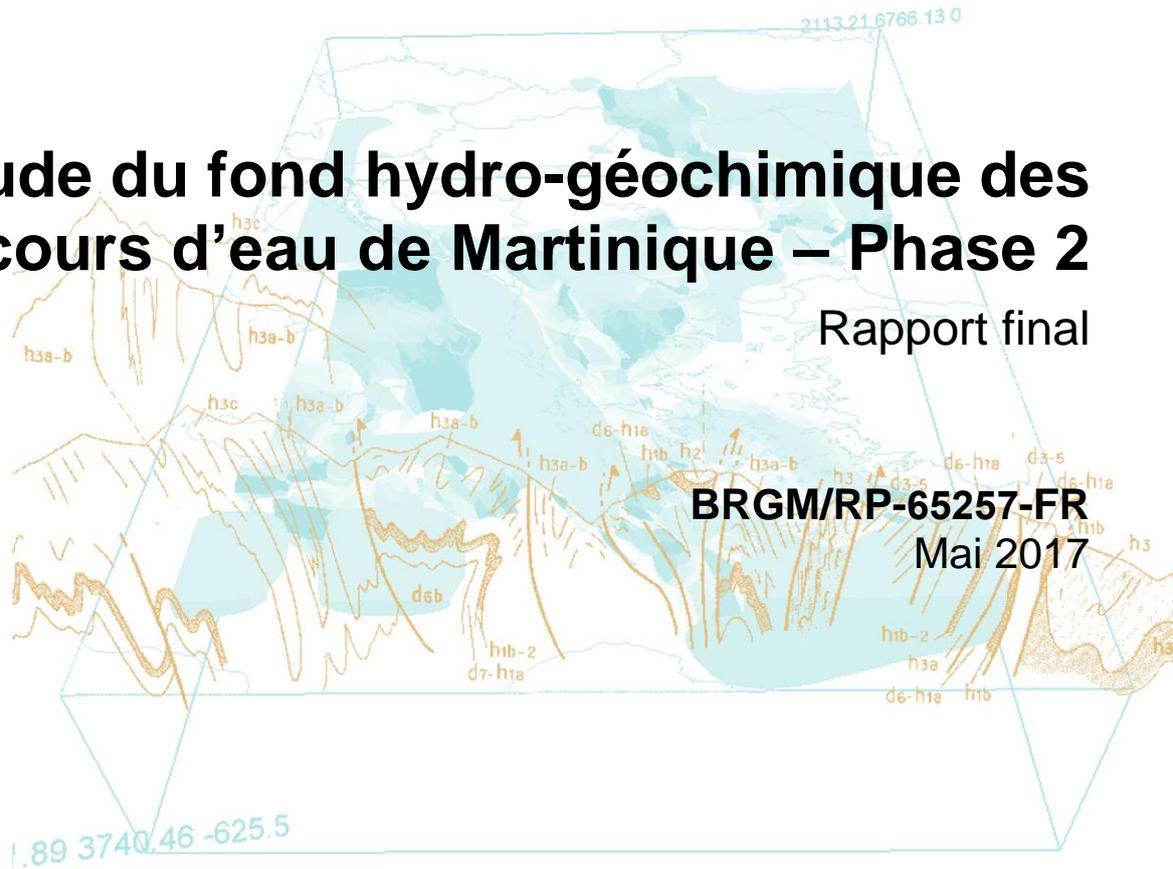




Étude du fond hydro-géochimique des cours d'eau de Martinique – Phase 2

Rapport final



BRGM/RP-65257-FR
Mai 2017

Étude du fond hydro-géochimique des cours d'eau de Martinique – Phase 2

Rapport final

BRGM/RP-65257-FR

Mai 2017

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 14POL2919

A.-L. Taïlamé et J. Lions

Vérificateur :

Nom : Laurence Gourcy

Date : 17/02/2017

Signature :



Approbateur :

Nom : B. Vittecoq

Date : 22/02/2017

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : Fond hydro-géochimique, Eaux superficielles, Métaux, Eléments traces, Eléments majeurs dissous, NQE.

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

Taïlamé A.-L. et Lions J. (2017) – Étude du fond hydro-géochimique des cours d'eau de Martinique – Phase 2. Rapport final. BRGM/RP-65257-FR, 53 p., 23 ill., 12 ann.

Synthèse

L'évaluation du bon état chimique des eaux superficielles, au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) du 23 octobre 2000, nécessite de connaître les fonds hydro-géochimiques naturels de manière à distinguer les éléments traces naturellement présents dans le milieu, de ceux résultant des activités humaines. Suite à l'étude préliminaire financée par l'ONEMA en 2008 (Lions et al., 2008), l'Office De l'Eau de Martinique a confié au BRGM l'étude détaillée du suivi du fond-hydro-géochimique des eaux superficielles, étude qui s'est déroulée en deux phases.

Au cours de la première phase de l'étude en 2013 (Taïlamé et al., 2013), la base de données initiales a été complétée, notamment par les résultats d'analyses obtenus au cours de deux campagnes de prélèvements. Cette base de données issue de prélèvements réalisés par divers intervenants dans le domaine de l'eau depuis 2008 (ODE, ARS, DIREN, BRGM), a montré une grande variabilité des résultats, due à des méthodes de prélèvement et de conditionnement différentes. Il a été mis en évidence, la nécessité de travailler avec des résultats issus exclusivement de prélèvements répondant à la méthodologie Aquaref.

Au cours de cette seconde phase, de nouveaux prélèvements ont été réalisés avec trois campagnes d'échantillonnage en période de basses eaux sur 26 stations réparties sur l'ensemble de la Martinique.

Afin d'évaluer les gammes de concentrations mesurées dans les eaux selon leurs secteurs géographiques et géologiques, un traitement statistique, permettant de calculer les valeurs médianes et moyennes ainsi que les quartiles et les bornes de l'intervalle de confiance (bornes inférieures et supérieures à 97,7%) a été appliqué. De nouvelles valeurs de référence, ont ainsi été proposées, par zones représentatives.

Paramètres / Géologie	Proposition de valeurs de référence (µg/l)						NQE (27/07/15)	Norme potabilité (11/01/07)	Limite de Quantification (µg/l)	
	Carbet	Jacob	Miocène Sud	Pelée-Conil	Trois îlets	Vauclin-Pitault				Complexe de base
Aluminium	20 Trace Jésuite : 100		50	20	20	20	2*	Pas de NQE	200	0,5
Antimoine	<LQ		<LQ Taupinière : 0,1	<LQ	<LQ	0,1	0,13*		5	0,05
Baryum	10		40 Taupinière : 100	10	40	20	229*		700	0,05
Bore	25		50 Taupinière : 75	50	100	75	124*		1000	0,5
Cobalt	<LQ		0,1 Taupinière : 0,8	<LQ	<LQ	0,1	0,1*		20	0,05
Fer (mg/l)	100		200	<LQ	100	50	<LQ*		200 mg/l	20 mg/l
Manganèse	10		30 Taupinière : 150	10	15	30	92*		50	0,1
Sélénium	0,2 Trace Jésuite : 0,3		<LQ	<LQ	0,2	0,2	0,4*		10	0,1
Arsenic	0,2		0,2	0,3	0,7	0,5	0,6*		0,83	/
Cadmium	0,05		<LQ	<LQ	<LQ	0,05	<LQ*	0,08	5	0,01
Chrome	<LQ Thébault : 0,2		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	3,4	50	0,1
Cuivre	0,8		1,5**	1	1,5**	2**	0,9*	1	2000	0,1
Mercure	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	0,07	1	0,015
Nickel	<LQ		<LQ Taupinière : 0,3	<LQ	0,3**	0,2	0,2*	4	20	0,1
Plomb	<LQ Petit Nicolas : 0,6		0,06	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	1,2	10	0,05
Zinc	1		1,5	<LQ	1,5	1	5,8*	7,8	5000	0,5

* valeurs maximales mesurées

** poursuivre le suivi pour affiner la ligne de base

Toute utilisation de ces valeurs de référence devra être systématiquement complétée par une analyse critique des éventuels dépassements des normes et par la recherche de l'origine d'un tel dépassement. Même si celles-ci fournissent des ordres de grandeur fiables, il est recommandé de les actualiser régulièrement.

L'étude montre que l'ensemble des exigences réglementaires de la DCE sont respectées, à l'exception du cuivre qui présente un fond hydrogéochimique élevé. Une modification de la NQE pourrait être envisagée pour les masses d'eau cours d'eau traversant les formations du Miocène sud et des Trois Ilets avec une NQE à 1,5 µg/l et du Vauclin-Pitault, avec une proposition adaptée de la NQE à 2 µg/l.

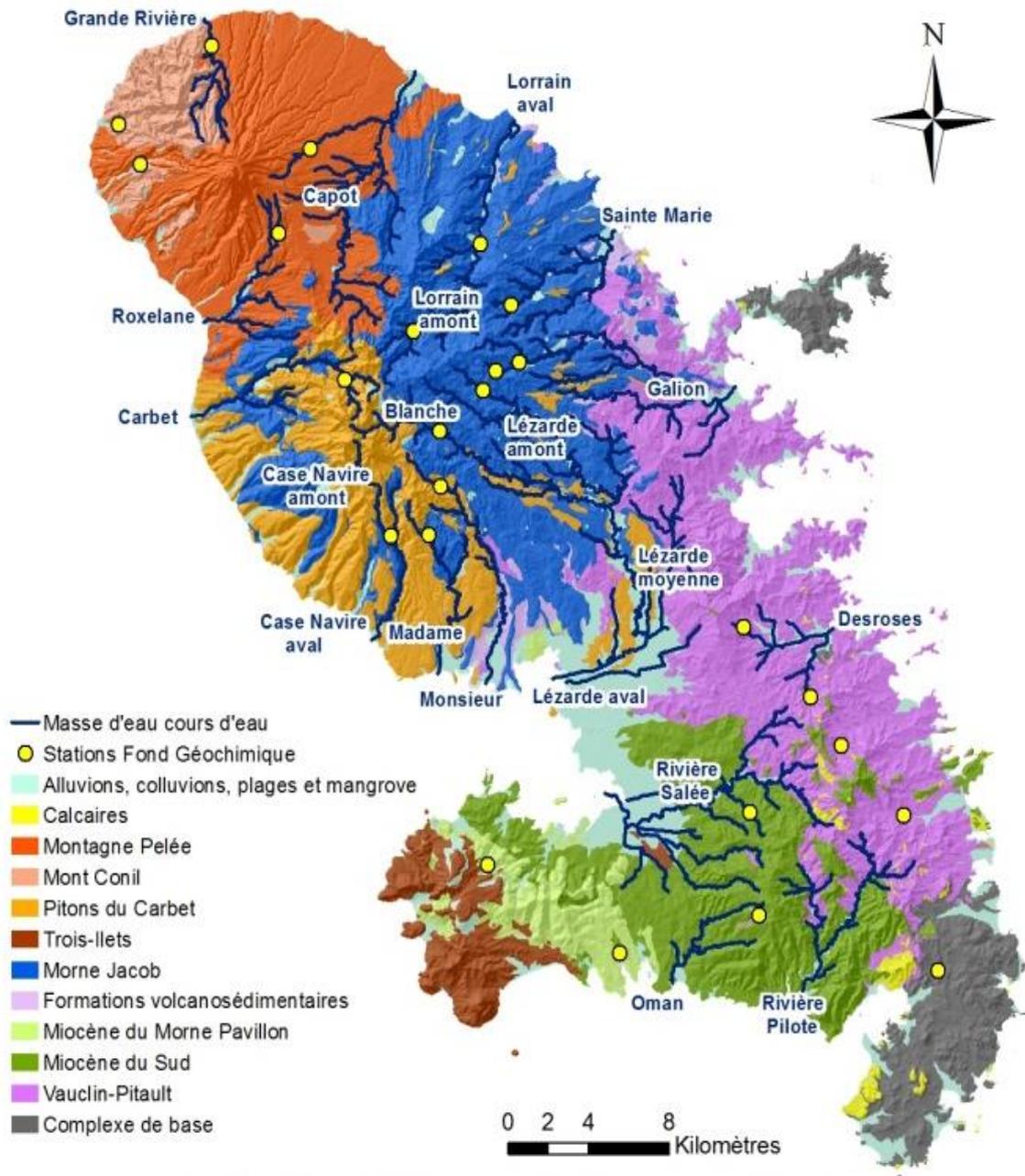
Code	Masse d'eau	Rivière	Secteur		Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercur	Nickel	Plomb	Zinc
FRJR101	Grande Rivière	Grand Rivière	Pelée-Conil		0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR102	Capot	Capot										
FRJR103	Lorrain Amont	Lorrain	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR104	Lorrain Aval											
FRJR105	Sainte-Marie	Bezaudin	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR106	Galion	Galion > 180 m d'alt.										
FRJR107	Desroses	Galion < 180 m d'alt.	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
		Deux Courants										
FRJR108	Grande Rivière Pilote	Desroses	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
		Grande Rivière Pilote										
FRJR109	Oman	Petite Rivière Pilote	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
		Oman										
FRJR110	Rivière Salée	Rivière des Coulisses	Miocène Sud		0,83	0,08	3,4	1,5**	0,07	4	1,2	7,8
FRJR111	Lézarde Aval	Lézarde	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
FRJR112	Lézarde Moyenne	Lézarde	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
FRJR113	Lézarde Amont	Lézarde	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
FRJR114	Blanche	Blanche	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR115	Monsieur	Monsieur > 140 m d'alt	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
		Monsieur < 140 m d'alt										
FRJR116	Madame	Madame	Vauclin-Pitault		0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
FRJR117	Case Navire Amont	Duclos	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR118	Case Navire Aval	Case Navire	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR119	Carbet	Carbet	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR120	Roxelane	Roxelane	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8

Respect de la NQE du 27/07/2015

Proposition de NQE adaptée

Sur les 20 masses d'eau cours d'eau, 9 recourent au moins en partie, une de ces formations, et sont susceptibles de présenter des concentrations en cuivre ne respectant pas la norme qualité environnementale.

Afin d'affiner la ligne de base en cuivre pour les secteurs Miocène Sud, Trois Ilets et Vauclin-Pitault, des analyses complémentaires sont nécessaires au cours de 3 à 5 campagnes de prélèvements sur les 9 stations « fond géochimique » concernées. Ces nouveaux résultats permettront d'obtenir une analyse statistique plus robuste, et d'ajuster au mieux la valeur de référence en cuivre pour ces secteurs.



Sommaire

1. Introduction	11
1.1. DÉFINITION DU FOND HYDRO-GÉOCHIMIQUE	11
1.2. GÉOLOGIE ET HYDROGÉOCHIMIE	11
1.3. HYDROLOGIE	12
1.4. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE	13
1.5. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE	15
2. Acquisition de données	17
2.1. SÉLECTION DES STATIONS.....	17
2.2. CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS ET MESURES <i>IN SITU</i>	19
2.3. CONTROLE DE LA QUALITÉ DES ANALYSES.....	20
2.4. LA BASE DE DONNÉES	21
3. Résultats	23
3.1. DÉFINITION DE GROUPES HOMOGENES.....	23
3.1.1. Pelée – Conil	24
3.1.2. Carbet / Jacob	24
3.1.3. Les eaux thermales (ETM).....	25
3.1.4. Miocène Sud.....	26
3.1.5. Trois-Ilets.....	26
3.1.6. Vauclin-Pitault.....	26
3.1.7. Complexe de base	26
3.2. ÉLÉMENTS TRACES SANS NQE	28
3.2.1. Aluminium.....	28
3.2.2. Antimoine.....	29
3.2.3. Baryum	30
3.2.4. Bore.....	30
3.2.5. Brome	31
3.2.6. Cobalt	31
3.2.7. Lithium	32
3.2.8. Manganèse et fer	32
3.2.9. Sélénium.....	33
3.2.10. Strontium.....	33
3.3. ÉLÉMENTS TRACES AYANT UNE NQE POUR LES EAUX DE SURFACE ...	34

3.3.1. Arsenic	34
3.3.2. Cadmium	35
3.3.3. Chrome	36
3.3.4. Nickel	37
3.3.5. Cuivre	38
3.3.6. Mercure	39
3.3.7. Plomb	40
3.3.8. Zinc	41
4. Détermination du fond hydro-géochimique naturel	43
4.1. MÉTHODOLOGIE	43
4.2. PROPOSITIONS DE VALEURS DE RÉFÉRENCE	45
4.3. APPLICATION DE LA DCE	46
5. Conclusion	49
6. Bibliographie	53

Liste des illustrations

Illustration 1 : Normes NQE des 8 éléments traces toxiques (arrêté du 27 juillet 2015) – normes en vigueur à partir du 22 décembre 2015 (moyennes annuelles pour les eaux de surface intérieures sauf *) Pour le cadimium valeur pour la classe d'eau 2 (suivant la dureté de l'eau, 40-50 mg de CaCO ₃)	13
Illustration 2 : Normes qualité et valeurs guide des éléments majeurs et traces dans les eaux. 14	
Illustration 3 : Stations de prélèvement des campagnes de fond hydro-géochimique.....	17
Illustration 4 : Localisation des stations étudiées sur fond de carte géologique simplifiée (ETM : eaux à caractère thermominéral).....	18
Illustration 5 : Prélèvements et mesures de paramètres in situ selon la méthodologie Aquaref	20
Illustration 6 : Diagramme de Si-Na (Abs : Absalo ; Clr : rivière Claire (A-amont, a-aval) ; Pag : Pagerie, BCo : Bois coupé ; LaM : La Mamisse ; Lor : Lorrain)	23
Illustration 7 : Diagramme de SO ₄ en fonction de Ca (Abs : Absalo ; Clra : rivière Claire aval) ; Pag : Pagerie, BCo : Bois coupé ; LaM : La Mamisse ; Lor : Lorrain)	24
Illustration 8 : Droite de dilution de l'eau de mer (Abs : Absalo ; Clr : rivière Claire (A-amont, a-aval) ; Pag : Pagerie, BCo : Bois coupé ; LaM : La Mamisse ; Lor : Lorrain).....	25
Illustration 9 : Diagrammes des stations appartenant au secteur Sud.....	26
Illustration 10 : Concentrations en aluminium (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015	28
Illustration 11 : Concentrations en antimoine (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015, concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur LQ/2=0,025 µg/l.	29
Illustration 12 : Concentrations en baryum (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015.....	30
Illustration 13 : Concentrations en manganèse (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015.....	33
Illustration 14 : Concentrations en arsenic (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015	34
Illustration 15 : Concentrations en cadmium (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015 ; Concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur LQ/2=0,005 µg/l.	35
Illustration 16 : Concentrations en chrome (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015.....	36
Illustration 17 : Concentrations en nickel (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015 ; Concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur LQ/2=0,005 µg/l.	37
Illustration 18 : Concentrations en cuivre (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015	38
Illustration 19 : Concentrations en plomb (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015.....	40
Illustration 20 : Concentrations en zinc (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015. Concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur LQ/2=0,25 µg/l.	41
Illustration 21 : Valeurs de référence proposées pour les eaux de surface de Martinique	45
Illustration 22 : Localisation des masses d'eau cours d'eau en Martinique	46
Illustration 23 : Masses d'eau cours d'eau et NQE adaptées en cas de dépassement	47

Liste des annexes

Annexe 1 Paramètres <i>in situ</i> de la campagne de juillet 2014, décembre 2014 et janvier 2015	57
Annexe 2 Liste des paramètres analysés sur l'eau et leurs limites de quantification	61
Annexe 3 Résultats d'analyses de la campagne de 2014 et 2015	65
Annexe 4 Stations étudiées et lithologie associée	71
Annexe 5 Diagrammes par secteurs géographiques et géologiques.....	75
Annexe 6 Concentration en éléments majeurs dissous des stations par groupes représentatifs entre 2012 et 2015	81
Annexe 7 Récapitulatif des zones à risque de fond hydro-géochimique élevé et valeurs de référence proposées pour les eaux souterraines (Arnaud et al ., 2013)	84
Annexe 8 Concentration en éléments traces dissous des stations par groupes représentatifs entre 2012 et 2015	87
Annexe 9 Analyse statistique descriptive des éléments traces pour les différents secteurs à l'exception du complexe de base.....	91
Annexe 10 Analyse statistique descriptive des éléments majeurs pour les différents secteurs à l'exception du complexe de base.....	95
Annexe 11 Analyse descriptive des éléments traces pour le complexe de base.....	99
Annexe 12 Analyse descriptive des éléments majeurs pour le complexe de base	103

1. Introduction

1.1. DÉFINITION DU FOND HYDRO-GÉOCHIMIQUE

La concentration d'un élément majeur ou trace, issu d'un matériau naturellement présent dans un milieu et résultant uniquement de son histoire géologique, est appelé fond hydro-géochimique naturel. La Martinique étant une île volcanique, son histoire géologique fait qu'il est possible de retrouver certains éléments caractéristiques à des concentrations relativement élevées de manière naturelle dans les eaux.

La caractérisation des fonds hydro-géochimiques naturels est ainsi nécessaire pour distinguer les éléments majeurs et traces naturellement présents dans le milieu de ceux résultant d'une activité anthropique.

1.2. GÉOLOGIE ET HYDROGÉOCHIMIE

Le contexte géologique et hydrogéologique de la Martinique a été détaillé en 2007 par Vittecoq et al., 2007. La géologie de la Martinique est constituée principalement de formations volcaniques d'âge Oligocène à Plio-pléistocène. Les quelques formations sédimentaires de l'île sont essentiellement des formations alluviales et exceptionnellement calcaires.

Au nord et à l'est, la Martinique est très montagneuse (montagne Pelée et Pitons des Caribets dépassent 1000 m), à l'est et au sud au niveau des complexes volcaniques et volcano-sédimentaires plus anciens le relief est nettement plus doux (montagne du Vauclin 504 m). Les formations volcaniques sont diverses : coulées massives de lave, dépôts pyroclastiques (nuées ardentes, ponces), lahars, conglomérats et brèches. Des dépôts de hyaloclastites existent également.

Les concentrations en éléments chimiques dans les eaux proviennent en grande partie de l'altération des roches encaissantes. Les éléments traces permettent de préciser l'origine de la minéralisation, les variations pouvant être liées à des variations de lithologie ou de faciès, ou à des apports anthropiques bien identifiés.

Le contexte géologique et hydrogéologique de la Martinique détermine un certain nombre de processus contrôlant la composition hydro-géochimique en éléments majeurs et traces des eaux naturelles. Parmi les plus importants, on retiendra :

- les interactions eau-roche, accentuées par la nature volcanique des roches. Les verres volcaniques sont notamment beaucoup plus réactifs pendant l'altération que les autres roches silicatées (Gislason et Euster, 1987). Ainsi, la mobilisation des éléments de ces roches vers les eaux se trouve accentuée. En Martinique, les températures élevées et les précipitations importantes accroissent encore davantage les processus d'altération ;
- les interactions eau-gaz volcaniques. Les gaz émis dans le contexte volcanique de la Martinique peuvent présenter les composés dissous suivants : des sulfites, des sulfates et des thiosulfates ; de l'acide chlorhydrique (HCl) ; des chlorures (NaCl, AlCl₃, FeCl₃) ; des composés du fluor (F, HF, SiF₄) ; des oxydes de carbone (CO, COS) ; du méthane ; de l'azote ; de l'hydrogène. Les eaux naturelles interagissant avec ces gaz sont susceptibles de collecter ces composés dissous ainsi que certains éléments volatils (Tonani, 1971 ; Symonds et al., 2001). Par ailleurs, en présence d'acides (sulfurique et

chlorhydrique) provenant des gaz volcaniques, l'hydrolyse des minéraux, et donc les interactions eau-roche se trouvent également accentuées ;

- les phénomènes hydrothermaux et le cortège des minéraux associés qui viennent enrichir les interactions décrites précédemment. On en relève de nombreux témoins en Martinique avec des minéralisations hydrothermales actuelles ou anciennes et des sources thermales qui se situent à proximité des édifices volcaniques récents (sources carbo-gazeuses, sulfureuses, ferrugineuses, chlorurées sodiques) ;
- les phénomènes marins liés à la proximité d'eau de mer : embruns marins, biseau salé, eaux saumâtres de bord de mer.

1.3. HYDROLOGIE

Le réseau hydrographique de la Martinique est important mais sa répartition dans l'espace, entre le nord et le sud, et dans le temps entre la saison des pluies et le carême n'est pas homogène. De plus, les pluies sont surtout localisées dans le nord de l'île où le relief est accentué.

A la Martinique, on dénombre 161 rivières et 43 ravines qui restent cependant des cours d'eau relativement courts (33 km pour le plus long). On considère que l'île compte 70 cours d'eau principaux dont la moitié est pérenne et l'essentiel de la ressource est concentré sur seulement 7 bassins versants principalement localisés dans le nord de l'île : La Lézarde, la Capot, le Lorrain, le Galion, la Rivière Salée, la Rivière Pilote et la Roxelane.

Les rivières du nord, de taille importante, coulent dans les vallées encaissées ce qui génère un écoulement torrentiel de forte énergie. Leur capacité de réserves induit des étiages soutenus. Les rivières du nord les plus importantes sont la Capot et la rivière du Galion.

Les rivières du sud sont de type « rivière de plaine et de mangrove ». Les bassins versants sont moins allongés et les vallées s'élargissent. Ces rivières connaissent des étiages rapides du fait du climat, du relief et de la nature des sols. Les plus importants cours d'eau sont la Rivière Salée et la Rivière Pilote. La rivière la Lézarde possède à la fois les caractéristiques des rivières du nord et du sud.

Lors de l'état des lieux, dans le cadre de la mise en place de la Directive Cadre sur l'Eau (DIREN de la Martinique), il avait été distingué 29 masses d'eau superficielles de types cours d'eau sur deux hydro-écorégions (HER), la première considère la plaine alluviale de la Baie de Fort-de-France, soumise à de fortes pressions anthropiques, et la seconde regroupe les cours d'eau du sud-est de l'île et ceux des volcans du nord-ouest.

A l'échelle du territoire, les eaux de surface sont largement exploitées (AEP, irrigation). De plus, une altération de la qualité des eaux pour les paramètres « métaux » est observée pour quelques cours d'eau de l'agglomération de Fort-de-France (rivière la Jambette, rivière Madame).

Les métaux sont présents de façon naturelle dans les sols et le sous-sol mais proviennent aussi des rejets industriels et domestiques et de l'agriculture (cadmium, cuivre et zinc entrent dans la composition de certains engrais et pesticides), d'où l'importance d'évaluer l'origine naturelle ou non des métaux potentiellement mobilisables.

1.4. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le 12 août 2013 a été publiée la directive 2013/39/UE modifiant les directives 2000/60/CE (Directive Cadre sur l'Eau) et 2008/105/CE (établissant des normes de qualité environnementale (NQE) dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE).

La Directive Cadre européenne sur l'Eau vise à atteindre ou à restaurer le bon état des cours d'eau d'ici 2021. Pour évaluer le bon état, la réglementation a été transposée en droit français par les arrêtés suivants :

- Arrêté du 28 juin 2016 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement ; des normes de qualité environnementales sont fixées pour les métaux et s'appliquent sur eau filtrée (obtenue par filtration à 0,45µm) ;
- Arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

S'agissant plus spécifiquement des masses d'eau superficielles dont l'état est défini par le recoupement entre l'état écologique et l'état chimique.

L'état écologique inclut le respect de normes de qualité environnementales (NQE) pour 4 substances spécifiques (Illustration 1), susceptibles d'être présentes naturellement dans les milieux en fonction de la géochimie des sols.

De la même manière, parmi les 41 substances constituant l'état chimique, 4 d'entre elles sont des métaux que l'on peut retrouver naturellement dans des milieux non anthropisés.

	Substance	CODE SANDRE	Norme de Qualité Environnementale (NQE) en µg/L
Substances prioritaires de l'état chimique	Cadmium et composés	1388	0,08
	Mercuré et composés	1387	0,07 *
	Nickel	1386	4
	Plomb	1382	1,2
Polluants spécifiques de l'état écologique	Arsenic et composés minéraux	1369	0,83
	Chrome	1389	3,4
	Cuivre	1392	1
	Zinc	1383	7,8

* Concentration Maximale Admissible Directive 2013/39/UE

*Illustration 1 : Normes NQE des 8 éléments traces toxiques (arrêté du 27 juillet 2015) – normes en vigueur à partir du 22 décembre 2015 (moyennes annuelles pour les eaux de surface intérieures sauf *) Pour le cadimium valeur pour la classe d'eau 2 (suivant la dureté de l'eau, 40-50 mg de CaCO₃)*

Le fond hydro-géochimique peut être associé à d'autres éléments non utilisés dans le cadre de l'évaluation de l'état des masses d'eau de surface au titre de la DCE ; il est intéressant de les caractériser, notamment dans le cas de l'utilisation de la ressource pour l'usage « alimentation en eau potable » (AEP). C'est pourquoi la présente étude s'intéresse aussi aux autres éléments considérés comme indésirables par la Directive « Eau potable » 98/60/CE et l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinés à la consommation humaine (Illustration 2).

Pour les éléments ne disposant pas de limite de qualité, ni de NQE, comme le sodium, les chlorures et les sulfates, les références de qualité, définies dans l'annexe II-B de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation, ont été considérées.

Eléments		Limite de qualité Eau potable ou valeur guide
Majeurs en mg/l	Ca	270
	Mg	50
	Na	150
	Cl	200
	SO4	250
	Fe	200
Traces en µg/l	Al	200
	Ba	700
	B	1000
	Br	*
	Co	20
	F	1500
	Li	*
	Mn	50
	Sb	5
	Se	10
	Sr	*

* Limite de qualité non documentée

Illustration 2 : Normes qualité et valeurs guide des éléments majeurs et traces dans les eaux

1.5. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Une première étude financée par l'ONEMA en 2008 (Lions et al., 2008) portait sur l'identification des zones à risque de fond hydro-géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines de Martinique. Elle avait mis en évidence un fond hydro-géochimique élevé en aluminium, fer et manganèse sur l'ensemble du territoire, un risque faible pour le nickel et un manque de données pour conclure sur les autres éléments.

En 2013 s'est déroulée la première phase de la présente étude. Elle avait pour but de compléter la base de données existante, avec :

- les résultats du réseau RCS et Référence de l'ODE ;
- les données acquises au cours d'explorations géothermiques (Rad, 2012) ;
- ainsi que par les résultats des deux campagnes d'échantillonnage en janvier et février 2013.

L'analyse poussée de la base de données avait permis de mettre en évidence de grandes différences méthodologiques et analytiques pour les différentes campagnes depuis 2008. La filtration de l'eau a ainsi un effet majeur sur les résultats des analyses comme cela a été révélé par comparaison des résultats (§ 2.4). Il a été jugé préférable de privilégier l'interprétation des données dont l'échantillonnage avait été réalisé selon la même méthodologie « eaux filtrées *in situ* » afin de distinguer au mieux l'origine des concentrations élevées pour les différents paramètres.

La phase 1 (Taïlamé et al., 2013) a montré des dépassements en cuivre qui pourraient provenir d'un fond hydro-géochimique naturel élevé. Plusieurs paramètres (B, Ba, Cl, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, Zn) ne montrent pas de concentrations au-delà de leurs NQE mais pourraient présenter un risque de fond hydro-géochimique faible ou moyen, tous se situent essentiellement dans le sud, localisation en adéquation avec les formations géologiques de l'île.

L'acquisition de nouvelles données est apparue indispensable afin d'approfondir nos connaissances et de déterminer les risques éventuels de fond hydro-géochimique en Martinique.

La présente étude complète la phase 1 avec des analyses réalisées au cours de trois campagnes en période de basses eaux effectuées par l'ODE en 2014 et 2015 sur les mêmes stations qu'en 2013, ainsi que sur 6 stations supplémentaires.

Les sédiments en amont des cours d'eau amont avaient été particulièrement compliqués à trouver, donc à prélever pendant la phase 1 ; de plus les résultats d'analyse n'ont montré aucune corrélation avec les eaux de surface. En conséquence, de nouvelles analyses sur les sédiments n'ont pas été envisagées.

L'objectif est de proposer de nouvelles valeurs de référence dans les secteurs présentant un fond hydro-géochimique naturel élevé.

2. Acquisition de données

2.1. SÉLECTION DES STATIONS

Les stations d'évaluation du fond hydro-géochimique devaient répondre à l'ensemble des critères suivants :

- être isolés de toute pression anthropique ;
- couvrir les masses d'eau superficielle du réseau de surveillance (RCS), afin de répondre aux mieux aux besoins de la Directive Cadre sur l'Eau ;
- couvrir l'ensemble des lithologies rencontrées en Martinique afin d'avoir des échantillons représentatifs ;
- être réparti de façon homogène sur l'ensemble du territoire.

Malgré des contraintes, révélées par des reconnaissances de terrain telles qu'une forte densité de population entraînant de possibles pollutions (le centre n'a pas été échantillonné) ou encore une hydrologie limitée dans le sud de l'île notamment en période de carême, 26 stations de prélèvements, présentées en Illustration 3 et dans la carte sur l'illustration 4, ont été sélectionnées.

Masse d'eau	Commune	Station	X	Y
-	Prêcheur	Amont canal Céron	691472,74	1640192,98
-	Trois Ilets	Bois Coupé	709526,13	1606209,79
Galion	Gros-Morne	Bras Gommier	710876,24	1629403,87
Blanche	Saint-Joseph	Cœur bouiki	707035,82	1626183,12
Lorrain aval	Lorrain	Confluence Pirogue	708915,69	1634846,5
Lézarde amont	Gros-Morne	Duchesnetaux	709134,55	1628085,56
Capot	Ajoupa Bouillon	Falaise	700735,01	1639162,16
Rivière salée	Rivière Salée	Fond Masson	722150,57	1608722,08
-	Vauclin	La Baume	729550,45	1608630,73
Desroses	François	La Dumaine	725043,65	1614074,37
-	Marin	La Mamisse	731286,45	1601521,02
Roxelane	Saint-Pierre	Morne Essentes	699233,86	1635229,85
-	Prêcheur	Morne Gibouin	692542,90	1638373,51
Rivière du Carbet	Fond-Saint-Denis	Morne Man Roy	702476,22	1628520,36
Galion	Gros-Morne	Morne Roseaux	709745,56	1628967,68
Desroses	François	Morne Serpent	721755,05	1617243,03
-	François	Perriolat	726517,59	1611833,64
Rivière Monsieur	Saint-Joseph	Plateau Perdrix	707128,21	1623634,36
Capot	Ajoupa Bouillon	Rivière Cloche	700643,76	1636944,79
Oman	Sainte-Luce	Rivière Léonard	722619,36	1603979,1
Madame	Fort-de-France	Rivière Madame	706583,56	1621360,18
-	Diamant	Taupinière	715930,11	1602186,24
Sainte Marie	Sainte-Marie	Thébault	710444,57	1632001,34
Lorrain amont	Morne Rouge	Trace des jésuites	705743,16	1630772,92
Grande Rivière	Grand-Rivière	Trou de la diablesse	695921,20	1643836,31
Case Navire amont	Schoelcher	Tunnel Didier	704747,95	1621319,31

Illustration 3 : Stations de prélèvement des campagnes de fond hydro-géochimique

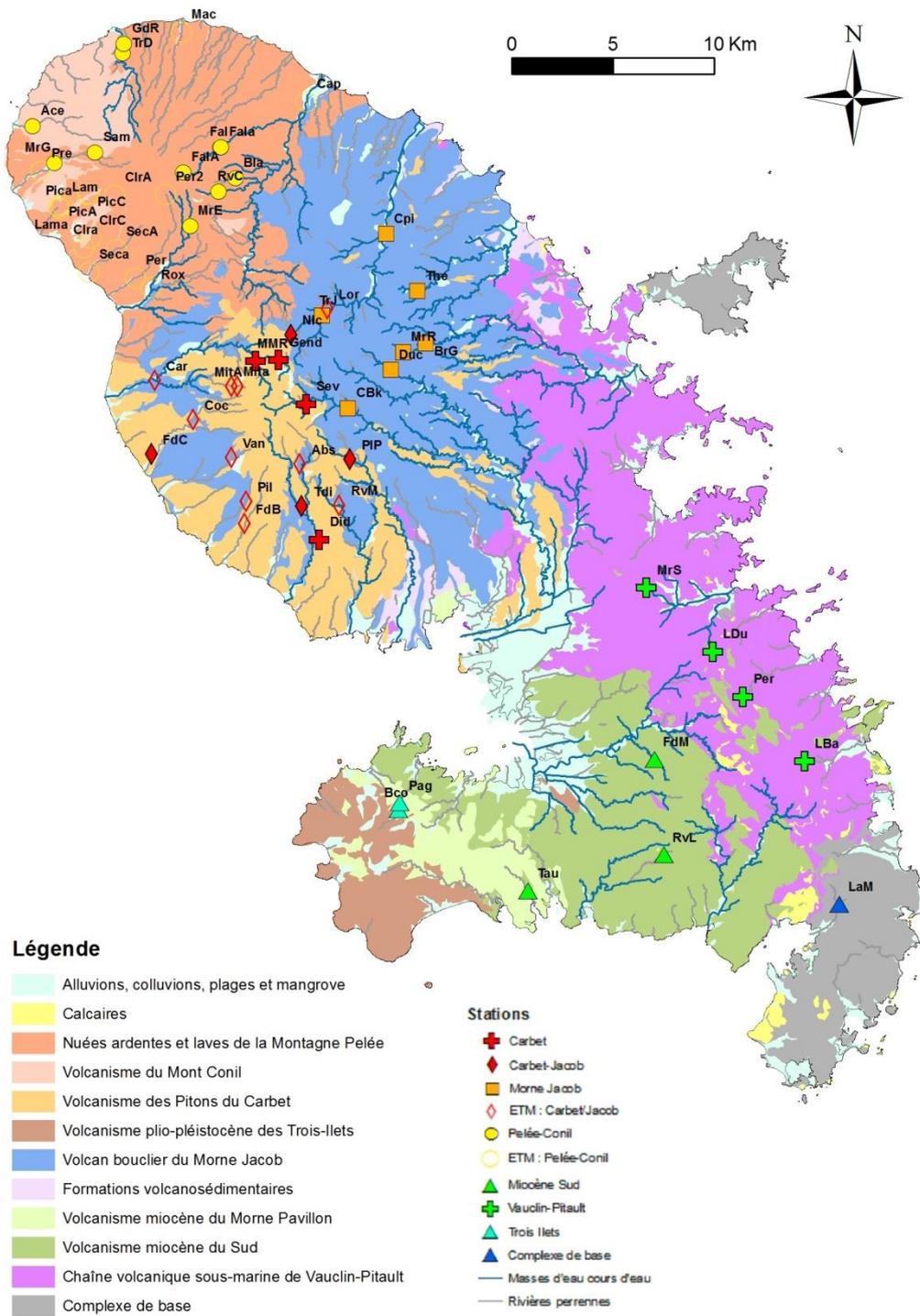


Illustration 4 : Localisation des stations étudiées sur fond de carte géologique simplifiée (ETM : eaux à caractère thermominéral)

2.2. CAMPAGNES DE PRÉLÈVEMENTS ET MESURES *IN SITU*

Au cours des deux phases de l'évaluation du fond hydro-géochimique, cinq campagnes de prélèvements ont eu lieu au cours des saisons sèches :

- du 7 au 16 janvier 2013 (BRGM/RP-62943-FR);
- du 14 au 20 février 2013 (BRGM/RP-62943-FR);
- du 8 au 17 juillet 2014 ;
- du 8 au 12 décembre 2014 ;
- et du 19 au 23 janvier 2015.

Ces périodes dites de basses eaux, ont permis d'obtenir des résultats d'analyses peu dilués par rapport à la saison des pluies et de réduire les risques de contaminations anthropiques par ruissellement.

Les bulletins climatiques mensuels confirment bien que les périodes d'échantillonnage n'ont pas été impactées par des épisodes de pluies avant ou pendant les campagnes (https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/bulletins/).

L'équipe technique de l'Office De l'eau, formée aux techniques de prélèvement selon la méthodologie Aquaref (filtration, acidification, blancs de terrain), a réalisé l'ensemble des prélèvements des 5 campagnes (Illustration 5).

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés *in situ*, à l'aide de boîtiers multi-paramètres WTW (température, pH, conductivité, oxygène dissous et potentiel redox) et sont présentés en Annexe 1.

Le BRGM s'est chargé du stockage des échantillons au maximum à 4°C et de leur expédition par voie aérienne, pour un acheminement inférieur à 5 jours entre la date de prélèvement et la réception au laboratoire d'Orléans, où ils ont été analysés.





Illustration 5 : Prélèvements et mesures de paramètres in situ selon la méthodologie Aquaref

2.3. CONTROLE DE LA QUALITÉ DES ANALYSES

Un total de 38 paramètres, éléments majeurs et traces confondus ont été analysés. L'Annexe 2 présente la méthode utilisée et la limite de quantification de chacun d'eux.

Les résultats d'analyses des campagnes de terrain de 2014 et 2015, sont présentés en Annexe 3.

Le contrôle de la qualité des analyses peut être réalisé à partir du calcul de la balance ionique des eaux. Ce calcul permet d'estimer si les analyses réalisées ont pris en compte l'essentiel des éléments majeurs présents dans l'eau. Le calcul de la balance ionique, NICB (pour Normalized Inorganic Charge Balance), se fait selon :

$$NICB = \frac{\sum^{+} - \sum^{-}}{\sum^{+} + \sum^{-}}$$

Le NICB correspond au pourcentage de charges positives excédentaires ou manquantes pour avoir un bilan des charges nul. Une eau ayant toujours un bilan de charges à l'équilibre, un excès de cations ou d'anions dénote d'une analyse chimique incomplète ou de mauvaise qualité. On considère que les analyses sont correctes pour un NICB compris entre -5% et +5%.

Les eaux de surface de Martinique sont globalement peu minéralisées mais le NICB reste globalement correct, à l'exception de la campagne de décembre 2014 qui présente pour 1/3 des résultats, des valeurs inférieures à -10%.

Les valeurs inférieures aux limites de quantification sont représentées graphiquement par la valeur LQ/2 afin de permettre une meilleure lisibilité des résultats sur les graphiques.

2.4. LA BASE DE DONNÉES

En 2008, l'étude préliminaire du fond hydro-géochimique des eaux de surface en Martinique (Lions et al., 2008) a permis de réaliser un premier bilan des risques en se basant sur les résultats d'analyses des eaux de surface issues :

- du réseau de référence de la DIREN avec 2 mesures par an sur les métaux de 2005 à 2007 pour 9 stations, réalisées sur eaux brutes ;
- du réseau de l'ARS à partir de la base de données SISE-Eaux (2006-2007) dont les stations étaient localisées uniquement dans le Nord de l'île sur 21 captages et *a priori* réalisées sur eaux filtrées ;
- de diverses études de géothermie réalisées sur eaux filtrées (Fiquet, 1997 ; Sanjuan et al., 2002 ; Rad, 2007).

La base de données a été complétée depuis 2013 par :

- Le réseau de surveillance (2007-2013) de l'Office De l'Eau, analyses réalisées sur eaux brutes ;
- Le réseau de référence de l'ODE jusqu'en 2014 sur eaux brutes ;
- Les données issues de la campagne de géothermie en 2012 (Rad et al., 2012) sur eaux filtrées et acidifiées *in situ* ;
- Les 5 campagnes de fond hydro-géochimique des eaux de surface de la phase 1 (Taïlamé et al., 2013) et de la présente étude, sur eaux filtrées et acidifiée *in situ* ;

L'analyse de la base de données au cours de la première phase a révélé, des incohérences d'unités ne pouvant être corrigées, ainsi que des différences de résultats selon le préleveur ; probablement dues à une variabilité des techniques de prélèvements et des méthodes analytiques, qui ne répondaient pas à la méthodologie AQUAREF (Ghestem et al., X2008).

L'Office De l'Eau, au cours de la campagne d'août 2014 sur son réseau de surveillance, a réalisé un triple échantillonnage sur 21 stations afin de distinguer l'impact de la variabilité des méthodes sur les résultats d'analyses selon trois protocoles :

- i) Expédition au laboratoire chargé des analyses en France Métropolitaine des échantillons d'eaux brutes (impactés par les délais d'envoi) ;
- ii) Filtration des échantillons d'eaux brutes par un laboratoire local dans les 24h puis expédition au laboratoire chargé des analyses en France Métropolitaine ;

- iii) Filtration et acidification *in situ* par les agents selon les méthodes Aquaref et expédition au laboratoire chargé des analyses en France Métropolitaine ;

La comparaison des résultats réalisée sur 15 éléments montre des différences significatives pour le baryum, le bore, le cuivre et le zinc.

La grande variabilité des résultats selon la méthode de prélèvement, la stabilisation des échantillons et le temps d'attente avant analyse a conduit à n'étudier que les prélèvements ayant connu un protocole identique et fiable.

Par conséquent, l'évaluation du fond hydro-géochimique, n'a traité que les données répondant aux recommandations Aquaref, c'est-à-dire, les données de l'étude de géothermie de 2012 ainsi que les 5 campagnes de fond hydro-géochimique de 2013 à 2015.

Les stations montrant une activité hydrothermale et donc pouvant impacter les résultats, ont été étudiées dans un groupe isolé. Ces stations permettent d'évaluer les concentrations maximales susceptibles d'être rencontrées dans certains secteurs mais ne rentrent pas dans l'analyse du fond hydro-géochimique. Le détail de leur localisation et le secteur associé est présenté en Annexe 4.

3. Résultats

L'analyse des concentrations en éléments majeurs dissous (Ca, Cl, HCO₃, K, Mg, Na, Si, SO₄) a permis de définir des groupes homogènes représentatifs d'un même faciès hydro-géochimique. Ensuite, la synthèse des connaissances des éléments traces, ayant une norme de qualité environnementale et/ou une norme de potabilité, a aidé à la compréhension de l'origine des concentrations pour chacun des groupes et a permis in fine de définir le fond hydro-géochimique naturel.

3.1. DÉFINITION DE GROUPES HOMOGÈNES

Les contextes hydrogéologiques et géologiques induisent des faciès variables à l'échelle de la Martinique. En vue de faciliter l'exploitation des données, des groupes homogènes ont été définis selon les zones géographiques et les lithologies drainées pour chacun des bassins versants des stations de prélèvement.

L'étude des faciès hydro-géochimiques a permis de définir 7 groupes représentatifs des différents points d'eau échantillés.

L'illustration 6 montre un exemple de diagramme ayant permis d'aboutir à ce découpage (L'ensemble des diagrammes complémentaires sont présentés en Annexe 5). Le diagramme Na en fonction de Si, permet de relier le faciès des eaux avec la composition lithologique des roches. Les eaux drainant la montagne Pelée sont ainsi plus riches en silice (SiO₂) que les eaux drainant le Carbet/Jacob.

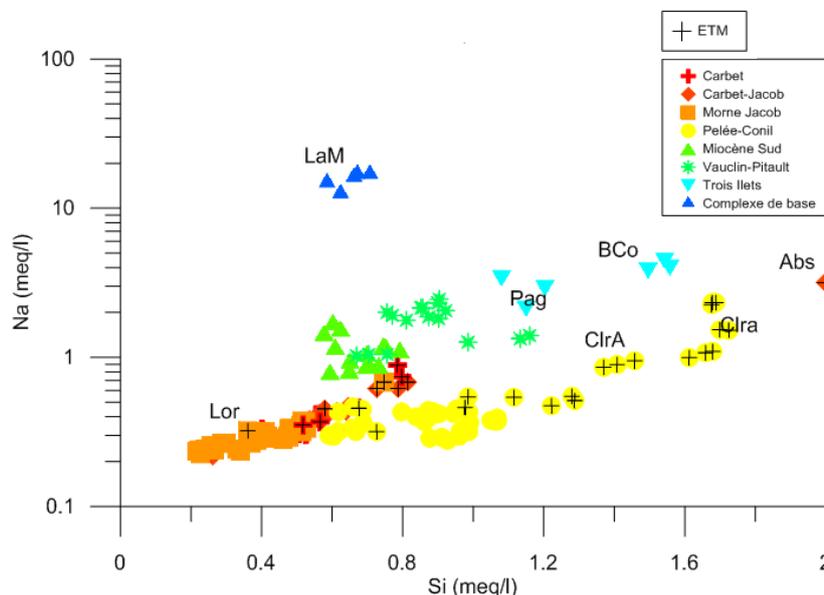


Illustration 6 : Diagramme de Si-Na (Abs : Absalo ; Clr : rivière Claire (A-amont, a-aval) ; Pag : Pagerie, BCo : Bois coupé ; LaM : La Mamisse ; Lor : Lorrain)

Les eaux thermales, notées ETM, sont enrichies en sodium et silice en raison des interactions de hautes températures. Absalon se distingue pour le Carbet-Jacob, et les eaux de la rivière Claire pour la Pelée.

Les rivières du sud de la Martinique représentées par les stations du groupe Miocène Sud, Vauclin-Pitault, Trois Ilets et Complexe de base sont quant à elles enrichies en sodium par rapport à celles du nord de l'île.

3.1.1. Pelée – Conil

Ce groupe rassemble les eaux drainant les formations récentes de la Montagne Pelée et du Mont Conil au nord de l'île (majoritairement des nuées ardentes).

Ces massifs présentent un important facteur thermal qui affecte la minéralisation et marquent le faciès de certaines eaux et sources thermales. Une distinction est réalisée sur les différents graphiques entre les eaux hors influence thermique, pour lesquelles des concentrations de références ont donc été calculées et celles ayant une activité thermique (groupe ETM).

3.1.2. Carbet / Jacob

Ce groupe rassemble les faciès issus du Morne Jacob, des Pitons du Carbet et du mélange des deux. Bien que des distinctions soient possibles entre eux, les concentrations de référence ont été calculées pour l'ensemble des trois, nommé Carbet/Jacob. Ces massifs sont affectés, tout comme le groupe Pelée-Conil par des processus thermaux, les concentrations de référence ont donc été calculées pour les eaux hors influence thermique (groupe ETM).

A titre d'exemple, la droite 1:1 de dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), montre en Illustration 7 que les eaux sont globalement enrichies en calcium par rapport à cet équilibre. Le secteur du Lorrain (Thébault Trace des Jésuites, Confluence Pirogue et Lorrain) en se rapprochant de cette droite, se distingue avec des eaux plus riches en sulfates, probablement en lien avec l'oxydation de la pyrite (FeS_2), cartographiée dans le secteur.

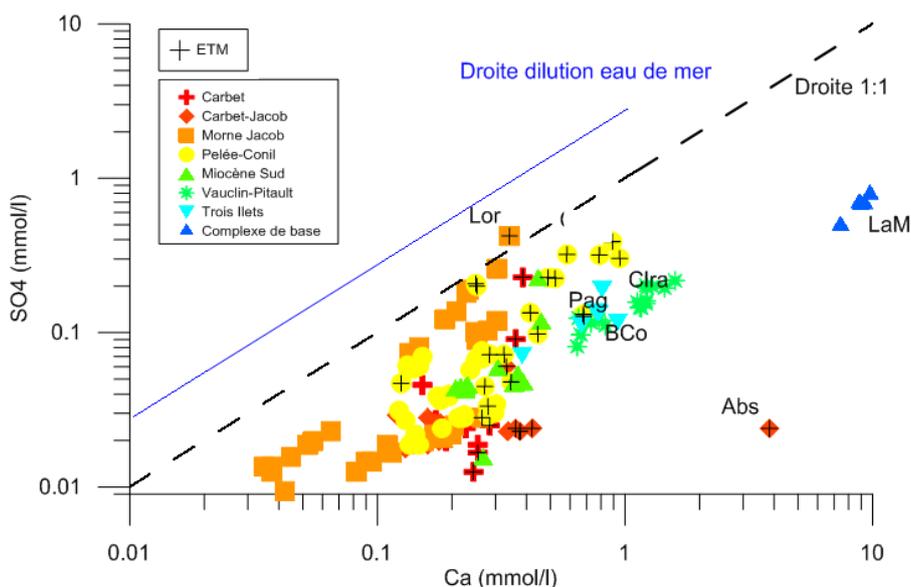


Illustration 7 : Diagramme de SO_4 en fonction de Ca (Abs : Absalo ; Clra : rivière Claire aval) ; Pag : Pagerie, BCo : Bois coupé ; LaM : La Mamisse ; Lor : Lorrain)

3.1.3. Les eaux thermales (ETM)

Ce groupe représente l'ensemble des sources et eaux sous influence thermique du secteur Pelée-Conil et Carbet/Jacob. Les stations du Carbet/Jacob sont moins minéralisées que celles de la Montagne Pelée avec néanmoins, la source d'Absalon qui présente une signature très singulière (Illustration 6). Malgré ces distinctions dans les faciès des eaux thermales selon les contextes et processus, il a été choisi de regrouper ces eaux afin de proposer une large gamme de valeurs représentatives du groupe eaux thermales sans distinguer les réservoirs, l'objectif de l'étude n'étant pas de les caractériser.

Ces trois premiers groupes englobent les cours d'eau du nord de la Martinique. Le sud de la Martinique est quant à lui marqué par des concentrations en éléments majeurs globalement plus importantes que dans le nord. La droite de dissolution de l'eau de mer en Illustration 8 témoigne d'une influence marine sur les Trois-Ilets, le Miocène Sud, le Vauclin-Pitault, ainsi que sur le Complexe de base qui présente les eaux les plus alcalines et les plus enrichies en chlorures.

Cette minéralisation plus élevée dans le sud s'explique par une évaporation plus marquée et une recharge plus faible, limitant le phénomène de dilution, et de formations géologiques plus anciennes et plus altérées, parfois mises en place en milieu marin. Un fond hydro-géochimique élevé en éléments majeurs avec un indice de confiance élevé avait ainsi été identifié en 2008, à l'exception des sulfates sur les masses d'eau du sud de l'île.

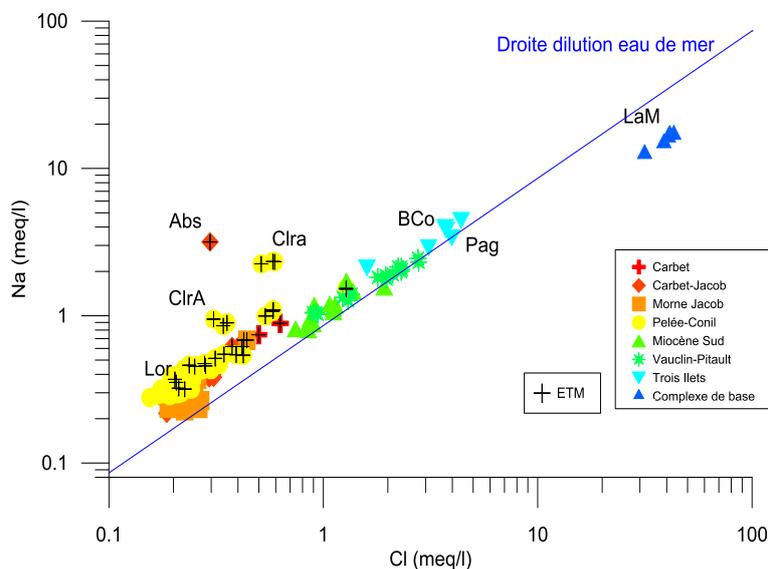


Illustration 8 : Droite de dilution de l'eau de mer (Abs : Absalo ; Clr : rivière Claire (A-amont, a-aval) ; Pag : Pagerie, BCo : Bois coupé ; LaM : La Mamisse ; Lor : Lorrain)

Les tendances en calcium, magnésium et sodium sont les mêmes qu'en chlorures pour l'ensemble des points de prélèvement, l'ensemble des graphiques est présenté en Annexe 6.

3.1.4. Miocène Sud

Ce groupe rassemble plusieurs faciès de la fin des formations du volcanisme du Miocène ; on y retrouve la phase effusive de Rivière Pilote, l'épisode final de la montagne du Vauclin et le volcanisme du sud et du sud-ouest Martiniquais (axe Rivière Salée – Saint Luce, Morne Pavillon et axe Ducos – Rivière Pilote).

3.1.5. Trois-Ilets

Ce groupe du volcanisme plio-pléistocène des Trois-Ilets est représenté par deux stations. Malgré la faible quantité de stations de prélèvements et une cohérence géographique et géologiques (majorité d'andésites) avec le Miocène Sud, les deux ensembles se distinguent avec des concentrations plus riches en éléments majeurs pour le groupe des Trois Ilets (Illustration 8).

3.1.6. Vauclin-Pitault

Ce groupe illustre les eaux drainant la première partie des formations volcaniques du Miocène composées essentiellement de hyaloclastites. Sur l'illustration 9, les eaux drainant les formations hyaloclastiques se distinguent par leur enrichissement en éléments alcalino-terreux (calcium et magnésium) avec une prédominance du calcium.

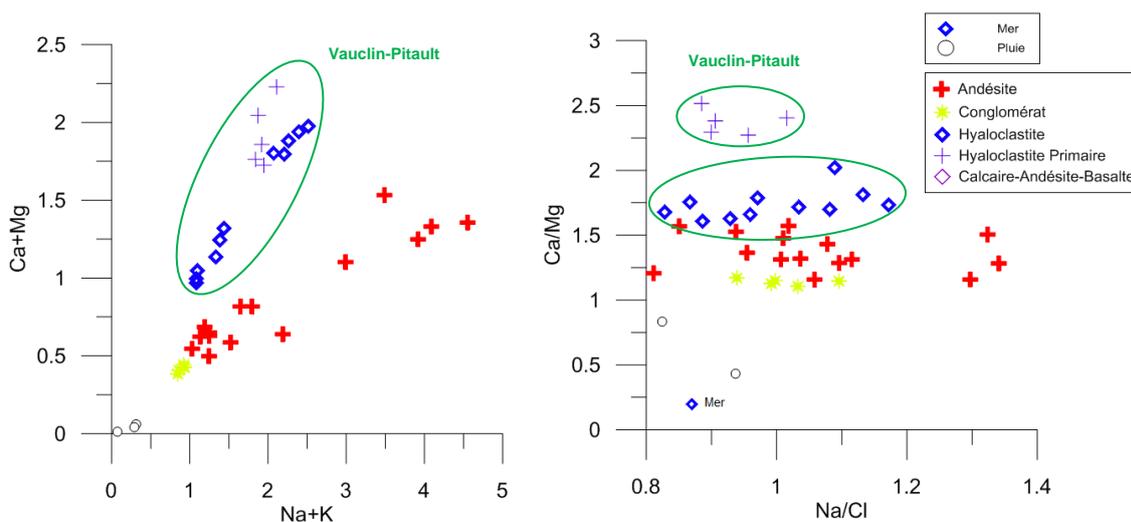


Illustration 9 : Diagrammes des stations appartenant au secteur Sud

3.1.7. Complexe de base

Ce groupe rassemble les formations les plus anciennes de la Martinique (oligocène) et de la série volcanique de Sainte-Anne, il est représenté par une unique station de prélèvement en eau de surface.

Les valeurs mesurées se détachent des autres stations du sud, avec les concentrations les plus fortes pour l'ensemble des éléments majeurs. On note des dépassements des normes de potabilité systématiques pour le calcium (270 mg/l), les chlorures (200 mg/l), le magnésium (50 mg/l) et le sodium (150 mg/l) ; malgré des concentrations en sulfates inférieures à la valeur seuil (250 mg/l), les résultats se démarquent.

Dans les eaux souterraines (Arnaud, 2013), le forage Cap Macré au Marin connaît aussi des valeurs élevées en éléments majeurs, expliquées par des eaux de mer fossiles piégées dans les formations du complexe de base. Ce groupe est caractérisé par les concentrations maximales et minimales observées et comparé aux résultats obtenus dans les eaux souterraines à la station de Cap Macré.

La composition des groupes est présentée en Annexe 4.

3.2. ÉLÉMENTS TRACES SANS NQE

La synthèse des connaissances par éléments traces sans NQE est présentée pour chacun des paramètres, par campagnes pour les 7 faciès hydro-géochimiques définis précédemment. L'analyse des résultats permettra de proposer des valeurs de référence pour les eaux de surface, même s'ils ne possèdent qu'une norme de potabilité.

3.2.1. Aluminium

L'altération des minéraux alumino-silicatés conduit à la mobilisation de l'aluminium qui précipite sous forme secondaire (argile, hydroxyde d'aluminium) (Hem et al., 1985). L'aluminium est également présent dans de nombreuses formations volcaniques de la Martinique. Il entre dans la composition des feldspaths, des feldspathoïdes, des biotites et des amphiboles en se substituant au fer et au silicium. Etant peu soluble, il peut être mobilisé en grande quantité sous formes colloïdale et/ou particulaire dans les eaux.

L'étude de Lions et al. (2008) avait révélé un fond hydro-géochimique élevé sur l'ensemble de l'île pour l'aluminium. Rappelons que les analyses étaient réalisées sur eaux brutes pour les eaux de surface. Depuis 2013, l'étude du fond hydro-géochimique réalisée à partir d'analyses sur eau filtrée et acidifiée *in situ*, modifie les précédentes conclusions.

En dehors de quelques anomalies observées au niveau de certaines sources hydrothermales, aucune zone à risque de fond hydro-géochimique élevé en aluminium n'a été identifiée dans les eaux souterraines (Arnaud et al., 2013).

L'illustration 10 montre une forte variabilité entre les stations et les campagnes ce qui traduit le caractère complexe de la mobilisation de l'aluminium dans les eaux de surface. De manière générale, l'aluminium est mobilisé sous forme dissoute dans les eaux acides et sous forme particulaire notamment en période de hautes eaux. La mobilisation sous forme particulaire est généralement illustrée par une forte variabilité spatiale et temporelle ; son comportement est donc cohérent.

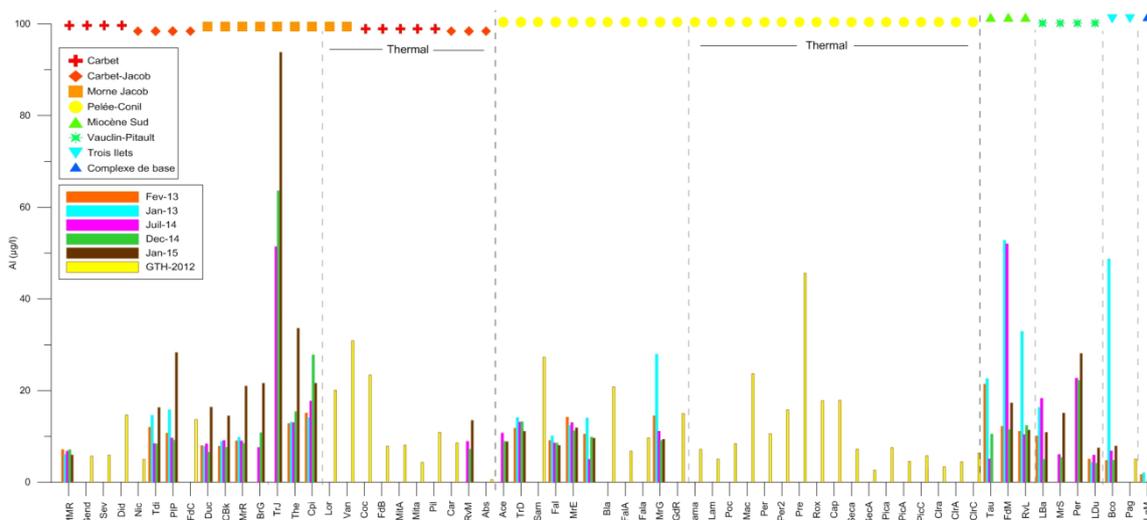


Illustration 10 : Concentrations en aluminium ($\mu\text{g/l}$) par groupes entre 2012 et 2015

On note des valeurs plus fortes en janvier 2015 sur les formations du Carbet/Jacob, avec un maximum enregistré sur la station Trace des Jésuites à 93,8 µg/l. Dans le secteur sud, on note des anomalies plus fortes en janvier 2013.

Avec une limite de qualité fixée à 200 µg/l (11 janvier 2007), aucun risque de dépassement en aluminium n'est révélé pour les eaux de surface de Martinique ; néanmoins, des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence pour le fond hydro-géochimique.

3.2.2. Antimoine

L'antimoine est un élément peu abondant dans les roches comme dans les eaux naturelles. Seules les eaux thermales ou les eaux drainant des filons miniers peuvent contenir de fortes concentrations en antimoine (BRGM, 2006). Dans le contexte martiniquais, l'antimoine peut cependant se substituer au fer et se retrouver dans les olivines magnésiennes et dans l'ilménite ainsi que dans des sulfures, notamment la galène en association avec le plomb (Wedepohl et al., 1974).

Les concentrations en antimoine dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

Compte-tenu de la solubilité de l'antimoine, les concentrations rencontrées restent très faibles sur toute l'île. L'illustration 11 montre que sur les secteurs Pelée-Conil et les groupes du Carbet et du Morne Jacob les valeurs sont restées inférieures à la limite de quantification (LQ) de 0,05 µg/l.

On note des valeurs supérieures à la LQ aux stations du Vauclin Pitault ainsi qu'à Taupinière en février 2013 et juillet 2014 dans le secteur Miocène Sud et à la Mamisse au Complexe de base, avec un maximum à 0,13 µg/l.

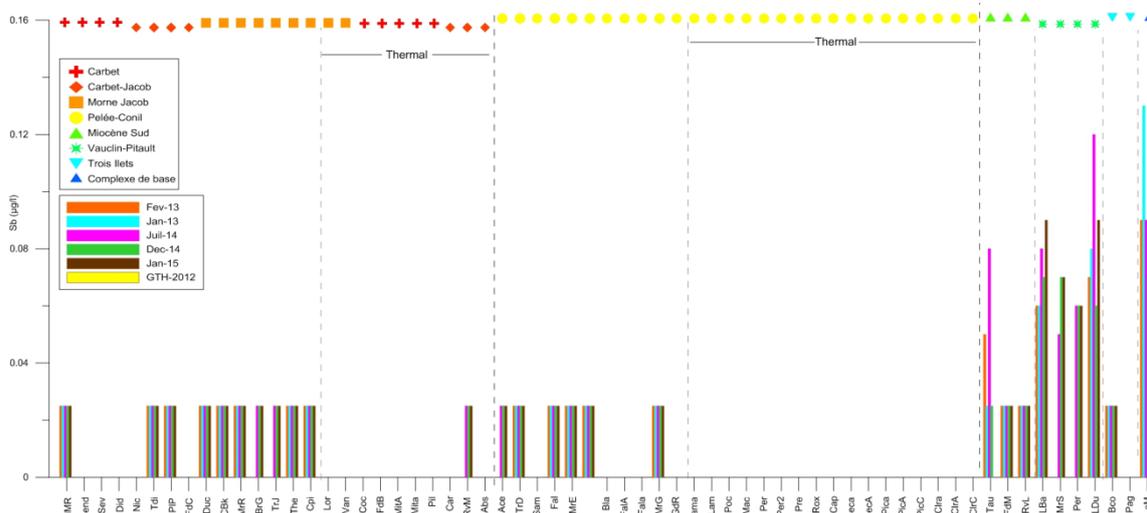


Illustration 11 : Concentrations en antimoine (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015, concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur $LQ/2=0,025$ µg/l.

Avec une limite de qualité fixée à 5 µg/l (11 janvier 2007), aucun dépassement en antimoine n'est révélé pour les eaux de surface de Martinique ; néanmoins, des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence.

3.2.3. Baryum

On retrouve principalement le baryum dans la barytine (BaSO_4) mais il peut également entrer dans la composition des feldspaths et il est relativement abondant dans les roches magmatiques (BRGM, 2006). Un risque de fond hydro-géochimique faible en baryum avait été identifié dans les eaux souterraines du sud de la Martinique (Lions, 2008).

L'étude du fond hydro-géochimique des eaux souterraines propose un fond élevé à la presqu'île de Sainte-Anne, avec $221 \mu\text{g/l}$ au piézomètre de Cap Macré, la zone concernée a été étendue à la presqu'île de la Caravelle en raison de la présence de barytine (Annexe 7).

En dehors de certaines valeurs aux stations thermales, comme à Absalon, les concentrations sont globalement homogènes au sein des mêmes secteurs géographiques. L'échelle logarithmique de l'illustration 12 montre d'importants écarts entre eux. On note une différence entre les eaux drainant le secteur Pelée-Conil et Carbet/Jacob, avec les eaux thermales globalement plus concentrées.

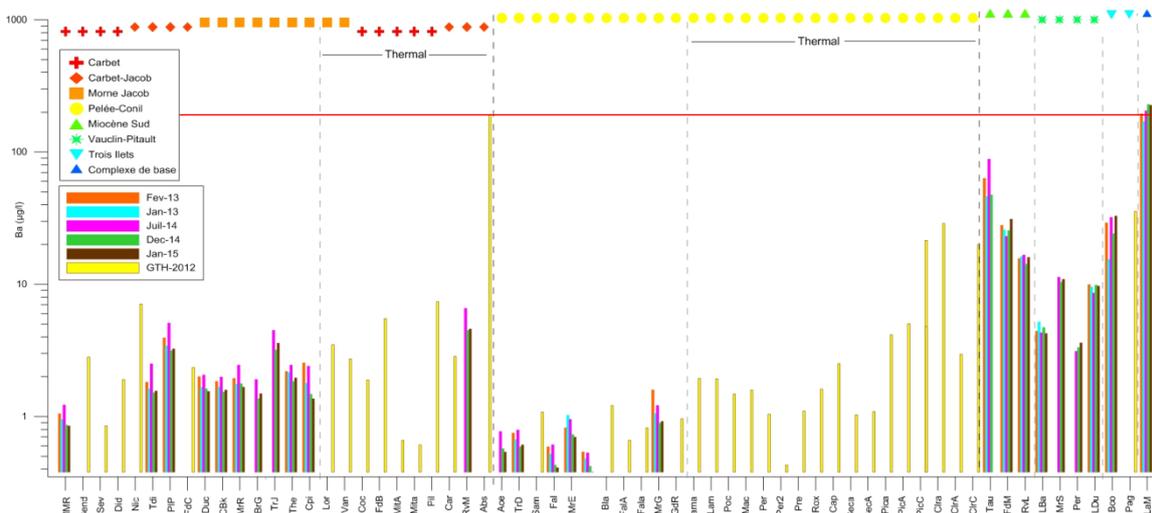


Illustration 12 : Concentrations en baryum ($\mu\text{g/l}$) par groupes entre 2012 et 2015

Dans le sud de l'île à la station La Mamiisse du Complexe de base, la concentration de $229 \mu\text{g/l}$ dépasse la limite de qualité fixée à $200 \mu\text{g/l}$ (11 janvier 2007), et confirme le fond hydro-géochimique identifié en 2013 dans les eaux souterraines. Pour le reste, aucun risque de dépassement en baryum n'est révélé pour les eaux de surface de Martinique ; des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence.

3.2.4. Bore

L'élément bore est associé aux intrusions salines, il est relativement abondant dans les océans. Il est retrouvé généralement dans les eaux en domaine littoral et au sein de formations épanchées en milieu sous-marin.

Les concentrations sont comparables entre les eaux des zones Pelée-Conil et Carbet/Jacob et toujours inférieures à $40 \mu\text{g/l}$ (cf. Annexe 7).

Le bore est très volatil, c'est pourquoi il est abondant dans les sources thermales. D'ailleurs, les stations thermales de Pelée-Conil et la source Absalon de Carbet-Jacob, sont plus concentrées en bore et peuvent atteindre 500 µg/l.

Les concentrations dans le sud de l'île sont plus importantes, néanmoins elles ne dépassent pas 124 µg/l sur le Complexe de base et 94 µg/l aux Trois Ilets ; cependant, chacun de ces secteurs n'est représenté que par une unique station, respectivement La Mamisse et Bois Coupé, et les données seront à préciser avec des stations complémentaires.

L'étude des eaux souterraines a permis de classer la Presqu'île des Trois-Ilets en fond hydro-géochimique élevé (Arnaud, 2013) avec un indice élevé de confiance, qui s'accorde avec les dépassements sur Bois Coupé (Annexe 7).

Avec une limite de qualité fixée à 1000 µg/l (Arrêté du 11 janvier 2007), aucun dépassement en bore n'est révélé pour les eaux de surface de Martinique ; néanmoins, des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence.

3.2.5. Brome

Les concentrations en brome sont homogènes entre le secteur Pelée-Conil et la zone Carbet/Jacob avec une moyenne de 20 µg/l. Les eaux du sud présentent des concentrations plus importantes dans les eaux drainant le Complexe de Base avec une moyenne à 2507 µg/l illustrées par l'échelle logarithmique de l'Annexe 8). Les concentrations en brome dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

Le brome ne possédant pas de norme de qualité environnementale ou de limite de qualité pour l'AEP, aucune proposition de valeurs de référence n'est réalisée.

3.2.6. Cobalt

Sur le secteur Pelée-Conil et Carbet/Jacob, toutes les concentrations en cobalt sont inférieures à la limite de quantification (0,05 µg/l) à l'exception d'une anomalie en décembre 2014, à écarter sur la Trace des Jésuites (cf. Annexe 8).

Les concentrations en cobalt dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

Des valeurs sont mesurées dans les eaux du sud (Miocène Sud, Vauclin-Pitault, Complexe de base). Les concentrations les plus importantes sont mesurées sur la station de la Taupinière mais restent inférieures à 1 µg/l.

Avec une limite de fixée à 20 µg/l, aucun risque de dépassement en cobalt n'est révélé pour les eaux de surface de Martinique ; néanmoins, des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence.

3.2.7. Lithium

Le lithium est un bon élément marqueur de l'hydrothermalisme. Les eaux thermales montrent les concentrations les plus fortes atteignant des concentrations supérieures à 10 voire 100 µg/l pour le secteur Pelée-Conil.

Les concentrations en lithium sont très variables d'un groupe à l'autre. On note des concentrations inférieures pour les eaux drainant le secteur Carbet/Jacob, avec une médiane à 0,3 µg/l, alors que pour les eaux des secteurs Pelée-Conil, Vauclin-Pitault et Miocène sud, la médiane s'approche de 1 µg/l. Des concentrations plus élevées (~4 µg/l) sont rencontrées pour les Trois îlets et le Complexe de base.

Le lithium ne possédant pas de norme qualité environnementale ou de limite de qualité, aucune proposition de valeurs de référence n'est réalisée.

3.2.8. Manganèse et fer

Le fer et le manganèse sont des constituants des minéraux alumino-silicatés. Les concentrations dans les eaux se caractérisent par une grande variabilité dans le temps et l'espace et sont issus de l'altération pédoclimatique et/ou hydrothermale du substratum volcanique où ils sont facilement mobilisable (Fiquet et al., 1997). Les eaux sont susceptibles de s'enrichir en fer et manganèse du fait notamment de l'altération des pyroxènes (hypersthène, augite, olivine) et/ou des amphiboles.

Les eaux souterraines présentent un risque élevé de fond hydro-géochimique en fer et manganèse sur l'ensemble de la Martinique, avec d'importants dépassements des valeurs seuils en raison de la nature géologique des aquifères mais aussi en fonction des conditions d'oxydo-réductions (Arnaud et al., 2013), il a d'ailleurs été proposé une révision des valeurs seuils pour certaines masses d'eau souterraine (Annexe 7). Dans les cours d'eau, les concentrations en fer sont moins importantes et généralement en dessous de la NQE (200 mg/l) à l'exception de la station thermale d'Absalon et de Fond Masson dans le Miocène Sud qui atteint 251 mg/l en juillet 2014 (Annexe 6).

L'illustration 13 montre des concentrations en manganèse toutes inférieures à 10 µg/l dans les secteurs Carbet/Jacob et Pelée-Conil, à l'exception de la station d'Absalon.

Il existe une importante hétérogénéité dans le sud de l'île. Trois stations connaissent des dépassements de la valeur seuil de 50 µg/l en manganèse ; ces stations, Taupinière, La Baume et La Mamisse, connaissent une grande variabilité des résultats qui peuvent aller jusqu'à un facteur 10 en fonction de la campagne de prélèvement. Cette hétérogénéité est très certainement liée à une mobilisation sous forme colloïdale qui présente généralement une forte variabilité en fonction du ruissellement et de l'altération.

Les valeurs de la Mamisse sont plus stables en manganèse variant de 33,5 à 91,6 µg/l.

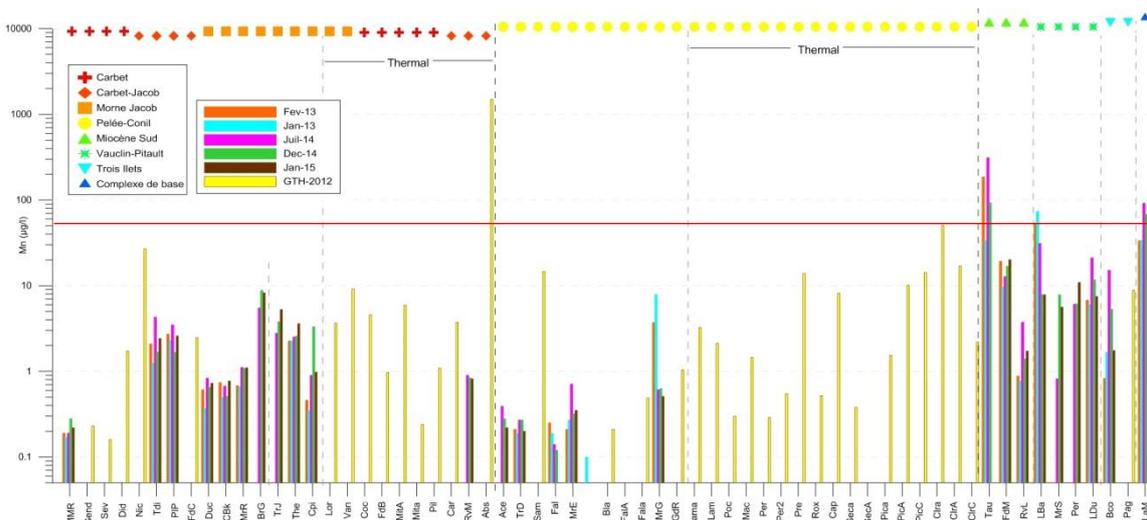


Illustration 13 : Concentrations en manganèse ($\mu\text{g/l}$) par groupes entre 2012 et 2015

3.2.9. Sélénium

Les concentrations en sélénium sont globalement inférieures aux limites de quantifications dans les eaux ($0,1 \mu\text{g/l}$). On note des concentrations faibles mais homogènes dans le secteur de Trace des Jésuites, Thébault et Confluence Pirogue au Morne-Jacob atteignant un maximum à $0,3 \mu\text{g/l}$ et sur le secteur sud avec les concentrations maximales mais néanmoins faibles pour le Complexe de base ($0,4 \mu\text{g/l}$).

Les concentrations en sélénium dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

Avec une limite de qualité fixée à $10 \mu\text{g/l}$ (arrêté de janvier 2007), aucun dépassement en sélénium n'est révélé pour les eaux de surface de Martinique ; néanmoins, des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence.

3.2.10. Strontium

Le strontium permet de distinguer les différents groupes hydrogéochimiques. Les concentrations sur les secteurs Pelée-Conil et Carbet/Jacob sont relativement faibles entre 10 et $60 \mu\text{g/l}$. Les eaux thermales ont des concentrations plus importantes de 35 à $110 \mu\text{g/l}$, avec un maximum de $690 \mu\text{g/l}$ mesuré à la source d'Absalon.

Les groupes du sud sont plus concentrés en strontium avec des maximums rencontrés au Complexe de base avec une moyenne de $1898 \mu\text{g/l}$.

Le strontium ne possédant pas de norme qualité environnementale ou de limite de qualité, aucune proposition de valeurs de référence n'est réalisée.

3.3. ÉLÉMENTS TRACES AYANT UNE NQE POUR LES EAUX DE SURFACE

La synthèse des connaissances par éléments traces ayant NQE est présentée pour chacun des paramètres, par campagnes et pour les 7 faciès hydro-géochimiques définis précédemment. L'analyse des résultats permettra de proposer des valeurs de référence pour les eaux de surface.

3.3.1. Arsenic

En Martinique, l'arsenic est attendu dans la composition des minéraux associés à l'hydrothermalisme, notamment les sulfures (pyrite...) ou les oxy-hydroxydes de fer.

Les données acquises au cours de l'étude sur les eaux souterraines (Arnaud et al., 2013) ont permis de définir un risque de fond hydro-géochimique en arsenic sur les masses d'eau Nord Caraïbe, Centre et Sud Caraïbe et une proposition de valeur seuil locale de 50 µg/l au Marigot-Anse Charpentier (cf. Annexe 7). L'illustration 14 montre des dépassements de la norme qualité environnementale fixée à 0,83 µg/l (arrêté du 27 juillet 2015), uniquement pour les eaux thermales de la zone Pelée-Conil avec des concentrations qui restent néanmoins inférieures à 1 µg/l et de la source d'Absalon à Carbet/Jacob qui atteint une valeur de 39,7 µg/l.

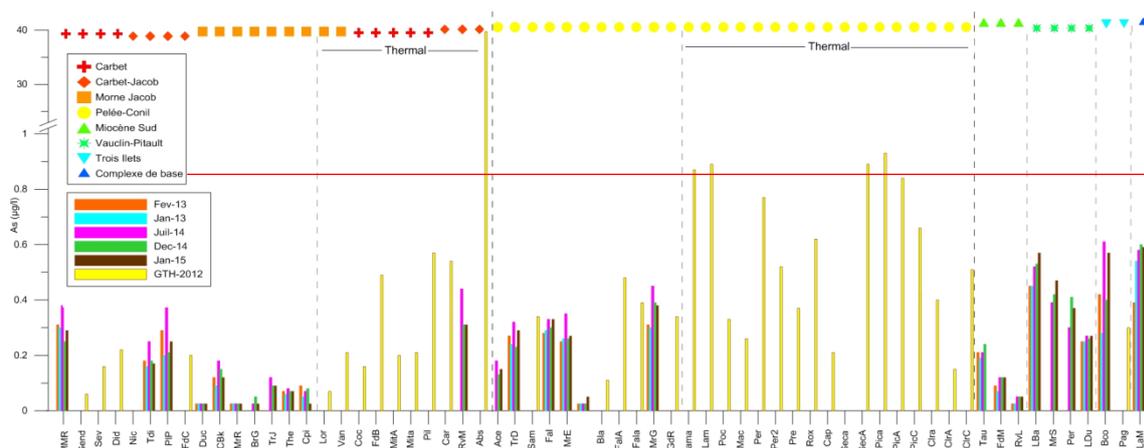


Illustration 14 : Concentrations en arsenic (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015

Aucun dépassement de la NQE en arsenic n'est révélé pour les eaux de surface non thermales de Martinique ; néanmoins, des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence.

3.3.2. Cadmium

Le cadmium est souvent l'indicateur d'une activité géothermale (actuelle ou passée) il est également associé à la pyrite. Il peut co-précipiter avec des oxydes de manganèse ce qui limite sa concentration dans les eaux naturelles. D'un point de vue anthropique, il peut également être associé aux engrais phosphatés.

L'illustration 15 montre que cet élément a été détecté uniquement au cours de la campagne de prospection géothermique de 2012, dans les eaux thermales et dans deux rivières : Didier et Petit Nicolas à des concentrations inférieures à 0,04 µg/l.

Les stations des campagnes de fond hydro-géochimique réalisées sur eaux filtrées entre 2013 et 2015 ne présentent aucune valeur dépassant la limite de quantification de 0,01 µg/l.

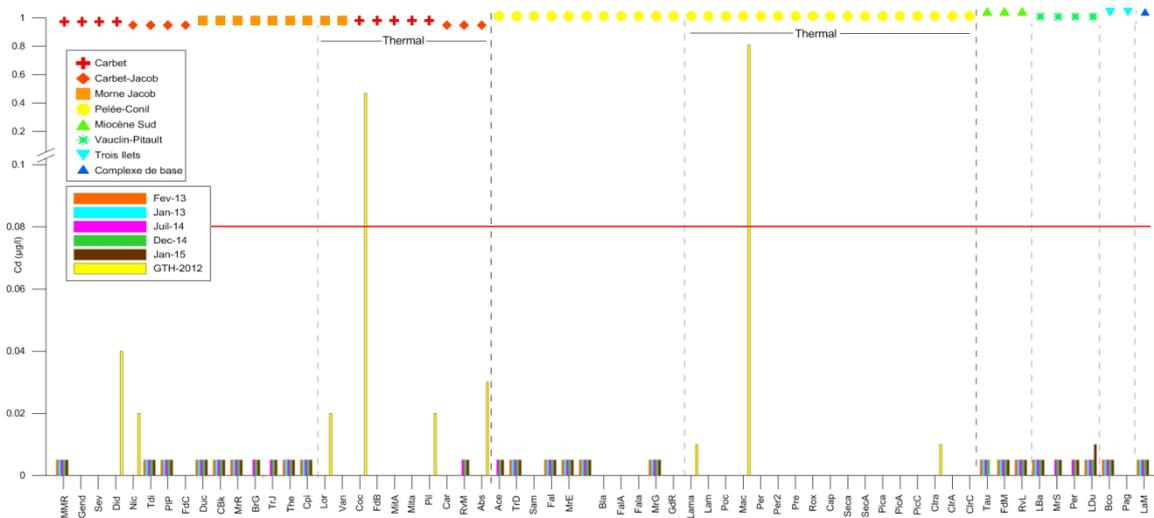


Illustration 15 : Concentrations en cadmium (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015 ; Concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur LQ/2=0,005 µg/l.

Avec une norme qualité environnementale fixée à 0,08 µg/l, aucun dépassement de la NQE en cadmium dans les eaux de surface de Martinique n'est révélé ; néanmoins, des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3. afin de servir de valeur de référence. Le cadmium peut être retenu ici comme marqueur d'une activité thermique.

3.3.3. Chrome

Le principal minéral contenant du chrome est la chromite (FeCr_2O_4). Le chrome se substitue aisément au fer ferrique, ce qui lui vaut d'être présent dans de nombreux minéraux silicatés fréquemment rencontrés en Martinique (pyroxènes, amphiboles, micas) (BRGM, 2006).

Les concentrations en chrome dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

Aucun risque de fond hydro-géochimique en chrome n'a été retenu pour les eaux souterraines en 2013.

L'illustration 16 montre qu'aucune station n'a quantifié de chrome (LQ = 0,1 $\mu\text{g/l}$), au cours des campagnes de fond hydro-géochimique, à l'exception de Thébault qui présente des concentrations inférieures à 0,2 $\mu\text{g/l}$ et d'une anomalie à écarter en décembre 2014 à Perriolat au Vauclin-Pitault.

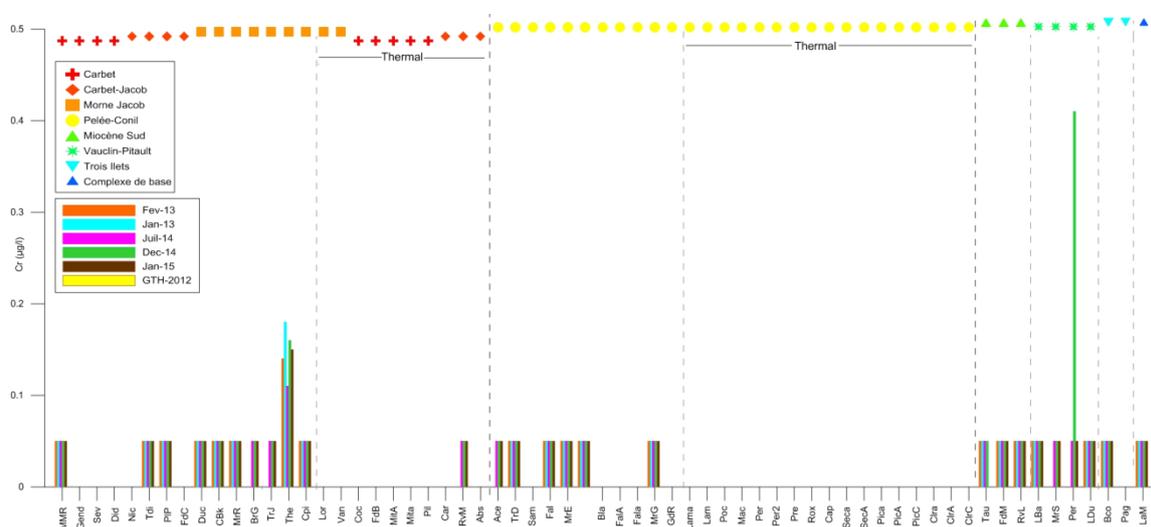


Illustration 16 : Concentrations en chrome ($\mu\text{g/l}$) par groupes entre 2012 et 2015

Avec une norme qualité environnementale fixée à 3,4 $\mu\text{g/l}$, aucun dépassement de la NQE en chrome dans les eaux de surface de Martinique n'est révélé, à l'exception de la station Thébault ; des valeurs sont proposées en fonction du contexte hydrogéochimique au paragraphe 4.3. afin de servir de valeur de référence.

3.3.4. Nickel

Le nickel est principalement associé au manganèse et aux oxydes de fer qui sont deux éléments abondants. Il est principalement présent dans les minéraux sulfurés comme la pyrite ou la pentlandite. Sa mobilité augmente lorsqu'il est adsorbé sur des phases particulières (argiles, oxydes et matières organiques), de fait il est possible d'observer une mobilité plus grande du nickel dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines.

L'étude du fond hydro-géochimique des eaux souterraines (Arnaud et al., 2013) retrouve de fortes concentrations en nickel (associées à de fortes concentrations en arsenic) sur deux forages (Schoelcher – Fond Lahaye et Rivière Salée – Nouvelle Cité). En raison du peu de données, ces anomalies ne peuvent s'expliquer et un risque de fond hydro-géochimique n'a pas pu être renseigné.

Les concentrations en nickel dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

L'

Illustration 17 montre ponctuellement des concentrations supérieures à la limite de quantification de 0,1 µg/l, avec des valeurs qui restent néanmoins faibles (< 0,4 µg/l). Certaines stations présentent des concentrations stables d'une campagne à l'autre, notamment pour les points de Taupinière dans le Miocène Sud et La Mamisse du Complexe de base.

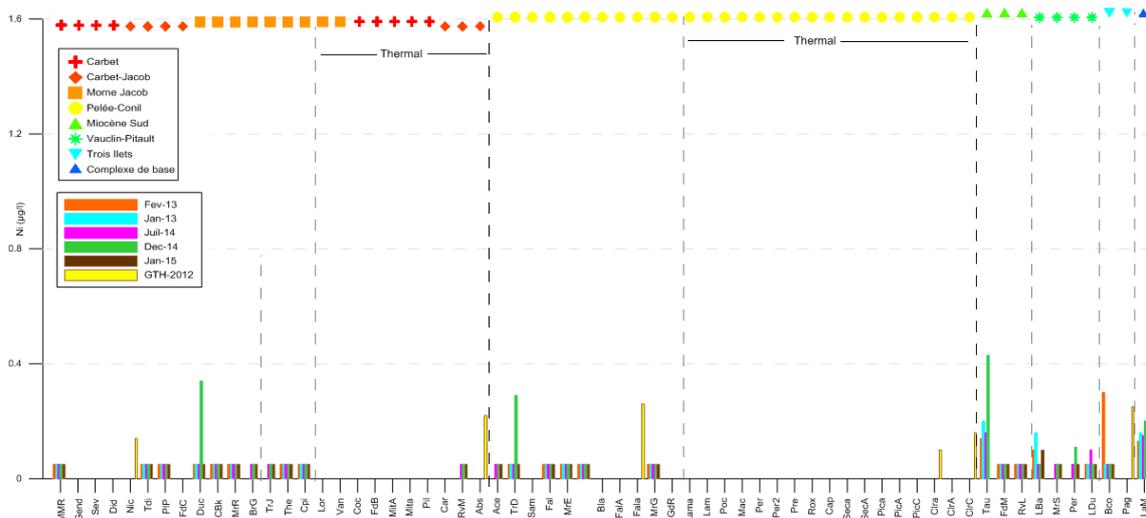


Illustration 17 : Concentrations en nickel (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015 ; Concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur $LQ/2=0,005 \mu\text{g/l}$.

Avec une norme qualité environnementale fixée à 4 µg/l, aucun dépassement de la NQE en nickel dans les eaux de surface de Martinique n'est révélé ; néanmoins, des valeurs adaptées au contexte hydrogéochimique sont proposées au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence.

3.3.5. Cuivre

Le cuivre et le zinc (§. 3.4.8) sont deux éléments associés dans les roches aux minéraux ferromagnésiens (olivine, amphibole et biotite) (Selinus et al., 2005), ainsi qu'aux processus fumeroliens et/ou hydrothermaux (Pons et al., 1989). D'un point de vue anthropique, ces deux éléments peuvent également être associés aux produits phytosanitaires.

Il n'a pas été mis en évidence de risque de fond géochimique au niveau des eaux souterraines. Néanmoins, au sud de l'île, des valeurs supérieures à 1 µg/l ont été mesurées lors de la campagne de fond géochimique à la source hydrothermale du Morne Larcher et sur le réseau DCE au Diamant-Dizac, au Marin - Cap Macré, à Rivière Pilote-Fougainville et aux Trois Ilets-Vatable.

Les concentrations en cuivre dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

En Illustration 18, les concentrations en cuivre sont relativement faibles pour les zones Pelée-Conil et Carbet-Jacob où aucun dépassement de la norme qualité environnementale de 1 µg/l n'est identifié, à l'exception d'anomalies en décembre 2014 à Trace des Jésuites et Duchesnetaux, probablement dues à une contamination ponctuelle.

En revanche, des concentrations plus fortes sont observées au sud de l'île. Ces valeurs sont homogènes sur le secteur et d'une campagne à l'autre ; l'absence de concentrations importantes en cadmium (cf. § 3.4.2) et en zinc (cf. § 3.4.8) écartent l'hypothèse d'un apport anthropique lié aux activités agricoles et laisse supposer une origine naturelle du cuivre.

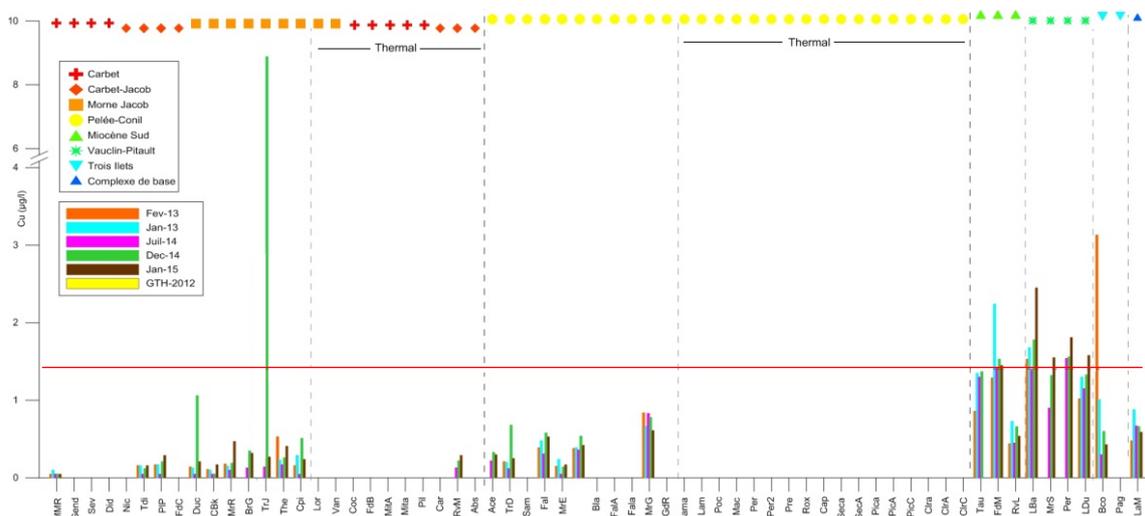


Illustration 18 : Concentrations en cuivre (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015

Avec une norme qualité environnementale fixée à 1 µg/l, aucun dépassement de la NQE en cuivre dans les eaux de surface du nord et du centre n'est révélé, contrairement au sud de la Martinique ; des valeurs adaptées au contexte hydrogéochimique sont proposées au paragraphe 4.3, afin de servir de valeur de référence. Pour les secteurs du sud : Miocène Sud, Trois Ilets et Vauclin-Pitault, il est recommandé de poursuivre le suivi afin d'améliorer la ligne de base.

3.3.6. Mercure

Tout comme le cadmium, le mercure est souvent un indicateur d'une activité géothermale (actuelle ou passée).

En 2008, il n'avait pas été possible de statuer concernant le mercure en raison du peu de données pour les eaux de surface. Au cours des 5 campagnes de fond hydro-géochimique réalisées sur eaux filtrées, aucune valeur n'a été quantifiée sur l'ensemble du réseau.

Un risque de fond hydro-géochimique a été associé aux andésites du Complexe de base au cours de l'étude des eaux souterraines (Arnaud et al., 2013) révélé par un enrichissement en mercure au forage de Marin - Cap Macré qui souligne une activité géothermale ancienne.

Au cours des campagnes de fond hydro-géochimique dans les eaux de surface entre 2013 et 2015, aucune station n'a présenté de concentrations supérieures ou égales à la limite de quantification (LQ) de 0,015 µg/l.

Avec une norme qualité environnementale fixée à 0,07 µg/l, aucun dépassement de la NQE en mercure dans les eaux de surface de Martinique n'est révélé ; néanmoins, des valeurs égales à la LQ sont proposées pour l'ensemble des contextes hydrogéochimiques au paragraphe 4.3. afin de servir de valeur de référence.

3.3.7. Plomb

Le plomb se substitue principalement au potassium, au strontium et au baryum ; on le trouve ainsi en trace dans des minéraux potassiques tels que les feldspaths ou les micas. Le plomb est également présent en moindre quantité dans les pyroxènes, les hornblendes, les amphiboles ou les plagioclases (Wedepohl et al., 1974). Des concentrations en plomb d'origine naturelle supérieures au seuil analytique restent cependant rares en raison d'une faible solubilité des complexes qu'il forme, de l'adsorption sur diverses surfaces et d'une co-précipitation possible avec les oxydes de manganèse (BRGM, 2006).

Aucun risque de fond hydro-géochimique en plomb n'a été identifié dans les eaux souterraines (Arnaud et al., 2013).

Les concentrations en plomb dans les eaux thermales n'ont pas été analysées durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

L'illustration 19, montre une concentration maximale mais néanmoins faible sur l'échantillon de la rivière du Petit Nicolas à 0,58 µg/l, sur lequel il n'y a eu qu'un seul prélèvement. Sur l'ensemble des campagnes de fond hydro-géochimique, 94% des concentrations en plomb sont inférieures à la limite de quantification de 0,05 µg/l.

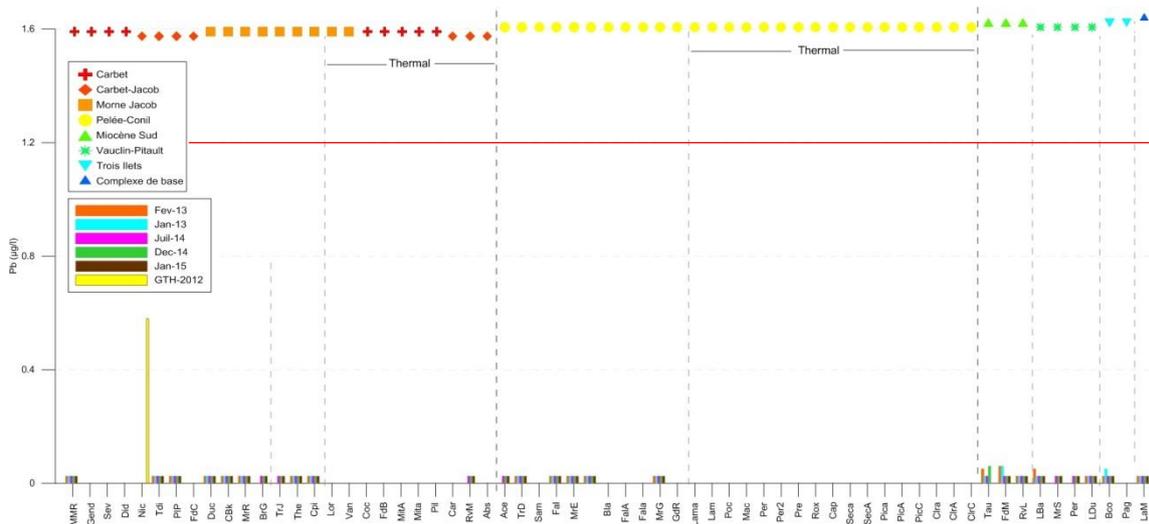


Illustration 19 : Concentrations en plomb (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015

Avec une norme qualité environnementale fixée à 1,2 µg/l, aucun dépassement de la NQE en plomb dans les eaux de surface de Martinique n'est révélé ; néanmoins, des valeurs adaptées au contexte hydrogéochimique sont proposées au paragraphe 4.3. afin de servir de valeur de référence.

3.3.8. Zinc

Le zinc, comme le cuivre, est un élément associé aux minéraux ferromagnésiens (Selinus et al. 2005) ainsi qu'aux processus fumeroliens et/ou hydrothermaux (Pons et al. 1989). Le zinc est relativement plus soluble que le cuivre néanmoins il s'adsorbe facilement sur certaines surfaces minérales et peut co-précipiter limitant ainsi sa concentration dans les eaux naturelles.

Le zinc est associé aux produits phytosanitaires et sa présence peut se justifier par une activité agricole si elle concorde avec des concentrations en nitrate. Néanmoins, cette hypothèse n'a pas été vérifiée.

Dans les eaux souterraines, un risque faible de fond hydro-géochimique en zinc a été identifié sur l'ensemble de la Martinique. Des concentrations maximums sont mesurées au Marin – Cap Macré avec 59,3 µg/l.

Le zinc n'a pas été analysé dans les eaux thermales durant la campagne de prospection géothermique en 2012.

L'illustration 20, montre des concentrations en zinc relativement faibles et souvent inférieures à la limite de quantification de 0,5 µg/l. On note quelques contaminations ponctuelles en juillet 2014 à confluence Pirogue et en décembre 2014 à La Mamisse (> 4 µg/l).

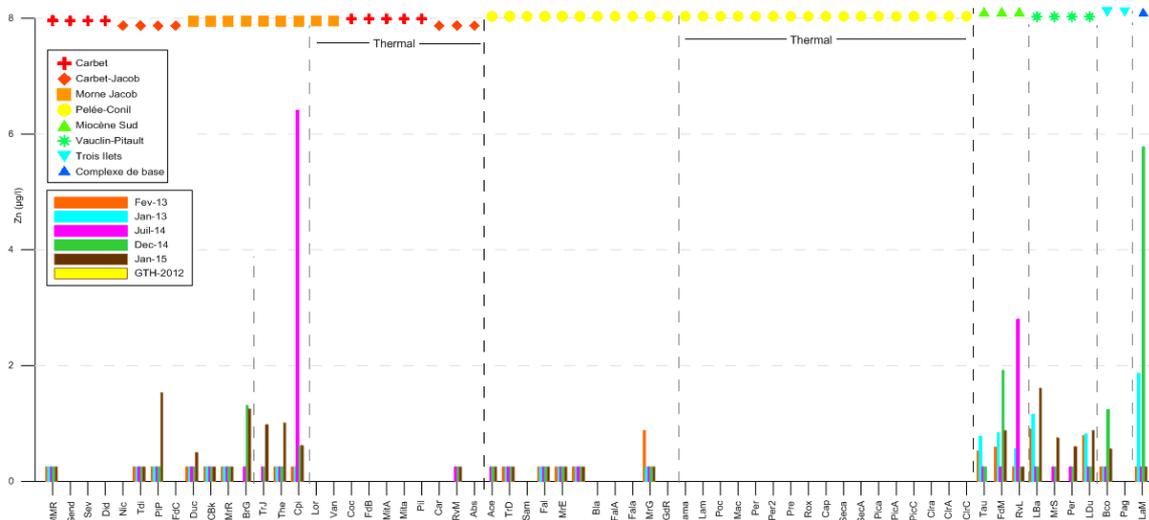


Illustration 20 : Concentrations en zinc (µg/l) par groupes entre 2012 et 2015. Concentrations inférieures à la LQ représentées par la valeur $LQ/2=0,25 \mu\text{g/l}$.

Avec une norme qualité environnementale fixée à 7,8 µg/l, aucun dépassement de la NQE en zinc dans les eaux de surface de Martinique n'est révélé ; néanmoins, des valeurs adaptées au contexte hydrogéochimique sont proposées au paragraphe 4.3. afin de servir de valeur de référence.

4. Détermination du fond hydro-géochimique naturel

4.1. MÉTHODOLOGIE

L'objectif de cette étude est de pouvoir définir les gammes de concentrations naturelles d'un élément dans les eaux, c'est-à-dire acquises entièrement à partir d'une source naturelle qu'elle soit géologique, biologique ou atmosphérique dans des conditions qui n'ont pas été perturbées par les activités anthropiques. Différentes méthodes peuvent être appliquées pour évaluer les fonds hydro-géochimiques naturels. Ces méthodes comprennent l'utilisation des suivis historiques, l'extrapolation à partir de secteurs non anthropisés ayant des géologies similaires, la modélisation géochimique ou encore l'utilisation d'outils statistiques. Ces approches peuvent être appliquées séparément ou de manière complémentaire de façon à évaluer les impacts anthropiques.

Compte tenu de l'hétérogénéité des milieux géologiques et aquatiques, des gammes de valeurs sont définies plutôt qu'une simple valeur moyenne, des valeurs peuvent néanmoins servir de valeurs guides. Ces gammes de valeurs peuvent être définies de différentes manières, par exemple en déterminant une moyenne et une déviation standard, la gamme de l'ensemble des valeurs ou en décrivant les valeurs basses et hautes des concentrations après avoir éliminées les concentrations extrêmes.

La valeur médiane est également utilisée pour comparer les valeurs de fond hydro-géochimique de différents aquifères ou différentes régions. Elle est préférée pour comparer différents jeux de données car c'est une valeur plus robuste que la moyenne, étant moins affectée par les valeurs extrêmes. La difficulté dans la définition du fond hydro-géochimique est de tenir compte de l'hétérogénéité spatiale et de la variabilité temporelle de la composition de l'eau.

Pour définir les valeurs hautes du fond hydrogéochimique, les études relatives au bruit de fond hydro-géochimique aux USA et en Angleterre ont choisi le centile 95. Au niveau européen, les centiles 90 ont été utilisés. Une autre méthode consiste à définir la moyenne + 2*écart-type (2σ). Toutes les approches permettent d'éliminer les valeurs extrêmes. Edmunds et Shand (2008) ont travaillé spécifiquement sur les lignes de base sur la qualité des eaux souterraines. Ces auteurs recommandent les percentiles 95 ou 97,7 (équivalent à la moyenne $\pm 2\sigma$). Ces auteurs recommandent un minimum de 37 échantillons pour appliquer ces calculs en toute rigueur. Dans notre cas le nombre de données est parfois limité néanmoins nous retiendrons leur approche (centile 97,7) qui a été appliquée pour la définition du fond hydrogéochimique des eaux de surface en Grande-Bretagne (Shand et al., 2007).

Enfin le nombre de données disponibles est également à prendre en considération dans le choix des valeurs retenues. Dans le cadre de la présente étude, le nombre de valeurs est relativement faible et les gammes de concentrations définies devront être revues lorsque de nouvelles données seront disponibles.

Afin d'évaluer les gammes de concentrations mesurées dans les eaux selon leurs types, nous avons appliqué un traitement statistique qui permet de calculer les valeurs médianes et moyennes ainsi que les quartiles et les bornes de l'intervalle de confiance (bornes inférieures et supérieures à 97,7%).

Les valeurs médianes permettent de comparer entre eux les groupes d'eau définis et les bornes inférieures et supérieures permettent de définir la gamme de concentrations naturelles pour le système considéré.

A partir des données présentées ci-après, il est possible de proposer des valeurs de référence qui seront définies pour chacun des paramètres en tenant compte de la valeur médiane, de l'écart-type ainsi que de l'intervalle de confiance. Il est nécessaire de définir si une valeur de référence retenue peut naturellement être dépassée par des valeurs extrêmes enregistrées lors de la présente étude. Les futures données permettront d'améliorer la précision de ces valeurs de référence notamment pour les paramètres présentant une forte variabilité. Les dépassements devront faire l'objet d'une attention particulière afin d'identifier la cause du dépassement. Il conviendra de tenir compte des limites de quantification et des incertitudes de mesure pour définir les valeurs de référence qui pourront être inférieures aux NQE ou aux normes de potabilité (cf. § 2.3), un seuil minimal de 1 µg/l pourrait être proposé selon les paramètres.

Pour le traitement statistique il est recommandé d'utiliser les valeurs LQ/2 pour les analyses ayant des résultats inférieurs aux limites de quantification. Dans la présente étude les limites de détection sont relativement basses en raison de la méthode analytique utilisée (ICP-MS) et le calcul LQ/2 a été appliqué.

Les résultats d'analyse des différentes campagnes de prélèvements ont fait l'objet d'une analyse statistique descriptive. Ainsi, il a été calculé pour chaque élément :

- **Le nombre d'observations** : le nombre de données dans le groupe sélectionné ;
- **Le minimum** : le minimum de la série analysée ;
- **Le maximum** : le maximum de la série analysée ;
- **Le 1^{er} quartile** : le premier quartile **Q1** est défini comme la valeur telle que 25% des données lui sont inférieurs ;
- **La médiane** : la médiane **Q2** est telle que 50% des données lui sont inférieurs ;
- **Le 3^{ème} quartile** : le troisième quartile **Q3** est défini comme la valeur telle que 75% des données lui sont inférieurs ;
- **La moyenne** : la moyenne de l'échantillon ;
- **L'écart-type n-1** : l'écart-type estimé de l'échantillon défini par $s(n-1)$;
- **La borne inf. de la moyenne (97,7% ou niveau de signification $\alpha=1-x/100$)** : cette statistique correspond à la borne inférieure de l'intervalle de confiance à 97,7% autour de la moyenne ;
- **La borne sup. de la moyenne (97,7% ou niveau de signification $\alpha=1-x/100$)** : cette statistique correspond à la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 97,7% autour de la moyenne.

Le rendu de cette analyse statistique descriptive est présenté en Annexe 9 pour les éléments traces et Annexe 10 pour les éléments majeurs des différents groupes représentatifs.

Pour le Complexe de base, seul un point d'eau a été échantillonné, ceci limite la possibilité de proposer des valeurs de référence pour cette entité. Seuls les minimums et maximums ainsi que la moyenne sont calculées. Néanmoins, les concentrations relativement élevées mesurées dans ces eaux peuvent être rapprochées des concentrations mesurées dans les eaux souterraines au Cap Macré lors de l'étude de Arnaud et al. en 2013 (cf. Annexe 11 pour les éléments traces et Annexe 12 pour les majeurs).

4.2. PROPOSITIONS DE VALEURS DE RÉFÉRENCE

Dans ce chapitre des valeurs de référence sont proposées, elles devront être confrontées aux valeurs des prochaines campagnes de suivi des eaux de surface réalisées selon la méthode Aquaref, pour valider les valeurs proposées dans la présente étude.

Les valeurs de référence sont proposées en Illustration 21 :

Paramètres / Géologie	Proposition de valeurs de référence (µg/l)							NQE (27/07/15)	Norme potabilité (11/01/07)	Limite de Quantification (µg/l)	
	Carbet	Jacob	Miocène Sud	Pelée-Conil	Trois Ilets	Vauclin-Pitault	Complexe de base				
Aluminium	20 Trace Jésuite : 100		50	20	20	20	2*	Pas de NQE	200	0,5	
Antimoine	<LQ		<LQ Taupinière : 0,1 40	<LQ	<LQ	0,1	0,13*		5	0,05	
Baryum	10		Taupinière : 100 50	10	40	20	229*		700	0,05	
Bore	25		Taupinière : 75 0,1	50	100	75	124*		1000	0,5	
Cobalt	<LQ		Taupinière : 0,8	<LQ	<LQ	0,1	0,1*		20	0,05	
Fer (mg/l)	100		200	<LQ	100	50	<LQ*		200 mg/l	20 mg/l	
Manganèse	10		30 Taupinière : 150	10	15	30	92*		50	0,1	
Sélénium	0,2 Trace Jésuite : 0,3		<LQ	<LQ	0,2	0,2	0,4*		10	0,1	
Arsenic	0,2		0,2	0,3	0,7	0,5	0,6*		0,83	/	0,05
Cadmium	0,05		<LQ	<LQ	<LQ	0,05	<LQ*		0,08	5	0,01
Chrome	<LQ Thébault : 0,2		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	3,4	50	0,1	
Cuivre	0,8		1,5**	1	1,5**	2**	0,9*	1	2000	0,1	
Mercure	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	0,07	1	0,015	
Nickel	<LQ		<LQ Taupinière : 0,3	<LQ	0,3**	0,2	0,2*	4	20	0,1	
Plomb	<LQ Petit Nicolas : 0,6		0,06	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	1,2	10	0,05	
Zinc	1		1,5	<LQ	1,5	1	5,8*	7,8	5000	0,5	

* valeurs maximales mesurées

** poursuivre le suivi pour affiner la ligne de base

Illustration 21 : Valeurs de référence proposées pour les eaux de surface de Martinique

Comme évoqué au paragraphe précédent (§ 4.1), compte tenu du nombre de cours d'eau échantillonnés, les valeurs de référence proposées pour le groupe Complexe de base correspondent aux valeurs maximales mesurées à la station La Mamisse.

Considérant que la Station Taupinière présente pour plusieurs éléments (Ba, B, Co, Mn, Ni, Sb) des valeurs qui se distinguent du reste du secteur Miocène Sud et de l'ensemble des groupes, il est recommandé de vérifier l'origine anthropique des différents éléments.

Une modification de la NQE en cuivre est à envisager pour les masses d'eau traversant les formations du Miocène sud et des Trois Ilets avec une NQE à 1,5 µg/l et celles traversant les formations du Vauclin-Pitault, avec une proposition de NQE à 2 µg/l.

Ces valeurs sont des propositions et des orientations pour guider et améliorer l'évaluation de l'état chimique et écologique des eaux de surface. Tout dépassement nécessitera systématiquement une analyse critique et un examen de l'origine du dépassement pour en vérifier le caractère naturel ou anthropique.

Afin d'affiner la ligne de base en cuivre pour les secteurs Miocène Sud, Trois Ilets et Vauclin-Pitault, des analyses complémentaires sont nécessaires, avec 3 à 5 campagnes de prélèvements sur les 9 stations « fond géochimique » concernées. Les nouveaux

résultats permettront d'obtenir une analyse statistique plus robuste, et d'ajuster au mieux la valeur de référence en cuivre pour ces secteurs.

4.3. APPLICATION DE LA DCE

L'unité de surveillance et de gestion des eaux de surface terrestres au titre de la DCE est la masse d'eau de surface. Son état est jugé sur la base de paramètres écologiques et chimiques. En Martinique l'on compte 20 masses d'eau réparties sur le territoire, reportées sur la carte en Illustration 22.

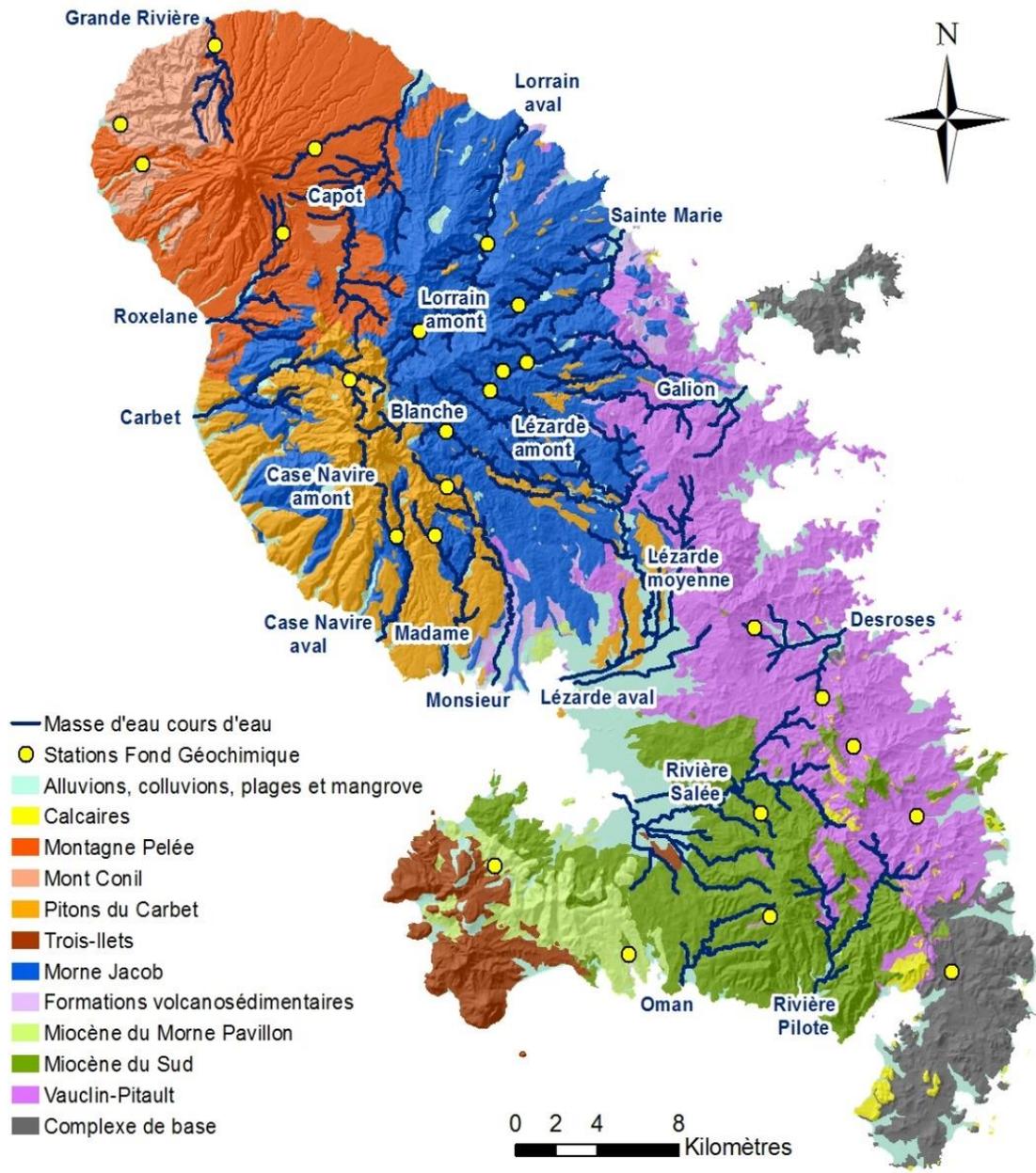


Illustration 22 : Localisation des masses d'eau cours d'eau en Martinique

Neuf masses d'eau cours d'eau recoupent, au moins en partie, les formations géologiques Miocène Sud et Vauclin-Pitault ; les masses d'eau Galion et Monsieur possèdent leur partie amont dans les formations Carbet-Jacob et leur partie aval dans le

secteur Vauclin-Pitault. Ces 9 masses d'eau ne présentent aucun risque de fond hydrogéochimique élevé, excepté pour le cuivre et risquent de ne pas respecter l'ensemble des exigences de la DCE.

Le tableau en Illustration 23, présente les NQE du 27 juillet 2015 pour tous les éléments traces, à l'exception du cuivre où la NQE a été adaptée dans les secteurs où il présentait un fond hydro-géochimique élevé.

Code	Masse d'eau	Rivière	Secteur	Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercur	Nickel	Plomb	Zinc	
FRJR101	Grande Rivière	Grand Rivière	Pelée-Conil	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8	
FRJR102	Capot	Capot										
FRJR103	Lorrain Amont	Lorrain	Carbet	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8	
FRJR104	Lorrain Aval											
FRJR105	Sainte-Marie	Bezaudin	Jacob									
FRJR106	Galion	Galion > 180 m d'alt.	Vauclin-Pitault	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8	
		Galion < 180 m d'alt.										
FRJR107	Desroses	Deux Courants	Vauclin-Pitault	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8	
		Desroses										
FRJR108	Grande Rivière Pilote	Grande Rivière Pilote	Vauclin-Pitault	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8	
		Petite Rivière Pilote										
FRJR109	Oman	Oman	Miocène Sud	0,83	0,08	3,4	1,5**	0,07	4	1,2	7,8	
		Bois d'Inde										
FRJR110	Rivière Salée	Rivières des Coulisses	Vauclin-Pitault	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8	
FRJR111	Lézarde Aval	Lézarde										
FRJR112	Lézarde Moyenne	Lézarde										
FRJR113	Lézarde Amont	Lézarde										
FRJR114	Blanche	Blanche	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR115	Monsieur	Monsieur > 140 m d'alt	Vauclin-Pitault	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8	
		Monsieur < 140 m d'alt										
FRJR116	Madame	Madame	Carbet	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8	
FRJR117	Case Navire Amont	Duclos										
FRJR118	Case Navire Aval	Case Navire	Jacob									
FRJR119	Carbet	Carbet										
FRJR120	Roxelane	Roxelane										

Respect de la NQE du 27/07/2015

Proposition de NQE adaptée

Illustration 23 : Masses d'eau cours d'eau et NQE adaptées en cas de dépassement

5. Conclusion

La réalisation des cinq campagnes de prélèvements des eaux de surface a permis de disposer de données fiables et représentatives des niveaux de concentrations d'origine naturelle de divers éléments majeurs et traces. Compte tenu de l'hétérogénéité spatiale des concentrations, l'acquisition de données supplémentaires permettrait de disposer d'une évaluation plus fine et d'améliorer la représentativité des résultats sur certains secteurs notamment le sud de l'île. La présente étude constitue toutefois une méthodologie fiable pour définir des valeurs de référence par secteurs et proposer des valeurs seuils adaptées au contexte par masses d'eau pour la mise en œuvre de la DCE.

L'analyse des concentrations en éléments majeurs dissous issues de la base de données, a permis de définir sept groupes homogènes représentatifs d'un même faciès hydro-géochimique. Dans le sud de l'île, les éléments majeurs ont globalement une concentration plus élevée par rapport au nord. Cette minéralisation s'explique par une évaporation plus marquée et une recharge plus faible limitant le phénomène de dilution dans le sud et de formations géologiques plus anciennes et plus altérées et parfois mises en place en milieu marin. C'est le cas du Complexe de base qui est particulièrement enrichi en éléments majeurs.

Suite à la synthèse des connaissances pour chaque élément trace, un traitement statistique, permettant de calculer les valeurs médianes et moyennes ainsi que les quartiles et les bornes de l'intervalle de confiance (bornes inférieures et supérieures à 97,7%) a été appliqué afin d'évaluer les gammes de concentrations mesurées dans les eaux des différents groupes hydro-géochimiques définis.

Le tableau suivant récapitule les propositions de valeurs de référence, par zones géologiques et géographiques représentatives.

Paramètres / Géologie	Proposition de valeurs de référence (µg/l)							NQE (27/07/15)	Norme potabilité (11/01/07)	Limite de Quantification (µg/l)
	Carbet	Jacob	Miocène Sud	Pelée-Conil	Trois llets	Vauclin-Pitault	Complexe de base			
Aluminium	20 Trace Jésuite : 100		50	20	20	20	2*	Pas de NQE	200	0,5
Antimoine	<LQ		<LQ Taupinière : 0,1	<LQ	<LQ	0,1	0,13*		5	0,05
Baryum	10		40 Taupinière : 100	10	40	20	229*		700	0,05
Bore	25		50 Taupinière : 75	50	100	75	124*		1000	0,5
Cobalt	<LQ		0,1 Taupinière : 0,8	<LQ	<LQ	0,1	0,1*		20	0,05
Fer (mg/l)	100		200	<LQ	100	50	<LQ*		200 mg/l	20 mg/l
Manganèse	10		30 Taupinière : 150	10	15	30	92*		50	0,1
Sélénium	0,2 Trace Jésuite : 0,3		<LQ	<LQ	0,2	0,2	0,4*		10	0,1
Arsenic	0,2		0,2	0,3	0,7	0,5	0,6*		0,83	/
Cadmium	0,05		<LQ	<LQ	<LQ	0,05	<LQ*	0,08	5	0,01
Chrome	<LQ Thébault : 0,2		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	3,4	50	0,1
Cuivre	0,8		1,5**	1	1,5**	2**	0,9*	1	2000	0,1
Mercurure	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	0,07	1	0,015
Nickel	<LQ		<LQ Taupinière : 0,3	<LQ	0,3**	0,2	0,2*	4	20	0,1
Plomb	<LQ Petit Nicolas : 0,6		0,06	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ*	1,2	10	0,05
Zinc	1		1,5	<LQ	1,5	1	5,8*	7,8	5000	0,5

* valeurs maximales mesurées

** poursuivre le suivi pour affiner la ligne de base

La Station Taupinière présente pour plusieurs éléments (Ba, B, Co, Mn, Ni, Sb) des valeurs qui se distinguent du reste du secteur Miocène Sud et de l'ensemble des groupes, il est recommandé de vérifier l'origine anthropique pour cette station.

Les concentrations naturelles des éléments étant très hétérogènes dans le temps comme dans l'espace, et le nombre d'échantillons utilisé dans cette étude restant limité à quelques stations et sur une période de prélèvement courte, toute consultation de ces valeurs de référence devra être systématiquement complétée par une analyse critique des éventuels dépassements des normes et par la recherche de l'origine d'un tel dépassement. Même si elles fournissent des ordres de grandeur fiables, il est recommandé de les actualiser régulièrement.

L'ensemble des exigences réglementaires de la DCE sont respectées, à l'exception du paramètre cuivre. Une modification de la NQE pourrait être envisagée pour les masses d'eau traversant les formations du Miocène sud et des Trois Ilets avec une NQE à 1,5 µg/l et celles traversant les formations du Vauclin-Pitault, avec une proposition de NQE à 2 µg/l.

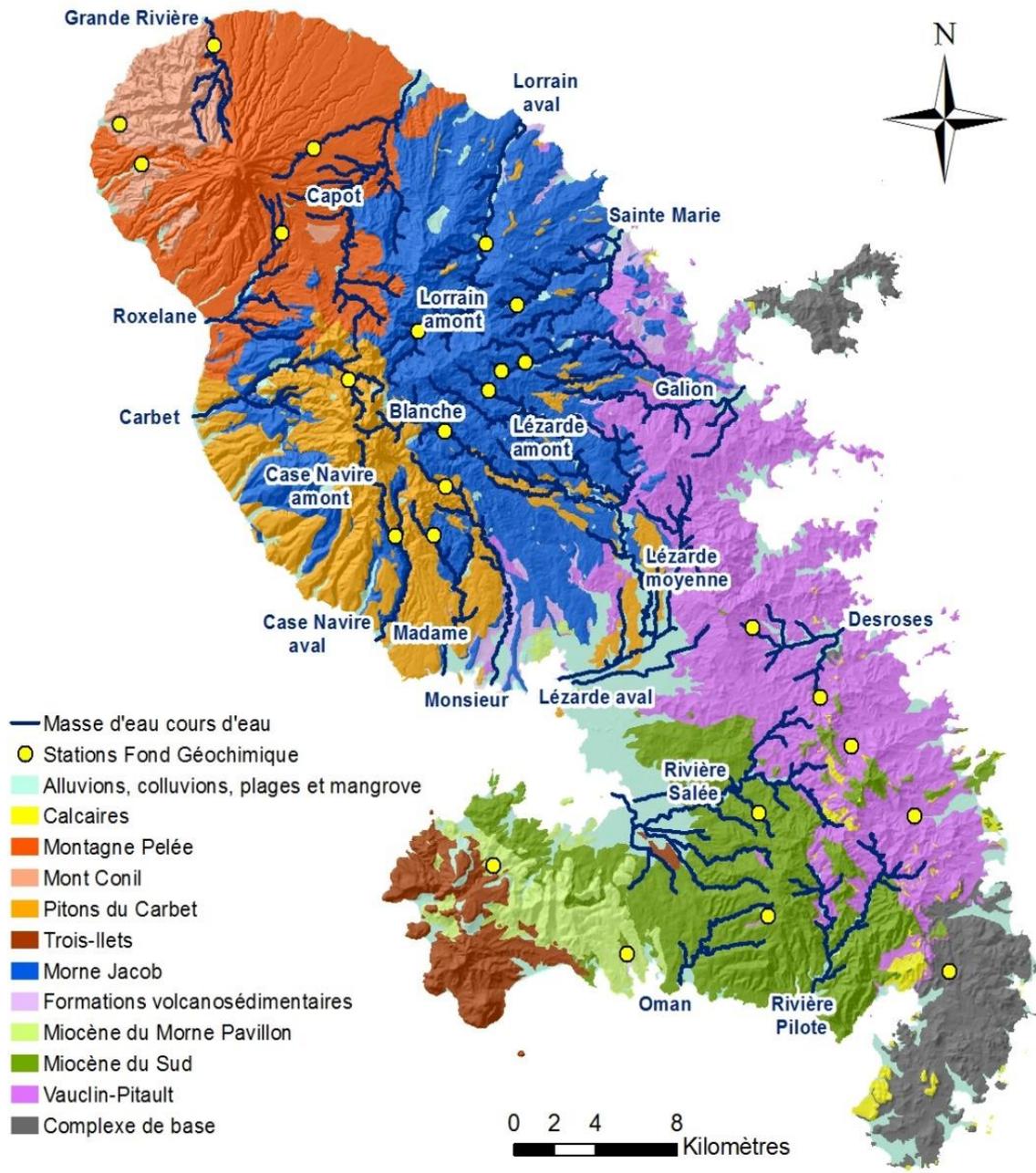
Sur les 20 masses d'eau cours d'eau, 9 recourent au moins en partie une de ces formations, et sont susceptibles de présenter des concentrations en cuivre ne respectant pas la norme qualité environnementale.

Code	Masse d'eau	Rivière	Secteur		Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercur	Nickel	Plomb	Zinc
FRJR101	Grande Rivière	Grand Rivière	Pelée-Conil		0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR102	Capot	Capot	Pelée-Conil		0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR103	Lorrain Amont	Lorrain	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR104	Lorrain Aval											
FRJR105	Sainte-Marie	Bezaudin	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR106	Galion	Galion > 180 m d'alt.										
FRJR107	Desroses	Galion < 180 m d'alt.	Vauclin-Pitault	Jacob	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
		Deux Courants										
FRJR108	Grande Rivière Pilote	Desroses	Vauclin-Pitault	Jacob	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
		Grande Rivière Pilote										
FRJR109	Oman	Petite Rivière Pilote	Miocène Sud	Jacob	0,83	0,08	3,4	1,5**	0,07	4	1,2	7,8
		Oman										
FRJR110	Rivière Salée	Rivières des Coulisses	Vauclin-Pitault	Jacob	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
FRJR111	Lézarde Aval	Lézarde										
FRJR112	Lézarde Moyenne	Lézarde	Vauclin-Pitault	Jacob	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
FRJR113	Lézarde Amont	Lézarde										
FRJR114	Blanche	Blanche	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR115	Monsieur	Monsieur > 140 m d'alt	Vauclin-Pitault	Jacob	0,83	0,08	3,4	2**	0,07	4	1,2	7,8
		Monsieur < 140 m d'alt										
FRJR116	Madame	Madame	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR117	Case Navire Amont	Duclos										
FRJR118	Case Navire Aval	Case Navire	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8
FRJR119	Carbet	Carbet										
FRJR120	Roxelane	Roxelane	Carbet	Jacob	0,83	0,08	3,4	1	0,07	4	1,2	7,8

Respect de la NQE du 27/07/2015

Proposition de NQE adaptée

Afin d'affiner la ligne de base en cuivre pour les secteurs Miocène Sud, Trois Ilets et Vauclin-Pitault, il est recommandé de réaliser des analyses complémentaires, au cours de 3 à 5 campagnes de prélèvements sur les 9 stations « fond géochimique » concernées. Ces nouveaux résultats permettront d'obtenir une analyse statistique plus robuste, et d'ajuster au mieux la valeur de référence pour ces secteurs.



6. Bibliographie

Arnaud L., Senergues M., Devau N. (2013) - Étude détaillée du fond géochimique des eaux souterraines de Martinique. Rapport BRGM/RP-62886-FR

Taïlamé A.-L. (2013) – Étude du fond géochimique des cours d'eau de Martinique – Phase 1. BRGM/RP-62943-FR

Birch G.F., Taylor S.E., Matthai C. (2001) – Small-scale spatial and temporal variance in the concentration of heavy metal in aquatic sediments: a review and some new concepts. *Environmental Pollution*, 113, pp. 357-372.

Blum A., Brenot A., Chéry L. et al. (2006) – Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines du bassin Rhône – Méditerranée et Corse. Rapport de phase 2. Caractérisation des secteurs à risque. Rapport BRGM RP-54530-FR
Bradreddine R. (2014) - Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 1^{er} décembre 2013 - INERIS-DRC-14-142522-01489A

Brenot A., Allier D., Dumon A. (2008) - Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Guadeloupe. Rapport BRGM RP-55709-FR

Brenot A., Blum A., Chéry L. (2006) – Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines du bassin Rhône – Méditerranée et Corse. Rapport de phase 3. Définition d'un programme d'acquisition de données. Rapport BRGM RP-54663-FR

Brenot A., Gourcy L., Allier D. et al. (2007) – Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines. Rapport BRGM RP-55346-FR
Canal J., N. Bougon, A. Chandesris, M. Coquery (2011). Revue des méthodes de détermination du fond géochimique pour les métaux dissous dans les eaux continentales. Cemagref.

Canal J., N. Bougon, A. Chandesris, M. Coquery (2012) - Détermination du fond géochimique pour les métaux dissous dans les eaux continentales – Rapport d'étape. Irstea/Cemagref

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/R-37990-FR

Creed J., Martin T., Sivaganesan M. (1995) – Preservation of trace metals in water samples. *Journal of American Water Works Association*, 3, pp. 104-114.

Edmunds, W. M. and Shand, P. (eds) (2008) Front Matter, in *Natural Groundwater Quality*, Blackwell Publishing, Ltd, Oxford, UK. doi: 10.1002/9781444300345.fmatter

Fiquet M., Lallier S., Riou L., Sanjuan B. (1997) - Caractérisation des excès d'aluminium dans les eaux superficielles de la Martinique. Rapport BRGM/RR-39359-FR

Garcia B., Bertin C., Ricard J., Bourg A., et al. (1994) – Effet de berge, effet de vase, deux facteurs différents de mobilisation du manganèse : un exemple dans le champ captant de la vallée du Lot (France), *Annls Limnol.* 30 (1), pp. 67-85.

Ghestem J.P., Crouzet C., Girardot N. (2008) – Estimation des fonds géochimiques en éléments traces des eaux de surface continentales et des eaux souterraines : cahier des charges pour l'analyse et le prélèvement. BRGM/FR-56835-FR
Ghestem J.P. et Crouzet C., (2008) - Estimation des fonds géochimiques en éléments traces des eaux de surface continentales et des eaux souterraines: cahier des charges pour l'analyse et le prélèvement Version 0

Hem J.D. (1985) – Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, U.S. Geological Survey Water Supply, paper 2254, 264 p.

Lions J., Allier D., Pinson S., Vittecoq B. (2008) - Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Martinique. Rapport BRGM RP-56748-FR

Mouvet C. (1986). – Métaux lourds et mousses aquatiques – Synthèse méthodologique. Agence de l'eau Rhin-meuse, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Laboratoire d'Ecologie –Université de Metz. 110 p.

Nimis P.L., Fumagalli F., Bizzotto A., et al. (2002). – Bryophytes as indicators of trace metals pollution in the River Brenta (NE Italy). *The Science of the Total Environment*, 286, pp. 233-242.

Piper A., (1944) - A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, pp. 25:914-23

Pons J.-C., Parra M., Ferragne A. et Latouche C.(1989) – Caractéristiques des argiles hydrothermales de la Martinique – Petites Antilles Françaises. *Applied Clay Science*, 4, pp. 307-325.

Quevauviller P. (2002) – Quality Assurance for Water Analysis. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK, 262 p.

Rad S., Tailamé A.L., Gadhia A. (2013) – Compléments d'exploration géothermiques en Martinique. Volet géochimie des fluides. Rapport d'avancement. BRGM/RP-61889-FR

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

Sanjuan B., Brach M. (1997) – Etude hydrogéochimique du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM/RP-39880-FR

Sanjuan B., Brach M., Foucher J.C. (2003) – Réévaluation du potentiel géothermique dans les régions de Morne Rouge – Montagne Pelée et du Diamant (Martinique) : Etude géochimique. Rapport BRGM/RP-52547-FR

Sanjuan B., Genter A., Baltassat J.-M., Serra H., Roig J.-Y., Brach M. (2003b) – Synthèse des connaissances concernant le potentiel géothermique des régions de Morne Rouge – Montagne Pelée et de Diamant (Martinique) : premiers travaux du BRGM en 2001-2003. Rapport BRGM/RP-52283-FR

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

Schiavone S., Coquery M. (2011) - Guide d'échantillonnage et de pré-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE.

Shand, P, Edmunds, W M, Lawrence, A R, Smedley, P L, and Burke, S. 2007 - The natural (baseline) quality of groundwater in England and Wales. British Geological Survey Research, Report No. RR/07/06

Sonney R., Blum A., Chery L. (2005) – Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines du bassin Rhône – Méditerranée et Corse. Rapport de phase 1. Recueil des données et des informations. Rapport BRGM RP-54031-FR

Symonds R.B., Gerlach T.M., Reed M.H. (2001) – Magmatic gas scrubbing: implications for volcano monitoring. Journal Volcanology and Geothermal Research, 108, pp. 303-341.

Taïlamé A.-L. (2013) – Etude du fond géochimique des cours d'eau de Martinique – Phase 1 – Rapport final. BRGM/RP-62943-FR

Thomas P. (2003). – Metal Analysis in Chemical Analysis of Contaminated Land. Edited by K.C.Thompson and C.P. Nathanail. Blackwell CRC Press.

Tonani F. (1971). – La géochimie parmi les méthodes de prospection de l'énergie géothermique. Ann. Mines Fr. Mai 1971, 41.

Traineau H., Westercamp D., Benderitter Y. (1989) – case Study of a volcanic geothermal system, Mount Pelée, Martinique. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 38, pp. 49-66.

Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini S., et al. (2007) – Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : identification et caractérisations quantitatives. Rapport BRGM/RP-55099-FR

Wedepohl, K. H., (1974) - Handbook of Geochemistry, Vol. II/4: Berlin, Germany, Springer-Verlag.

Westercamp D., Andreieff P., Bouysse P. (1989) - Carte géologique au 1/50000 de la Martinique, notice explicative, 246 p.

Annexe 1

Paramètres *in situ* de la campagne de juillet 2014, décembre 2014 et janvier 2015

Stations	Date de prélèvement	Conductivité (µS/cm)	pH	Température (°C)	Oxygène (mg/l)	Oxygène (%)
Amont canal Céron	15/07/2014	144,90	8,10	25,70	7,94	97,40
Bois Coupé	08/07/2014	794	6,43	25,70	5,14	61,40
Bras Gommier	09/07/2014	62,30	6,19	23,70	7,73	94,10
Cœur Bouliki	09/07/2014	103,50	6,89	24,10	8,23	100,60
Confluence Pirogue	10/07/2014	88,90	6,40	24,60	8,27	99,70
Duchesnetaux	09/07/2014	70,70	6,67	26,60	8,19	99,10
Falaise	15/07/2014	88,30	7,12	22,80	8,13	97,70
Fond Masson	08/07/2014	272,00	6,35	25,60	6,76	82,90
La Baume	08/07/2014	671	7,04	28,90	6,34	82,60
La Dumaine	08/07/2014	570	6,65	28,30	5,60	73,30
La Mamisse	08/07/2014	4930	7,10	27,00	4,62	56,80
Morne Essentes	15/07/2014	104,90	6,86	23,00	7,83	95,40
Morne Gibouin	15/07/2014	146,30	8,48	27,60	7,90	101,60
Morne Man Roy	16/07/2014	109,70	6,83	22,60	8,15	97,90
Morne Roseaux	09/07/2014	54,20	6,26	22,80	7,85	94,80
Morne Serpent	09/07/2014	423	7,07	25,20	7,46	90,60
Perriolat	08/07/2014	320	6,90	28,10	7,71	98,80
Plateau Perdrix	17/07/2014	112,60	7,09	23,60	8,11	98,10
Rivière Cloche	15/07/2014	82,20	6,55	23,10	6,60	80,00
Rivière Madame	16/07/2014	206	7,39	24,60	7,79	96
Rivière Leonard	08/07/2014	204	6,24	24,80	7,01	85,50
Taupinière	08/07/2014	378	6,08	26,40	0,82	10,40
Thebault	10/07/2014	141,60	7,09	25,20	7,91	97,80
Trace des Jésuites	16/07/2014	134,10	7,07	23,60	8,17	99,10
Trou Diabliesse	10/07/2014	123,40	7,75	24,10	8,41	100,10
Tunnel Didier	16/07/2014	122,50	7,44	25,30	7,98	99,10

Stations	Date de prélèvement	Conductivité (µS/cm)	pH	Température (°C)	Oxygène (mg/l)	Oxygène (%)
Amont canal Céron	11/12/2014	148	8,07	23,87	6,99	89,1
Bois Coupé	09/12/2014	484	7,87	23,7	5,22	61,7
Bras Gommier	12/12/2014	80	8,4	23,05	6,56	78
Cœur Bouliki	12/12/2015	132	8	22,4	6,68	82
Confluence Pirogue	10/12/2014	96	7,67	23,7	7,61	90,4
Duchesnetaux	09/12/2014	107	7,53	23,17	6,87	82,7
Falaise	10/12/2014	92	7,46	22,43	7,31	87,5
Fond Masson	08/12/2014	275	7,66	23,91	6,48	77,3
La Baume	08/12/2014	633	8,26	25,1	6,64	79,6
La Dumaine	08/12/2014	680	8,32	25,6	6,18	74
La Mamisse	08/12/2014	6450	8,3	24,09	4,98	63,5
Morne Essentes	10/12/2014	117	7,52	22,28	6,24	75,5
Morne Gibouin	11/12/2014	152	8,23	24,64	6,61	81,5
Morne Man Roy	11/12/2014	110	7,94	21,85	7,1	84,9
Morne Roseaux	09/12/2014	78	7,82	22,55	6,23	76,3
Morne Serpent	08/12/2014	427	8,68	25,65	6,44	78,9
Perriolat	08/12/2014	426	9,1	25,08	6,91	83,8
Plateau Perdrix	12/12/2014	124	7,17	22,74	6,3	75,04
Rivière Cloche	10/12/2014	87	7,41	21,96	6,65	80,5
Rivière Madame	11/12/2014	202	7,9	23,35	7,04	85,1
Rivière Leonard	08/12/2014	260	7,85	23,7	5,8	70,2
Taupinière	09/12/2014	419	8,2	24,52	2,74	32,7
Thebault	12/12/2014	150	8	24,6	6,64	80
Trace des Jésuites	11/12/2014	125	7,69	22,75	6,77	80,5
Trou Diabliesse	10/12/2014	116	7,9	23,11	7,64	87,9
Tunnel Didier	11/12/2014	118	7,6	22,62	7,24	85

Stations	Date de prélèvement	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Température ($^{\circ}\text{C}$)	Oxygène (mg/l)	Oxygène (%)
Amont canal Céron	21/01/2015	152	7,4	22,28	8,64	98,8
Bois Coupé	22/01/2015	700	7,52	22,63	6,14	71
Bras Gommier	20/01/2015	66	6,55	22,12	8,36	99
Cœur Bouliki	20/01/2015	88	7,33	21,97	8,45	100
Confluence Pirogue	20/01/2015	96	6,95	22,26	8,65	100,2
Duchesnetaux	20/01/2015	68	6,95	22,04	8,48	99,9
Falaise	19/01/2015	102	7,18	21,91	8,52	101,4
Fond Masson	22/01/2015	294	7,01	23,37	7,26	85,3
La Baume	22/01/2015	602	7,8	25,7	7,82	95
La Dumaine	23/01/2015	583	7,56	26,16	6,51	77
La Mamisse	22/01/2015	4998	7,48	24,22	5,21	61
Morne Essentes	19/01/2015	126	7,37	22,23	8,24	99,5
Morne Gibouin	21/01/2015	153	7,63	21,7	8,7	100,2
Morne Man Roy	19/01/2015	128	7,27	20,5	8,62	100,1
Morne Roseaux	20/01/2015	26	6,5	21,55	8,29	98,5
Morne Serpent	23/01/2015	399	7,88	24,24	7,78	92,5
Perriolat	23/01/2015	340	7,72	23,42	7,79	91,2
Plateau Perdrix	20/01/2015	26	7,2	22,43	8,42	100,2
Rivière Cloche	19/01/2015	105	7,28	21,11	8,24	97,4
Rivière Madame	19/01/2015	196	7,18	21,89	8,25	97,1
Rivière Leonard	22/01/2015	209	7,15	23,43	6,66	79,9
Thebault	20/01/2015	117	7,22	23,04	8,37	99,5
Trace des Jésuites	19/01/2015	144	7,1	21,58	8,51	99,5
Trou Diabliesse	19/01/2015	144	7,38	22,46	8,57	99,5
Tunnel Didier	19/01/2015	121	7,02	21,17	8,67	98,9

Annexe 2

Liste des paramètres analysés sur l'eau et leurs limites de quantification

Paramètres	Limite de quantification(LQ)	
Ag (Argent)	0,01	µg/l
Al (Aluminium)	0,5	µg/l
As (Arsenic)	0,05	µg/l
B (Bore)	0,5	µg/l
Ba (Baryum)	0,05	µg/l
Be (Béryllium)	0,01	µg/l
Br (Brome)	1	µg/l
Ca (Calcium)	0,5	mg/l
Cd (Cadmium)	0,01	µg/l
Cl (Chlorures)	0,5	mg/l
Co (Cobalt)	0,05	µg/l
CO3 (Carbonates)	10	mg/l
COD (C.org. dissous)	0,5	mg/l
Cr (Chrome)	0,1	µg/l
Cu (Cuivre)	0,1	µg/l
F (Fluorures)	0,1	mg/l
Fe (Fer)	0,02	mg/l
HCO3 (Bicarbonates)	10	mg/l
Hg (Mercure)	15	ng/l
K (Potassium)	0,5	mg/l
Li (Lithium)	0,1	µg/l
Mg (Magnésium)	0,5	mg/l
Mn (Manganèse)	0,1	µg/l
NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	0,05	mg/l
NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	0,01	mg/l
NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	0,5	mg/l
Na (Sodium)	0,5	mg/l
Ni (Nickel)	0,1	µg/l
PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	0,05	mg/l
Pb (Plomb)	0,05	µg/l
SO4 (Sulfates)	0,5	mg/l
Sb (Antimoine)	0,05	µg/l
Se (Sélénium)	0,1	µg/l
SiO2 (Silice)	0,5	mg/l
Sr (Strontium)	0,1	µg/l
U (Uranium)	0,01	µg/l
V (Vanadium)	0,05	µg/l
Zn (Zinc)	0,5	µg/l

Annexe 3

Résultats d'analyses de la campagne de 2014 et 2015

Stations	Dates de prélèvements	Ag (Argent)	Al (Aluminium)	As (Arsenic)	B (Bore)	Ba (Baryum)	Be (Béryllium)	Br (Brome)	Ca (Calcium)	Cd (Cadmium)	Cl (Chlorures)	Co (Cobalt)	CO3 (Carbonates)	COD (C.org. dissous)	Cr (Chrome)	Cu (Cuivre)	F (Fluorures)	Fe (Fer)	HCO3 (Bicarbonates)	Hg (Mercure)	K (Potassium)
Amont canal Céron	15/07/2014	<LQ	10.7	0.18	21.3	0.77	<LQ	15.4	12.1	<LQ	11.6	<LQ	<LQ	0.7	<LQ	0.22	<LQ	<LQ	59	<LQ	1.3
Bois Coupé	08/07/2014	<LQ	6.84	0.61	94.4	32.0	<LQ	234	32.4	<LQ	155.8	<LQ	<LQ	2.5	<LQ	0.30	<LQ	<LQ	159	<LQ	4.4
Bras Gommier	09/07/2014	<LQ	7.57	<LQ	15.5	1.90	<LQ	21.6	2.6	<LQ	8.9	<LQ	<LQ	0.5	<LQ	0.13	<LQ	0.108	18	<LQ	0.8
Cœur Bouliki	09/07/2014	<LQ	9.09	0.18	14.9	1.99	<LQ	15.1	8.2	<LQ	7.6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	46	<LQ	0.9
Confluence Pirogue	10/07/2014	<LQ	17.7	0.07	15.7	2.40	<LQ	14.3	7.5	<LQ	8.3	<LQ	<LQ	0.6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	26	<LQ	0.6
Duchesnetaux	09/07/2014	<LQ	8.36	<LQ	14.4	2.06	<LQ	14.0	4.6	<LQ	7.8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	27	<LQ	0.7
Falaise	15/07/2014	<LQ	8.58	0.33	19.3	0.61	<LQ	9.40	6.1	<LQ	6.8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0.31	<LQ	<LQ	32	<LQ	1.9
Fond Masson	08/07/2014	<LQ	52.0	0.12	41.1	23.0	<LQ	66.5	14.3	<LQ	38.0	0.08	<LQ	2.6	<LQ	1.42	<LQ	0.251	81	<LQ	2.1
La Baume	08/07/2014	<LQ	18.3	0.52	55.2	4.30	<LQ	131	48.8	<LQ	98.1	0.11	<LQ	3.4	<LQ	1.39	<LQ	<LQ	202	<LQ	2.4
La Dumaine	08/07/2014	<LQ	5.93	0.27	41.5	8.59	<LQ	103	48.7	<LQ	74.7	0.07	<LQ	2.7	<LQ	1.15	<LQ	<LQ	181	<LQ	1.5
La Mamisse	08/07/2014	<LQ	<LQ	0.58	113	205	<LQ	1581	371.7	<LQ	1528.8	0.10	<LQ	1.9	<LQ	0.67	<LQ	0.042	297	<LQ	5.2
Morne Essentes	15/07/2014	<LQ	13.0	0.35	20.1	0.95	<LQ	13.1	7.8	<LQ	7.7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	42	<LQ	1.9
Morne Gibouin	15/07/2014	<LQ	11.1	0.45	34.1	1.21	<LQ	13.3	10.6	<LQ	9.1	<LQ	<LQ	0.5	<LQ	0.83	<LQ	<LQ	60	<LQ	2.3
Morne Man Roy	16/07/2014	<LQ	6.81	0.38	14.6	1.22	<LQ	13.0	9.1	<LQ	7.1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	51	<LQ	0.9
Morne Roseaux	09/07/2014	<LQ	9.04	<LQ	15.3	2.45	<LQ	19.5	1.8	<LQ	9.5	<LQ	<LQ	0.6	<LQ	0.10	<LQ	<LQ	13	<LQ	0.8
Morne Serpent	09/07/2014	<LQ	6.04	0.39	41.4	11.3	<LQ	80.0	33.4	<LQ	48.0	<LQ	<LQ	1.2	<LQ	0.90	<LQ	<LQ	151	<LQ	1.4
Perriolat	08/07/2014	<LQ	22.7	0.30	28.5	3.11	<LQ	51.4	25.7	<LQ	32.8	<LQ	<LQ	2.3	<LQ	1.54	<LQ	<LQ	119	<LQ	1.4
Plateau Perdrix	17/07/2014	<LQ	9.67	0.39	20.3	5.08	<LQ	21.5	7.1	<LQ	10.6	<LQ	<LQ	0.7	<LQ	<LQ	<LQ	0.021	43	<LQ	1.4
Rivière Cloche	15/07/2014	<LQ	5.00	<LQ	17.4	0.53	<LQ	9.07	5.7	<LQ	8.6	<LQ	<LQ	0.7	<LQ	0.36	<LQ	<LQ	30	<LQ	1.5
Rivière Madame	16/07/2014	<LQ	8.92	0.44	22.9	6.57	<LQ	28.9	16.9	<LQ	15.1	<LQ	<LQ	0.6	<LQ	0.13	<LQ	<LQ	91	<LQ	1.9
Rivière Léonard	08/07/2014	<LQ	10.4	0.05	35.9	16.6	<LQ	63.8	9.1	<LQ	31.7	<LQ	<LQ	1.0	<LQ	0.45	<LQ	0.020	51	<LQ	1.7
Taupinière	08/07/2014	<LQ	5.10	0.21	68.0	88.2	<LQ	83.4	17.9	<LQ	68.2	0.81	<LQ	9.6	<LQ	1.30	<LQ	0.071	52	<LQ	3.4
Thébault	10/07/2014	<LQ	13.0	0.08	13.6	2.45	<LQ	22.1	12.2	<LQ	9.2	<LQ	<LQ	0.7	0.11	0.17	<LQ	0.031	51	<LQ	0.9
Trace des Jésuites	16/07/2014	<LQ	51.4	0.12	14.4	4.48	<LQ	14.2	12.2	<LQ	7.1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0.14	0.2	<LQ	31	<LQ	0.8
Trou Diabliesse	10/07/2014	<LQ	13.1	0.32	21.7	0.79	<LQ	14.7	9.0	<LQ	9.9	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0.12	<LQ	<LQ	51	<LQ	1.9
Tunnel Didier	16/07/2014	<LQ	8.44	0.25	21.4	2.50	<LQ	20.6	8.3	<LQ	11.0	<LQ	<LQ	0.6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	49	<LQ	1.3

Stations	Dates de prélèvements	Li (Lithium)	Mg (Magnésium)	Mn (Manganèse)	NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	Na (Sodium)	Ni (Nickel)	PO4 (Ortho Phosphates en PO4)	Pb (Plomb)	SO4 (Sulfates)	Sb (Antimoine)	Se (Sélénium)	SiO2 (Silice)	Sr (Strontium)	U (Uranium)	V (Vanadium)	Zn (Zinc)
Amont canal Céron	15/07/2014	<LQ	3.1	0.39	<LQ	<LQ	<LQ	10.7	<LQ	<LQ	<LQ	3.3	<LQ	<LQ	39.6	46.7	<LQ	2.72	<LQ
Bois Coupé	08/07/2014	4.83	13.3	15.1	<LQ	0.01	<LQ	102.1	<LQ	0.2	<LQ	18.3	<LQ	0.14	92.7	174	0.06	6.44	<LQ
Bras Gommier	09/07/2014	0.22	1.6	5.49	<LQ	<LQ	0.7	6.1	<LQ	<LQ	<LQ	2.2	<LQ	<LQ	18.1	15.3	<LQ	0.28	<LQ
Cœur Bouliki	09/07/2014	0.30	2.7	0.67	<LQ	<LQ	<LQ	7.3	<LQ	0.2	<LQ	2.4	<LQ	<LQ	30.9	39.2	<LQ	1.24	<LQ
Confluence Pirogue	10/07/2014	0.12	2.2	0.90	<LQ	<LQ	<LQ	7.0	<LQ	<LQ	<LQ	11.7	<LQ	0.20	24.0	28.1	<LQ	0.61	6.41
Duchesnetaux	09/07/2014	0.24	1.6	0.83	<LQ	<LQ	<LQ	6.1	<LQ	<LQ	<LQ	1.6	<LQ	<LQ	22.2	19.2	<LQ	0.87	<LQ
Falaise	15/07/2014	1.40	1.5	0.14	<LQ	<LQ	<LQ	7.3	<LQ	0.1	<LQ	6.7	<LQ	<LQ	58.1	19.4	<LQ	2.99	<LQ
Fond Masson	08/07/2014	0.72	6.6	12.8	<LQ	0.02	<LQ	27.5	<LQ	<LQ	<LQ	4.5	<LQ	<LQ	44.8	65.8	<LQ	2.87	<LQ
La Baume	08/07/2014	0.92	18.4	31.0	<LQ	0.02	<LQ	56.4	<LQ	0.2	<LQ	15.4	0.08	0.14	54.3	109	0.09	10.9	<LQ
La Dumaine	08/07/2014	0.58	12.4	21.1	<LQ	<LQ	<LQ	43.9	0.10	0.3	<LQ	19.4	0.12	<LQ	46.3	126	0.04	5.02	<LQ
La Mamisse	08/07/2014	6.00	140.1	91.6	0.06	0.01	<LQ	390.9	0.15	<LQ	<LQ	65.4	0.09	0.13	42.5	2181	1.70	1.65	<LQ
Morne Essentes	15/07/2014	0.67	1.8	0.71	<LQ	0.01	0.8	8.7	<LQ	0.1	<LQ	3.8	<LQ	<LQ	63.1	27.2	<LQ	3.03	<LQ
Morne Gibouin	15/07/2014	3.66	4.0	0.61	0.07	<LQ	<LQ	10.5	<LQ	0.1	<LQ	7.3	<LQ	<LQ	58.0	37.3	0.01	4.69	<LQ
Morne Man Roy	16/07/2014	0.25	3.2	0.19	<LQ	<LQ	<LQ	7.5	<LQ	<LQ	<LQ	2.3	<LQ	<LQ	30.6	45.5	<LQ	1.49	<LQ
Morne Roseaux	09/07/2014	0.40	1.1	1.11	<LQ	<LQ	<LQ	6.1	<LQ	<LQ	<LQ	1.5	<LQ	<LQ	17.2	12.4	<LQ	0.30	<LQ
Morne Serpent	09/07/2014	0.53	11.8	0.82	<LQ	0.01	<LQ	32.2	<LQ	0.2	<LQ	10.7	0.05	0.12	69.7	86.9	0.02	12.1	<LQ
Perriolat	08/07/2014	0.35	8.6	6.08	<LQ	<LQ	<LQ	24.1	<LQ	0.2	<LQ	7.8	0.06	<LQ	42.3	82.0	0.03	6.84	<LQ
Plateau Perdrix	17/07/2014	0.47	2.7	3.49	<LQ	<LQ	<LQ	10.0	<LQ	0.1	<LQ	1.9	<LQ	<LQ	38.4	40.0	<LQ	1.31	<LQ
Rivière Cloche	15/07/2014	<LQ	1.3	<LQ	<LQ	<LQ	0.8	7.3	<LQ	<LQ	<LQ	2.1	<LQ	<LQ	37.1	23.7	<LQ	1.14	<LQ
Rivière Madame	16/07/2014	0.50	5.1	0.90	<LQ	<LQ	1.1	15.7	<LQ	0.1	<LQ	2.3	<LQ	<LQ	48.9	84.5	0.01	4.57	<LQ
Rivière Léonard	08/07/2014	0.62	4.9	3.73	<LQ	0.02	1.7	20.4	<LQ	<LQ	<LQ	4.3	<LQ	<LQ	42.4	46.2	<LQ	1.37	2.80
Taupinière	08/07/2014	0.60	9.0	311	<LQ	<LQ	<LQ	35.9	0.16	0.1	<LQ	21.8	0.08	0.10	37.5	103	<LQ	1.35	<LQ
Thébault	10/07/2014	<LQ	4.2	2.52	<LQ	<LQ	<LQ	8.5	<LQ	<LQ	<LQ	11.4	<LQ	0.12	31.5	42.6	<LQ	1.26	<LQ
Trace des Jésuites	16/07/2014	0.22	3.0	2.79	<LQ	<LQ	<LQ	7.3	<LQ	<LQ	<LQ	24.9	<LQ	0.28	24.6	42.6	<LQ	0.46	<LQ
Trou Diabliesse	10/07/2014	0.81	2.7	0.27	<LQ	<LQ	<LQ	10.0	<LQ	<LQ	<LQ	2.8	<LQ	<LQ	53.1	34.4	0.01	3.46	<LQ
Tunnel Didier	16/07/2014	0.18	3.1	4.30	<LQ	<LQ	<LQ	9.7	<LQ	<LQ	<LQ	2.5	<LQ	<LQ	35.5	45.6	<LQ	1.70	<LQ

Stations	Dates de prélèvements	Ag (Argent)	Al (Aluminium)	As (Arsenic)	B (Bore)	Ba (Baryum)	Be (Béryllium)	Br (Brome)	Ca (Calcium)	Cd (Cadmium)	Cl (Chlorures)	Co (Cobalt)	CO3 (Carbonates)	COD (C.org. dissous)	Cr (Chrome)	Cu (Cuivre)	F (Fluorures)	Fe (Fer)	HCO3 (Bicarbonates)	Hg (Mercure)	K (Potassium)
Amont canal Céron	11/12/2014	< LQ	8.91	0.13	20.4	0.57	< LQ	22.5	11.2	< LQ	10.6	< LQ	< LQ	0.9	< LQ	0.33	< LQ	< LQ	65	< LQ	0.7
Bois Coupé	09/12/2014	< LQ	4.79	0.40	67.6	24.1	< LQ	356	26.7	< LQ	109.8	< LQ	< LQ	2.4	< LQ	0.60	< LQ	< LQ	131	< LQ	3.4
Bras Gommier	12/12/2014	< LQ	10.8	0.05	14.2	1.36	< LQ	33.7	2.1	< LQ	8.5	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	0.35	< LQ	0.066	20	< LQ	0.7
Cœur Bouliki	12/12/2015	< LQ	7.65	0.15	15.9	1.53	< LQ	24.4	7.4	< LQ	7.5	< LQ	< LQ	0.5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	52	< LQ	0.8
Confluence Pirogue	10/12/2014	< LQ	27.8	0.08	16.4	1.47	< LQ	21.5	5.9	< LQ	7.5	< LQ	< LQ	0.8	< LQ	0.51	< LQ	< LQ	33	< LQ	< LQ
Duchesnetaux	09/12/2014	< LQ	6.55	< LQ	14.3	1.62	< LQ	24.4	3.8	< LQ	7.7	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	1.06	< LQ	< LQ	30	< LQ	0.6
Falaise	10/12/2014	< LQ	8.53	0.30	20.1	0.43	< LQ	12.7	5.3	< LQ	6.8	< LQ	< LQ	0.5	< LQ	0.58	< LQ	< LQ	41	< LQ	1.4
Fond Masson	08/12/2014	< LQ	11.5	0.12	35.1	25.5	< LQ	144	14.4	< LQ	39.4	0.07	< LQ	1.8	< LQ	1.53	< LQ	0.147	82	< LQ	2.8
La Baume	08/12/2014	< LQ	4.96	0.53	49.3	4.71	< LQ	243	46.0	< LQ	81.8	0.07	< LQ	3.2	< LQ	1.78	< LQ	< LQ	199	< LQ	2.8
La Dumaine	08/12/2014	< LQ	4.14	0.26	39.2	9.85	< LQ	189	49.2	< LQ	69.9	0.05	< LQ	1.6	< LQ	1.33	< LQ	< LQ	194	< LQ	2.5
La Mamisse	08/12/2014	< LQ	0.64	0.60	93.4	229	< LQ	3292	360.1	< LQ	1374.8	0.14	< LQ	1.7	< LQ	0.66	0.1	< LQ	319	< LQ	5.5
Morne Essentes	10/12/2014	< LQ	11.2	0.26	19.2	0.73	< LQ	21.8	7.1	< LQ	8.0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.14	< LQ	< LQ	45	< LQ	1.4
Morne Gibouin	11/12/2014	< LQ	9.10	0.39	31.3	0.89	< LQ	17.4	10.0	< LQ	8.5	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	0.78	< LQ	< LQ	68	< LQ	1.6
Morne Man Roy	11/12/2014	< LQ	7.09	0.25	15.1	0.86	< LQ	19.8	7.6	< LQ	7.0	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	51	< LQ	< LQ
Morne Roseaux	09/12/2014	< LQ	8.50	< LQ	14.7	1.77	< LQ	32.0	1.4	< LQ	9.3	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	0.19	< LQ	< LQ	15	< LQ	< LQ
Morne Serpent	08/12/2014	< LQ	5.44	0.42	37.6	10.4	< LQ	132	29.2	< LQ	46.2	< LQ	< LQ	1.4	< LQ	1.32	< LQ	< LQ	131	< LQ	2.7
Perriolat	08/12/2014	< LQ	22.2	0.41	25.9	3.32	< LQ	118	26.0	< LQ	33.4	0.05	11	1.7	0.41	1.56	< LQ	< LQ	104	< LQ	2.3
Plateau Perdrix	12/12/2014	< LQ	9.18	0.21	19.0	3.14	< LQ	31.8	5.6	< LQ	10.4	< LQ	< LQ	0.8	< LQ	0.21	< LQ	< LQ	43	< LQ	1.0
Rivière Cloche	10/12/2014	< LQ	9.84	< LQ	17.4	0.42	< LQ	14.7	5.4	< LQ	7.7	< LQ	< LQ	1.0	< LQ	0.54	< LQ	< LQ	37	< LQ	0.9
Rivière Madame	11/12/2014	< LQ	7.19	0.31	23.0	4.48	< LQ	41.7	15.1	< LQ	14.8	< LQ	< LQ	0.7	< LQ	0.22	< LQ	< LQ	91	< LQ	1.4
Rivière Léonard	08/12/2014	< LQ	12.4	0.05	31.6	14.2	< LQ	111	8.3	< LQ	30.2	< LQ	< LQ	1.0	< LQ	0.66	< LQ	0.064	50	< LQ	1.8
Taupinière	09/12/2014	< LQ	10.5	0.24	39.2	47.4	< LQ	192	12.6	< LQ	48.8	0.51	< LQ	11.7	< LQ	1.37	< LQ	0.027	83	< LQ	2.5
Thébault	12/12/2014	< LQ	15.4	0.07	15.0	1.84	< LQ	30.1	10.2	< LQ	8.9	< LQ	< LQ	0.6	0.16	0.26	< LQ	0.039	55	< LQ	0.6
Trace des Jésuites	11/12/2014	< LQ	63.6	0.09	14.9	3.18	< LQ	19.3	9.4	< LQ	6.9	0.29	< LQ	< LQ	< LQ	8.88	0.1	< LQ	35	< LQ	< LQ
Trou Diabliesse	10/12/2014	< LQ	13.2	0.23	20.2	0.59	< LQ	22.8	7.3	< LQ	8.7	< LQ	< LQ	1.3	< LQ	0.68	< LQ	< LQ	50	< LQ	1.2
Tunnel Didier	11/12/2014	< LQ	8.36	0.18	20.6	1.51	< LQ	31.3	6.9	< LQ	10.9	< LQ	< LQ	0.7	< LQ	0.12	< LQ	< LQ	48	< LQ	0.9

Stations	Dates de prélèvements	Li (Lithium)	Mg (Magnésium)	Mn (Manganèse)	NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	Na (Sodium)	Ni (Nickel)	PO4 (Ortho Phosphates en PO4)	Pb (Plomb)	SO4 (Sulfates)	Sb (Antimoine)	Se (Sélénium)	SiO2 (Silice)	Sr (Strontium)	U (Uranium)	V (Vanadium)	Zn (Zinc)
Amont canal Céron	11/12/2014	0.13	2.9	0.28	< LQ	< LQ	0.7	9.9	< LQ	< LQ	< LQ	2.8	< LQ	< LQ	37.1	39.5	< LQ	2.05	< LQ
Bois Coupé	09/12/2014	2.68	10.6	5.32	< LQ	< LQ	1.5	66.8	< LQ	0.17	< LQ	10.8	< LQ	0.17	72.3	134	0.04	5.55	1.24
Bras Gommier	12/12/2014	0.31	1.3	8.79	< LQ	< LQ	0.9	5.6	< LQ	< LQ	< LQ	1.8	< LQ	< LQ	14.5	12.4	< LQ	0.26	1.31
Cœur Bouliki	12/12/2015	0.30	2.4	0.51	< LQ	< LQ	< LQ	6.8	< LQ	< LQ	< LQ	2.0	< LQ	0.11	28.6	35.1	< LQ	1.07	< LQ
Confluence Pirogue	10/12/2014	0.15	1.8	3.32	< LQ	< LQ	< LQ	6.2	< LQ	< LQ	< LQ	7.7	< LQ	0.17	21.6	23.5	< LQ	0.60	0.61
Duchesnetaux	09/12/2014	0.27	1.4	0.65	< LQ	< LQ	< LQ	5.6	0.34	< LQ	< LQ	1.4	< LQ	< LQ	20.4	17.6	< LQ	0.68	< LQ
Falaise	10/12/2014	0.95	1.3	0.12	< LQ	< LQ	< LQ	6.6	< LQ	0.09	< LQ	5.9	< LQ	< LQ	52.7	16.4	< LQ	2.55	< LQ
Fond Masson	08/12/2014	0.78	6.4	16.9	< LQ	< LQ	1.7	24.4	< LQ	0.06	< LQ	4.5	< LQ	< LQ	42.0	63.3	0.01	3.30	1.92
La Baume	08/12/2014	0.77	15.9	7.91	< LQ	0.01	2.1	46.0	< LQ	0.31	< LQ	14.0	0.07	0.12	45.4	101	0.12	13.4	< LQ
La Dumaine	08/12/2014	0.43	13.0	11.7	< LQ	< LQ	4.0	40.8	< LQ	0.33	< LQ	18.7	0.06	0.23	48.7	125	0.06	7.5	< LQ
La Mamisse	08/12/2014	5.88	126.3	68.4	0.06	< LQ	1.6	341.7	0.20	< LQ	< LQ	64.8	0.07	0.40	35.2	1908	2.11	2.89	5.78
Morne Essentes	10/12/2014	0.58	1.5	0.32	< LQ	< LQ	2.5	8.4	< LQ	0.07	< LQ	3.7	< LQ	0.15	59.5	27.1	< LQ	2.22	< LQ
Morne Gibouin	11/12/2014	3.40	3.7	0.63	< LQ	< LQ	0.5	9.6	< LQ	0.08	< LQ	6.4	< LQ	< LQ	54.2	32.9	0.01	3.83	< LQ
Morne Man Roy	11/12/2014	0.31	2.5	0.28	< LQ	< LQ	< LQ	6.6	< LQ	< LQ	< LQ	1.9	< LQ	< LQ	27.9	35.7	< LQ	1.18	< LQ
Morne Roseaux	09/12/2014	0.32	1.0	1.08	0.25	< LQ	0.6	5.4	< LQ	< LQ	< LQ	1.3	< LQ	< LQ	13.1	11.9	< LQ	0.24	< LQ
Morne Serpent	08/12/2014	0.41	9.9	7.81	< LQ	< LQ	3.4	29.1	< LQ	0.38	< LQ	11.1	0.07	0.21	59.2	76.8	0.02	11.9	< LQ
Perriolat	08/12/2014	0.70	7.8	6.13	0.07	0.02	1.9	23.6	0.11	0.22	< LQ	11.9	0.06	0.11	40.2	85.7	0.06	10.5	< LQ
Plateau Perdrix	12/12/2014	0.52	2.1	1.68	< LQ	< LQ	0.8	8.7	< LQ	< LQ	< LQ	1.8	< LQ	< LQ	32.5	29.9	< LQ	0.81	< LQ
Rivière Cloche	10/12/2014	< LQ	1.2	< LQ	< LQ	< LQ	0.9	6.9	< LQ	< LQ	< LQ	1.8	< LQ	< LQ	35.5	20.2	< LQ	1.12	< LQ
Rivière Madame	11/12/2014	0.57	4.5	0.84	< LQ	< LQ	1.3	14.2	< LQ	0.09	< LQ	2.2	< LQ	0.11	43.7	67.4	0.01	3.16	< LQ
Rivière Léonard	08/12/2014	0.53	4.3	1.40	< LQ	< LQ	3.7	18.4	< LQ	< LQ	< LQ	4.2	< LQ	< LQ	35.7	41.6	< LQ	1.44	< LQ
Taupinière	09/12/2014	0.28	6.6	92.9	0.06	< LQ	< LQ	33.5	0.43	0.06	0.06	< LQ	< LQ	0.22	34.7	69.4	< LQ	2.26	< LQ
Thébault	12/12/2014	< LQ	3.5	2.57	< LQ	< LQ	0.8	7.7	< LQ	< LQ	< LQ	9.2	< LQ	0.16	28.8	35.4	< LQ	1.02	< LQ
Trace des Jésuites	11/12/2014	0.33	2.5	3.79	< LQ	< LQ	< LQ	6.4	< LQ	< LQ	< LQ	18.2	< LQ	0.26	23.2	32.2	< LQ	0.34	< LQ
Trou Diabliesse	10/12/2014	0.64	2.2	0.27	< LQ	< LQ	0.7	8.4	0.29	0.05	< LQ	2.3	< LQ	< LQ	41.3	26.1	< LQ	2.63	< LQ
Tunnel Didier	11/12/2014	0.25	2.6	1.68	< LQ	< LQ	0.5	8.8	< LQ	< LQ	< LQ	2.5	< LQ	< LQ	32.2	35.3	< LQ	1.18	< LQ

Stations	Dates de prélèvements	Ag (Argent)	Al (Aluminium)	As (Arsenic)	B (Bore)	Ba (Baryum)	Be (Béryllium)	Br (Brome)	Ca (Calcium)	Cd (Cadmium)	Cl (Chlorures)	Co (Cobalt)	CO3 (Carbonates)	COD (C.org.) dissous	Cr (Chrome)	Cu (Cuivre)	F (Fluorures)	Fe (Fer)	HCO3 (Bicarbonates)	Hg (Mercure)	K (Potassium)
Amont canal Céron	21/01/2015	< LQ	8.86	0.15	20.3	0.54	< LQ	24.4	11.9	< LQ	9.9	< LQ	< LQ	0.7	< LQ	0.30	< LQ	< LQ	61	< LQ	1.0
Bois Coupé	22/01/2015	< LQ	7.92	0.57	91.4	32.8	< LQ	381	31.4	< LQ	131.1	< LQ	< LQ	1.8	< LQ	0.43	< LQ	< LQ	155	< LQ	4.0
Bras Gommier	20/01/2015	< LQ	21.6	< LQ	17.2	1.49	< LQ	36.5	2.2	< LQ	7.8	< LQ	< LQ	1.0	< LQ	0.32	< LQ	0.082	13	< LQ	< LQ
Cœur Bouliki	20/01/2015	< LQ	14.5	0.12	15.0	1.59	< LQ	19.8	6.8	< LQ	6.7	< LQ	< LQ	0.8	< LQ	0.17	< LQ	< LQ	39	< LQ	0.7
Confluence Pirogue	20/01/2015	< LQ	21.6	< LQ	15.6	1.36	< LQ	21.0	5.8	< LQ	7.7	< LQ	< LQ	0.8	< LQ	0.24	< LQ	< LQ	27	< LQ	0.6
Duchesnetaux	20/01/2015	< LQ	16.4	< LQ	14.0	1.55	< LQ	18.1	3.6	< LQ	6.7	< LQ	< LQ	0.9	< LQ	0.21	< LQ	< LQ	23	< LQ	< LQ
Falaise	19/01/2015	< LQ	8.06	0.33	18.8	0.41	< LQ	12.7	5.3	< LQ	6.3	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.53	< LQ	< LQ	29	< LQ	1.6
Fond Masson	22/01/2015	< LQ	17.3	0.12	45.3	31.1	< LQ	130	15.6	< LQ	39.5	0.07	< LQ	2.1	< LQ	1.45	< LQ	0.202	81	< LQ	2.6
La Baume	22/01/2015	< LQ	10.9	0.57	55.8	4.25	< LQ	194	44.9	< LQ	79.2	0.08	< LQ	3.6	< LQ	2.45	< LQ	0.020	183	< LQ	2.5
La Dumaine	23/01/2015	< LQ	7.48	0.27	44.2	9.69	< LQ	181	51.7	0.01	69.3	0.06	< LQ	1.9	< LQ	1.58	< LQ	< LQ	188	< LQ	2.0
La Mamisse	22/01/2015	< LQ	0.82	0.59	124	226	< LQ	2719	391.5	< LQ	1462.4	0.13	< LQ	1.6	< LQ	0.59	0.2	< LQ	277	< LQ	5.7
Morne Essentes	19/01/2015	< LQ	11.9	0.27	20.0	0.70	< LQ	21.7	7.3	< LQ	7.4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.17	< LQ	< LQ	40	< LQ	1.6
Morne Gibouin	21/01/2015	< LQ	9.36	0.38	32.5	0.92	< LQ	18.1	10.6	< LQ	7.9	< LQ	< LQ	0.5	< LQ	0.61	< LQ	< LQ	60	< LQ	1.8
Morne Man Roy	19/01/2015	< LQ	5.96	0.29	15.2	0.85	< LQ	21.3	7.9	< LQ	6.6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	45	< LQ	0.6
Morne Roseaux	20/01/2015	< LQ	21.0	< LQ	14.4	1.67	< LQ	22.7	1.5	< LQ	8.0	< LQ	< LQ	1.0	< LQ	0.47	< LQ	0.028	11	< LQ	< LQ
Morne Serpent	23/01/2015	< LQ	15.1	0.47	44.0	10.9	< LQ	141	31.4	< LQ	43.6	< LQ	< LQ	1.7	< LQ	1.55	< LQ	0.025	136	< LQ	2.1
Perriolat	23/01/2015	< LQ	28.1	0.37	31.5	3.61	< LQ	102	26.6	< LQ	31.7	0.07	< LQ	2.0	< LQ	1.81	< LQ	0.058	120	< LQ	1.8
Plateau Perdrix	20/01/2015	< LQ	28.3	0.25	18.4	3.25	< LQ	28.9	5.5	< LQ	8.9	< LQ	< LQ	1.3	< LQ	0.29	< LQ	0.022	33	< LQ	1.1
Rivière Cloche	19/01/2015	< LQ	9.62	0.05	16.5	0.38	< LQ	16.0	5.7	< LQ	7.8	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	0.42	< LQ	< LQ	30	< LQ	1.2
Rivière Madame	19/01/2015	< LQ	13.5	0.31	21.9	4.59	< LQ	37.9	14.5	< LQ	13.3	< LQ	< LQ	0.7	< LQ	0.29	< LQ	< LQ	79	< LQ	1.6
Rivière Léonard	22/01/2015	< LQ	11.4	0.05	36.6	16.0	< LQ	100	9.3	< LQ	30.3	< LQ	< LQ	1.0	< LQ	0.54	< LQ	0.021	47	< LQ	1.5
Thébault	20/01/2015	< LQ	33.6	0.07	15.9	1.96	< LQ	60.2	10.1	< LQ	8.4	< LQ	< LQ	1.0	0.15	0.41	< LQ	0.073	46	< LQ	0.8
Trace des Jésuites	19/01/2015	< LQ	93.8	0.09	14.9	3.59	< LQ	79.8	9.2	< LQ	6.6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.27	0.1	< LQ	29	< LQ	< LQ
Trou Diabliesse	19/01/2015	< LQ	11.1	0.29	20.5	0.61	< LQ	20.7	8.6	< LQ	9.1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.25	< LQ	< LQ	50	< LQ	1.5
Tunnel Didier	19/01/2015	< LQ	16.3	0.17	22.4	1.56	< LQ	32.3	7.2	< LQ	10.0	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	0.16	< LQ	< LQ	41	< LQ	1.0

Stations	Dates de prélèvements	Li (Lithium)	Mg (Magnésium)	Mn (Manganèse)	NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	Na (Sodium)	Ni (Nickel)	PO4 (Ortho Phosphates en PO4)	Pb (Plomb)	SO4 (Sulfates)	Sb (Antimoine)	Se (Sélénium)	SiO2 (Silice)	Sr (Strontium)	U (Uranium)	V (Vanadium)	Zn (Zinc)
Amont canal Céron	21/01/2015	0.13	3.3	0.22	< LQ	< LQ	0.5	10.3	< LQ	< LQ	< LQ	2.9	< LQ	< LQ	41.2	39.8	< LQ	2.21	< LQ
Bois Coupé	22/01/2015	3.97	13.3	1.76	< LQ	< LQ	1.2	91.7	< LQ	0.26	< LQ	12.8	< LQ	0.14	93.6	155	0.05	7.36	0.56
Bras Gommier	20/01/2015	0.31	1.4	8.27	< LQ	< LQ	0.8	5.5	< LQ	< LQ	< LQ	1.9	< LQ	< LQ	16.0	34.2	< LQ	0.27	1.25
Cœur Bouliki	20/01/2015	0.33	2.4	0.77	< LQ	< LQ	< LQ	6.7	< LQ	< LQ	< LQ	2.1	< LQ	< LQ	28.6	30.9	< LQ	1.04	< LQ
Confluence Pirogue	20/01/2015	0.14	2.0	0.98	< LQ	< LQ	< LQ	6.8	< LQ	< LQ	< LQ	6.3	< LQ	0.13	25.0	22.1	< LQ	0.63	0.62
Duchesnetaux	20/01/2015	0.27	1.4	0.73	< LQ	< LQ	< LQ	5.4	< LQ	< LQ	< LQ	1.4	< LQ	< LQ	20.4	16.5	< LQ	0.67	0.50
Falaise	19/01/2015	1.14	1.4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6.8	< LQ	0.10	< LQ	5.8	< LQ	< LQ	57.7	15.9	< LQ	2.96	< LQ
Fond Masson	22/01/2015	0.91	7.2	20.2	< LQ	< LQ	1.3	25.8	< LQ	0.10	< LQ	4.6	< LQ	< LQ	47.6	76.5	0.01	3.10	0.88
La Baume	22/01/2015	0.98	16.4	7.85	< LQ	< LQ	1.6	49.3	0.10	0.36	< LQ	15.1	0.09	0.11	51.2	94.3	0.08	13.5	1.61
La Dumaine	23/01/2015	0.63	13.8	7.48	< LQ	< LQ	3.6	43.0	< LQ	0.41	< LQ	19.1	0.09	0.13	52.5	118	0.06	7.48	0.88
La Mamisse	22/01/2015	7.52	152.7	82.6	0.10	< LQ	1.2	390.0	0.19	< LQ	< LQ	75.4	0.07	0.25	40.4	1955	1.85	2.53	< LQ
Morne Essentes	19/01/2015	0.67	1.7	0.35	< LQ	< LQ	2.1	8.6	< LQ	0.08	< LQ	3.6	< LQ	0.11	64.2	24.6	< LQ	2.53	< LQ
Morne Gibouin	21/01/2015	4.08	4.2	0.51	< LQ	< LQ	< LQ	9.9	< LQ	0.08	< LQ	6.5	< LQ	< LQ	59.3	32.2	0.01	4.05	< LQ
Morne Man Roy	19/01/2015	0.33	2.8	0.22	< LQ	< LQ	< LQ	7.0	< LQ	< LQ	< LQ	2.0	< LQ	< LQ	31.6	35.0	< LQ	1.33	< LQ
Morne Roseaux	20/01/2015	0.30	1.0	1.10	< LQ	< LQ	< LQ	5.2	< LQ	< LQ	< LQ	1.3	< LQ	< LQ	13.6	11.0	< LQ	0.26	< LQ
Morne Serpent	23/01/2015	0.64	11.2	5.64	< LQ	< LQ	2.8	30.6	< LQ	0.39	< LQ	11.6	0.07	0.16	68.1	74.1	0.02	13.9	0.75
Perriolat	23/01/2015	0.50	9.3	10.9	< LQ	< LQ	1.4	24.1	< LQ	0.24	< LQ	9.3	0.06	< LQ	45.4	78.2	0.05	8.34	0.60
Plateau Perdrix	20/01/2015	0.52	2.2	2.60	< LQ	< LQ	0.6	8.4	< LQ	< LQ	< LQ	1.8	< LQ	< LQ	32.6	30.7	< LQ	0.93	1.53
Rivière Cloche	19/01/2015	< LQ	1.4	< LQ	< LQ	< LQ	0.8	7.3	< LQ	< LQ	< LQ	2.0	< LQ	< LQ	40.1	19.7	< LQ	1.26	< LQ
Rivière Madame	19/01/2015	0.61	4.8	0.82	< LQ	< LQ	1.1	14.2	< LQ	0.09	< LQ	2.3	< LQ	< LQ	47.3	66.0	0.01	3.30	< LQ
Rivière Léonard	22/01/2015	0.69	5.1	1.73	< LQ	< LQ	4.2	20.3	< LQ	< LQ	< LQ	4.4	< LQ	< LQ	44.0	43.7	< LQ	1.54	< LQ
Thébault	20/01/2015	< LQ	3.7	3.61	< LQ	< LQ	0.6	7.6	< LQ	< LQ	< LQ	8.6	< LQ	0.15	29.2	34.0	< LQ	1.02	1.01
Trace des Jésuites	19/01/2015	0.52	2.7	5.26	< LQ	< LQ	< LQ	6.6	< LQ	< LQ	< LQ	17.4	< LQ	0.28	25.7	30.9	< LQ	0.38	0.98
Trou Diabliesse	19/01/2015	0.85	2.7	0.20	< LQ	< LQ	0.6	9.6	< LQ	0.07	< LQ	2.7	< LQ	< LQ	52.7	29.2	0.01	3.17	< LQ
Tunnel Didier	19/01/2015	0.29	2.8	2.42	< LQ	< LQ	< LQ	9.0	< LQ	< LQ	< LQ	2.5	< LQ	< LQ	34.6	35.1	< LQ	1.27	< LQ

Annexe 4

Stations étudiées et lithologie associée

Stations	ID	Projet	X	Y	Lithologie	Secteur Géologique
Morne Man Roy	MMR	FG	702476	1628520	Andésite	Carbet
Cascade des Gendarmes	Gend	GTH	703999	1628742	Andésite	Carbet
Ravine Sévère	Sev	GTH	705347	1626556	Andésite	Carbet
Rivière Didier	Did	GTH	706005	1619819	Andésite-Conglomérat	Carbet
Plateau Perdrix	PIP	FG	707128	1623634	Andésite	Carbet-Jacob
Tunnel Didier	Tdi	FG	704748	1621319	Andésite	Carbet-Jacob
Rivière Fond Capot	FdC	GTH	697725	1624063	Andésite	Carbet-Jacob
Rivière Petit Nicolas	Nic	GTH	704585	1630009	Andésite-Basalte	Carbet-Jacob
Bras Gommier	BrG	FG	710876	1629404	Conglomérat	Morne Jacob
Cœur Bouliki	CBk	FG	707036	1626183	Basalte-Andésite	Morne Jacob
Confluence Pirogue	Cpi	FG	708916	1634847	Andésite	Morne Jacob
Duchesnetaux	Duc	FG	709135	1628086	Basalte-Andésite	Morne Jacob
Morne Roseaux	MrR	FG	709746	1628968	Conglomérat-Andésite	Morne Jacob
Thébault	The	FG	710445	1632001	Basalte	Morne Jacob
Trace des Jésuites	TrJ	FG	705743	1630773	Basalte-Andésite	Morne Jacob
Rivière Madame	RvM	FG	706584	1621360	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Ravine Absalon	Abs	GTH	705045	1623571	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Ravine Vannan	Van	GTH	701662	1623894	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Rivière Coco	Coc	GTH	699772	1625787	Andésite-Conglomérat	ETM : Carbet/Jacob
Rivière de Case Pilote	Pil	GTH	702378	1621711	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Rivière du Carbet	Car	GTH	697885	1627732	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Rivière du Lorrain	Lor	GTH	706388	1631294	Basalte	ETM : Carbet/Jacob
Rivière Fond Bourlet	FdB	GTH	702306	1620608	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Rivière Mitan amont (Carbet)	MitA	GTH	701956	1627440	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Rivière Mitan aval (Carbet)	Mita	GTH	701664	1627447	Andésite	ETM : Carbet/Jacob
Amont canal Céron	Ace	FG	691473	1640193	Andésite	Pelée-Conil
Falaise	Fal	FG	700735	1639162	Nuées ardentes	Pelée-Conil
Morne Essentes	MrE	FG	699234	1635230	Nuées ardentes	Pelée-Conil
Morne Gibouin	MrG	FG	692543	1638374	Nuées-Andésite	Pelée-Conil
Rivière Cloche	RvC	FG	700644	1636945	Nuées ardentes	Pelée-Conil
Trou Diabliesse	TrD	FG	695921	1643836	Andésite	Pelée-Conil
Grande Rivière	GdR	GTH	696350	1644460	Nuées-Andésite	Pelée-Conil
Rivière Blanche	Bla	GTH	701854	1637769	Nuées ardentes	Pelée-Conil
Rivière Falaise amont	FalA	GTH	699288	1638072	Nuées-Andésite	Pelée-Conil
Rivière Falaise aval	Fala	GTH	701137	1639322	Nuées-Ponce	Pelée-Conil
Rivière Samperre amont	Sam	GTH	694926	1639049	Andésite	Pelée-Conil
La Roxelane	Rox	GTH	697678	1632341	Nuées ardentes	ETM : Pelée-Conil
Rivière Capot	Cap	GTH	705357	1641576	Nuées-Andésite	ETM : Pelée-Conil
Rivière Claire amont	ClrA	GTH	695886	1636939	Nuées ardentes	ETM : Pelée-Conil
Rivière Claire aval	ClrA	GTH	694370	1634318	Nuées ardentes	ETM : Pelée-Conil
Rivière Claire centre	ClrC	GTH	694706	1634793	Nuées ardentes	ETM : Pelée-Conil
Rivière des Pères	Per	GTH	696921	1632814	Nuées-Andésite	ETM : Pelée-Conil
Rivière des Pères	Per2	GTH	698404	1636979	Nuées-Andésite	ETM : Pelée-Conil
Rivière du Prêcheur	Pre	GTH	692263	1638119	Nuées ardentes	ETM : Pelée-Conil
Rivière Macouba	Mac	GTH	699200	1645048	Nuées-Ponce	ETM : Pelée-Conil
Rivière Mitan amont (Lamare)	Lam	GTH	693299	1636454	Ponce-Andésite	ETM : Pelée-Conil
Rivière Mitan aval (Lamare)	Lama	GTH	693117	1636346	Ponce-Andésite	ETM : Pelée-Conil
Rivière Picodo amont	PicA	GTH	694624	1636991	Andésite-Conglo	ETM : Pelée-Conil
Rivière Picodo aval	Pica	GTH	693229	1636265	Andésite-Conglo	ETM : Pelée-Conil
Rivière Picodo centre	PicC	GTH	694556	1636965	Andésite-Conglo	ETM : Pelée-Conil
Rivière Pocquet	Poc	GTH	1641494	702249	Nuées-Ponce	ETM : Pelée-Conil
Rivière Sèche amont	SecA	GTH	695966	1634239	Nuées ardentes	ETM : Pelée-Conil
Rivière Sèche aval	Seca	GTH	694629	1633120	Nuées ardentes	ETM : Pelée-Conil
Fond Masson	FdM	FG	722151	1608722	Andésite	Miocène Sud
Rivière Léonard	RvL	FG	722619	1603979	Conglomérat	Miocène Sud
Taupinière	Tau	FG	715930	1602186	Andésite	Miocène Sud
Bois Coupé	Bco	FG	709526	1606210	Andésite	Trois Ilets
Rivière de la Pagerie	Pag	GTH	709975	1606734	Andésite	Trois Ilets
La Baume	LBa	FG	729550	1608631	Hyaloclastite	Vauclin-Pitault
La Dumaine	LDu	FG	725044	1614074	Hyaloclastite Primaire	Vauclin-Pitault
Morne Serpent	MrS	FG	721755	1617243	Hyaloclastite	Vauclin-Pitault
Perriolat	Per	FG	726518	1611834	Hyaloclastite	Vauclin-Pitault
La Mamisse	LaM	FG	731286	1601521	Calcaire-Andésite-Basalte	Complexe de base

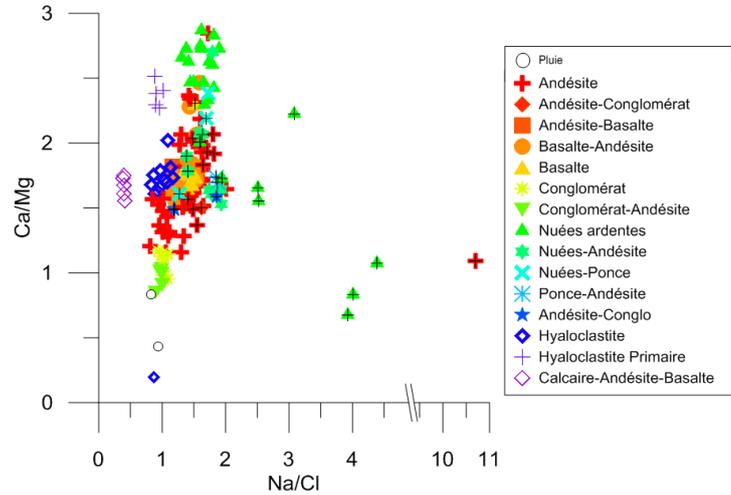
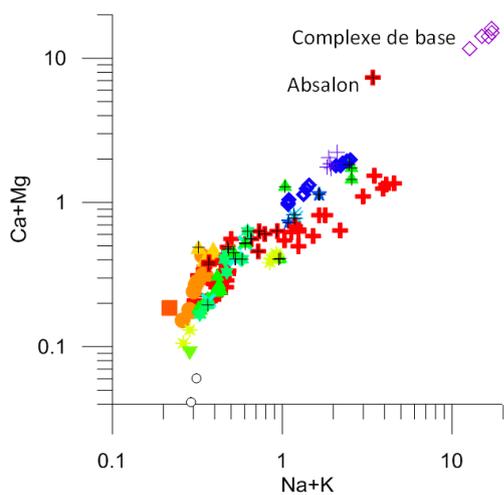
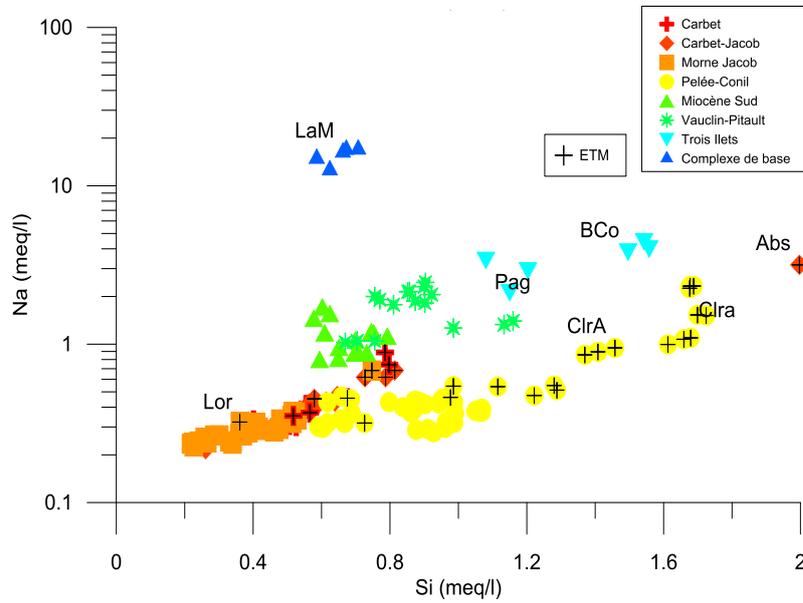
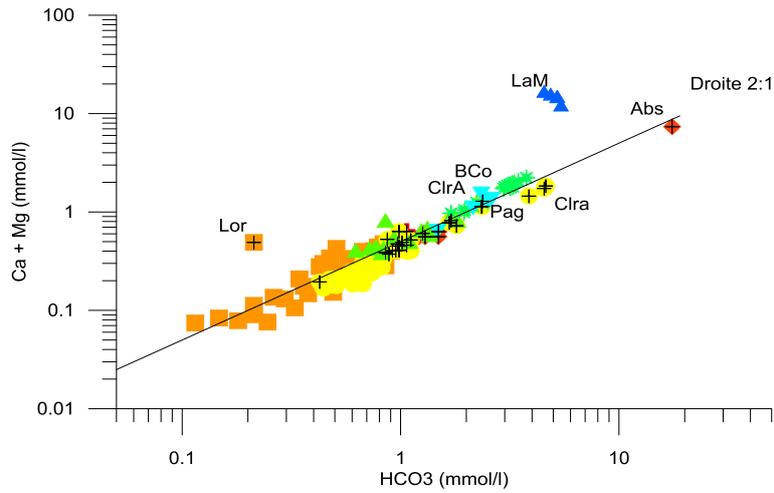
FG : Fond Géochimique

GTH : Géothermie 2012

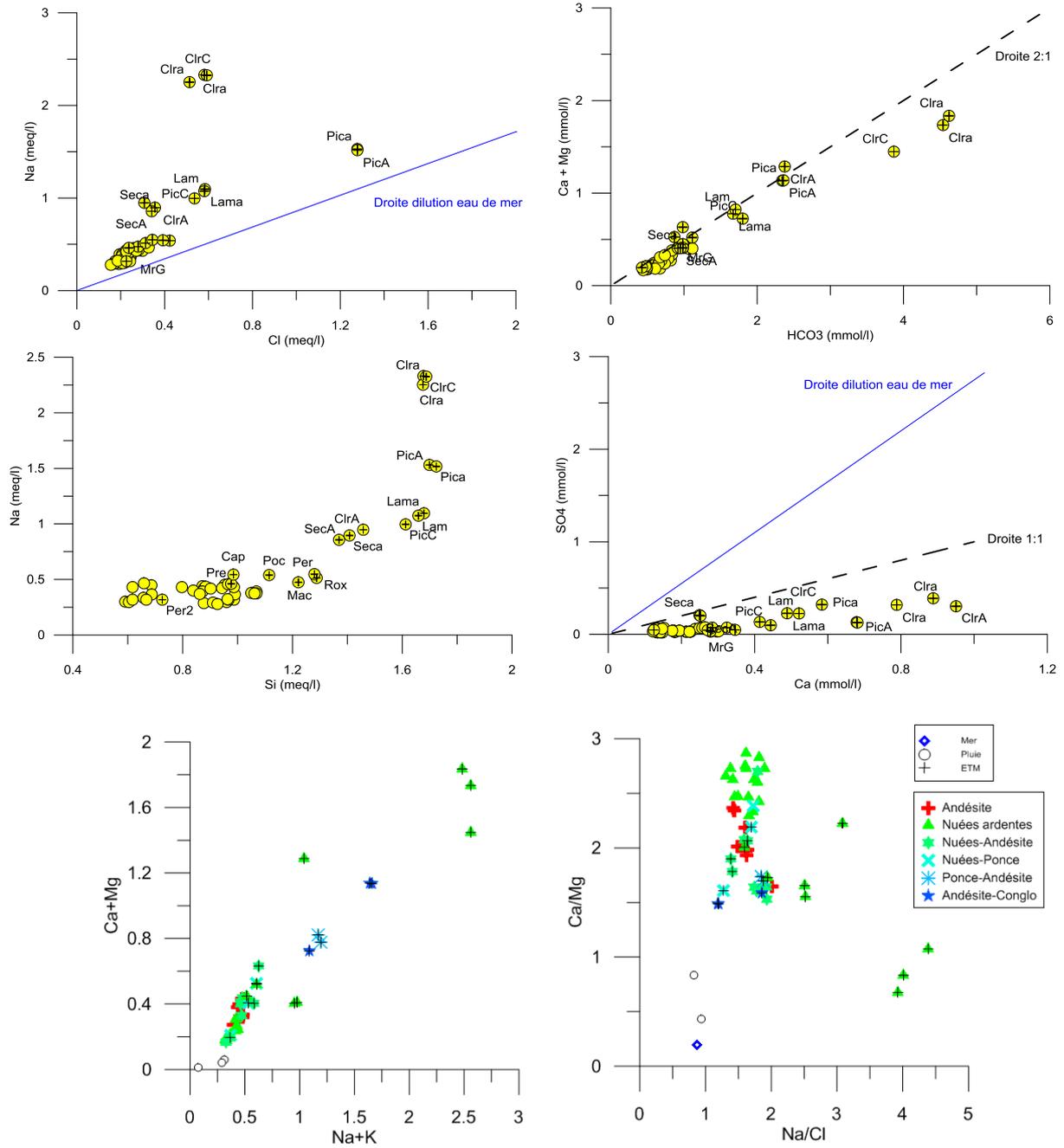
Annexe 5

Diagrammes par secteurs géographiques et géologiques

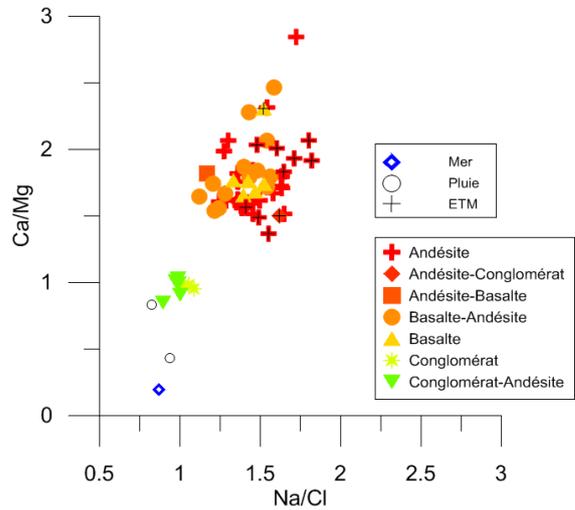
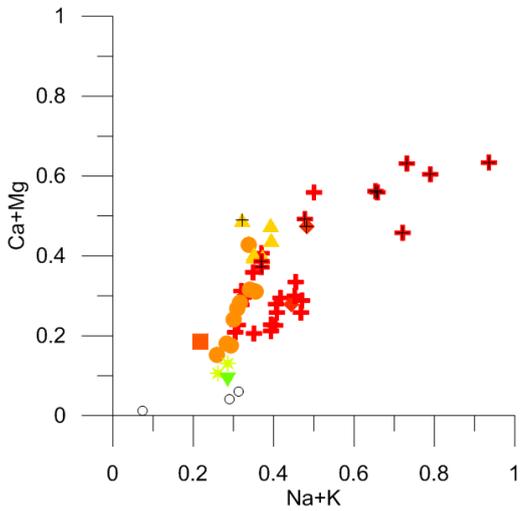
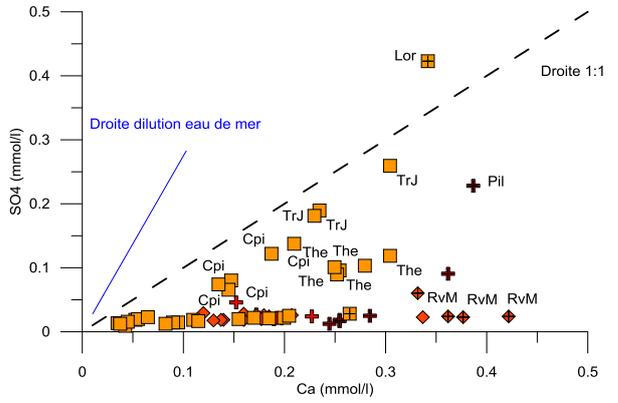
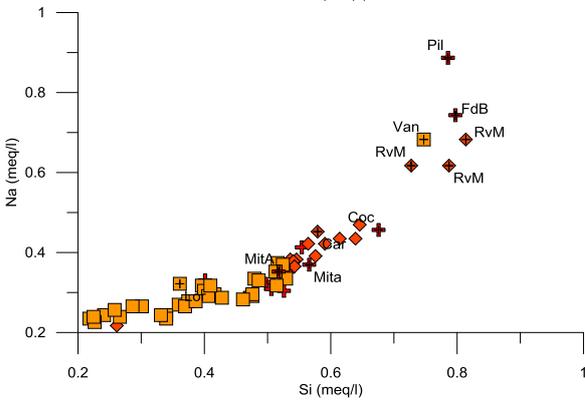
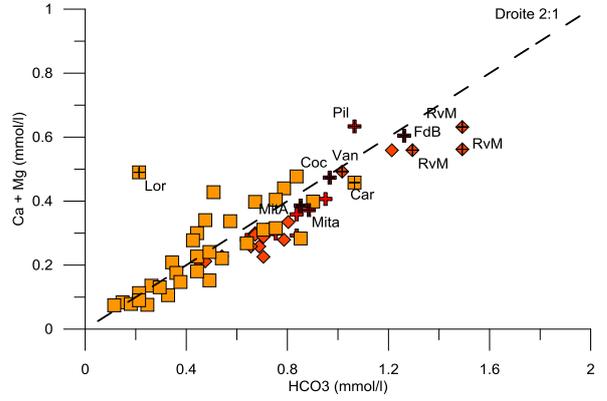
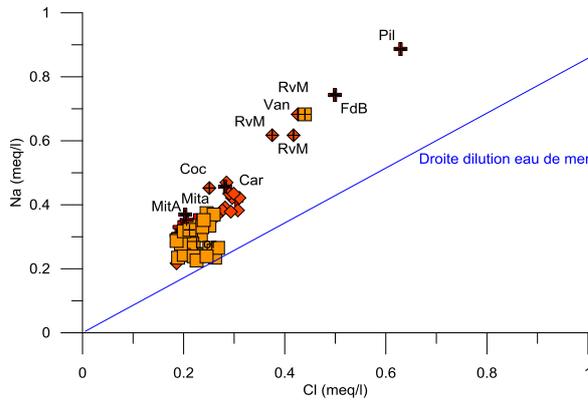
A l'échelle de la Martinique



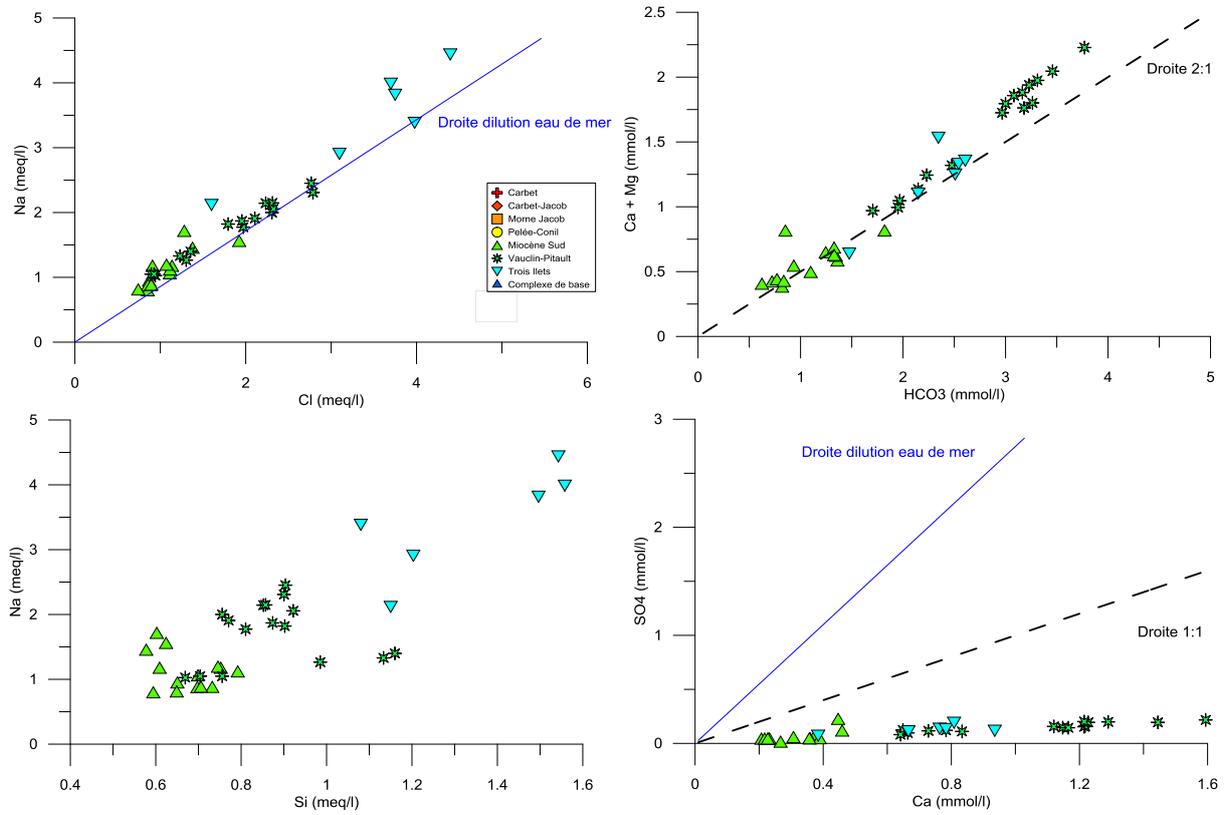
Groupe Pelée-Conil



Groupe Carbet/Jacob

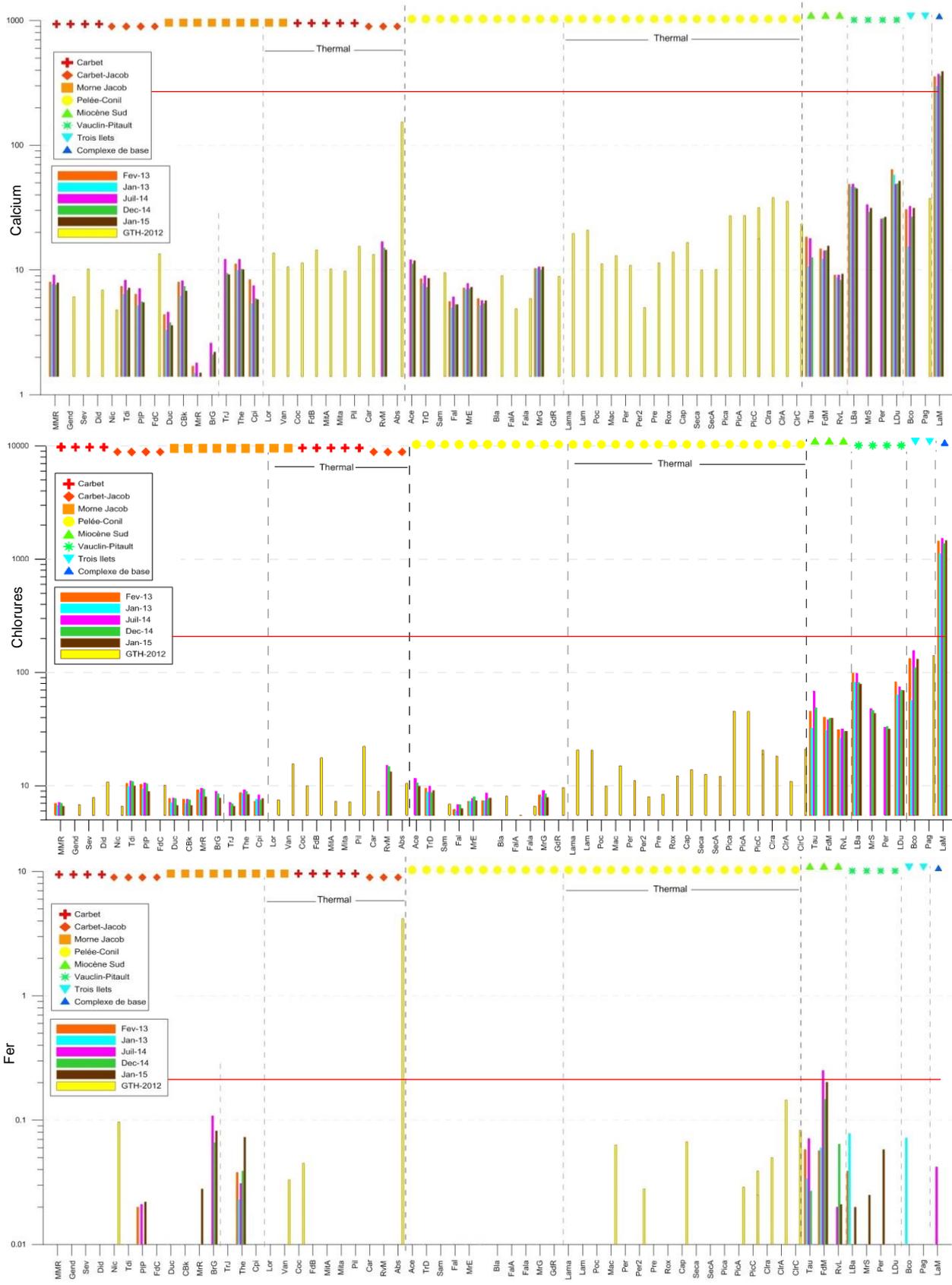


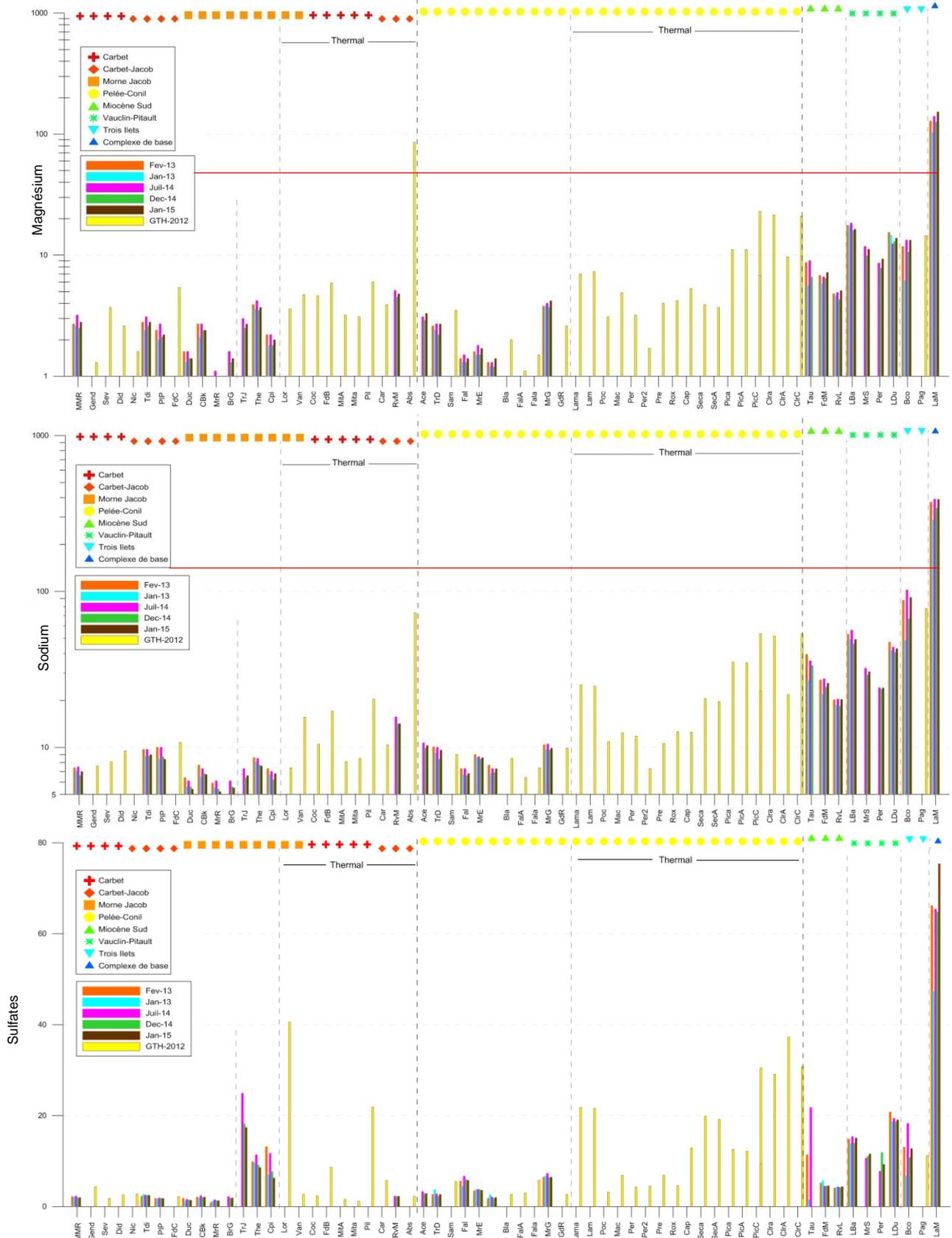
Groupes du Sud



Annexe 6

Concentration en éléments majeurs dissous des stations par groupes représentatifs entre 2012 et 2015





Annexe 7

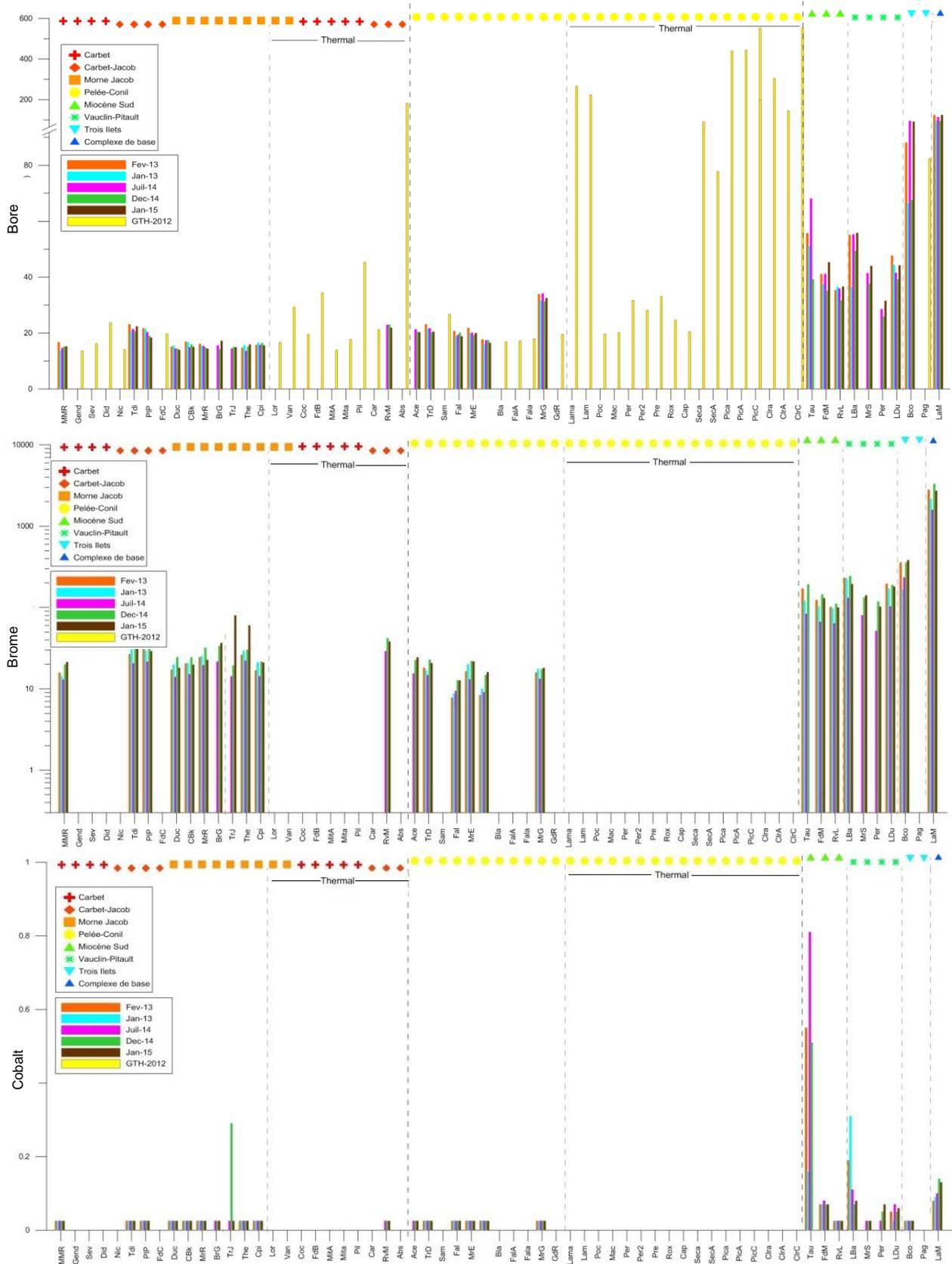
Récapitulatif des zones à risque de fond hydro-géochimique élevé et valeurs de référence proposées pour les eaux souterraines (Arnaud et al ., 2013)

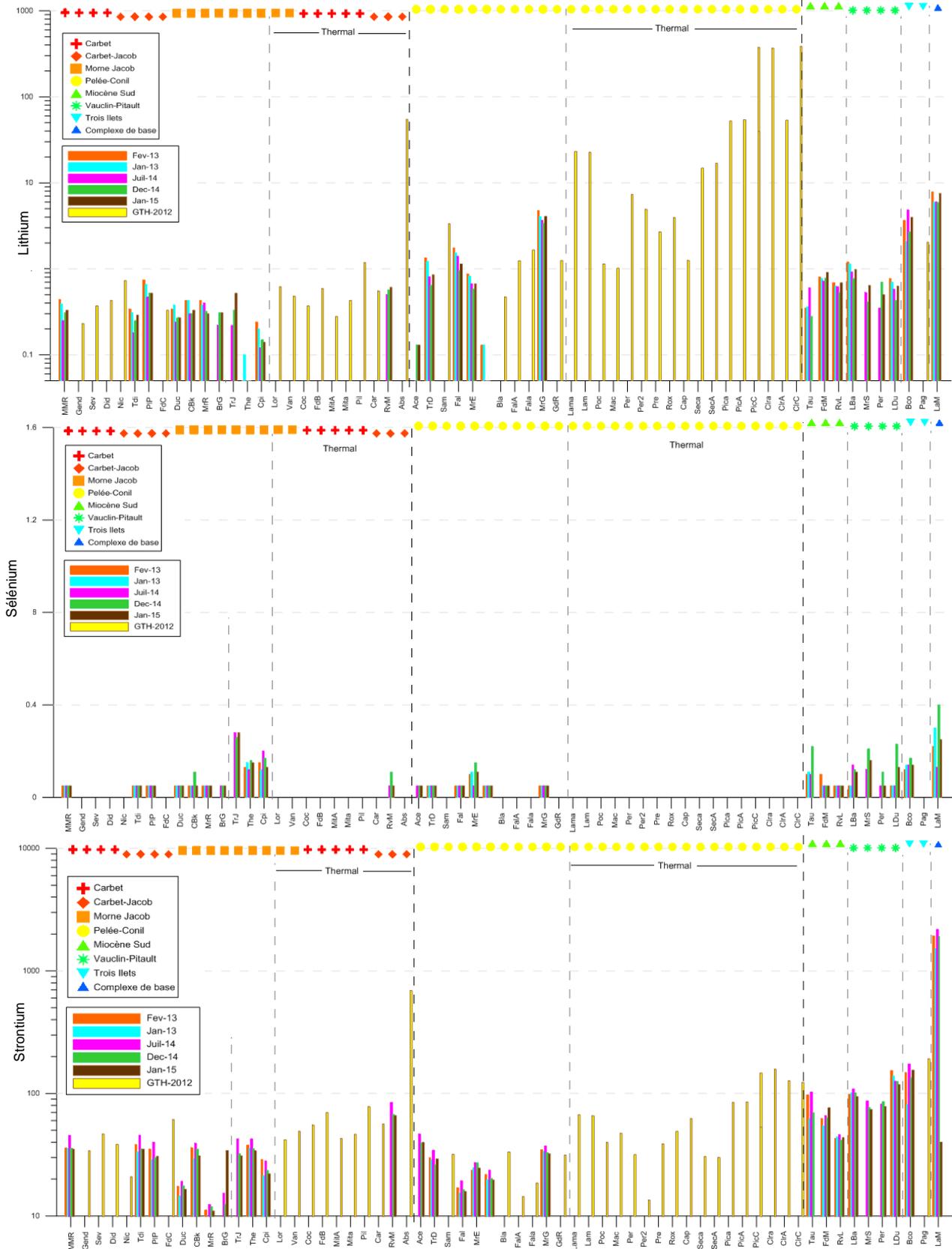
	Éléments	Indice de confiance	Délimitation	Masses d'eau souterraine
ÉLÉMENTS MAJEURS	Calcium	Élevé	Calcaires du Marin	Sud Atlantique
			Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	
	Magnésium	Élevé	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique
	Chlorures Sodium	Élevé	Unité aquifère des andésites 2alpha	Nord Caraïbe
			Système aquifère du Sud	Centre
			Système aquifère du Morne Larcher et des Roches Genty	Sud Caraïbe
			Système aquifère du Sud	Sud Atlantique
Sulfates	Élevé	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique	
		Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique	
ÉLÉMENTS TRACES	Arsenic	Élevé	Système aquifère de la Montagne Pelée	Nord Caraïbe
			Système aquifère de l'édifice ancien de la Montagne Pelée	
			Système aquifère des pitons du Carbet	
		Moyen	Anomalies sols (Le Lamentin)	Centre
			Unité aquifère des laves de Rivière Pilote	Sud Caraïbe
	Baryum	Faible	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de la Caravelle)	Nord Atlantique
		Moyen	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique
	Bore	Élevé	Unité aquifère des laves de Rivière Pilote	Centre
			Unité aquifère des laves du Morne Pavillon	Sud Caraïbe
			Système aquifère du Morne Larcher et des Roches Genty	
Fer Manganèse	Élevé	Martinique	toutes	
Mercure	Moyen	Anomalies sols (Le Lamentin)	Centre	
		Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique	

Paramètres	Valeur seuil actuelle	Masse d'eau souterraine	Nouvelles valeurs seuils	
			Concentration	Emprise
Arsenic	10 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Nord Atlantique	50 $\mu\text{g.L}^{-1}$	locale (forage Anse Charpentier)
Chlorures	200 mg.L^{-1}	Centre	500 mg.L^{-1}	locale (fond géochimique élevé)
		Sud Atlantique	300 mg.L^{-1}	masse d'eau
		Sud Caraïbes	500 mg.L^{-1}	masse d'eau
Sodium	200 mg.L^{-1}	Centre	300 mg.L^{-1}	locale (fond géochimique élevé)
		Sud Caraïbes	350 mg.L^{-1}	masse d'eau
Fer	200 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Nord Atlantique	1 800 $\mu\text{g.L}^{-1}$	locale (forage Anse Charpentier)
		Centre	400 $\mu\text{g.L}^{-1}$	masse d'eau
		Sud Atlantique	800 $\mu\text{g.L}^{-1}$	masse d'eau
Manganèse	50 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Nord Atlantique	300 $\mu\text{g.L}^{-1}$	masse d'eau
		Nord Caraïbes	250 $\mu\text{g.L}^{-1}$	masse d'eau
		Centre	300 $\mu\text{g.L}^{-1}$	masse d'eau
		Sud Caraïbes	200 $\mu\text{g.L}^{-1}$	masse d'eau

Annexe 8

Concentration en éléments traces dissous des stations par groupes représentatifs entre 2012 et 2015





Annexe 9

Analyse statistique descriptive des éléments traces pour les différents secteurs à l'exception du complexe de base

Éléments / Lithologie		Nb. d'obs.	Min.	Max.	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Moy.	Ecart-type (n-1)	Borne inf. moyenne (97.7%)	Borne sup. moyenne (97.7%)
Aluminium	Carbet-Jacob	51	5	94	8	11	16	16	16	11	21
	ETM	30	1	46	5	8	15	11	10	7	16
	Miocène Sud	14	5	53	11	12	22	20	15	10	31
	Pelée-Conil	33	5	28	9	11	13	12	5	10	14
	Trois Ilets	5	5	49	5	7	8	15	19	<	45
	Vauclin-Pitault	16	4	28	5	9	17	12	8	7	17
Antimoine	Carbet-Jacob	51	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	ETM	30	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Miocène Sud	14	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.02	<0.05	<0.05
	Pelée-Conil	33	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Trois Ilets	5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Vauclin-Pitault	16	0.05	0.12	0.06	0.07	0.08	0.07	0.02	0.06	0.1
Arsenic	Carbet-Jacob	51	<0.05	0.4	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
	ETM	30	0.1	39.7*	0.3	0.5	0.7	1.8	7.2	<0.05	4.9
	Miocène Sud	14	<0.05	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
	Pelée-Conil	33	<0.05	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3
	Trois Ilets	5	0.3	0.6	0.4	0.4	0.6	0.5	0.1	0.2	0.7
	Vauclin-Pitault	16	0.3	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.1	0.3	0.5
Baryum	Carbet-Jacob	51	0.9	7	2	2	2	2	1	1.8	2.5
	ETM	30	0.4	191*	2	3	5	11	35	<0.05	26
	Miocène Sud	14	14	88	16	26	42	33	22	18	48
	Pelée-Conil	33	0.4	1.6	0.5	0.7	0.9	0.8	0.3	0.6	1
	Trois Ilets	5	15	33	24	29	32	27	7	15	38
	Vauclin-Pitault	16	3	11	4	7	10	7	3	5	9
Bore	Carbet-Jacob	51	14	24	15	16	17	17	3	16	17
	ETM	30	14	554*	21	32	192	131	168	57	204
	Miocène Sud	14	32	68	36	38	44	42	10	35	49
	Pelée-Conil	33	16	34	19	20	22	22	5	19	24
	Bore - Trois Ilets	5	67	94	68	88	91	82	13	60	103
	Vauclin-Pitault	16	26	56	37	43	48	42	9	37	48
Brome	Carbet-Jacob	51	13	80	20	22	29	25	12	21	29
	ETM	30	29	42	33	38	40	36	7	12	61
	Miocène Sud	14	64	192	98	107	128	115	36	90	140
	Pelée-Conil	33	8	24	13	16	19	16	5	14	18
	Trois Ilets	5	166	381	234	356	357	299	94	148	449
	Vauclin-Pitault	16	51	243	114	156	194	155	57	120	191
Cadmium	Carbet-Jacob	51	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.01		0	0.01
	ETM	30	<0.01	0.81*	0.01	0.02	0.03	0.14	0.28	<0.01	0.38
	Miocène Sud	14	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01
	Pelée-Conil	33	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01
	Trois Ilets	5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01
	Vauclin-Pitault	16	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		0.00	0.01
Chrome	Carbet-Jacob	51	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	ETM	30	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	Miocène Sud	14	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	Pelée-Conil	33	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	Trois Ilets	5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	<0.1
	Vauclin-Pitault	16	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.10	<0.1	0.1
Cobalt	Carbet-Jacob	51	<0.05	0.29	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.04	<0.05	<0.05
	ETM	30	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Miocène Sud	14	<0.05	0.81	<0.05	0.07	0.14	0.18	0.25	<0.05	0.35
	Pelée-Conil	33	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Trois Ilets	5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Vauclin-Pitault	16	<0.05	0.31	<0.05	0.06	0.07	0.08	0.07	<0.05	0.1

Fond hydro-géochimique dans les cours d'eau de la Martinique

Eléments / Lithologie	Nb. d'obs.	Min.	Max.	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Moy.	Ecart-type (n-1)	Borne inf. moyenne (97.7%)	Borne sup. moyenne (97.7%)	
Cuivre	Carbet-Jacob	51	<0.1	8.9°	0.1	0.2	0.3	0.4	1.3	<0.1	0.8
	ETM	30	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	<0.1	0.5
	Miocène Sud	14	0.4	2.2	0.7	1.3	1.4	1.1	0.5	0.8	1.5
	Pelée-Conil	33	<0.1	0.8	0.2	0.4	0.6	0.4	0.2	0.3	0.5
	Trois Ilets	5	0.3	3.1	0.4	0.6	1.0	1.1	1.2	<0.1	3.0
	Vauclin-Pitault	16	0.9	2.5	1.3	1.5	1.6	1.5	0.4	1.3	1.7
Lithium	Carbet-Jacob	51	<0.1	0.7	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4
	ETM	30	0.3	387	0.6	3.3	36	50	112	0.4	99
	Miocène Sud	14	0.3	0.9	0.5	0.7	0.8	0.6	0.2	0.5	0.8
	Pelée-Conil	33	<0.1	4.8	0.5	0.9	1.5	1.3	1.3	0.8	2
	Trois Ilets	5	2.1	4.8	2.7	3.7	4.0	3.4	1.1	1.7	5
	Vauclin-Pitault	16	0.4	1.2	0.5	0.7	0.8	0.7	0.3	0.5	1
Manganèse	Carbet-Jacob	51	0.2	27	0.6	1.1	2.6	2.4	4	1.1	4
	ETM	30	0.2	1500*	0.8	2.1	8.2	57	278	<0.1	181
	Miocène Sud	14	0.8	311	2.2	15	30	51	90	<0.1	113
	Pelée-Conil	33	<0.1	15	0.2	0.3	0.5	1.1	3	<0.1	2
	Trois Ilets	5	0.8	15	1.7	1.8	5.3	4.9	6	<0.1	14
	Vauclin-Pitault	16	0.8	74	6.1	7.8	14.1	17	20	3.9	29
Nickel	Carbet-Jacob	51	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.04	<0.1	0.1
	ETM	30	<0.1	0.2	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.07	<0.1	0.2
	Miocène Sud	14	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.2
	Pelée-Conil	33	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.06	<0.1	0.1
	Trois Ilets	5	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.10	0.1	<0.1	0.3
	Vauclin-Pitault	16	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.03	<0.1	0.1
Plomb	Carbet-Jacob	51	<0.05	0.58	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	0.01	0.06
	Plomb - ETM	30	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Miocène Sud	14	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	0.044	<0.05	0.02	0.02	<0.05
	Pelée-Conil	33	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Trois Ilets	5	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.01	0.01	0.05
	Vauclin-Pitault	16	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.01	0.02	<0.05
Sélénium	Carbet-Jacob	51	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.07	0.1	0.1
	ETM	30	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.03	<0.1	0.1
	Miocène Sud	14	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.05	<0.1	0.1
	Pelée-Conil	33	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.03	<0.1	0.1
	Trois Ilets	5	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.1	0.2
	Vauclin-Pitault	16	<0.1	0.2	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.06	0.1	0.1
Strontium	Carbet-Jacob	51	10	61	21	33	36	30	11	26	34
	ETM	30	14	690*	44	59	83	87	119	35	139
	Miocène Sud	14	42	103	45	62	69	62	20	49	76
	Pelée-Conil	33	14	47	20	27	33	27	8	24	30
	Trois Ilets	5	81	174	134	148	155	138	35	82	195
	Vauclin-Pitault	16	74	154	85	100	120	103	24	88	118
Zinc	Carbet-Jacob	51	<0.5	6.4**	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	0.9	<0.5	0.8
	ETM	30	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5		<0.5	<0.5
	Miocène Sud	14	<0.5	2.8	<0.5	0.5	0.8	0.7	0.7	<0.5	1.3
	Pelée-Conil	33	<0.5	0.9	<0.5	<0.5	<0.5	0.3	0.1	<0.5	<0.5
	Trois Ilets	5	<0.5	1.2	<0.5	<0.5	0.6	0.5	0.4	<0.5	1.2
	Vauclin-Pitault	16	<0.5	1.6**	<0.5	0.4	0.8	0.6	0.4	<0.5	0.9

Annexe 10

Analyse statistique descriptive des éléments majeurs pour les différents secteurs à l'exception du complexe de base

Eléments / Lithologie		Nb. d'obs.	Min.	Max.	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Moy.	Ecart-type (n-1)	Borne inf. moyenne (97.7%)	Borne sup. moyenne (97.7%)
Ammonium	Carbet-Jacob	51	<0.05	0.25	<0.05	<0.05	<0.05	0.03	0.03	0.02	0.04
	ETM	30	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Miocène Sud	14	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.03	0.02	0.02	0.05
	Pelée-Conil	33	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	0.03	0.01	0.02	0.03
	Trois Ilets	5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05
	Vauclin-Pitault	16	<0.05	0.36	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.08	0.00	0.11
Bicarbonates	Carbet-Jacob	51	7	74	25	35	46	35	14	30	39
	ETM	30	13	1068*	59	67	109	127	189	44	210
	Miocène Sud	14	38	111	50	62	81	66	21	52	80
	Pelée-Conil	33	27	68	31	42	51	44	12	39	49
	Trois Ilets	5	90	159	131	153	155	138	29	91	184
	Vauclin-Pitault	16	104	230	135	186	198	171	38	147	195
Calcium	Carbet-Jacob	51	1	14	5	7	8	7	3	6	8
	ETM	30	5	154*	11	15	21	21	26	10	33
	Miocène Sud	14	8	18	9	12	15	13	3	10	15
	Pelée-Conil	33	5	12	6	7	10	8	2	7	9
	Trois Ilets	5	15	32	27	31	31	27	7	16	39
	Vauclin-Pitault	16	26	64	31	46	49	42	12	35	50
Chlorures	Carbet-Jacob	51	7	11	7	8	9	8	1	8	9
	ETM	30	7	45	10	14	19	16	9	12	20
	Miocène Sud	14	26	68	31	35	40	38	11	31	45
	Pelée-Conil	33	6	12	7	8	9	8	1	7	9
	Trois Ilets	5	57	156	110	131	133	117	38	57	178
	Vauclin-Pitault	16	32	99	46	70	82	65	23	50	79
COD	Carbet-Jacob	51	<0.5	1.3	<0.5	0.6	0.7	0.6	0.3	0.5	0.7
	ETM	30	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.1	0.5	0.9
	Miocène Sud	14	1.0	11.7	1.1	2.0	4.6	3.7	3.7	1.2	6.2
	Pelée-Conil	33	<0.5	1.3	<0.5	0.6	0.7	0.6	0.3	0.5	0.7
	Trois Ilets	5	1.8	3.9	1.8	2.4	2.5	2.5	0.9	1.1	3.9
	Vauclin-Pitault	16	1.2	5.9	1.7	2.0	2.8	2.4	1.2	1.7	3.2
Fer	Carbet-Jacob	51	<0.02	0.1	<0.02	<0.02	0.02	0.02	0.02	<0.02	0.03
	ETM	30	<0.02	4.2*	0.03	0.04	0.07	0.32	1.07	<0.02	1.02
	Miocène Sud	14	<0.02	0.25	0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.02	0.12
	Pelée-Conil	33	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.00	<0.02	<0.02
	Trois Ilets	5	<0.02	0.07	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.03	<0.02	0.07
	Vauclin-Pitault	16	<0.02	0.08	<0.02	<0.02	0.02	0.02	0.02	<0.02	0.03
Magnésium	Carbet-Jacob	51	0.9	5.4	1.6	2.4	2.8	2.3	0.9	2.0	2.6
	ETM	30	1.7	85.4	3.9	4.9	7.2	9.6	15.3	2.8	16.3
	Miocène Sud	14	4.3	9.0	5.0	6.1	6.8	6.2	1.5	5.2	7.2
	Pelée-Conil	33	1.1	4.2	1.4	1.8	2.9	2.2	1.0	1.8	2.6
	Trois Ilets	5	6.2	13.3	10.6	11.8	13.3	11.0	2.9	6.3	15.7
	Vauclin-Pitault	16	7.8	18.4	10.9	13.4	16.0	13.3	3.4	11.2	15.5

Eléments / Lithologie		Nb. d'obs.	Min.	Max.	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Moy.	Ecart-type (n-1)	Borne inf. moyenne (97.7%)	Borne sup. moyenne (97.7%)
Nitrates	Carbet-Jacob	51	<0.5	0.9	<0.5	<0.5	<0.5	0.3	0.2	<0.5	0.4
	ETM	30	1.10	9.5	1.3	1.4	5.1	3.6	3.1	0.7	6.4
	Miocène Sud	14	<0.5	4.2	<0.5	0.7	1.7	1.3	1.5	<0.5	2.4
	Pelée-Conil	33	<0.6	2.5	<0.5	<0.5	0.8	0.6	0.6	<0.5	0.9
	Trois Ilets	5	<0.7	1.5	<0.5	<0.5	1.2	0.7	0.6	<0.5	1.7
	Vauclin-Pitault	16	<0.5	4.0	<0.5	0.8	2.3	1.4	1.4	0.5	2.3
Orthophosphates	Carbet-Jacob	51	0.05	0.20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.05	0.06
	ETM	30	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	0.01	0.07	0.11
	Miocène Sud	14	0.05	0.10	0.05	0.05	0.06	0.06	0.02	0.05	0.07
	Pelée-Conil	33	0.05	0.10	0.05	0.05	0.08	0.06	0.02	0.05	0.07
	Trois Ilets	5	0.05	0.26	0.17	0.20	0.20	0.18	0.08	0.05	0.30
	Vauclin-Pitault	16	0.05	0.70	0.20	0.31	0.38	0.30	0.16	0.20	0.40
Potassium	Carbet-Jacob	51	<0.5	1.4	0.6	0.8	0.9	0.7	0.3	0.6	0.8
	ETM	30	0.7	9.5	1.8	2.7	3.7	3.5	2.6	2.3	4.7
	Miocène Sud	14	1.5	3.4	1.8	2.6	2.8	2.4	0.6	2.0	2.8
	Pelée-Conil	33	0.7	2.3	1.4	1.6	1.8	1.6	0.3	1.4	1.7
	Trois Ilets	5	2.8	4.4	3.4	4.0	4.0	3.7	0.6	2.7	4.7
	Vauclin-Pitault	16	1.4	4.5	2.0	2.2	2.6	2.3	0.8	1.8	2.8
Silice	Carbet-Jacob	51	13	39	22	29	32	27	7	24	29
	ETM	30	22	120*	45	70	99	69	28	57	81
	Miocène Sud	14	35	48	37	41	44	40	4	38	43
	Pelée-Conil	33	36	64	41	53	58	52	9	48	55
	Trois Ilets	5	69	94	72	90	93	84	12	65	103
	Vauclin-Pitault	16	40	70	46	52	55	52	8	47	58
Sodium	Carbet-Jacob	51	5	11	6	7	8	7	1	7	8
	ETM	30	7	73	11	16	24	22	16	15	29
	Miocène Sud	14	18	40	20	25	27	26	7	21	30
	Pelée-Conil	33	6	11	7	9	10	9	1	8	9
	Trois Ilets	5	49	102	67	88	92	79	21	45	114
	Vauclin-Pitault	16	24	56	30	42	48	40	11	33	47
Sulfates	Carbet-Jacob	51	1	25	2	2	5	5	5	3	6
	ETM	30	1	41	3	8	21	13	12	8	18
	Miocène Sud	14	2	22	4	5	5	6	5	2	10
	Pelée-Conil	33	2	7	3	4	6	4	2	3	5
	Trois Ilets	5	7	18	11	13	13	12	4	6	19
	Vauclin-Pitault	16	8	21	11	14	19	15	4	12	17

Annexe 11

Analyse descriptive des éléments traces pour le complexe de base

Statistique	Aluminium ESO	Aluminium ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	3.7	0.3
Maximum	8.7	2.0
Moyenne	6.2	1.1
Ecart-type (n-1)	3.6	0.7

Statistique	Antimoine ESO	Antimoine ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	0.12	0.07
Maximum	0.12	0.13
Moyenne	0.12	0.09
Ecart-type (n-1)	0.00	0.02

Statistique	Arsenic ESO	Arsenic ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	1.9	0.4
Maximum	3.4	0.6
Moyenne	2.6	0.5
Ecart-type (n-1)	1.1	0.1

Statistique	Baryum ESO	Baryum ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	215	170
Maximum	221	229
Moyenne	218	205
Ecart-type (n-1)	4	24

Statistique	Bore ESO	Bore ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	134	93
Maximum	151	124
Moyenne	142	110
Ecart-type (n-1)	12	14

Statistique	Brome ESO	Brome ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	5000	1581
Maximum	5270	3292
Moyenne	5135	2507
Ecart-type (n-1)	191	656

Statistique	Cobalt ESO	Cobalt ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	0.9	0.1
Maximum	0.9	0.1
Moyenne	0.9	0.1
Ecart-type (n-1)	-	-

Statistique	Chrome ESO	Chrome ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	<0.1	<0.1
Maximum	0.13	<0.1
Moyenne	-	-
Ecart-type (n-1)	-	-

Statistique	Cuivre ESO	Cuivre ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	0.6	0.5
Maximum	0.7	0.9
Moyenne	0.7	0.7
Ecart-type (n-1)	0.1	0.1

Statistique	Fluor ESO	Fluor ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	<100	<100
Maximum	100	300
Moyenne	-	170
Ecart-type (n-1)	-	100

Statistique	Fer ESO	Fer ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	141	<20
Maximum	177	<20
Moyenne	160	-
Ecart-type (n-1)	30	-

Statistique	Lithium ESO	Lithium ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	40	6
Maximum	40	8
Moyenne	40	7
Ecart-type (n-1)	0	1

Statistique	Mercure ESO	Mercure ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	0.030	<0.01
Maximum	0.236	<0.01
Moyenne	0.133	-
Ecart-type (n-1)	0.145	-

Statistique	Manganèse ESO	Manganèse ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	165	33
Maximum	390	92
Moyenne	277	62
Ecart-type (n-1)	159	27

Statistique	Nickel ESO	Nickel ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	0.7	0.1
Maximum	1.5	0.2
Moyenne	1.1	0.2
Ecart-type (n-1)	0.6	0.0

Statistique	Plomb ESO	Plomb ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	0.6	<0.05
Maximum	0.9	<0.05
Moyenne	0.8	-
Ecart-type (n-1)	0.2	-

Statistique	Sélénium ESO	Sélénium ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	0.1	0.1
Maximum	0.3	0.4
Moyenne	0.2	0.3
Ecart-type (n-1)	0.1	0.1

Statistique	Strontium ESO	Strontium ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	3772	1518
Maximum	4089	2181
Moyenne	3930	1898
Ecart-type (n-1)	224	239

Statistique	Zinc ESO	Zinc ESU
Nb. d'obs.	2	5
Minimum	39	<0.5
Maximum	59	5.8
Moyenne	49	1.6
Ecart-type (n-1)	14	2.5

Concentrations en µg/l

Annexe 12

Analyse descriptive des éléments majeurs pour le complexe de base

Statistique	<i>Ammonium ESO</i>	Ammonium ESU	<i>Bicarbonates ESO</i>	Bicarbonates ESU	<i>Calcium ESO</i>	Calcium ESU
Nb. d'obs.	2	5	2	5	2	5
Minimum	0.07	<0.05	571	277	489	297
Maximum	0.10	0.10	624	331	563	391
Moyenne	0.09	0.05	597	308	526	355
Ecart-type (n-1)	0.02	0.03	37	21	52.3	35.2

Statistique	<i>Chlorures ESO</i>	Chlorures ESU	<i>COD ESO</i>	COD ESU	<i>Magnésium ESO</i>	Magnésium ESU
Nb. d'obs.	2	5	2	5	2	5
Minimum	2087	1119	2.6	1.6	279	103
Maximum	2376	1529	2.8	2.7	324	153
Moyenne	2231	1386	2.7	2.0	301	130
Ecart-type (n-1)	205	159	0.1	0.4	32	18

Statistique	<i>Nitrates ESO</i>	Nitrates ESU	<i>Orthophosphates ESO</i>	Orthophosphates ESU	<i>Potassium ESO</i>	Potassium ESU
Nb. d'obs.	2	5	2	5	2	5
Minimum	0.7	<0.5	<0.1	<0.1	7.3	5.2
Maximum	1.7	1.6	0.2	<0.1	7.9	5.9
Moyenne	1.2	0.6	0.2	<0.1	7.6	5.6
Ecart-type (n-1)	0.7	0.8	0.1	-	0.4	0.3

Statistique	<i>Sodium ESO</i>	Sodium ESU	<i>Silice ESO</i>	Silice ESU	<i>Sulfates ESO</i>	Sulfates ESU
Nb. d'obs.	2	5	2	5	2	5
Minimum	6867	289	63.9	35.2	225	47
Maximum	761	391	70.5	42.5	229	75
Moyenne	724	357	67.2	39.1	227	64
Ecart-type (n-1)	53	43	4.7	2.8	3	10



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction Régionale Martinique

4, Lot. Miramar

Route de Pointe des Nègres

97200 Fort de France

Tél. : 05 96 71 17 70