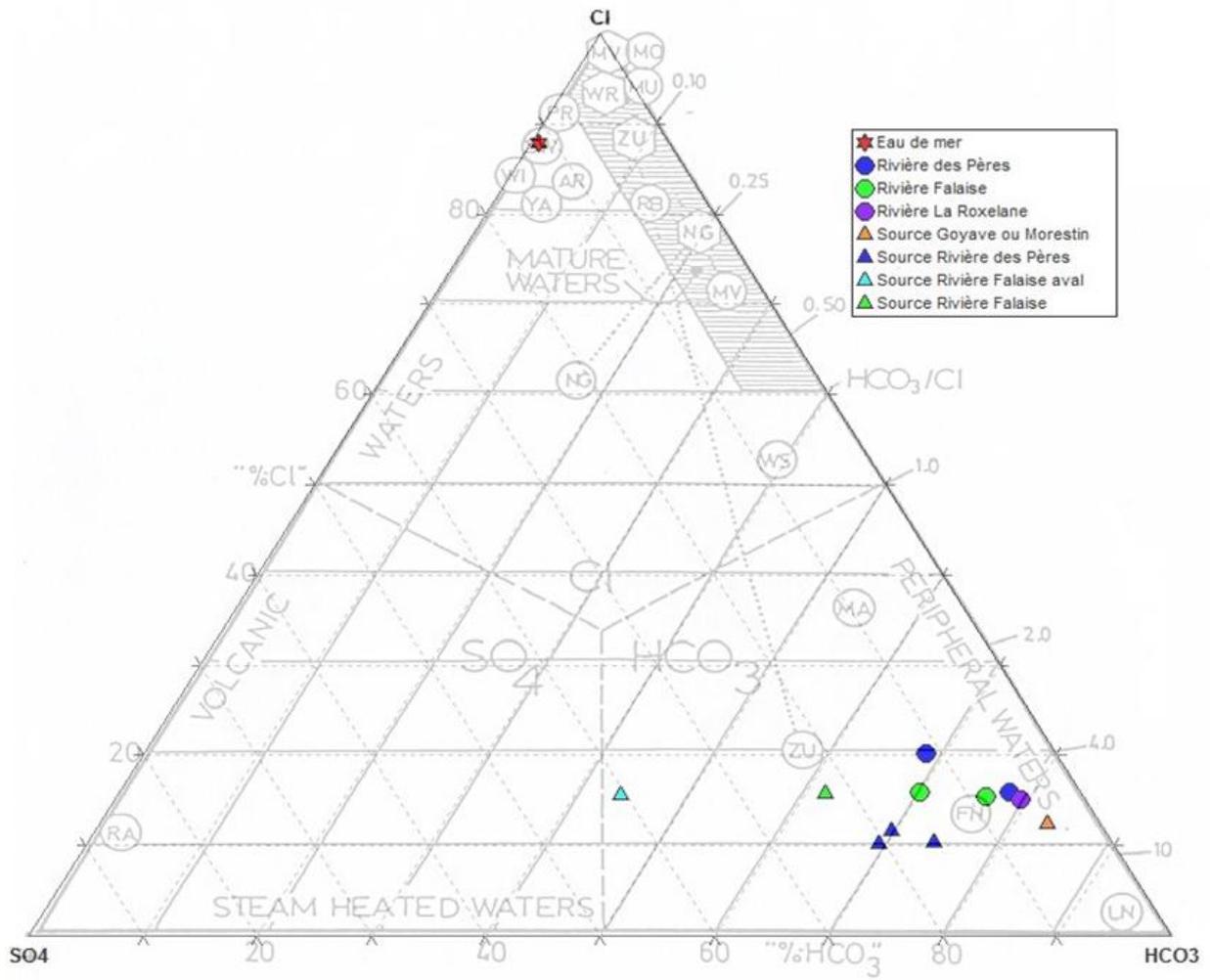


Figure 29 : Répartition dans un diagramme de Giggenbach (anions majeurs) des eaux des bassins des rivières Falaise, des Pères et Roxelane (Montagne Pelée).

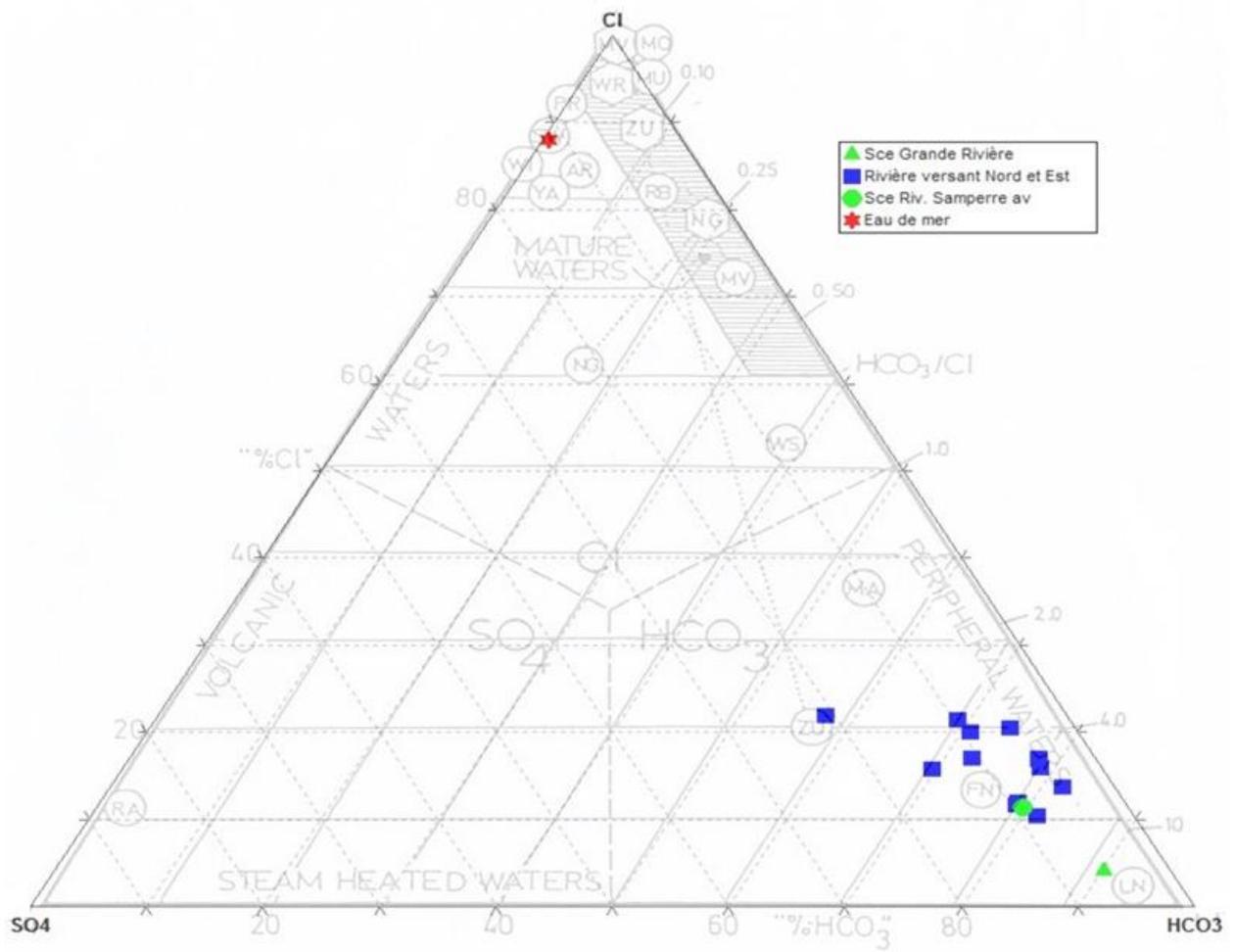


Figure 30 : Répartition dans un diagramme de Gignenbach (anions majeurs) des eaux des bassins des rivières des versants Nord et Est de la Montagne Pelée.

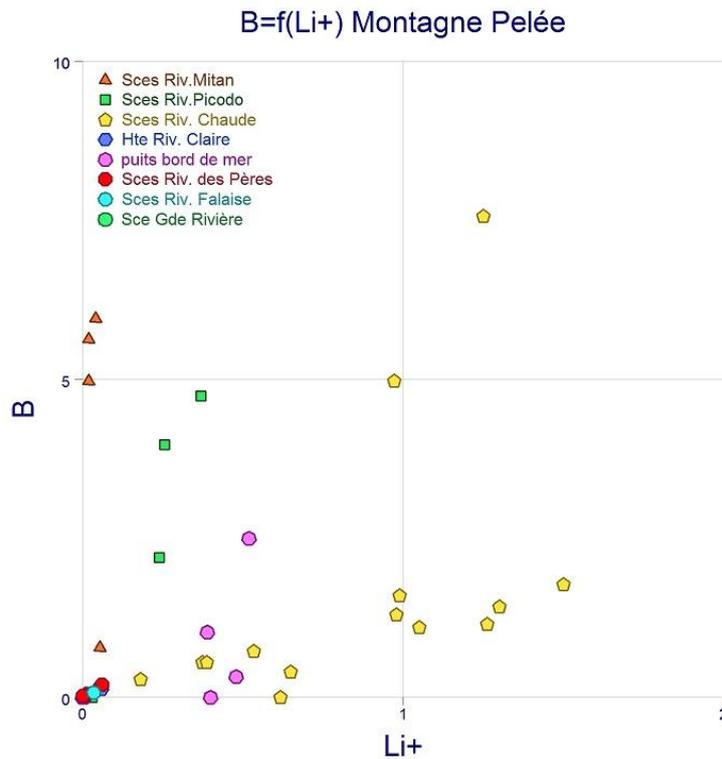


Figure 31 : Répartition dans un diagramme B / Li des eaux du Massif de la Montagne Pelée.

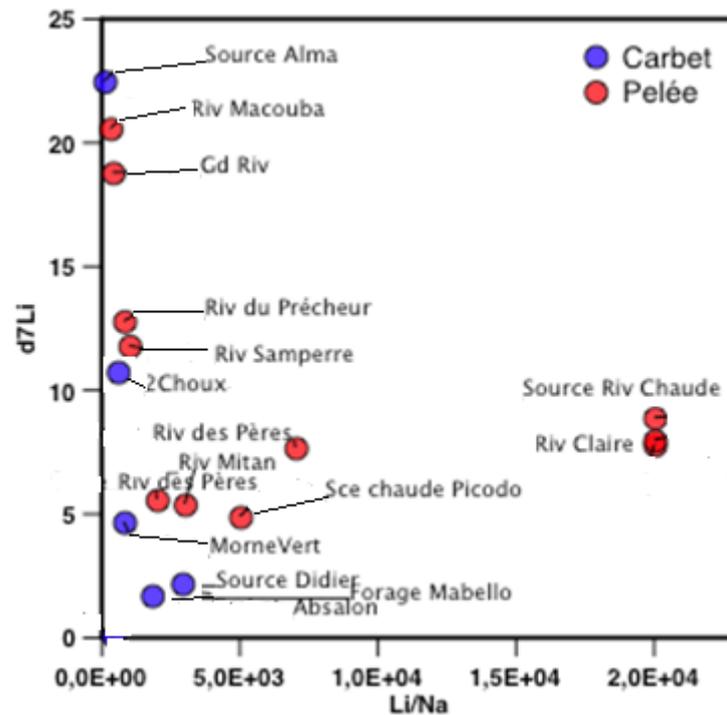


Figure 32 : Répartition dans un diagramme  $\delta^7\text{Li} / \text{Li}/\text{Na}$  des eaux du Massif de la Montagne Pelée et des Pitons du Carbet.



## **Anses d'Arlet**

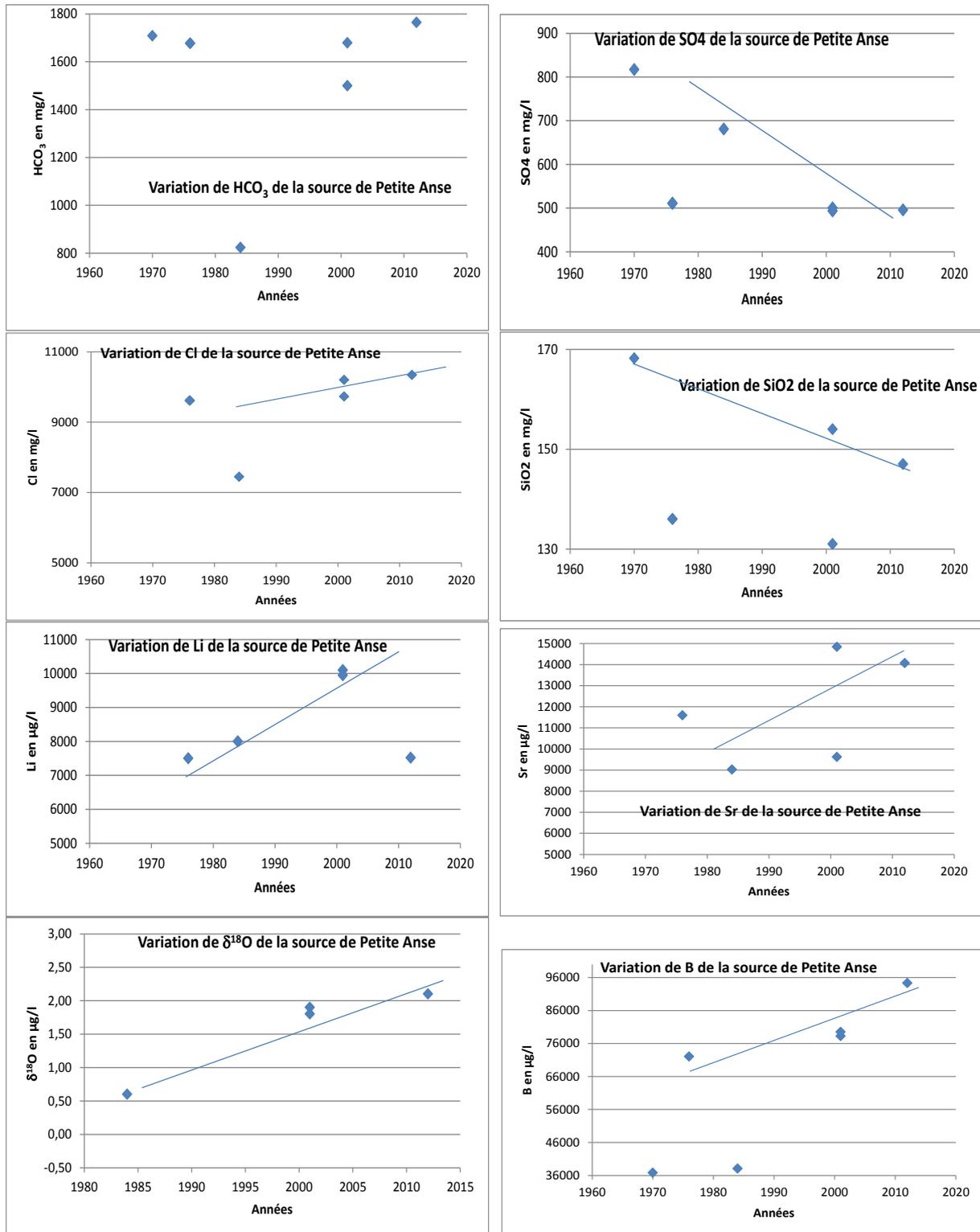


Figure 33 : Variation dans le temps de la composition de l'eau de la source des Eaux Ferrées.

Diagramme de Piper - Petite Anse

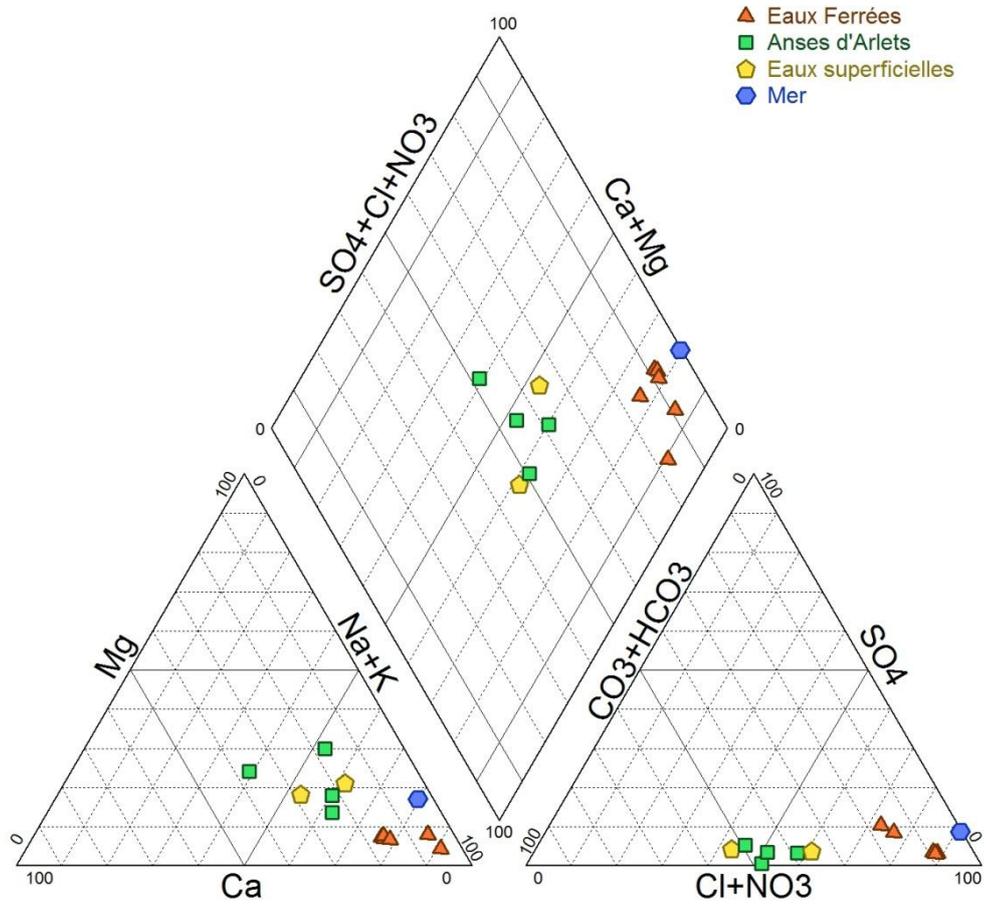


Figure 34 : Répartition dans un diagramme de Piper des eaux de la zone des Anses d'Arlet.



## **Pitons du Carbet**



Figure 35 : Eaux de la zone des Pitons du Carbet marquées par des concentrations élevées en sulfates.

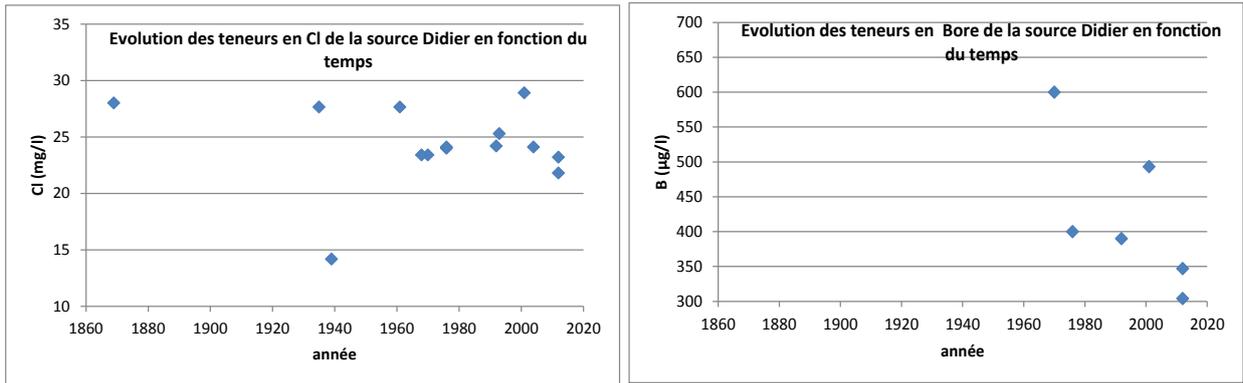


Figure 36 : Évolution dans le temps des teneurs en Chlorures et Bore de la source Didier.

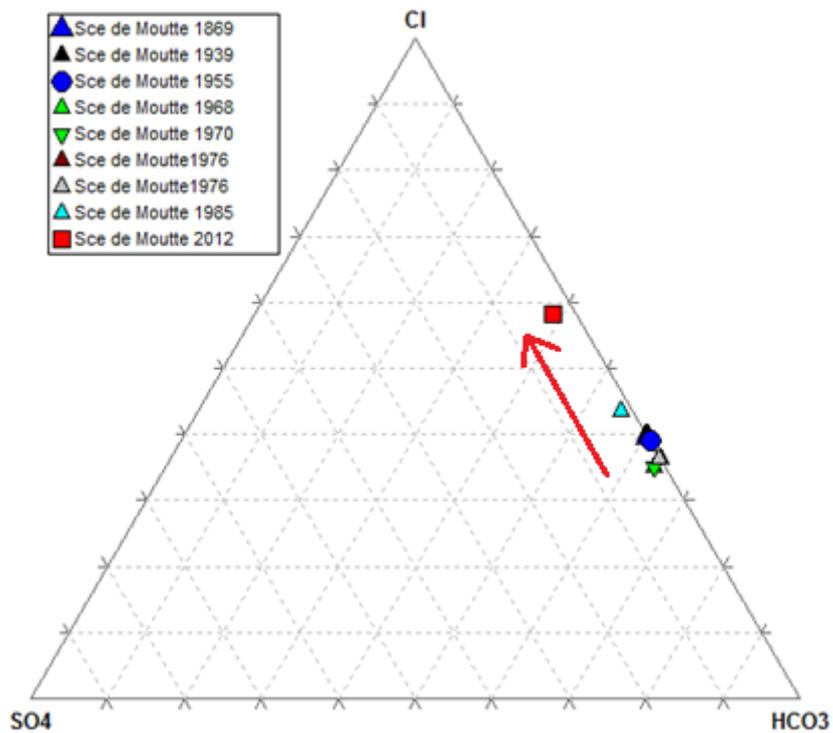


Figure 37 : Évolution dans le temps de la composition anionique de la source Moutte.

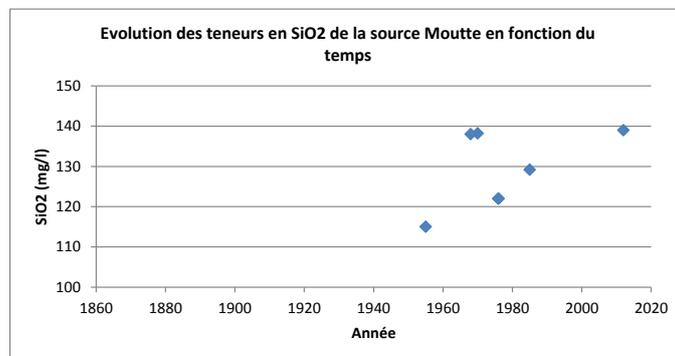


Figure 38 : Évolution dans le temps de la teneur en silice de la source Moutte.

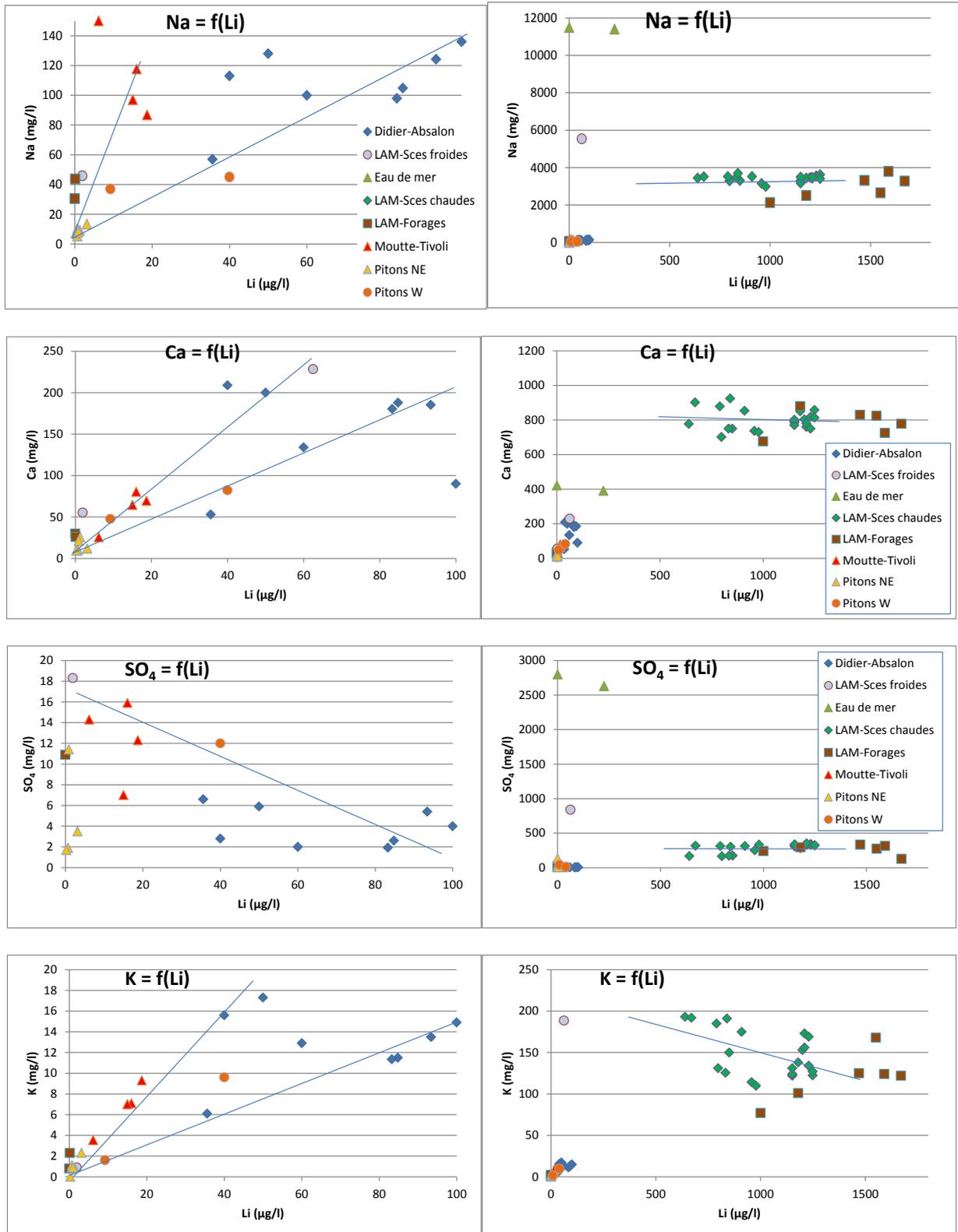


Figure 39 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction du lithium (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

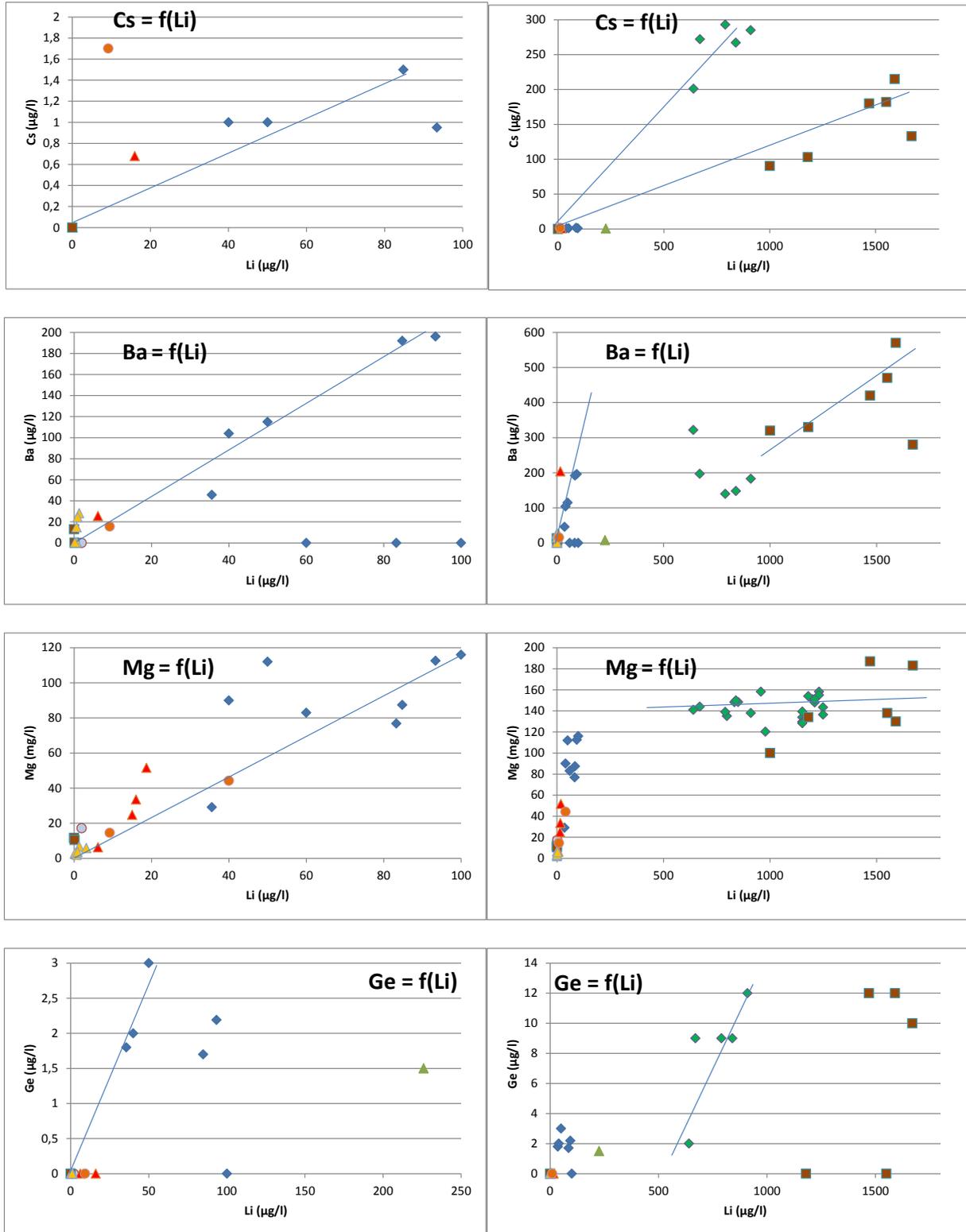


Figure 39 (suite) : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction du lithium (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin) – suite.

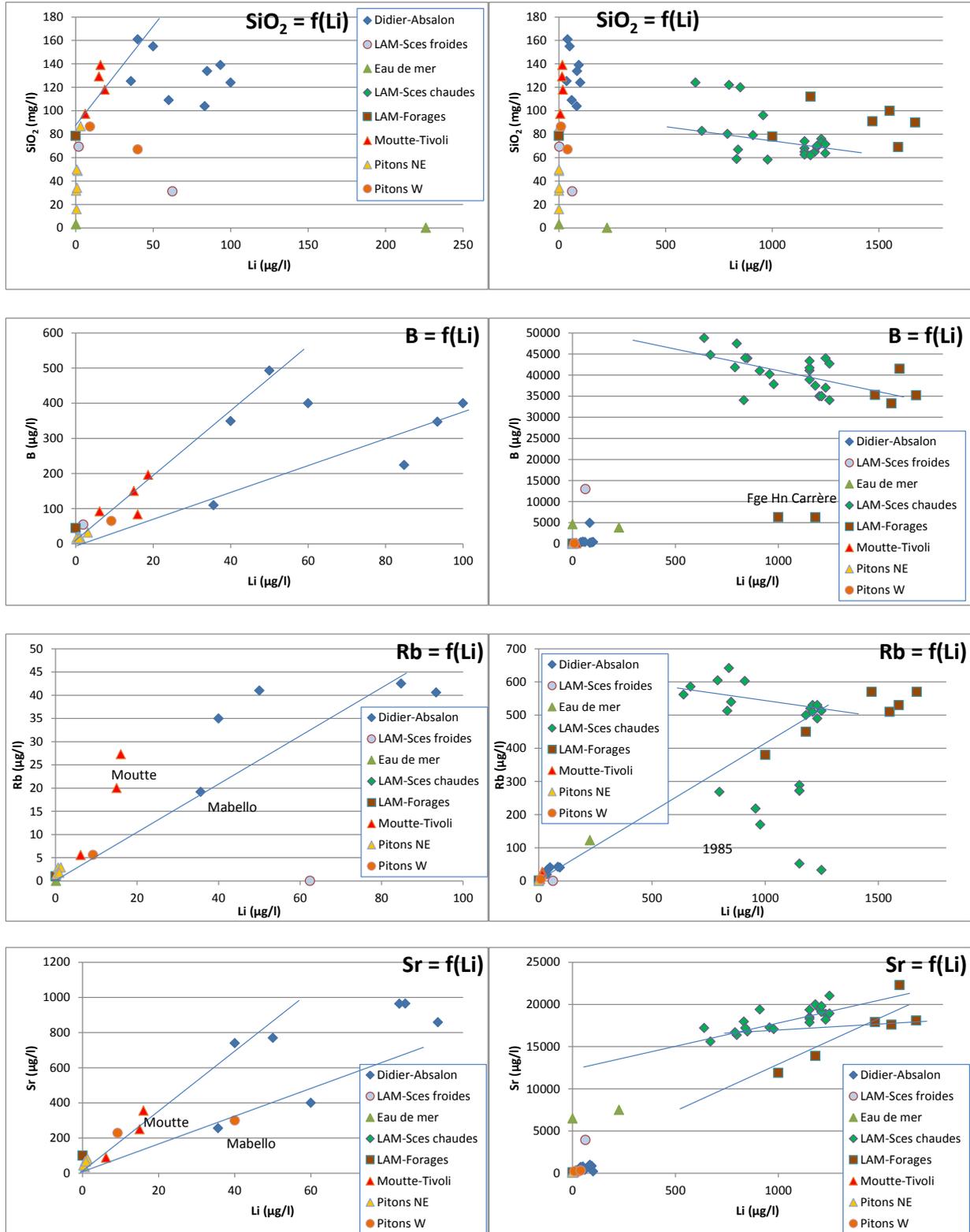
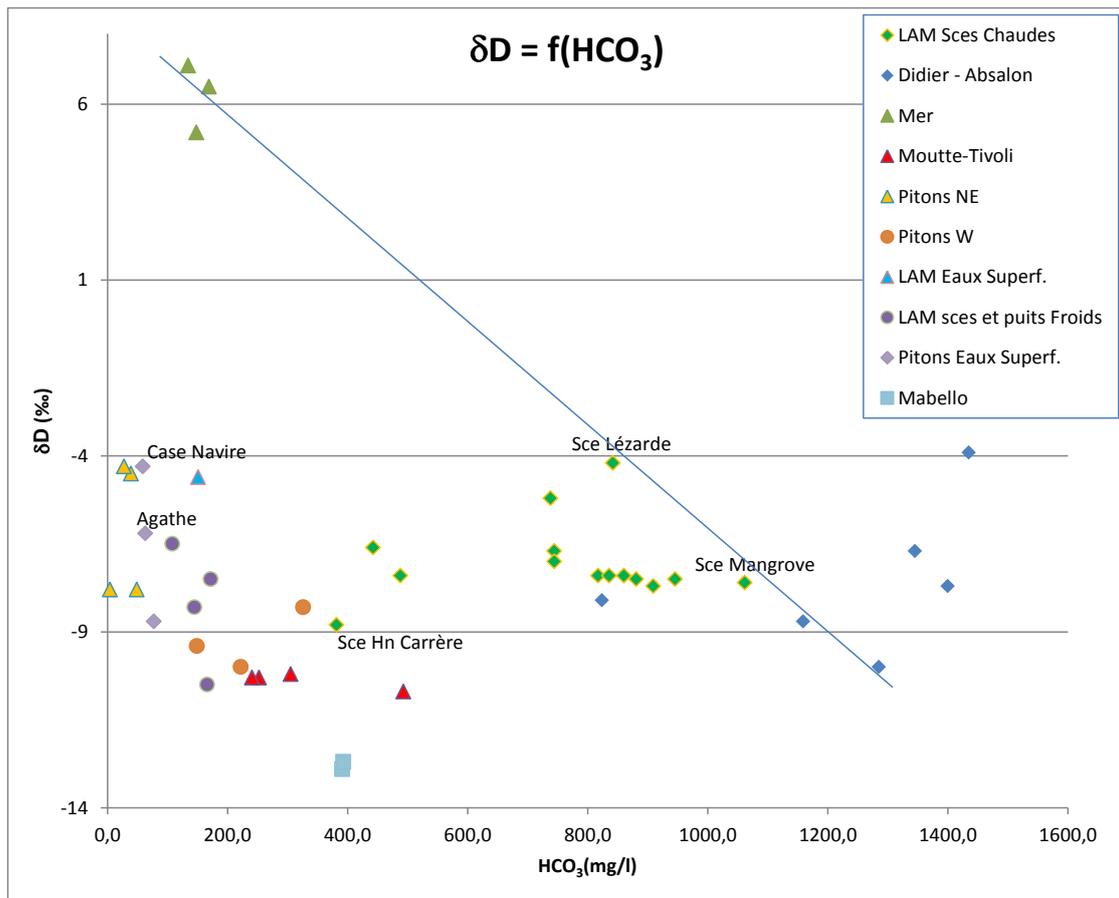
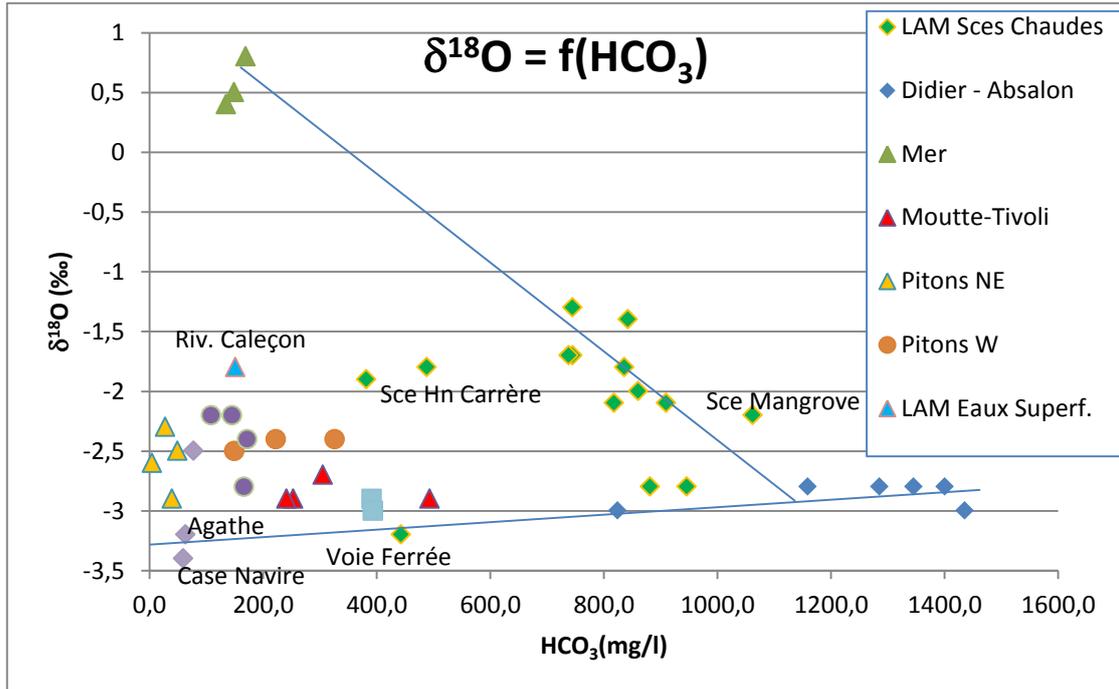


Figure 39 (suite et fin): Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction du lithium (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).



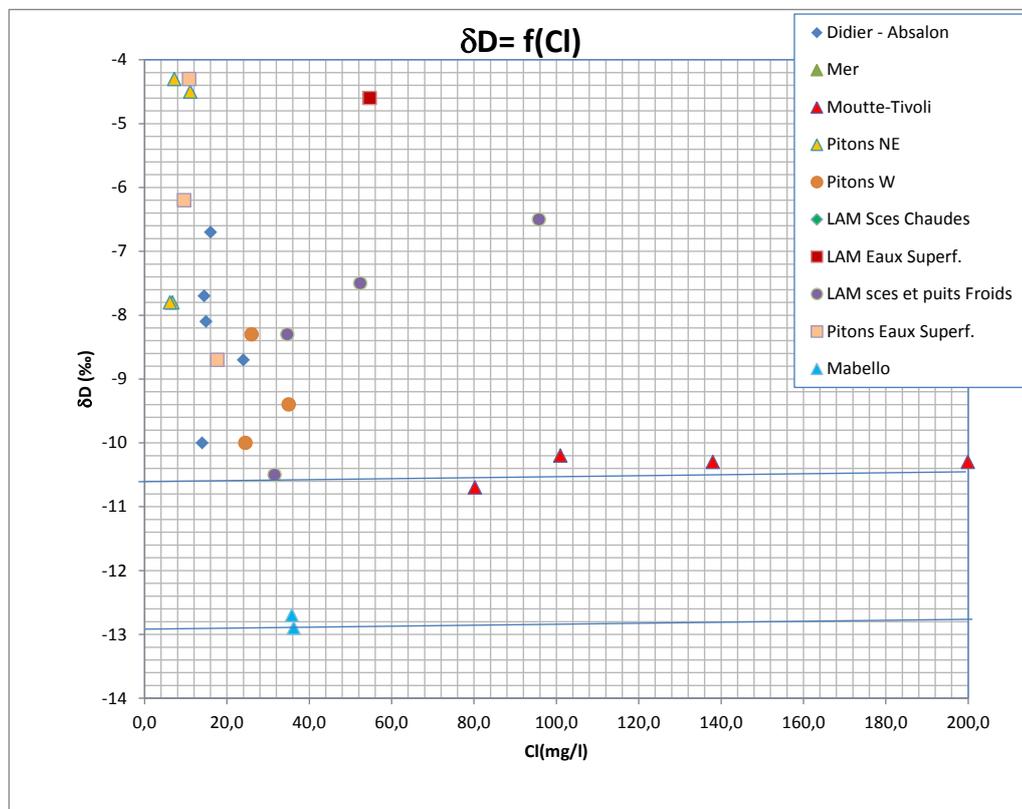
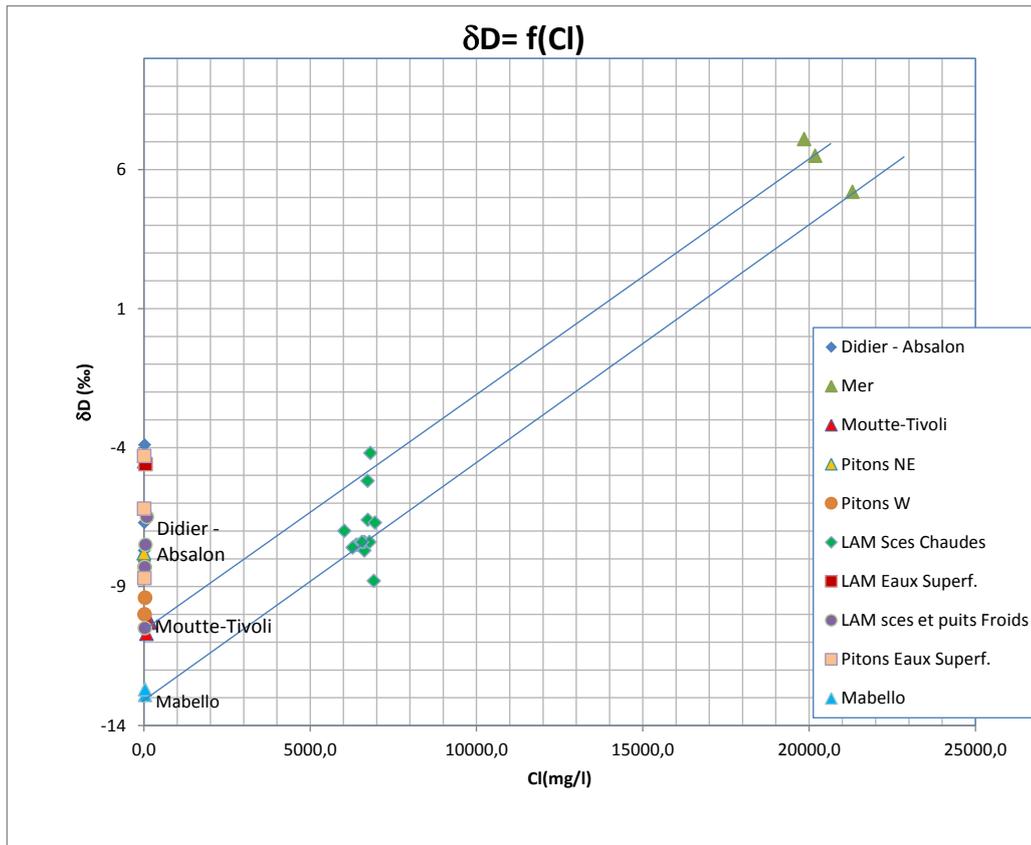


Figure 40 : Isotopes stables de l'eau en fonction des bicarbonates et des chlorures (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

## Lamentin

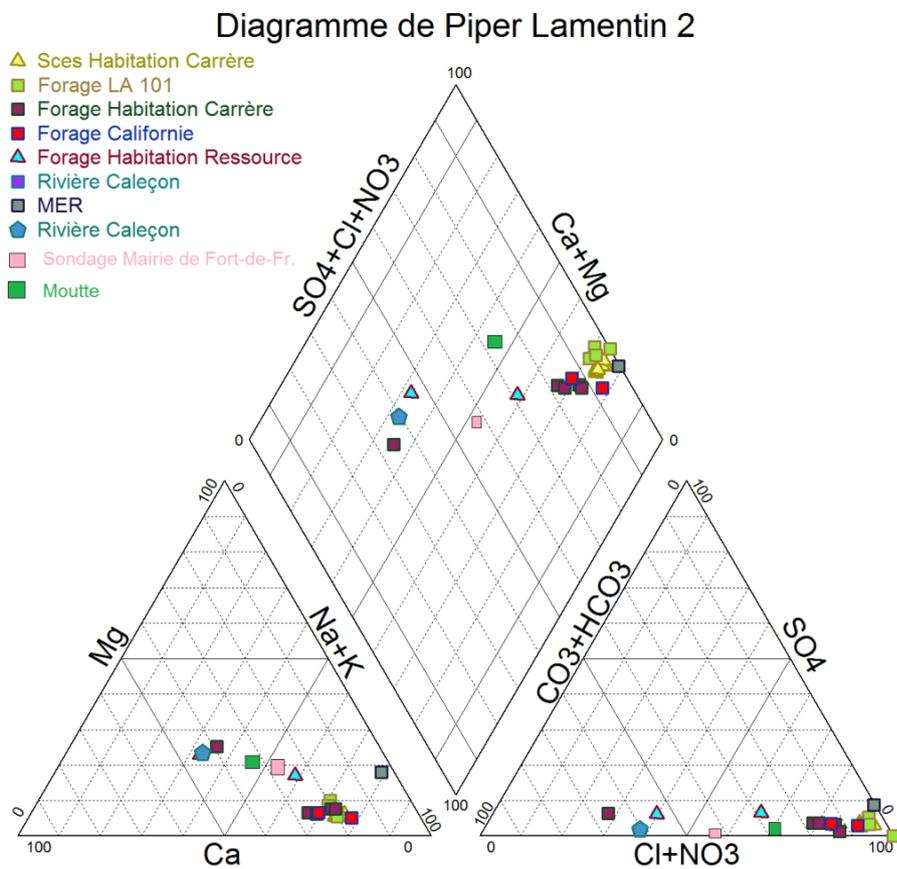
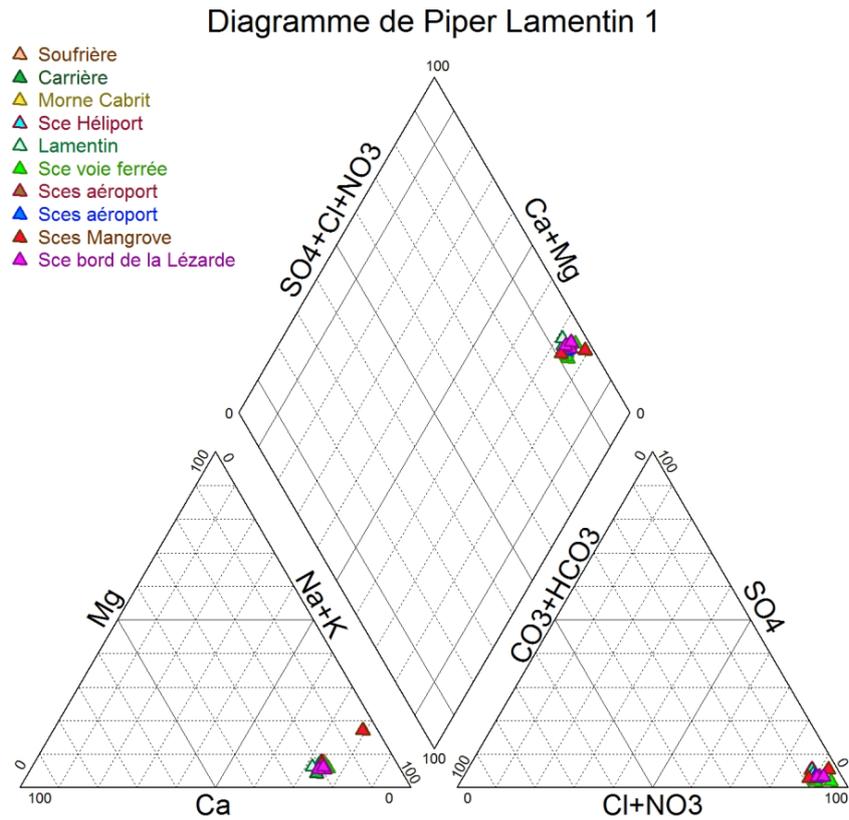


Figure 41 : Diagrammes de Piper pour les eaux du Lamentin.

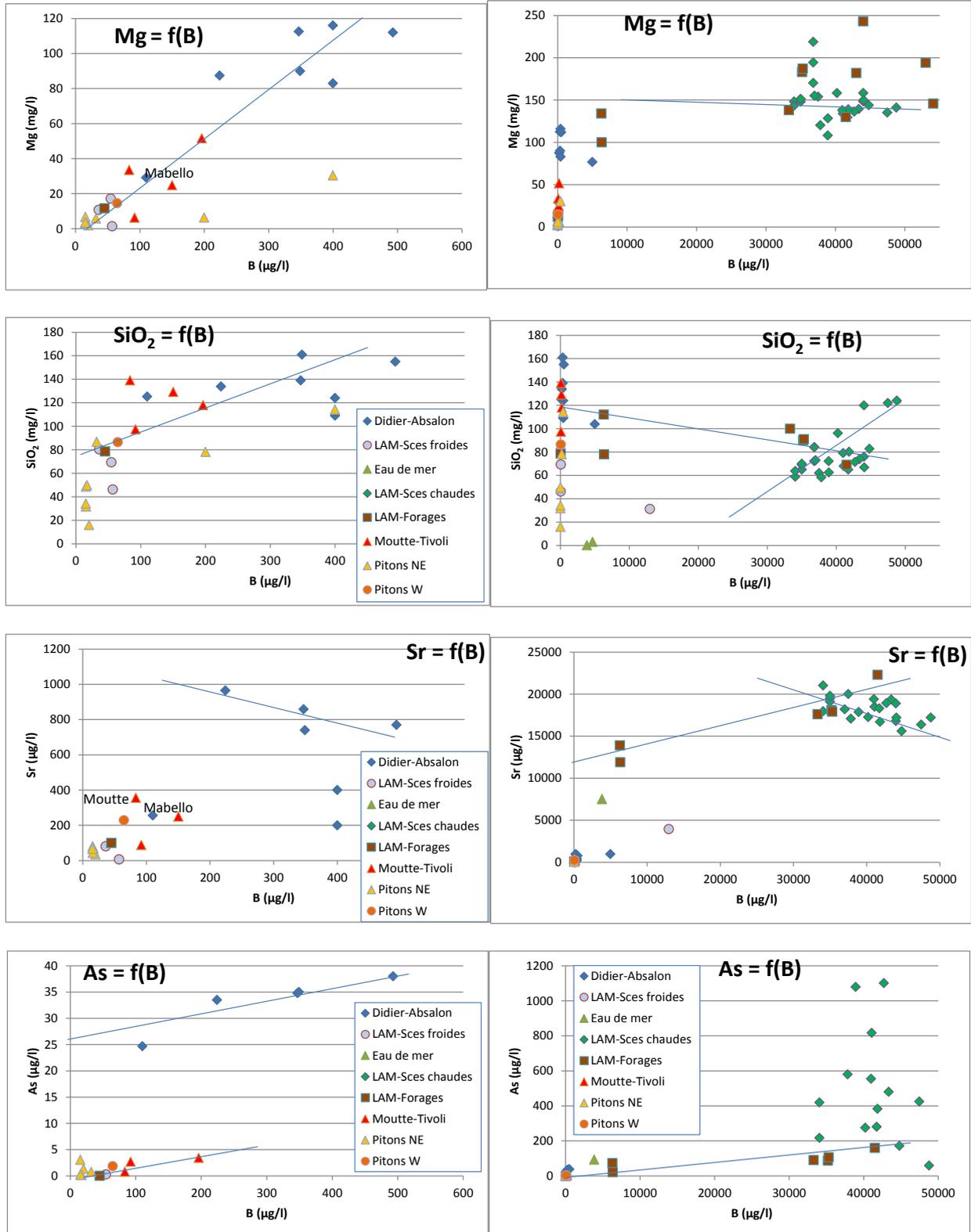


Figure 42 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction du bore (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

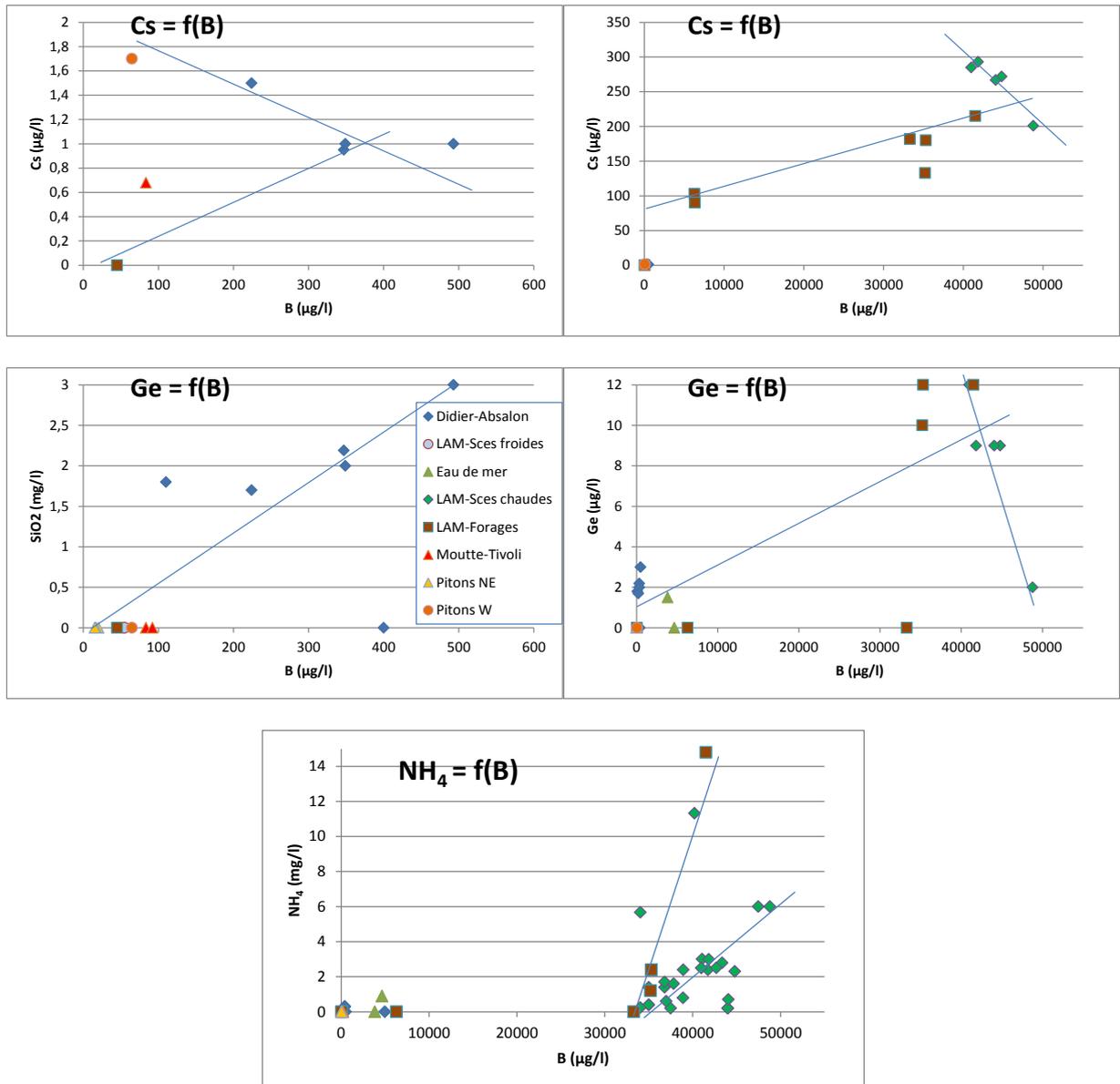


Figure 42 (suite et fin): Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction du bore (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

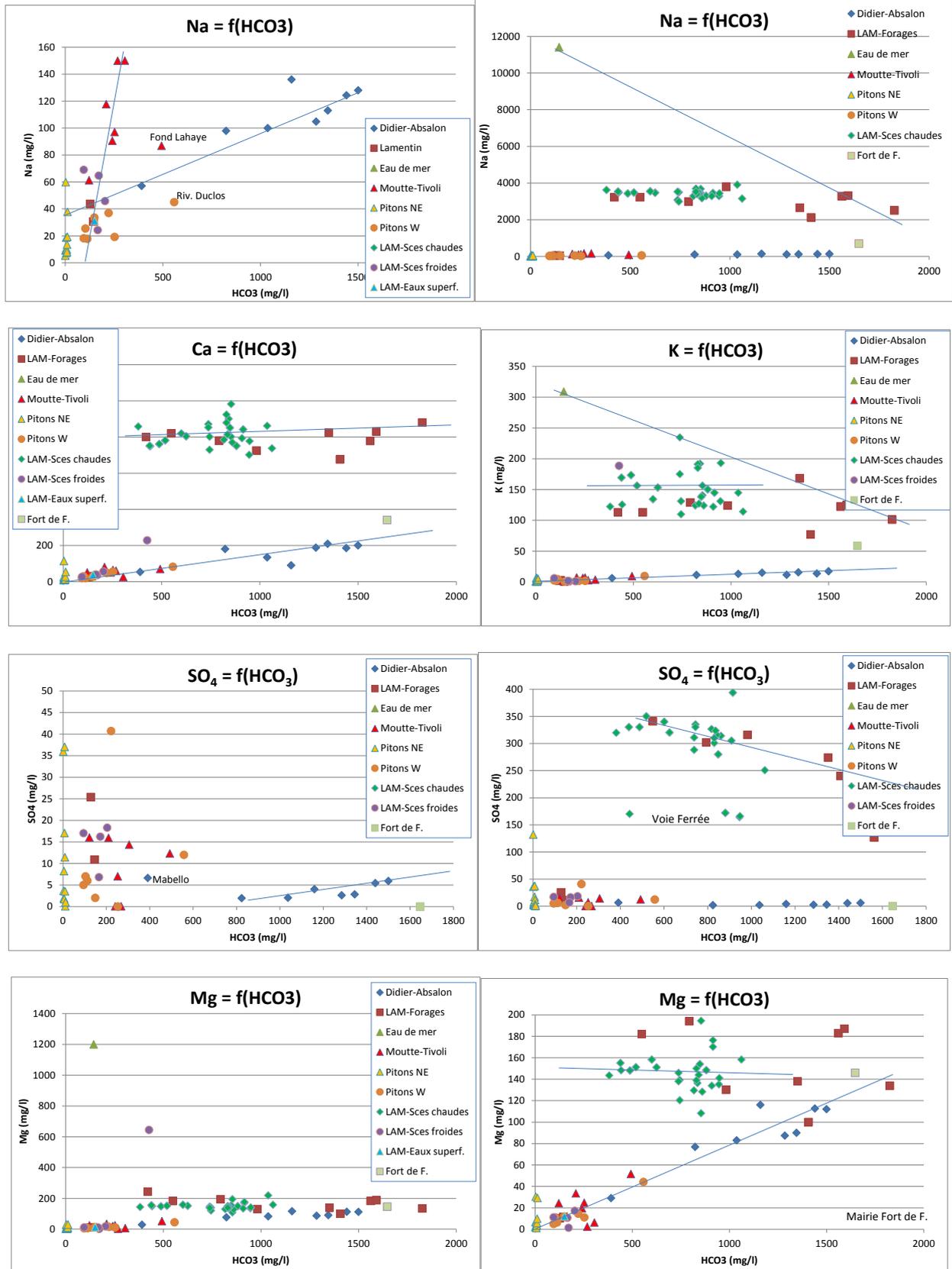


Figure 43 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion bicarbonate (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

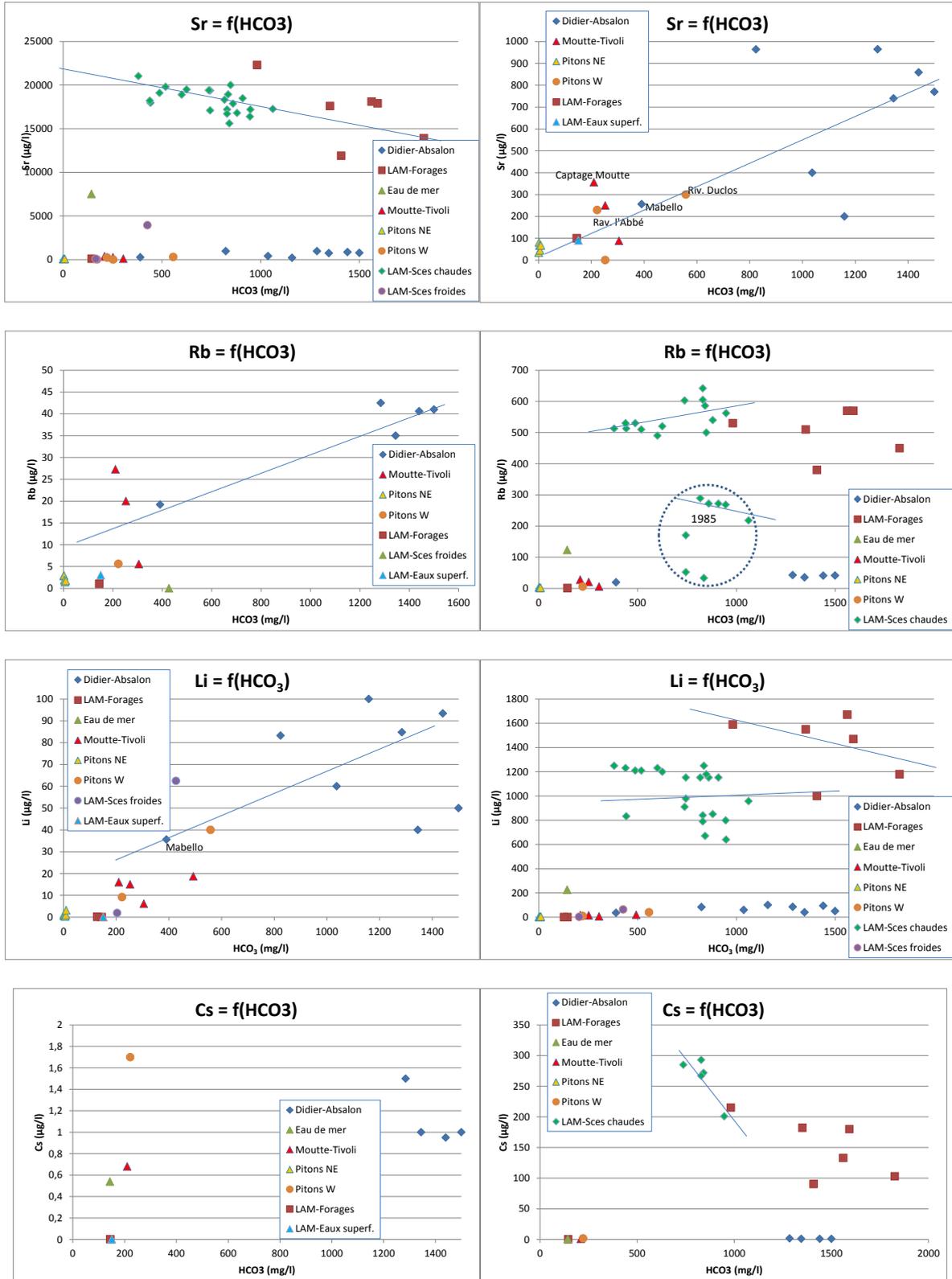


Figure 43 (Suite) : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion bicarbonate (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

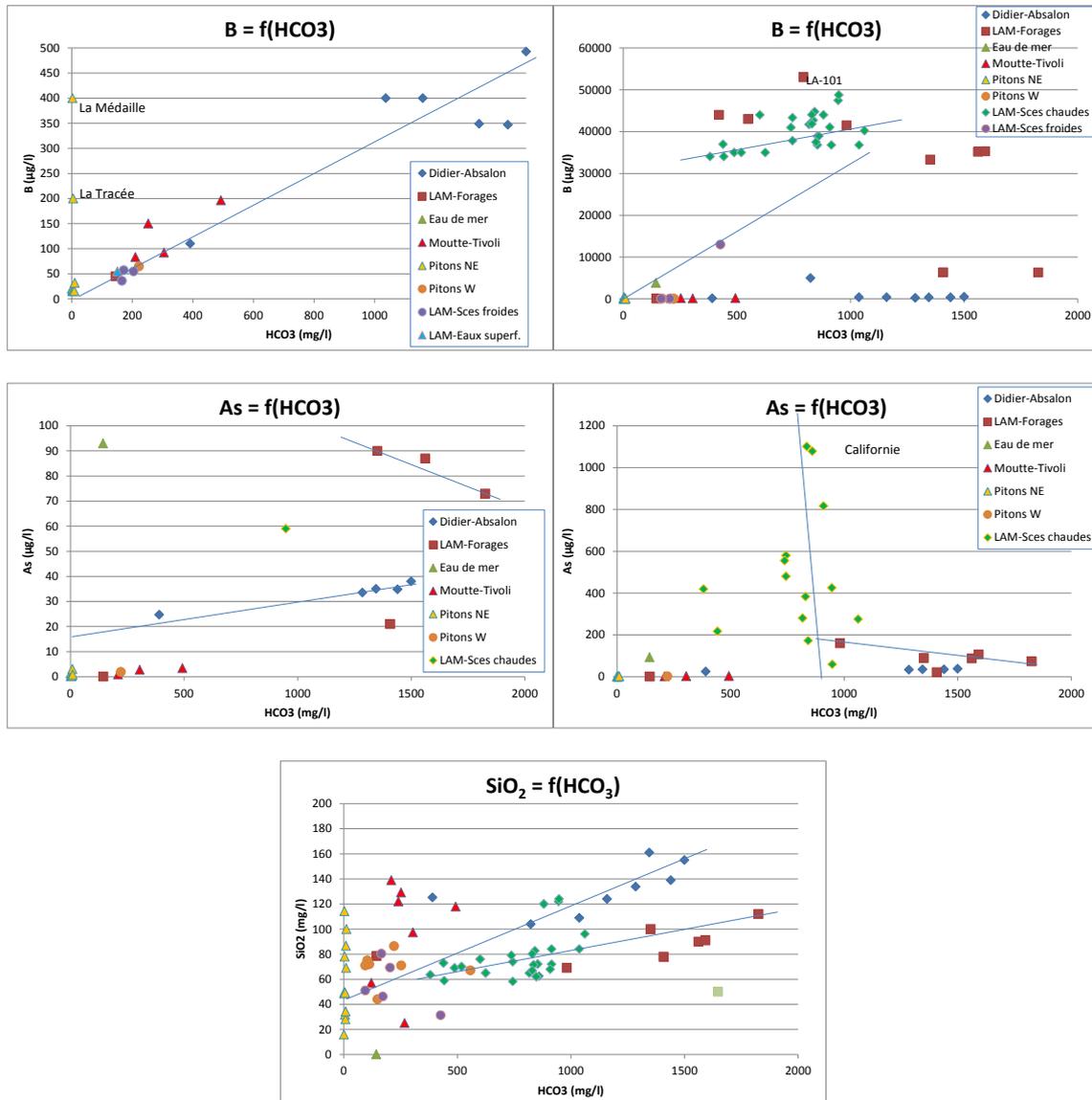


Figure 43 (Suite) : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion bicarbonate (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

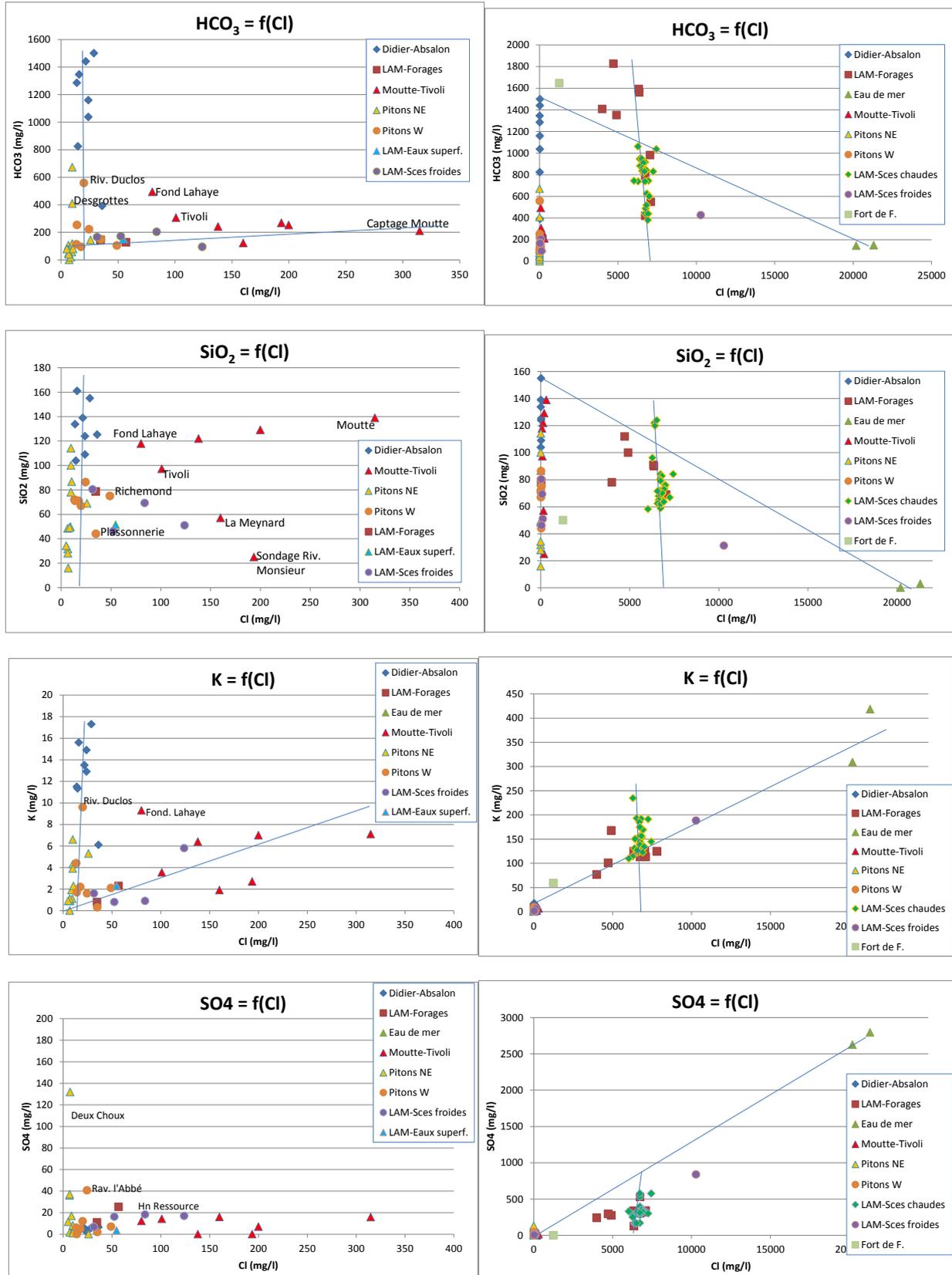


Figure 44 : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion chlorure (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

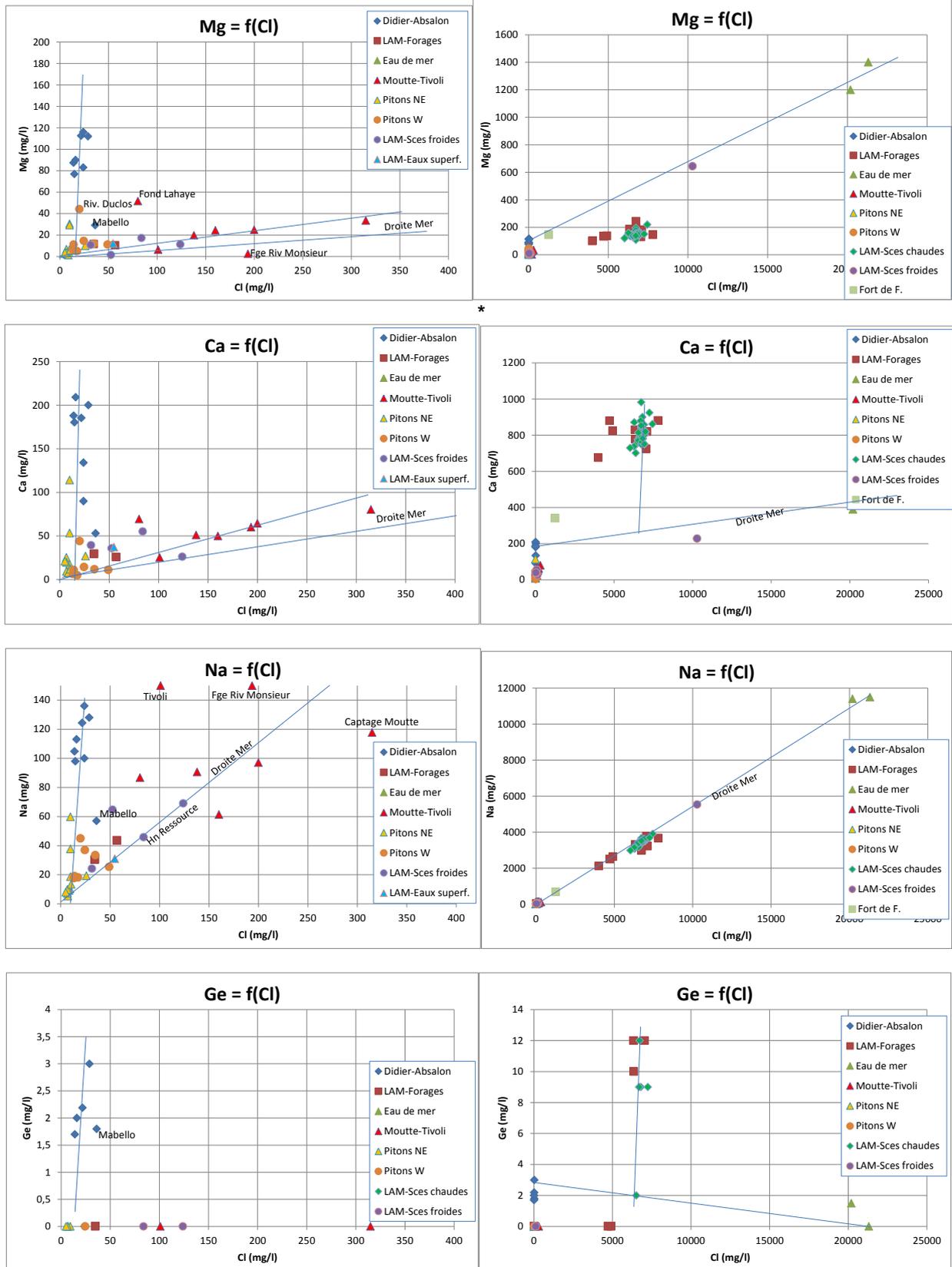


Figure 44 (Suite) : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion chlorure (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

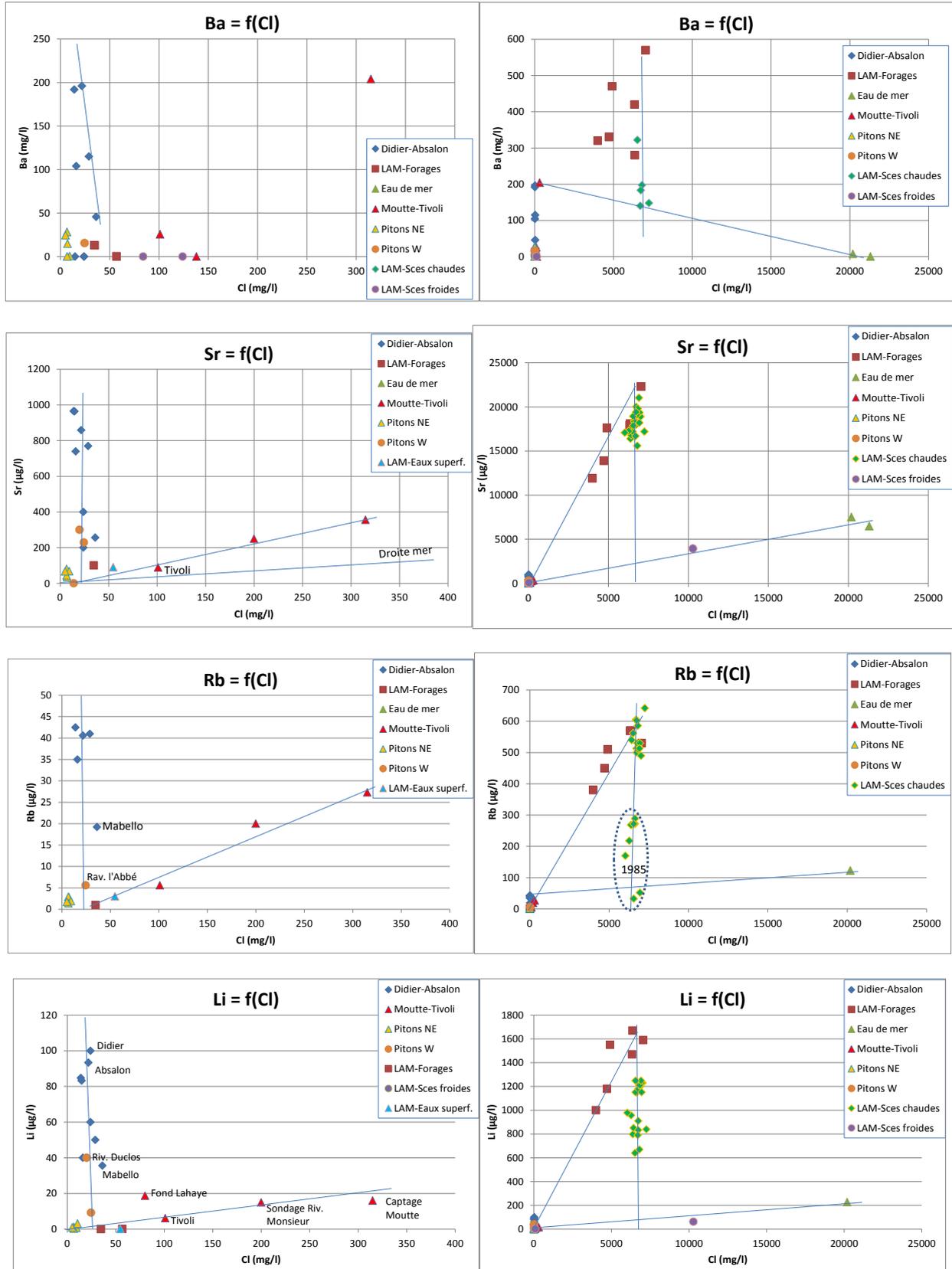


Figure 44 (Suite) : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion chlorure (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).

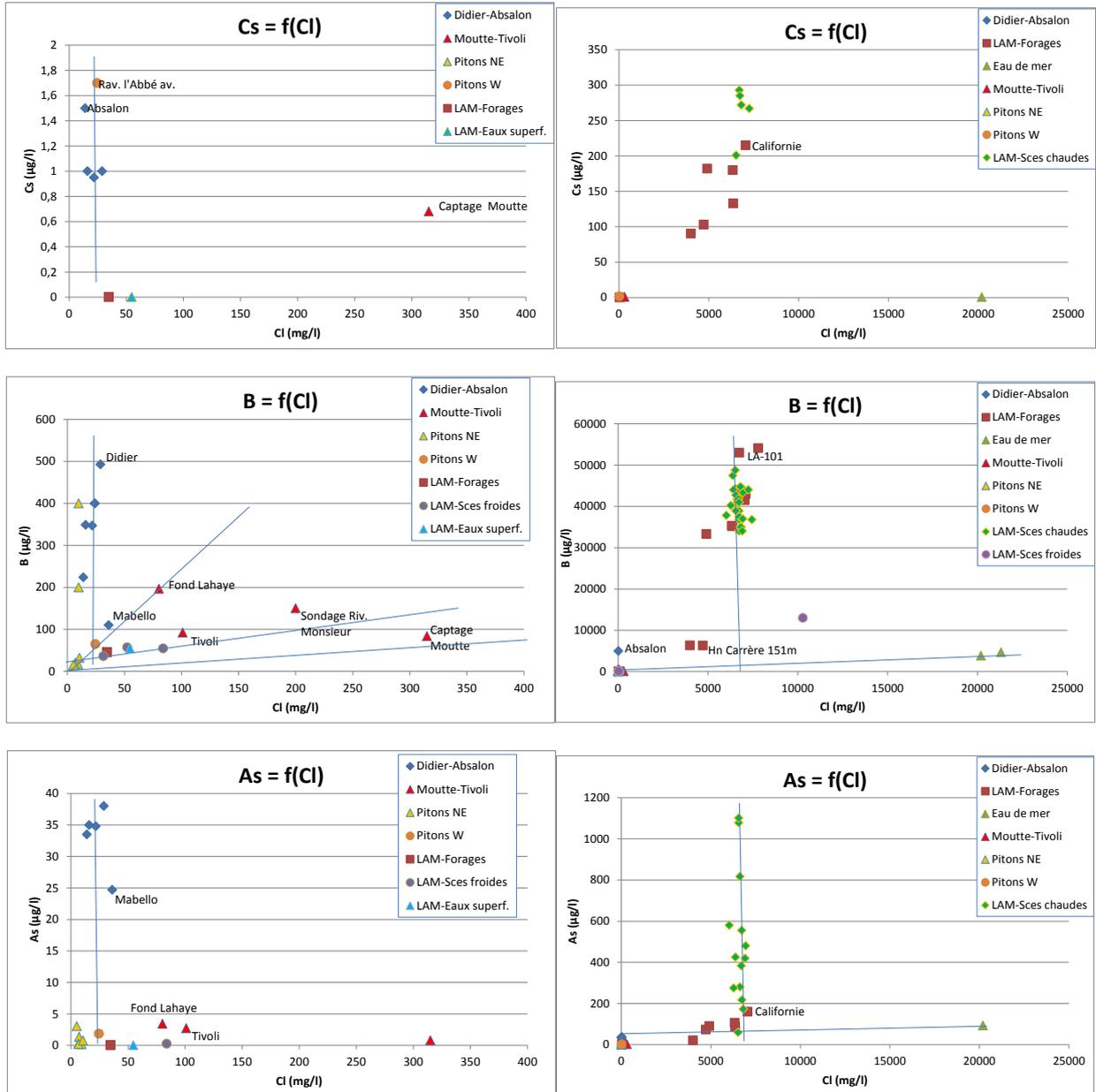


Figure 44 (Suite et fin) : Répartition de différentes espèces dissoutes en fonction de l'ion chlorure (eaux des Pitons du Carbet et du Lamentin).



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique  
Direction des Géoressources**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France –  
Tél. : 02 38 64 34 34  
[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Service Géologique Régional de Martinique**  
**Villa Bel Azur, 4Lot. Miramar**  
Route Pointe des Nègres  
97200 Fort-de-France  
Tél. : 05.96.71.17.70