Document public

Qualité des eaux souterraines de Martinique

Etat de référence pour un réseau de surveillance

BRGM/RP-52997-FR

Août 2004

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT MARTINIQUE

Géosciences pour une Terre durable brgm

Mots clés : Martinique, qualité, eau souterraine, physico-chimie, réseau, phytosanitaires, géochimie.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
Comte J-P., Charguéron C., Négrel Ph. (2004) –. Qualité des eaux souterraines de Martinique : état de référence pour un réseau de surveillance. BRGM/RP52997-FR, 59p., 12 tableaux, 21 figures, 4 annexes.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Hormis les forages et sources servant à l'alimentation en eau potable et donc contrôlés régulièrement par la DSDS, ainsi que quelques mesures ponctuelles effectuées lors de recherches en eau par des forages d'exploration, il n'existe aucun suivi patrimonial de la qualité des eaux souterraines en Martinique. Or la mise en place d'une telle surveillance relève de la directive cadre européenne du 23 octobre 2000 qui prévoit de dresser un état des lieux chimique de la ressource en eaux à l'échéance 2004 pour en garantir le bon état écologique dans un délais de 15 ans.

Afin de permettre cette mise en place, un premier état physico-chimique de référence de la qualité des eaux souterraines de Martinique a donc été établi à la demande de la DIREN Martinique. Cette étude a été menée en 4 étapes :

Etape 1 : Recueil des données existantes sur la qualité des eaux souterraines,

Etape 2 : Campagne de prélèvements et analyses chimiques sur le maximum de points d'accès aux eaux souterraines.

Un inventaire des points d'eau souterraine accessibles susceptibles de donner lieu à prélèvements a été réalisé à cet effet : 34 points ont été recensés (22 piézomètres, 7 sources importantes et 5 forages d'exploitation). A ces analyses s'ajoutent celles réalisées durant la même saison (janvier à mars 2003) par la DSDS sur 18 captages AEP (1 forage, 12 prises en rivière et 5 sources) sur les 36 utilisés.

Les prélèvements ont été effectués soit par pompage, soit par prise directe à la résurgence. Les analyses ont porté sur la chimie de base ainsi que des métaux et cinq molécules phytosanitaires.

Etape 3 : Exploitation des résultats, traitements et interprétations. Cartographie d'un état de référence.

La qualité des eaux est globalement satisfaisante. Tous les types d'eau existent mais le faciès bicarbonaté calcique domine. On ne décèle aucune pollution importante en produits azotés ou phosphorés. Cependant, le bore, le fer et le manganèse sont parfois présents en quantité importante et doivent être surveillés. De plus, certains points se révèlent contaminés par les pesticides. Ces constatations ponctuelles doivent être vérifiées et mieux connues (dans l'espace et dans le temps).

Etape 4 : Propositions en terme de définition du futur réseau de surveillance patrimonial de la qualité des eaux souterraines de Martinique, compte tenu des résultats obtenus.

Ces analyses ont été effectuées durant la saison sèche (janvier à mars). Il serait intéressant de procéder à une campagne en période de pluie afin d'examiner les variations occasionnées par les variations importantes de pluviométrie. De plus, des analyses d'isotopes permettraient de mieux distinguer l'influence du fond géochimique de l'impact anthropique.

Sommaire

1. INTRODUCTION 9

2. BIBLIOGRAPHIE 11

2.1. Les données 11

2.2. Synthèse des connaissances en 2000 11

2.2.1. *Vision globale 11*

2.2.2. *Connaissances par secteur 12*

3. CAMPAGNE DE PRÉLÈVEMENTS 2003-2004 15

3.1. Localisation des points de prélèvements 15

3.1.1. *Suivi existant 15*

3.1.2. *Réseau choisi pour l'état de référence 16*

3.2. Les Analyses 20

3.3. Prélèvements et conditionnement 21

4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS 25

4.1. Les résultats 25

4.1.1. *Présentation des résultats 25*

4.1.2. *Premières constatations 28*

4.2. Interprétations géochimiques 37

4.2.1. *Caractère chimique des eaux 37*

4.2.2. *Classification des eaux dans un diagramme de Piper.....40*

4.2.3. *Les relations inter-éléments 43*

4.3. Comparatif données anciennes-données nouvelles 50

5. LE RÉSEAU QUALITÉ EAUX SOUTERRAINES : PROPOSITIONS ... 55

5.1. Fréquence du suivi.....55

5.2. Analyses 55

5.3. Répartition géographique.....56

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... 58

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Carte de localisation des 34 points prélevés (par domaine hydrogéologique et par type d'ouvrage) 18

Figure 2 : Préleveur utilisé pour recueillir l'eau des forages pompés 21

Figure 3 : Flaconnage nécessaire au prélèvement d'un échantillon d'eau 22

Figure 4 : Carte de localisation des 52 points interprétés par rapport aux domaines hydrogéologiques (par type d'ouvrage) 27

Figure 5 : Diagramme de la conductivité électrique en fonction du TDS pour les échantillons de la campagne 2004 et des AEP ; vue globale et vue agrandie. 31

Figure 6 : Diagramme de la conductivité en fonction du pH pour les échantillons de la campagne 32

Figure 7 : Diagramme de la concentration en fer (en mg/l) en fonction de la concentration en manganèse (en µg/l) pour les échantillons de la campagne 2004, vue globale et vue agrandie. 36

Figure 8 : Diagramme somme des anions Σ^- en fonction des cations Σ^+ pour les points AEP.... 37

Figure 9 : Balance ionique des analyses des points AEP 38

Figure 10 : Diagramme somme des anions Σ^- en fonction des cations Σ^+ pour les points de la campagne BRGM 39

Figure 11 : Balance ionique des analyses des points de la campagne 40

Figure 12 : Diagramme de Piper pour les points AEP 41

Figure 13 : Diagramme de Piper pour les points de la campagne BRGM 2003-2004 43

Figure 14 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en sodium 44

Figure 15 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en calcium 46

Figure 16 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en bore 47

Figure 17 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en magnésium 48

Figure 18 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en potassium 49

Figure 19 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en nitrates……..50

Figure 20 : Variation dans le temps des éléments NO_3, Cl, SO_4, Na, Mg et K..... 52

Figure 21 : Variation dans le temps de la concentration en bicarbonates……53

Tableaux

Tableau 1 : Débits estimés et nombre d'analysesde chimie de base effectuées en 2004 par la DSDS sur les 36 points d'eau AEP 16

Tableau 2 : Paramètres hydrogéologiques des points de prélèvements identifiés..... 19

Tableau 3 : Types d'ouvrages prélevés par domaine hydrogéologique 20

Tableau 4 : Eléments analysés dans le cadre de la campagne 2003-2004 21

Tableau 5 : Mesures de terrain faites in situ sur 19 des 34 prélèvements..... 23

Tableau 6 : Paramètres hydrogéologiques des 6 points de prélèvements d'eau souterraine utilisés pour l'AEP et servant à l'étude 25

Tableau 7 : 12 Prises en rivière servant à l'AEP et utilisées à titre de comparaison pour l'étude 26

Tableau 8 : Répartition des points interprétés par type d'ouvrage et origine..... 26

Tableau 9 : Points AEP disposant d'analyses pendant le premier trimestre 2003 28

Tableau 10 : Présentation des 34 points échantillonnés lors de la campagne BRGM 29

Tableau 11 : Comparaison des teneurs en Chlordécone sur les échantillons du 21/01 et du 06/05 33

Tableau 12 : Présentation des points disposant de mesures antérieures à celles de la campagne BRGM du premier trimestre 2004 51

Annexes

Annexe 1 : Anciennes analyses disponibles **..... 63**

Annexe 2 : Tableau de résultats des prélèvements de la campagne du premier trimestre 2004 **..... 65**

Annexe 3 : Tableau de analyses AEP du premier trimestre 2003 (DSDS 972) **..... 67**

Annexe 4 : Cartographie des analyses étudiées élément par élément **..... 69**

1. Introduction

Il n'existe pas jusqu'à présent en Martinique, de réseau de surveillance patrimonial de la qualité des eaux souterraines comme cela existe pour les eaux de surface, en dehors, bien sûr du suivi réglementaire effectué par la DSDS et les exploitants sur les ouvrages AEP. Or la mise en place d'un tel réseau relève de la directive cadre européenne du 23 octobre 2000 qui prévoit de dresser un état des lieux chimique de la ressource en eaux à l'échéance 2004 pour en garantir dans un délai de 15 ans le bon état écologique. Il correspond également aux orientations stratégiques du SDAGE et aux priorités de l'Office de l'Eau de Martinique.

Le BRGM a donc été chargé par la Direction Régionale de l'Environnement de Martinique d'établir un premier état des lieux sur la qualité des eaux souterraines, afin de faciliter la mise en place de ce réseau de surveillance.

Pour ce faire, il a été procédé en quatre étapes :

1. Recueil et exploitation des données existantes sur la qualité des eaux souterraines en Martinique,

2. Campagne de prélèvements (avec choix des points à prélever), et analyses en laboratoire,

3. Exploitation des résultats, traitements et interprétations. Cartographie d'un état de référence.

4. Propositions et recommandations au niveau du réseau de suivi de la qualité à mettre en place : propositions sur le nombre et la localisation des points à suivre, les analyses pertinentes, ainsi que la fréquence du suivi.

2. Bibliographie

2.1. LES DONNÉES

Jusqu'à aujourd'hui, il n'existe pas de réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines en Martinique, hormis celui de la DSDS et qui concerne les points d'eau servant à l'alimentation en eau potable.

Les seules données disponibles sont recensées dans la synthèse hydrogéologique (rapport BRGM RP-50071-FR, mars 2000). Il s'agit d'analyses effectuées de façon ponctuelle soit pendant une campagne de recherche sur un secteur déterminé, soit à la suite d'un forage d'exploitation (annexe 1).

Ces données sont peu nombreuses et mal réparties sur l'île. Des nappes, comme la nappe du Lamentin, disposent de plusieurs analyses alors que plusieurs d'autres en sont dépourvues (nappe du Vauclin,…).

2.2. SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES EN 2000

Cette synthèse a été établie à l'aide de la synthèse hydrogéologique (rapport BRGM RP-50071-FR, mars 2000). Elle tient compte des données acquises entre 1970 et 1992.

2.2.1. Vision globale

La minéralisation des eaux souterraines de Martinique présente un zonage géographique lié à la répartition des précipitations : plus la recharge est forte et plus la minéralisation est faible. La plupart des eaux souterraines ont des minéralisations relativement faibles : de quelques dizaines de milligrammes par litre au sein des aquifères à fort taux de renouvellement des zones les plus arrosées, à 300 ou 400 mg/l dans les nappes à hydrodynamisme " normal ". Cette faible minéralisation est caractéristique des formations de type volcanique au sein desquelles, hors zones thermales, les interactions eau - roche sont mal connues. Seuls quelques aquifères du Sud de la Martinique, à la recharge limitée (Sainte Anne, Anses d'Arlet), ou influencés par la proximité de l'interface eau douce / eau salée (Diamant, Sainte Anne), ou encore à lithologie partiellement calcaire (Grand Fond du Marin, 700 mg/l), présentent localement une plus forte minéralisation.

Le faciès physico-chimique dominant des eaux souterraines est de type bicarbonaté calcique. Une tendance chlorurée sodique est observée d'une part pour les eaux ayant subi très peu d'échanges avec l'aquifère (les eaux de pluie présentent un faciès chloruré sodique en raison de leur transit au-dessus du domaine océanique) et d'autre part pour celles dont l'aquifère se situe en contexte littoral.

Les eaux peuvent localement présenter des teneurs en fer et manganèse supérieures aux normes de potabilité. Une forte corrélation est néanmoins observée entre ces valeurs élevées et la contribution d'eaux thermales (Schœlcher, Lamentin, François).

L'influence des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines est mal connue en Martinique. Les analyses disponibles montrent que les teneurs en nitrates sont généralement très inférieures aux normes de potabilité (50 mg/l) . On ne décèle que quelques milligrammes par litre seulement au sein des sources émergeant sur la commune de l'Ajoupa Bouillon, commune pourtant soumise à une activité agricole intense (banane, ananas). Au niveau de la plaine du François, elle aussi siège d'une forte activité agricole (banane, canne) et où le taux d'alimentation des nappes est plus réduit qu'à l'Ajoupa Bouillon, la concentration est de 11 à 25 mg/l.

Par ailleurs, les teneurs en pesticides au sein des eaux souterraines ainsi que les modalités de propagation de ces produits sont encore très mal connues bien que ces substances aient été largement utilisées et sont détectées depuis 1999 dans les eaux superficielles (DIREN).

2.2.2. Connaissances par secteur

Toutes les zones géographiques ne disposent pas de données sur la qualité des eaux souterraines.

2.2.2.1. Secteur Nord Caraïbe

Saint-Pierre – Prêcheur : Les analyses physio-chimiques réalisées ont montré que les eaux pompées aux différents forages avaient un faciès bicarbonaté-calcique marqué. La minéralisation de ces eaux était faible (< 200 mg/l).

Schœlcher – vallée de Case Navire : eau de type bicarbonatée calcique.

Schœlcher – vallée de Fond Lahaye : eau de type bicarbonatée sodique. Elle contiendrait des concentrations relativement élevées en bicarbonates, calcium, magnésium et sodium mais dans les limites des normes de potabilité.

2.2.2.2. Secteur Nord Atlantique

Les eaux de ce secteur étaient de type bicarbonaté calcique avec une tendance chlorurée sodique. Leur minéralisation est faible (inférieure à 400 mg/l). On note des indices ponctuels de thermalisme, en bordure de cette zone (sources de la Montagne Pelée, Deux Choux, Médaille…). Les teneurs en fer et manganèse dépasseraient les limites de potabilité.

2.2.2.3. Secteur Centre

La nappe du Lamentin a été la plus étudiée de Martinique. Les prospections ont commencé dans les années 1970.

La majorité des eaux souterraines de cette nappe est de type bicarbonaté sodique avec quelques forages (1179ZZ0070 et 1179ZZ0203) présentant un faciès plus chloruré. Le forage 1179ZZ0203 présente d'ailleurs des concentrations en chlorure et en sodium supérieures aux normes de potabilité.

Les minéralisations sont peu importantes (250 à 500 mg/l), à part pour le piézomètre 1179ZZ0070 : 890 mg/l. Cette différence peut s'expliquer par l'existence de drains vecteurs d'eaux minérales dans la nappe.

La température de l'eau est de 27°C, ce qui correspond à la température moyenne annuelle du secteur de prélèvement (26,15°C à l'aéroport du Lamentin).

Malgré une exploitation agricole importante, les teneur en nitrate sont faibles. Par contre, les concentrations en fer et en manganèse sont élevées, probablement en raison de venues d'eau hydrothermale ou d'altération de minéraux ferromagnésiens.

2.2.2.4. Secteur Sud Ouest

Versant Nord de la presqu'île des Trois Ilets : 2 ouvrages ont fait l'objet d'analyses anciennes (1181ZZ0116 et 1181ZZ0117 forés en 1979 – Rapport BRGM 79ANT20).

Ces mesures ont révélé une forte minéralisation des eaux (> 1 g/l) qui ne leur confère pas les caractères de potabilité nécessaires pour l'alimentation en eau potable. Le faciès physico-chimique de ces eaux, de type chloruré mixte avec sensiblement égalité des teneurs en sodium, magnésium et calcium, s'il ne permettait pas d'exclure totalement une influence marine, traduisait plutôt leur origine thermo-minérale. Leur température relativement forte (30°C au forage 1181ZZ0116 en 1979) et la côte du niveau de la nappe (8 m NGM environ aux deux sondages) militent également en faveur de cette hypothèse. La conductivité électrique des venues d'eau de nappe (source des Grottes, lit des cours d'eau), échantillonnées en période de carême (1991) était relativement forte. Cette minéralisation élevée peut être liée soit à ces phénomènes de thermalisme, soit au faible hydrodynamisme des aquifères qui seraient peu rechargés par les précipitations. Il semble important de valider une de ces hypothèses.

Versant Ouest de la presqu'île des Trois Ilets : 2 analyses ont été effectuées (1179ZZ0160 à Grande Anse en 1977 – Rapport BRGM 77ANT3- et 1184ZZ0003 à Petite Anse en 1979 – Rapport BRGM 79ANT20).

L'eau du forage de Grande Anse, de faciès bicarbonaté sodique avec une teneur en magnésium relativement élevée (25 mg/l), bien que relativement minéralisée (près de 500 mg/l), ne montre pas d'indice d'une origine thermale.

Les eaux du forage des Anses d'Arlets (petite anse), de faciès bicarbonaté calcique, fortement minéralisées (plus de 2 g/l) et riches en sulfates (280 mg/l) traduisaient soit une origine thermale soit un lessivage des minéraux de remplissage des fissures et fractures de la roche. Ces eaux ne répondaient donc pas aux normes de potabilité.

2.2.2.5. Secteur Sud Est

Le François : La minéralisation des eaux de la nappe (de 390 à 420 mg/l de l'amont vers l'aval) est « normale »; elle traduisait un bon renouvellement de l'eau de l'aquifère. Les deux échantillons analysés en 1991 suggéraient une légère dégradation de la qualité des eaux de la nappe, de l'amont vers l'aval. Tandis que l'analyse réalisée à l'Habitation Victoire (1179ZZ0228) répondait en tous points aux normes pour l'A.E.P., celle effectuée au forage Esso (1179ZZ0004) montrait des teneurs en fer et manganèse (substances non toxiques mais considérées comme indésirables) supérieures. Par ailleurs, les teneurs en nitrates étaient plus faibles en amont (11,5 mg/l) qu'en aval (29 mg/l) où des teneurs en lindane (pesticide organochloré commun), inférieures à la norme de potabilité, ont également été mises en évidence.

Vallées de la rivière Pilote : Les eaux, de faciès chloruré sodique, sont peu minéralisées (résidu sec inférieur à 400 mg/l). Elles répondent, pour les éléments majeurs mesurés, aux normes pour l'A.E.P. Leur faciès chloré sodique tient vraisemblablement à l'origine des eaux infiltrées (eaux de pluie provenant du domaine maritime proche), aucun indice de thermalisme chloruré sodique n'est en effet connu dans le secteur.

3. Campagne de prélèvements 2003-2004

3.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS

3.1.1. Suivi existant

Les seuls points d'eau faisant l'objet d'analyses par la DSDS sont au nombre de 36 actuellement. Les prises d'eau en rivière représentent un peu plus de la moitié des points (19) mais plus de 90 % de la ressource exploitée (tableau 1).

Commune	Nom	n°BSS	Nature	Débit moyen/jour (m3/j)	nb d'analyses de chimie de base réalisées en 2003
Gros Morne	Bras gommier perce calvaire		Prise en rivière	480	2
Morne Vert	Chapeau nègre (verrier)		Prise en rivière	40	1
Basse Pointe	forage Demare	1168ZZ0048	Forage	250	2
Ajoupa-Bouillon	forage GrandeSavane	1168ZZ0044	Forage	60	3
Basse Pointe	forage Morne Balai	1168ZZ0043	Forage	60	2
Saint Pierre	forage Pécoul	1167ZZ0031	Forage	1230	1
Grande Rivière	Grande Rivière		Prise en rivière	330	2
Fort de France	rivière Absalon		Prise en rivière	10000	4
Saint Joseph	rivière Blanche		Prise en rivière	25000	17
Saint Joseph	rivière Blanche Bouliki		Prise en rivière	25000	12
Basse Pointe	rivière Capot		Prise en rivière	25000	11
Gros Morne	rivière du Galion (pompage)		Prise en rivière	1500	1
Gros Morne	rivière du Galion bras gommier		Prise en rivière	4300	1
Gros Morne	rivière du Galion bras verrier		Prise en rivière	600	1
Lorrain	rivière du Lorrain		Prise en rivière	4500	3
Schoelcher	rivière Duclos		Prise en rivière	5000	4
Fort de France	rivière Dumauze		Prise en rivière	10000	4
Gros Morne	rivière Lézarde		Prise en rivière	17300	6
Saint Joseph	rivière l'Or		Prise en rivière	519	3
Morne Rouge	rivière Madame		Prise en rivière	700	2
Morne Rouge	rivière Madame (essente)		Prise en rivière	480	2
Saint Joseph	rivière Monsieur		Prise en rivière	1100	6
Morne Vert	rivière Picard (mont bouche)		Prise en rivière	875	2
Morne Vert	source Attila	1173ZZ0068	Source	486	1
Morne Rouge	source Escente	1168ZZ0050	Source	430	1
Ajoupa-Bouillon	source Fond les Sources	1168ZZ0046	Source	400	1
Macouba	source Maitre Jean	1166ZZ0021	Source	463	1
Ajoupa-Bouillon	source Marc Cecile (trianon)	1168ZZ0047	Source	150	3
Ajoupa-Bouillon	source Mont Pelé	1168ZZ0051	Source	330	1
Morne Rouge	source Morestin	1168ZZ0053	Source	4377	1
Saint Pierre	source Pecoul	1167ZZ0052	Source	330	1
Fond Saint Denis	source Yang-Ting	1173ZZ0062	Source	350	1
Macouba	source Hauteur Bourbon	1166ZZ0020	Source	190	0
Basse Pointe	source Louison	1168ZZ0049	Source	8	0
Morne Rouge	source Mont Gelé	1173ZZ0065	Source	172	0
Fond Saint Denis	source Cristal		Source	30	0

Tableau 1 : Débits estimés et nombre d'analysesde chimie de base effectuées en 2004 par la DSDS sur les 36 points d'eau AEP

La fréquence du suivi n'est pas la même pour chaque point d'eau; elle dépend du débit prélevé et de l'accessibilité du site (tableau 1).

3.1.2. Réseau choisi pour l'état de référence

Le but de cette étude est d'avoir une vision la plus globale possible d'un état de référence de la qualité des eaux souterraines de Martinique. Plusieurs critères ont donc été pris en compte :

- le bassin versant hydrogéologique, dans la mesure où il peut être apprécié,
- le type de nappe : continue ou discontinue, superficielle ou profonde,
- la géologie, c'est à dire la nature des formations aquifères,
- la répartition géographique,
- les enjeux : exploitation possible pour eau potable ou pas.

Le type d'ouvrage a également été pris en compte. En effet, en Martinique aucune étude n'a encore été effectuée sur les sources (hormis celles captées pour l'alimentation en eau potable). Il est donc difficile de distinguer les résurgences d'eau souterraine des sources d'eau plus superficielle. Ainsi, pour cette première approche, et dans le doute, les forages profonds ont-ils été privilégiés par rapport aux sources.

27 forages et piézomètres et 7 sources, non suivies par la DSDS mais relativement importantes du fait de leur débit ou de leur utilisation par la population, ont été choisis (fig. 1, tableaux 2 et 3).

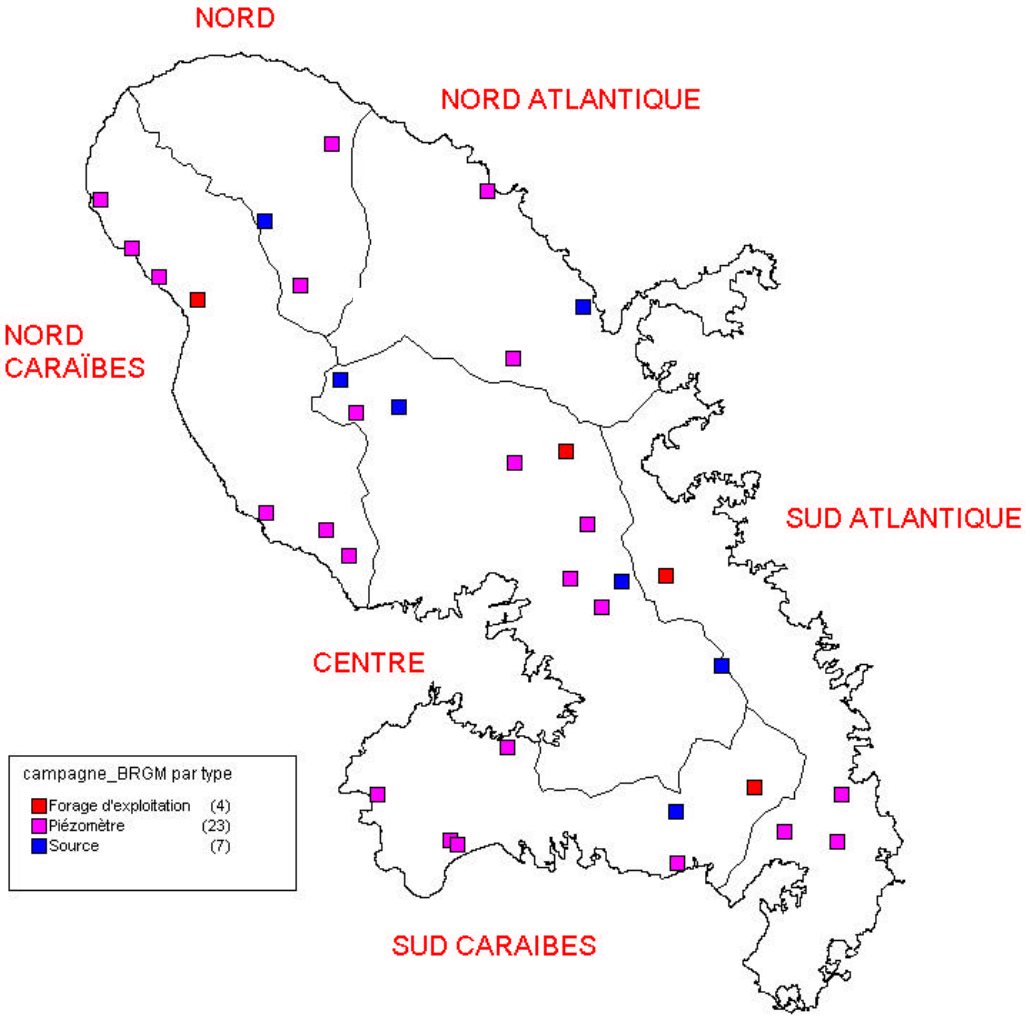


Figure 1 : Carte de localisation des 34 points prélevés (par domaine hydrogéologique et par type d'ouvrage)

Domaines hydrogéologiques	Commune	Lieu-dit	n°BSS	Type d'ouvrage	Géologie	Type de nappe
Centre	Ducos	Bois Rouge	1179ZZ0157	Piézomètre	Andésite fissurée	Fissuré-Fracturé
	Fond Saint Denis	Source de l'Alma	1173ZZ0076	Source	Coulée de lave andésitique surmontée d'éboulis	Fissuré-Fracturé
	Fort de France	La Medaille	1173ZZ0072	Piézomètre	Nuées ardentes (sables argilo-quartzeux)	Poreux
	Gros Morne	Vert Pré - usine Yoplait	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	Coulée de basalte porphyrique de Vert-Pré	Fissuré-Fracturé
	Lamentin	Sarrault	1179ZZ0158	Piézomètre	Tufs bréchiques, tuffites, lave andésitique fissurée et fracturée	Fissuré-Fracturé
		Habitation ressource	1179ZZ0070	Piézomètre	Tufs bréchiques, tuffites, lave andésitique fissurée et fracturée	Fissuré-Fracturé
		Morne Pitault- La Frédée	1179ZZ0282	Source	Coulée de basalte porphyrique de Vert-Pré	Fissuré-Fracturé
	Saint Esprit	Source Caraïbe	1183ZZ0053	Source	Coulée de lave massive ou bréchique ou débitée en coussins	Fissuré-Fracturé
	Saint Joseph	Coeur Bouliki	1174ZZ0089	Source	Coulée de basalte porphyrique à augite et olivine	Fissuré-Fracturé
		La Charmille	1174ZZ0087	Piézomètre	Conglomérats altérés et argilisés	Poreux
Nord	Basse Pointe	Rivière Falaise	1168ZZ0054	Piézomètre	Ponces	Poreux
	Morne rouge	Desgrottes	1168ZZ0037	Piézomètre	Cendres, ponces fracturées et tourbes	Poreux
		Habitation citron	1168ZZ0055	Source	Nuée ardente de Morne Capot	Poreux
Nord Atlantique	Gros Morne	La Borelli	1174ZZ0088	Piézomètre	Tuffite/Andésite	Fissuré-Fracturé
	Marigot	Anse Charpentier	1169ZZ0006	Piézomètre	Alluvions caillouteux, blocs andésitiques, argile sableuse / blocs de lave altérés dans tuf sableux	Poreux
	Trinité	Morne Figue	1175ZZ0153	Source	Coulée de basalte porphyrique de Vert-Pré	Fissuré-Fracturé
Nord Caraïbes	Case Pilote	Maniba	1177ZZ0173	Piézomètre	Tuffite - Lahar	Poreux
	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	1167ZZ0024	Piézomètre	Nuées ardentes	Poreux
	Saint Pierre	Rivière Blanche	1167ZZ0023	Piézomètre	Coulée pyroclastique (blocs, ponces et cendres)	Poreux
		Fond Canonville	1167ZZ0037	Piézomètre	Coulée d'andésite surmontée d'éboulis	Fissuré-Fracturé
		Pécoul	1167ZZ0031	Forage d'exploitation	Coulées de ponces	Poreux
	Schoelcher	Fond Lahaye	1177ZZ0161	Piézomètre	Brèches ponço-dacitiques	Poreux
		Case Navire	1177ZZ0165	Piézomètre	Alluvions torrentielles et brèches ponço-dacitiques	Poreux
Sud Atlantique	Le François	La Victoire	1179ZZ0228	Forage d'exploitation	Hyaloclastites primaires	Fissuré-Fracturé
	Marin	Grand Fond	1186ZZ0118	Piézomètre	Tuffite calcaire du Marin	Fissuré-Fracturé
		Cap Macré	1186ZZ0119	Piézomètre	Dyke andésitique fissuré	Fissuré-Fracturé
	Vauclin	Puyferrat	1183ZZ0026	Piézomètre	Calcaire de Macabou et tuffite sous-jacente	Fissuré-Fracturé
Sud Caraïbes	Anses d'Arlet	Grande Anse	1181ZZ0131	Piézomètre	Alluvions	Poreux
	Diamant	Habitation Dizac	1184ZZ0001	Piézomètre	Ponces du Diamant	Poreux
		Habitation Dizac	1184ZZ0016	Piézomètre	Ponces du Diamant	Poreux
	Rivière Pilote	Fougainville	1183ZZ0052	Forage d'exploitation	Andésites fracturées	Fissuré-Fracturé
	Sainte Luce	Source du Riz	1185ZZ0121	Source	Conglomérats	Poreux
		stade communal	1185ZZ0120	Piézomètre	Andésites fracturées	Fissuré-Fracturé
	Trois Ilets	Vatable 3	1181ZZ0132	Piézomètre	Tuffites	Poreux

Tableau 2 : Paramètres hydrogéologiques des points de prélèvements identifiés

Domaines Hydrogéologiques	Nb de piézomètres	Nb de forages d'exploitation	Nb de sources	Total des points
Centre	5	1	4	**10**
Nord	2	0	1	**3**
Nord Atlantique	2	0	1	**3**
Nord Caraïbes	6	1	0	**7**
Sud Atlantique	3	1	0	**4**
Sud Caraïbes	5	1	1	**7**
Total	**23**	**4**	**7**	**34**

Tableau 3 : Types d'ouvrages prélevés par domaine hydrogéologique

3.2. LES ANALYSES

Le but de cette étude est de dresser un premier bilan global des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de Martinique ; les caractéristiques bactériologiques des eaux ne seront donc pas étudiées.

La liste des éléments chimiques à analyser a été établie en concertation avec la DIREN et la DSDS. Elle est la suivante (tableau 4):

De plus, aux vues des problèmes de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires utilisés dans la culture de bananes (et tout particulièrement les pesticides), il a été décidé d'inclure plusieurs molécules phytosanitaires dans les analyses. Le choix s'est porté sur :

- Le Chlordécone, un pesticide organochloré interdit définitivement en 1993,
- Le Bêta HCH, un pesticide organochloré interdit en 1973,
- Le Diuron, un herbicide organoazoté toujours utilisé actuellement,
- L'Atrazine, un herbicide de la famille des chlorotriazines, interdit au 1er octobre 2003,
- L 'Hexazinone, un herbicide organoazoté interdit au 31 décembre 2003 mais avec des dérogations allant jusqu'au 31 décembre 2007 pour certaines cultures (comme la canne à sucre).

Ces cinq produits sont les phytosanitaires les plus couramment retrouvés dans les eaux superficielles de Martinique.

physico-chimie de base	pH, conductivité, HCO3, Ca, K, Na, Mg, SiO2, NH4, NO3, NO2, SO4, Cl, PO4, Fe, F
métaux	Al, B, Mn, As, Ni
molécules phytosanitaires	HCH béta, chlordécone, atrazine, diuron, hexazinone

Tableau 4 : Eléments analysés dans le cadre de la campagne 2003-2004

3.3. PRÉLÈVEMENTS ET CONDITIONNEMENT

La majeure partie des échantillons a été prélevée par pompage sur des piézomètres non exploités (19 sur 34). Pour cela, le volume d'eau présent dans l'ouvrage a été renouvelé selon les normes en vigueur (FD X 31-615) avant de procéder au prélèvement par l'intermédiaire d'un préleveur (fig.2). Ce type de préleveur à bille permet de collecter l'eau à la profondeur de stabilisation du préleveur. Sa nature en téflon permet de s'affranchir de toute possibilité de contamination de l'échantillon d'eau lors de la phase de prélèvement dans le forage.

Les sources ou les forages d'exploitation ont été prélevés directement.

Figure 2 : Préleveur utilisé pour recueillir l'eau des forages pompés

L'eau a ensuite été répartie dans différents flacons en fonction des traitements à appliquer selon les types d'analyses à réaliser (fig.3) :

- produits phytosanitaires : eau brute non filtrée (flacons en verre),
- eau filtrée à 0,45 µm, et stockée dans des bouteilles en polyéthylène (PE) préalablement rincées. Pour l'analyse des cations majeurs, 100 ml sont acidifiés à pH 2 avec de l'acide nitrique (HNO_3) suprapur. Pour l'analyse des anions majeurs, 250 ml sont stockés sans conservateur.

Figure 3 : Flaconnage nécessaire au prélèvement d'un échantillon d'eau

Dans la mesure du possible en même temps que les prélèvements, les principaux paramètres physico-chimiques sont mesurés sur le terrain : pH, conductivité électrique EC, salinité, température et oxygène dissous (tableau 5).

	n°BSS	type	localisation	date mesure	Conductivité (µS/cm)
6	1183 ZZ 0026	Piézomètre	Vauclin - Puyferrat	09/01/04	2170
28	1181ZZ0132	Piézomètre	Trois Ilets - Vatable 3	25/03/04	1629
29	1185ZZ0120	Piézomètre	Ste Luce - stade communal	25/03/04	660
12	1174ZZ0087	Piézomètre	St Joseph - La Charmille	15/01/04	256
4	1177 ZZ 0161	Piézomètre	Schoelcher - Fond Lahaye	07/01/04	380
5	1177 ZZ 0165	Piézomètre	Schoelcher - Case Navire	13/01/04	876
23	1167ZZ0037	Piézomètre	Saint Pierre - Fond Canonville	17/02/04	833
9	1186 ZZ 0118	Piézomètre	Marin - Grand Fond	09/01/04	1328
10	1186 ZZ 0119	Piézomètre	Marin - Cap Macré	08/01/04	11870
16	1179ZZ0158	Piézomètre	Lamentin - Sarrault	23/01/04	479
21	1179ZZ0070	Piézomètre	Lamentin - Habitation ressource	16/02/04	598
24	1174ZZ0088	Piézomètre	Gros Morne - La Borelli	05/02/04	262
14	1173ZZ0072	Piézomètre	FdF - La Medaille	13/01/04	316
22	1179ZZ0157	Piézomètre	Ducos - Bois Rouge	04/02/04	453
7	1184 ZZ 0001	Piézomètre	Diamant - habitation Dizac	08/01/04	813
8	1184 ZZ 0016	Piézomètre	Diamant - habitation Dizac	08/01/04	667
26	1177ZZ0173	Piézomètre	Case Pilote - Maniba	29/03/04	751
27	1168ZZ0054	Piézomètre	Basse Pointe - rivière Falaise	29/03/04	282
25	1181ZZ0131	Piézomètre	Anses d'Arlets - Grande Anse	25/03/04	1085

	pH	T°C	Salinité (g/L)	O2 (mg/L)	% gaz
4	6.91	28.7	0	0.47	28.5
5	7.03	28.6	0.2	0.88	11.3
6	7.44	28.6	1	0.21	2.7
7	7.09	30.6	0.2	2.8	36.4
8	6.84	30.2	0.1	1.73	22.3
9	7.16	27.5	0.5	2.25	28
10	6.89	28.5	6.9	2.42	30.6
12	6.6	27.3	0	1.45	18.4
14	6.52	23.5	0	1.18	14.6
16	7.7	28	0	2	25.2
21	7.89	27.4	0	0.82	10.3
22	7.57	27.2	0	1.12	14
23	6.89	33.9	0.2	1.5	20.8
24	7.28	26.6	0	0.83	10.5
25	7.12	29.7	0.3	0.63	8.3
26	6.87	29.3	0.1	0.87	11.3
27	6.82	26.7	0	2.66	33.5
28	7.62	28.6	0.6	2.1	26
29	7.57	28.7	0.1	0.76	9.9

Tableau 5 : Mesures de terrain faites in situ sur 19 des 34 prélèvements

Après prélèvements, les échantillons sont stockés en réfrigérateur, puis conditionnés en glacières et envoyés par transport express au Service Analyse et Caractérisation Minérale, laboratoire du BRGM agréé COFRAC, basé à Orléans. Pour chaque échantillon, une bouteille en verre a été conservée au BRGM Martinique pour témoin en cas de nécessité d'analyse de contrôle, ou de casse pendant le transport.

4. Résultats et interprétations

4.1. LES RÉSULTATS

4.1.1. Présentation des résultats

Les prélèvements ont été effectués entre le mois de janvier et le mois de mars 2004. Les dates exactes des prélèvements de tous les points sont reportées dans le tableau de résultats de l'annexe 2.

L'alimentation en eau potable de l'île est assurée en partie par des ouvrages d'eau souterraine (sources et forages). Dans la limite d'une période d'analyse similaire à la période de prélèvement : janvier à mars (début de saison sèche), mais de l'année 2003 (les analyses 2004 n'étant pas encore disponibles), 6 de ces 18 points d'eau souterraine ont été rajoutés à la réflexion (tableau 6).

Domaines hydrogéologiques	n°BSS	type	Commune	Lieu dit	Géologie	Type de nappe
Nord	1168ZZ0044	Forage	Ajoupa Bouillon	Grande Savane	Nuées ardentes	Poreux
	1168ZZ0047	Source		s. Marc Cecile (trianon)	Grés volcaniques argileux	Poreux
	1168ZZ0051	Source	Basse Pointe	source Mont Pelé	Nuées ardentes	Poreux
Nord Caraïbes	1168ZZ0050	Source	Morne Rouge	source Escente	Nuées ardentes et coulée de ponces	Poreux
	1168ZZ0053	Source		source Morestin	Nuées ardentes	Poreux
	1167ZZ0052	Source	Saint Pierre	source Pecoul	Nuées ardentes	Poreux

Tableau 6 : Paramètres hydrogéologiques des 6 points de prélèvements d'eau souterraine utilisés pour l'AEP et servant à l'étude

Les 12 prises en rivière analysées à cette même période ont également été utilisées, à titre de comparaison (tableau 7).

type	Commune	Lieu dit
Prise en rivière	Basse Pointe	Rivière Capot
	FdF	Rivière Absalon
	FdF	Rivière Dumauze
	Grand Rivière	Grande Rivière
	Gros Morne	Rivière Lézarde
	Lorrain	Rivière du Lorrain
	Morne Vert	Chapeau Nègre (verrier)
	Morne Vert	Rvière Picard (mont bouche)
	Saint Joseph	Rivière Blanche
	Saint Joseph	Rivière Blanche Bouliki
	Saint Joseph	Rivière Monsieur
	Schoelcher	Rivière Duclos

Tableau 7 : 12 Prises en rivière servant à l'AEP et utilisées à titre de comparaison pour l'étude

Un total de 52 points a donc été utilisé pour une première caractérisation et interprétation de la chimie des eaux souterraines de Martinique (tableau 8 et fig.4).

	Eau souterraine			Eau superficielle	Total
	Piézomètre	Forage	Source	Prise en rivière	
Campagne analyse BRGM	23	4	7	-	34
Analyses DSDS AEP	-	1	5	12	18
Total	23	5	12	12	52

Tableau 8 : Répartition des points interprétés par type d'ouvrage et origine

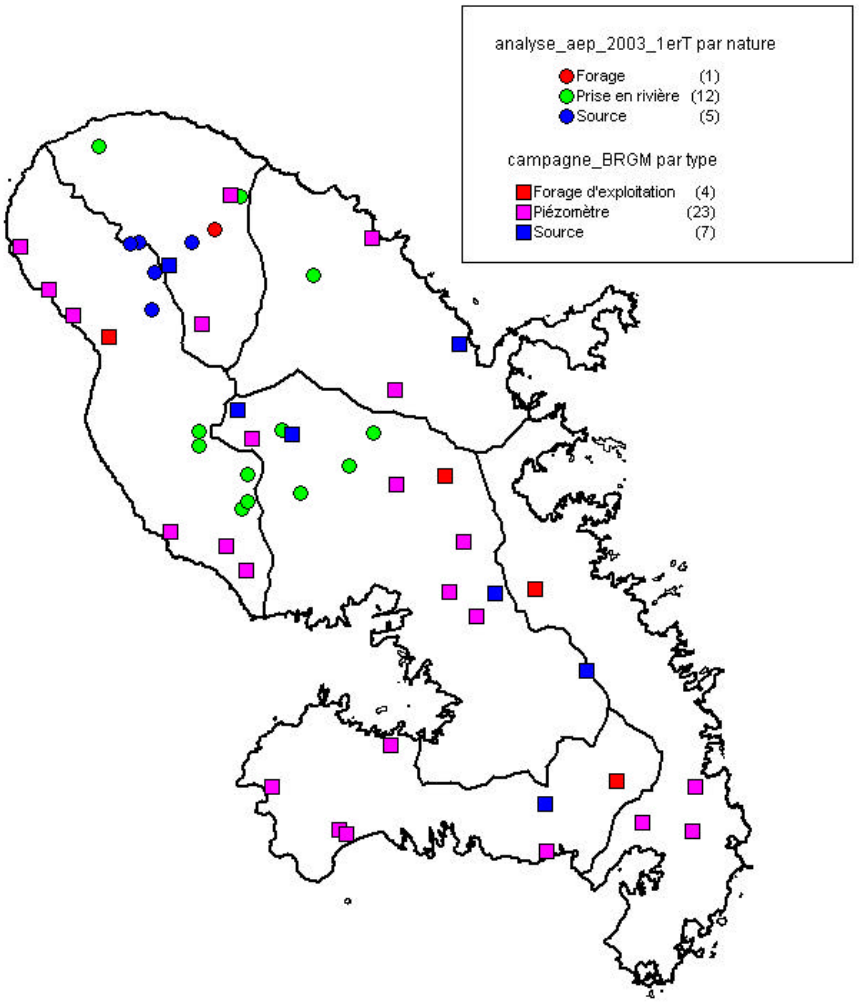


Figure 4 : Carte de localisation des 52 points interprétés par rapport aux domaines hydrogéologiques (par type d'ouvrage)

Les résultats sont présentés sous deux formes :

- dans un tableau avec indication des concentrations en mg/l ou en µg/l suivant les éléments (annexes 2 et 3).
- Sous forme de carte. Chaque élément analysé a fait l'objet d'une analyse de sa répartition géographique dont le résultat est présenté en annexe 4.

4.1.2. Premières constatations

Les graphiques illustrant les constatations et interprétations font référence aux échantillons à l'aide d'un nombre. Les deux tableaux ci-dessous permettent de se repérer (tableaux 9 et 10).

Pour les AEP, le tableau 9 synthétise les n° des sites, le nom des sources, le type du point d'eau (prise d'eau, source ou forage), les dates de prélèvements, et les N° BSS.

numéro pour graphiques	date du prélèvement	n°BSS	type	localisation
4	17/03/2003	1168ZZ0044	Forage	Ajoupa Bouillon - Grande Savane
28	17/03/2003	1168ZZ0047	Source	Ajoupa Bouillon - s. Marc Cecile (trianon)
11	17/02/2003	-	Prise en rivière	Basse Pointe - Rivière Capot
29	17/03/2003	1168ZZ0051	Source	Basse Pointe - source Mont Pelé
8	20/01/2003	-	Prise en rivière	FdF - Rivière Absalon
17	20/01/2003	-	Prise en rivière	FdF - Rivière Dumauze
7	17/02/2003	-	Prise en rivière	Grand Rivière - Grande Rivière
18	03/02/2003	-	Prise en rivière	Gros Morne - Rivière Lézarde
15	10/03/2003	-	Prise en rivière	Lorrain - Rivière du Lorrain
25	17/03/2003	1168ZZ0050	Source	Morne Rouge - source Escente
30	17/02/2003	1168ZZ0053	Source	Morne Rouge - source Morestin
2	17/02/2003	-	Prise en rivière	Morne Vert - Chapeau Nègre (verrier)
23	17/03/2003	-	Prise en rivière	Morne Vert - Rvière Picard (mont bouche)
9	03/02/2003	-	Prise en rivière	Saint Joseph - Rivière Blanche
10	03/02/2003	-	Prise en rivière	Saint Joseph - Rivière Blanche Bouliki
22	03/02/2003	-	Prise en rivière	Saint Joseph - Rivière Monsieur
31	17/03/2003	1167ZZ0052	Source	Saint Pierre - source Pecoul
16	20/01/2003	-	Prise en rivière	Schoelcher - Rivière Duclos

Tableau 9 : Points AEP disposant d'analyses pendant le premier trimestre 2003

Pour les prélèvements effectués lors de la campagne BRGM, le tableau 10 synthétise les n° des sites, la date de prélèvement, le type de l'ouvrage prélevé et le nom des ouvrages ou sources.

numéro pour graphiques	date du prélèvement	n°BSS	type	localisation
25	25/03/2004	1181ZZ0131	Piézomètre	Anses d'Arlet - Grande Anse
27	29/03/2004	1168ZZ0054	Piézomètre	Basse Pointe - rivière Falaise
26	29/03/2004	1177ZZ0173	Piézomètre	Case Pilote - Maniba
7	08/01/04	1184 ZZ 0001	Piézomètre	Diamant - habitation Dizac
8	08/01/04	1184 ZZ 0016	Piézomètre	Diamant - habitation Dizac
22	04/02/04	1179ZZ0157	Piézomètre	Ducos - Bois Rouge
14	13/01/2004	1173ZZ0072	Piézomètre	FdF - La Medaille
18	20/01/2004	1173ZZ0076	Source	Fond Saint Denis - Source de l'Alma
33	05/04/2004	1179ZZ0228	Forage d'exploitation	François - La Victoire
24	06/02/2004	1174ZZ0088	Piézomètre	Gros Morne - La Borelli
19	21/01/2004	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	Gros Morne - Vert Pré
21	6/02/04	1179ZZ0070	Piézomètre	Lamentin - Habitation ressource
34	05/04/2004	1179ZZ0282	Source	Lamentin - Morne Pitault La Frédée
16	23/01/04	1179ZZ0158	Piézomètre	Lamentin - Sarrault
3	06/01/04	1169 ZZ 0006	Piézomètre	Marigot - Anse charpentier
10	08/01/04	1186 ZZ 0119	Piézomètre	Marin - Cap Macré
9	11/01/04	1186 ZZ 0118	Piézomètre	Marin - Grand Fond
2	06/01/04	1168 ZZ 0037	Piézomètre	Morne rouge - Desgrottes
15	20/01/2004	1168ZZ0055	Source	Morne Rouge - Habitation citron
30	06/04/2004	1167ZZ0024	Piézomètre	Prêcheur - rivière du prêcheur
11	30/01/2004	1183ZZ0052	Forage d'exploitation	Rivière Pilote - Fougainville
20	20/01/2004	1183ZZ0053	Source	Saint Esprit - Source Caraïbe
32	06/04/2004	1174ZZ0089	Source	Saint Joseph - Coeur Bouliki
12	15/01/2004	1174ZZ0087	Piézomètre	Saint Joseph - La charmille
23	17/02/2004	1167ZZ0037	Piézomètre	Saint Pierre - Fond Canonville
35	06/04/2004	1167ZZ0031	Forage d'exploitation	Saint Pierre - Pécoul
1	06/01/04	1167 ZZ 023	Piézomètre	Saint Pierre - Rivière Blanche
13	20/01/2004	1185ZZ0121	Source	Sainte Luce - Source du Riz
5	13/01/04	1177 ZZ 0165	Piézomètre	Schoelcher - Case Navire
4	07/01/04	1177 ZZ 0161	Piézomètre	Schoelcher - Fond Lahaye
31	06/04/2004		Source	Deux Choux
29	25/03/2004	1185ZZ0120	Piézomètre	Ste Luce - stade communal
17	21/01/2004	1175ZZ0153	Source	Trinité - Morne Figue
28	25/03/2004	1181ZZ0132	Piézomètre	Trois Ilets - Vatable 3
6	09/01/04	1183 ZZ 0026	Piézomètre	Vauclin - Puyferrat

Tableau 10 : Présentation des 34 points échantillonnés lors de la campagne BRGM

4.1.2.1. Généralités sur les paramètres non conservés de l'eau (EC, pH)

- <u>Mesures et interprétations</u>

Le pH évolue dans les limites de potabilité avec des valeurs s'échelonnant entre de 6,5 et 9.

La salinité des eaux peut être représentée par la conductivité électrique. La figure 5 illustre les variations de ce paramètre, mesuré in situ, et la salinité des eaux, représentée par le TDS (pour Total Dissolved Solids) qui correspond à la somme des concentrations des éléments chimiques (Ca, Na, Mg, K, SO_4, NO_3, HCO_3) issues des mesures faites en laboratoire.

Sur le premier diagramme englobant l'ensemble des données, on observe un point à fort TDS (plus de 6 g/l) et forte conductivité électrique (10 : piézomètre Marin - Cap Macré). L'influence des sels dissous se retrouve sur la mesure de la conductivité qui se situe en décalage de la droite moyenne de corrélation entre EC et TDS.

La conductivité électrique est très dispersée (fig.5, vue agrandie). Elle varie de 50 à 11730 µS/cm. Tous les points AEP ont une conductivité électrique inférieure à 200 µS/cm (les prises d'eau, les sources et le forage). Sur les points de prélèvements de la campagne 2004, 4 échantillons montrent une conductivité électrique supérieure à 1 000 µS/cm (ligne pointillée, figure 5). Cette valeur élevée peut s'expliquer par la proximité de la mer et donc par une salinisation de l'eau de la nappe étudiée. Trois de ces points se situent en effet à moins de 1500 m de la côte et 30 m NGM. Le quatrième (10 : piézomètre de Cap Macré) est un peu plus loin (2 km) et un peu plus haut en altitude (72 m NGM).

Tous les points se situent sur la droite moyenne de corrélation entre EC et TDS.

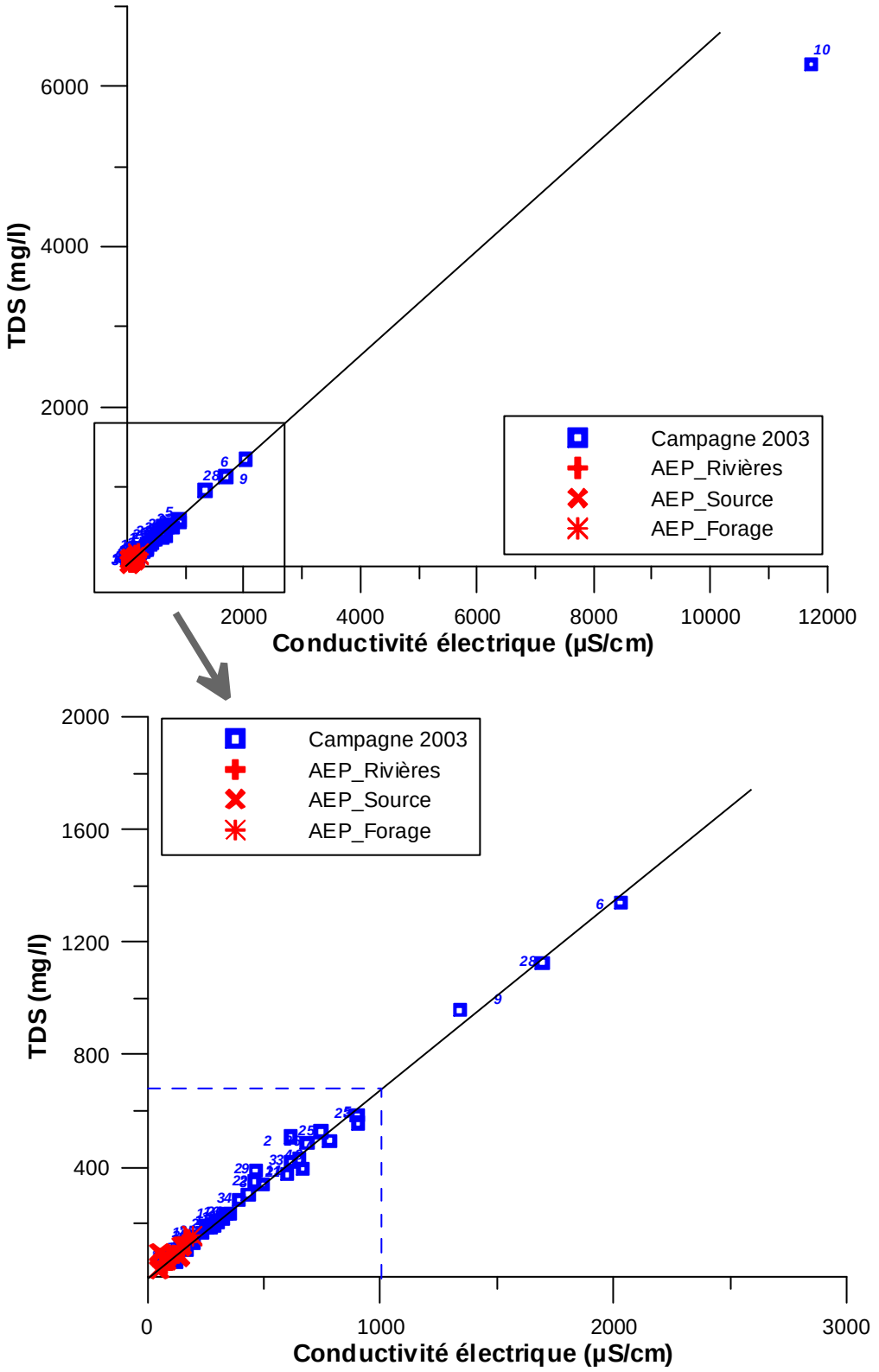


Figure 5 : Diagramme de la conductivité électrique en fonction du TDS pour les échantillons de la campagne 2004 et des AEP ; vue globale et vue agrandie.

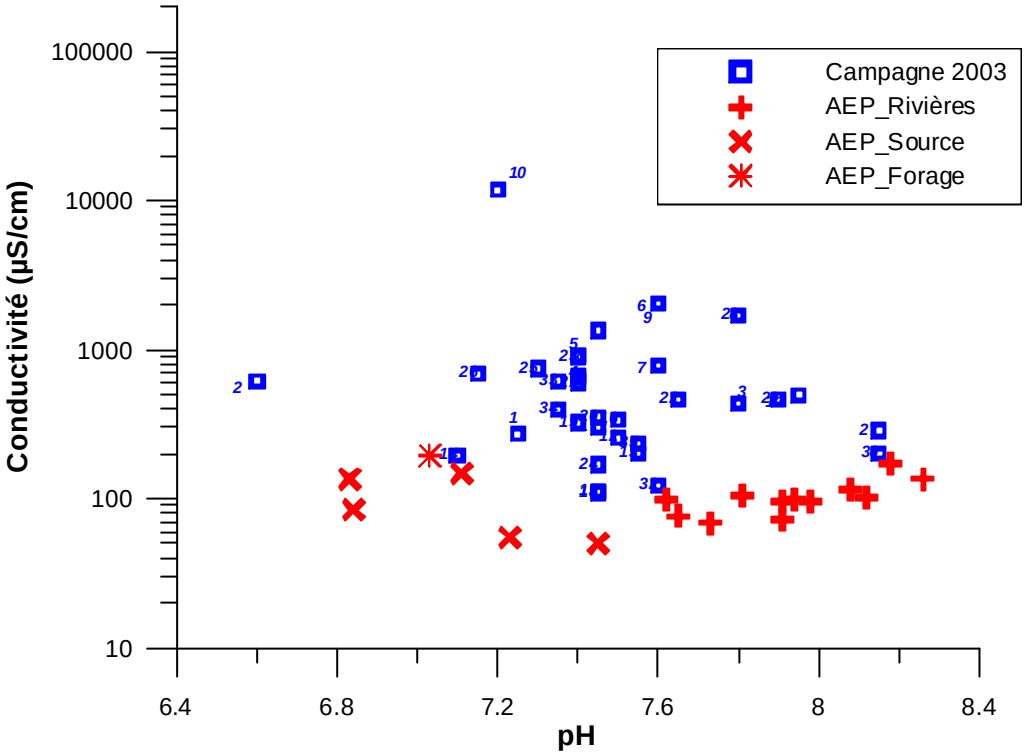


Figure 6 : Diagramme de la conductivité en fonction du pH pour les échantillons de la campagne

La salinité de l'eau, sous la forme de la conductivité électrique, est représentée en fonction du pH. On n'observe aucun lien avec le pH des eaux dans la figure 6.

Cependant, pour des gammes identiques de pH (entre 6.6 et 8.2), on note des salinités beaucoup plus faibles dans les AEP (EC < 200 µS/cm) par rapport aux échantillons de la campagne BRGM. Dans ces derniers, la conductivité varie de ~100 µS/cm jusqu'à 10000 µS/cm ; la majorité des points se situant dans une gamme de 100 à 1000 µS/cm.

Rappel : La référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine est, la conductivité, de 180 µS/cm et = 1000 µS/cm (à 20°C). (Code de la Santé Publique, livre III, titre II, chapitre 1er).

- <u>Répartition géographique (annexe 4)</u>

Le pH ne présente pas de zonation géographique.

La conductivité est plus importante sur le littoral. La proximité du biseau salé peut expliquer cette constatation.

4.1.2.2. Produits phytosanitaires

Atrazine : Aucun des points étudiés ne contient d'atrazine.

Diuron et Hexazinone : seuls trois échantillons contiennent une concentration supérieure à la limite de détection : deux de 0,15 µg/l pour le diuron (1181ZZ0131 - Anses d'Arlet et 1168ZZ0047 - Marc Cécile (AEP)) et un pour l'hexazinone (1168ZZ0054 - Basse Pointe).

Béta HCH : Deux prélèvements montrent une teneur en Béta HCH comprise entre la limite sensible et celle des eaux brutes (0,1 et 2 µg/l). Il s'agit de l'eau du piézomètre de Marigot (1169ZZ0006) et celle du forage d'exploitation de Vert Pré (1175ZZ0106).

Chlordécone : Quatre échantillons ont des teneurs en chlordécone supérieures à la limite acceptable pour des eaux de consommation (0,1 µg/l). Trois de ces dépassements restent cependant inférieurs à la norme admise pour les eaux brutes (2 µg/l) : les piézomètres du Marigot et de l'habitation Ressource au Lamentin (1169ZZ0006 et 1179ZZ0070) ainsi que le forage d'exploitation de Vert Pré (1175ZZ0106).

La concentration en Chlordécone de la source de Morne Figue à Trinité atteint la très forte valeur de 6,7 µg/l.

Aux vues de ces résultats importants en Chlordécone, le 6 mai 2004 de nouveaux prélèvements ont été effectués sur la source Morne Figue et le forage Vert Pré (1,35 µg/l). Les échantillons de réserve qui avaient été conservés suite à la première campagne ont également été analysés. Les résultats alors obtenus sont les suivants :

	1175ZZ0106 Forage de Vert Pré	1175ZZ0153 Source de Morne Figue
Echantillon du 21/01/04	1,35	6,7
Echantillon du 21/01/04 (conservé au frigo du BRGM Martinique jusqu'en mai)	< 0,3	1,9
Echantillon du 06/05/04	< 0,3	1,5

Tableau 11 : Comparaison des teneurs en Chlordécone sur les échantillons du 21/01 et du 06/05

La différence entre les échantillons du 21/01/04 et du 06/05/04 peuvent s'expliquer par un contexte différent (notamment une pluviométrie différente). Cependant, l'écart entre les deux échantillons du 21/01 sont difficilement interprétables :

- Les flaconnages étaient à chaque fois en verre et conformes,
- Les extractions ont été faites suivant le même mode opératoire et par le même opérateur,
- Le Chlordécone est un produit phytosanitaire stable. Il est donc très improbable qu'il se soit dégradé dans le temps dans les échantillons conservés.

Les analyses ont été refaites de façon qualitative au laboratoire du BRGM à Orléans avec les 6 échantillons et le même écart a été retrouvé.

Ne pouvant conclure sur les valeurs à prendre en compte, on retiendra que ces deux sites sont pollués (pour la source Morne Figue) et potentiellement pollués (forage de Vert Pré). *Une confirmation lors d'une prochaine campagne, au besoin avec la création de points de contrôles supplémentaires dans ces secteurs, permettrait de lever les doutes.*

4.1.2.3. Produits azotés

Ammonium : Les points AEP présentent des concentrations en NH_4 inférieures aux limites de détection. Il en va de même pour 22 des échantillons prélevés. Le reste des prélèvements est supérieur à la limite fixée pour l'usage sensible (0,1 mg/l) et l'eau du piézomètre de Morne Rouge (1168ZZ0037) a une teneur en NH_4 supérieure à la limite d'usage non sensible (6,8 au lieu de 4 mg/l). Ce piézomètre est situé au centre d'une bananeraie mais la ressource devrait être « protégée » car mise en charge et jaillissante.

Nitrates : Les valeurs mesurées en NO_3 sont toutes inférieures à la limite d'usage pour la consommation. Le maximum étant de 19,8 mg/l pour une limite de 50 mg/l.

Nitrites : On note la présence de nitrites dans 11 des prélèvements de la campagne BRGM. Deux échantillons ont des teneurs supérieures à la limite d'usage sensible (0,5 mg/l) et un supérieure à la limite d'usage non sensible de 2,5 mg/l : le piézomètre de Basse Pointe, 1168ZZ0054, avec 3,9 mg/l. Aucune détection n'est décelée pour les points AEP.

Au niveau de la répartition géographique des valeurs de nitrites (annexe 4), on constate que les points situés dans le Sud de l'île ainsi que sur les côtes ont des concentrations plus élevés (sauf Basse Pointe 1168ZZ0054 et Saint Joseph 1174ZZ0087). Cependant, les nitrites étant très instables, même dans un flacon, il convient de pendre ces remarques avec précaution.

4.1.2.4. Produits phosphorés

Les points d'alimentation en eau potable n'ont pas fait l'objet d'analyse en PO_4.

16 des 34 échantillons de la campagne de prélèvements ont des teneurs supérieures à la limite de détection mais aucun ne dépasse la limite d'usage sensible de 5 mg/l. La concentration maximale (3,9 mg/l) est notée sur le piézomètre artésien de Morne Rouge (1168ZZ0037).

4.1.2.5. Métaux

Nickel : Deux piézomètres montrent une faible teneur en nickel (6 µg/l) très inférieure à la limite d'usage sensible de 20 µg/l. Les points AEP n'ont pas fait l'objet d'une analyse sur cet élément.

L'Arsenic est présent dans 3 échantillons : 2 sur la campagne BRGM (le piézomètre du Marigot : 1169ZZ0006 et celui des Trois Ilets : 1181ZZ0132), et un sur une prise AEP en rivière (Rivière Monsieur). Les deux concentrations de la campagne sont comprises entre la limite d'usage sensible (10µg/l) et la limite d'usage non sensible (100 µg/l).

Aluminium : Seul le piézomètre de Gros Morne (1174ZZ0088) capte une eau ayant une teneur en aluminium supérieure à 0,2 mg/l, limite pour les eaux de consommation. Cette teneur est de 0,266 mg/l.

Bore : La limite sensible du bore est de 1 mg/l. Seul l'échantillon du piézomètre de Fond Canonville (1167ZZ0037) dispose d'une concentration supérieure à cette limite : 1,55 mg/l. Le reste des teneurs est inférieur à 450 µg/l.

Fer : L'eau prélevée au niveau du piézomètre de Morne Rouge est riche en fer : 13,7 mg/l. Sept des 34 points analysés ont des teneurs dépassant la limite sensible de 200 µg/l, dont 3 supérieurs à 1mg/l (1173ZZ0072 La Médaille, 1183ZZ0026 Vauclin – Puyferrat et 1168ZZ0037 Morne Rouge).

Les concentrations en Manganèse varient de 0 (inférieur à la limite de détection) à 2849 µg/l (14 : piézomètre de la Médaille). Tous les points AEP disposent de teneurs indétectables. Par contre, 20 des 34 échantillons prélevés pendant la campagne ont des concentrations supérieures à la limite d'usage sensible (50 µg/l) et 9 sont supérieures à la limite d'usage non sensible (250 µg/l). La carte de l'île, reprenant les valeurs (annexe 4), montre que les concentrations les plus élevées sont principalement situées sur les côtes.

Cet apport provient vraisemblablement du fond géochimique. En effet, les couches de ferro-manganèse sont fréquentes dans les sols de Martinique.

Le Fer et le Manganèse ont un comportement assez proche. Tous deux sont des oxy-hydroxydes, l'un majeur (Fe) et l'autre mineur (Mn). Cependant, les mesures effectuées lors de la campagne BRGM 2003-2004 ne permettent pas de voir un lien entre les concentrations en fer et en manganèse comme montré sur la figure 7 (vue générale et vue agrandie). La concentration en fer la plus élevée n'est pas supportée par une forte concentration en Mn , et inversement. Il en est de même pour les échantillons présentés dans la vue agrandie. Ces deux éléments sont sensibles à l'état

d'oxydo-réduction des eaux et, sans détermination du potentiel redox (Eh) et des concentrations en oxygène dissous, il est difficile d'interpréter plus précisément ces données.

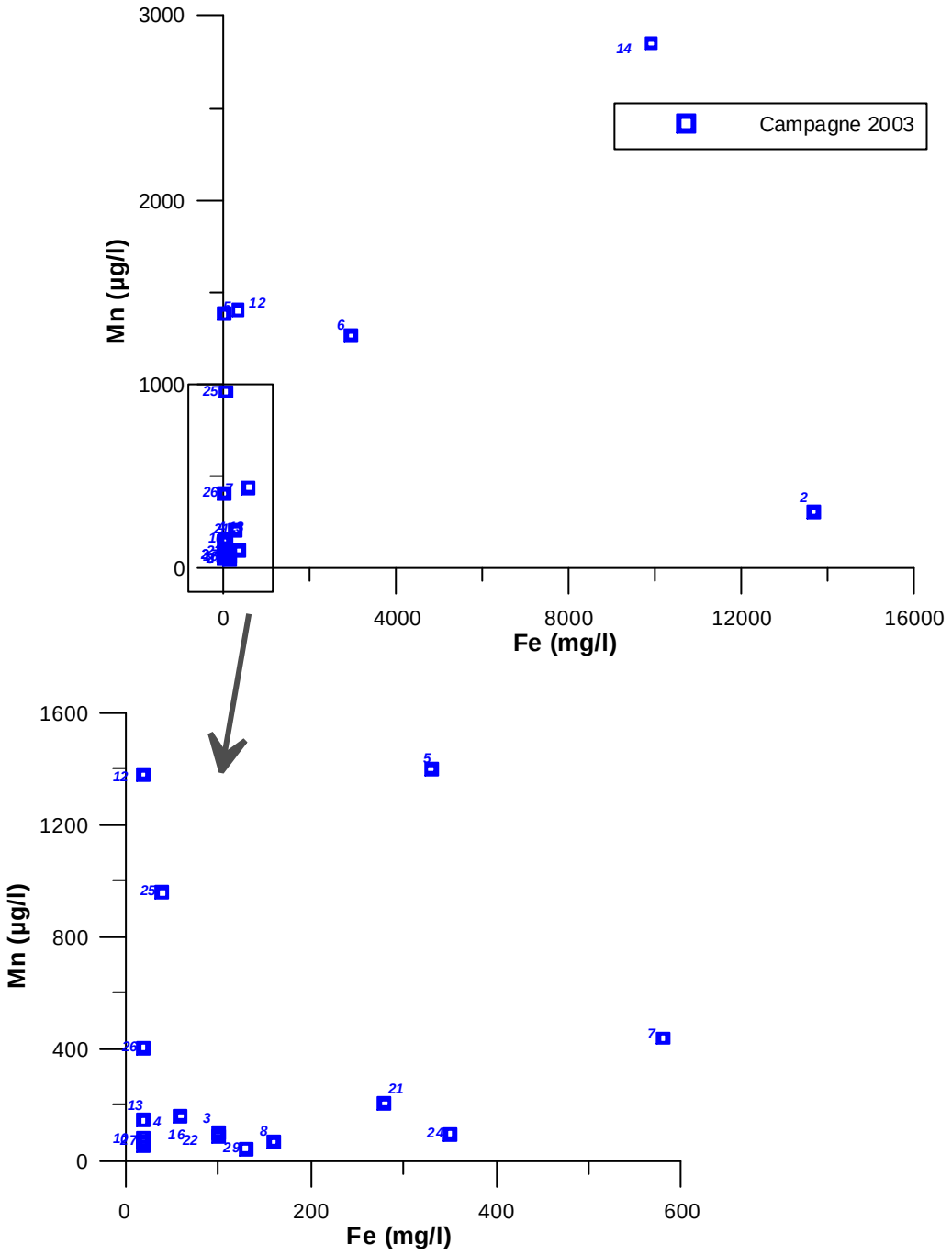


Figure 7 : Diagramme de la concentration en fer (en mg/l) en fonction de la concentration en manganèse (en µg/l) pour les échantillons de la campagne 2004, vue globale et vue agrandie.

4.2. INTERPRÉTATIONS GÉOCHIMIQUES

4.2.1. Caractère chimique des eaux

4.2.1.1. Les eaux servant à l'alimentation en eau potable

Dans les eaux d'AEP étudiées, les sommes des cations (Σ^+) et des anions (Σ^-) analysés ont été calculées en µeq/l. Reportées dans un diagramme somme des anions Σ^- en fonction de la somme des cations Σ^+ (fig.8), la plupart des échantillons présente un équilibre des charges en se positionnant sur la droite 1 : 1.

Un déséquilibre, qui peut être important, se marque en faveur des anions pour les seuls échantillons 28 et 29 (respectivement source Marc Cécile à Ajoupa Bouillon et source Mont Pelé sur le flanc Sud Est de la Montagne Pelée). Un tel décalage en faveur des anions est généralement expliqué par la présence d'anions organiques dosés lors de la mesure de l'alcalinité (Meybeck, 1986). Les anions sont alors sur-représentés. Des déséquilibres identiques ont été mis en évidence sur le bassin du Congo (Négrel et al., 1993) et de l'Amazone (Gaillardet et al., 1997).

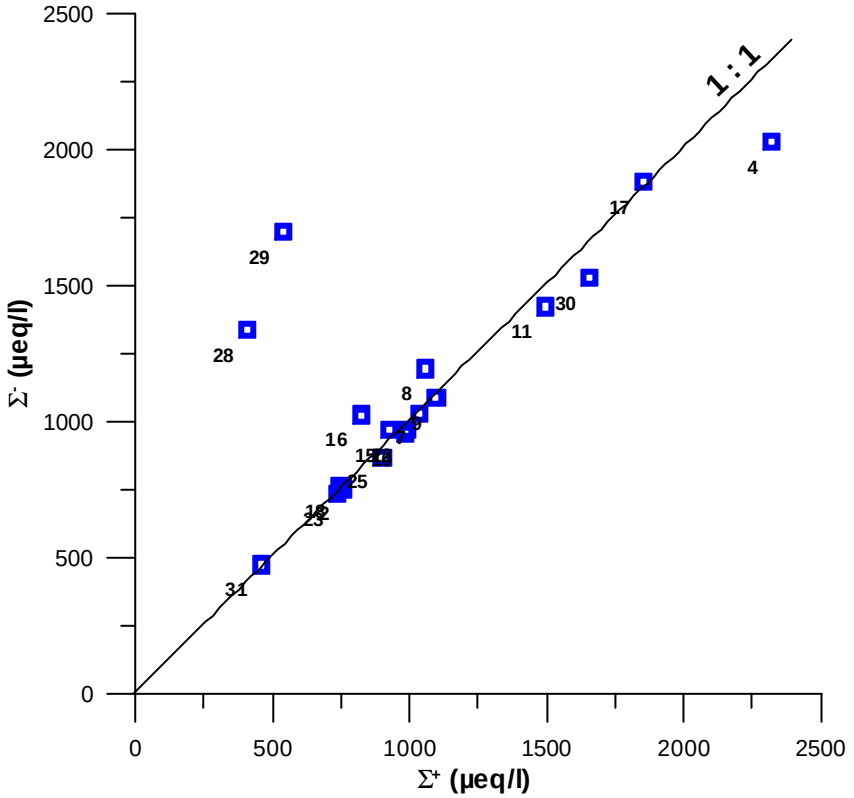


Figure 8 : Diagramme somme des anions S^- en fonction des cations S^+ pour les points AEP

La somme des cations (Σ^+) et des anions (Σ^-) calculée en µeq/l permet de calculer la balance ionique (NICB pour Normalized Inorganic Charge Balance) selon la formule :

$$NICB = \left[\frac{\Sigma^{+} - \Sigma^{-}}{\Sigma^{+} + \Sigma^{-}}\right] * 100$$

La balance ionique (différence entre les charges positives et négatives) permet de définir les analyses chimiques correctes ; une balance ionique < 0 traduit un excès d'anions, et une balance ionique > 0 traduit un excès de cations. En règle générale, on considère que la balance ionique est excellente entre - 1 % et +1 % et qu'elle est acceptable entre - 5 % et + 5 %. C'est cette valeur de l'ordre ± 5 % qui sera retenue. La balance ionique sert à contrôler la qualité des analyses en éléments majeurs uniquement.

La plupart des échantillons présente une balance ionique dans un intervalle interprétable, comme indiqué sur la figure 9. Exception faite des échantillons rivière Duclos (16, déficit de cations et/ou excès d'anions), source Marc Cécile et source Mont Pelé comme vu précédemment.

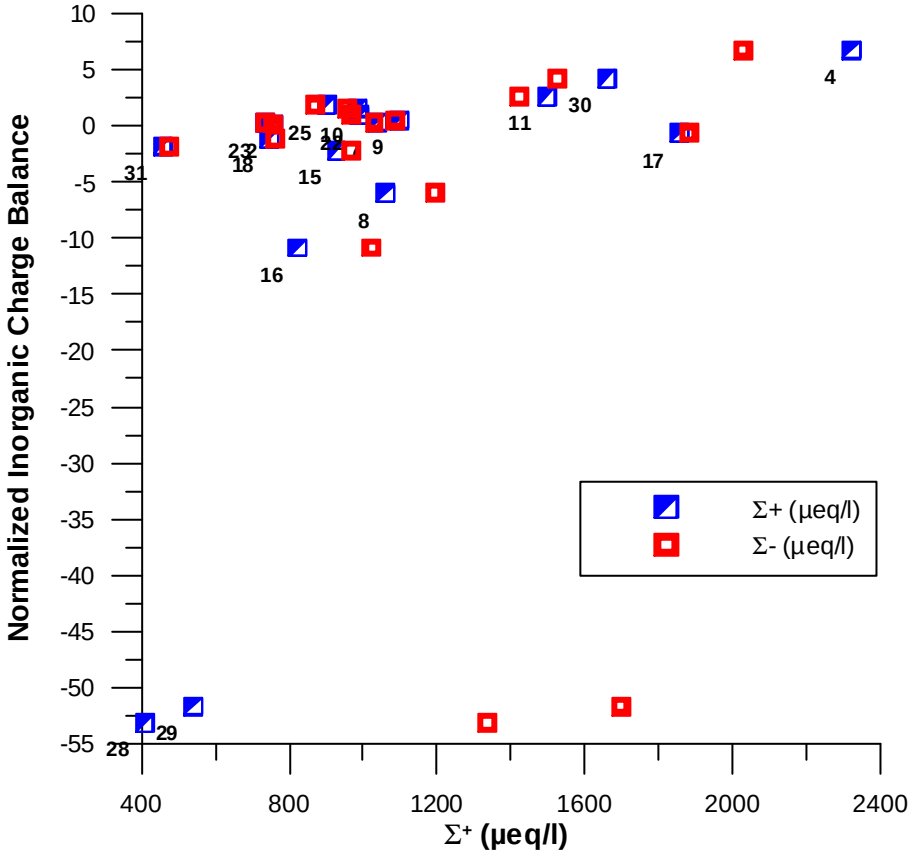


Figure 9 : Balance ionique des analyses des points AEP

4.2.1.2. Les eaux de la campagne BRGM

Les échantillons de la campagne BRGM sont reportés dans le même type de graphique (fig.10). Sur la figure représentant la somme des cations Σ^+ en fonction des anions Σ^-, et compte tenu de l'échelle logarithmique employée, seuls deux points sont clairement en dehors de la relation 1 : 1 (n°24 : piézomètre Gros Morne et n°29 : piézomètre Ste Luce). Pour ces deux points, l'écart est lié soit à un déficit d'anions, soit à un excès de cations.

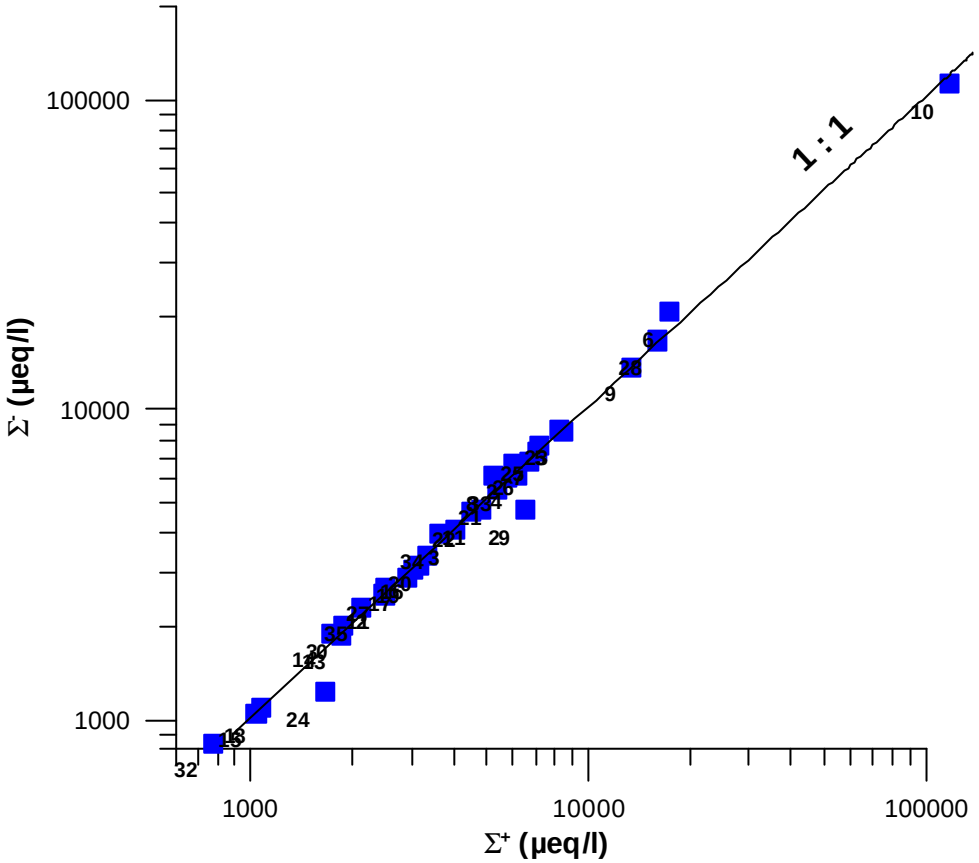


Figure 10 : Diagramme somme des anions S^- en fonction des cations S^+ pour les points de la campagne BRGM

La figure 11 entre la balance ionique NICB et la somme des cations Σ^+ met en évidence :

(i) la plupart des points se situe entre 0 et -5%,

(ii) les points 24 (piézomètre Gros Morne) et 29 (piézomètre Ste Luce) ont clairement un NICB de +15%,

(iii) Le point 6 (Vauclin – Puyferrat) et le point 8 (piézomètre Diamant) ont un NICB inférieur à –7%.

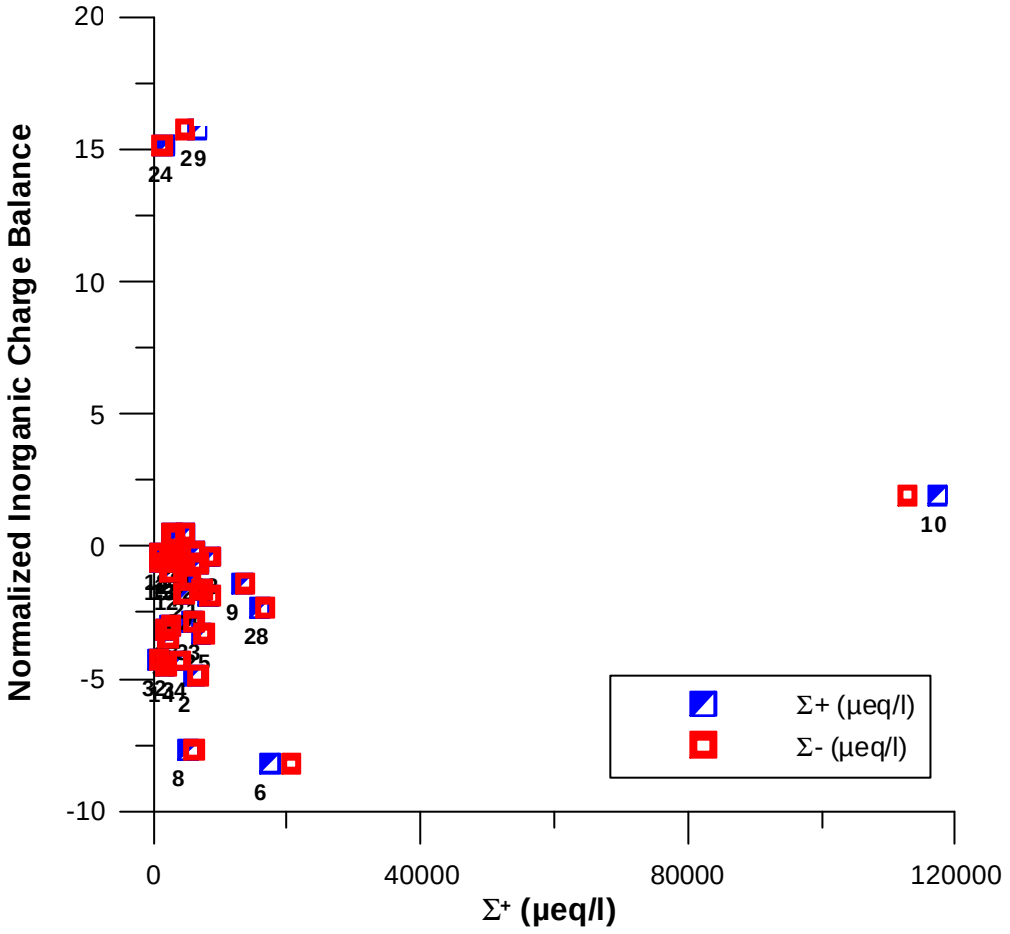


Figure 11 : Balance ionique des analyses des points de la campagne

4.2.2. Classification des eaux dans un diagramme de Piper

Les caractéristiques générales des eaux sont représentées dans un diagramme de Piper. Ce diagramme permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). À ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée :

- sommet du losange = faciès sulfaté/chloruré, calcique/magnésien ;
- base du losange = faciès bicarbonaté, sodique ;
- pointe droite du losange = faciès sulfaté/chloruré, sodique ;
- pointe gauche du losange = faciès bicarbonaté, calcique/magnésien.

4.2.2.1. Les eaux servant à l'alimentation en eau potable

La plupart des eaux d'AEP étudiées présentent un faciès bicarbonaté-calcique ; le faciès chloruré-sodique est représenté par le point 29 (source Mont Pelé) ; le faciès sulfaté-calcique par le point 28 (source Marc Cecile) et le faciès bicarbonaté-sodique par le point 31 (source Pecoul).

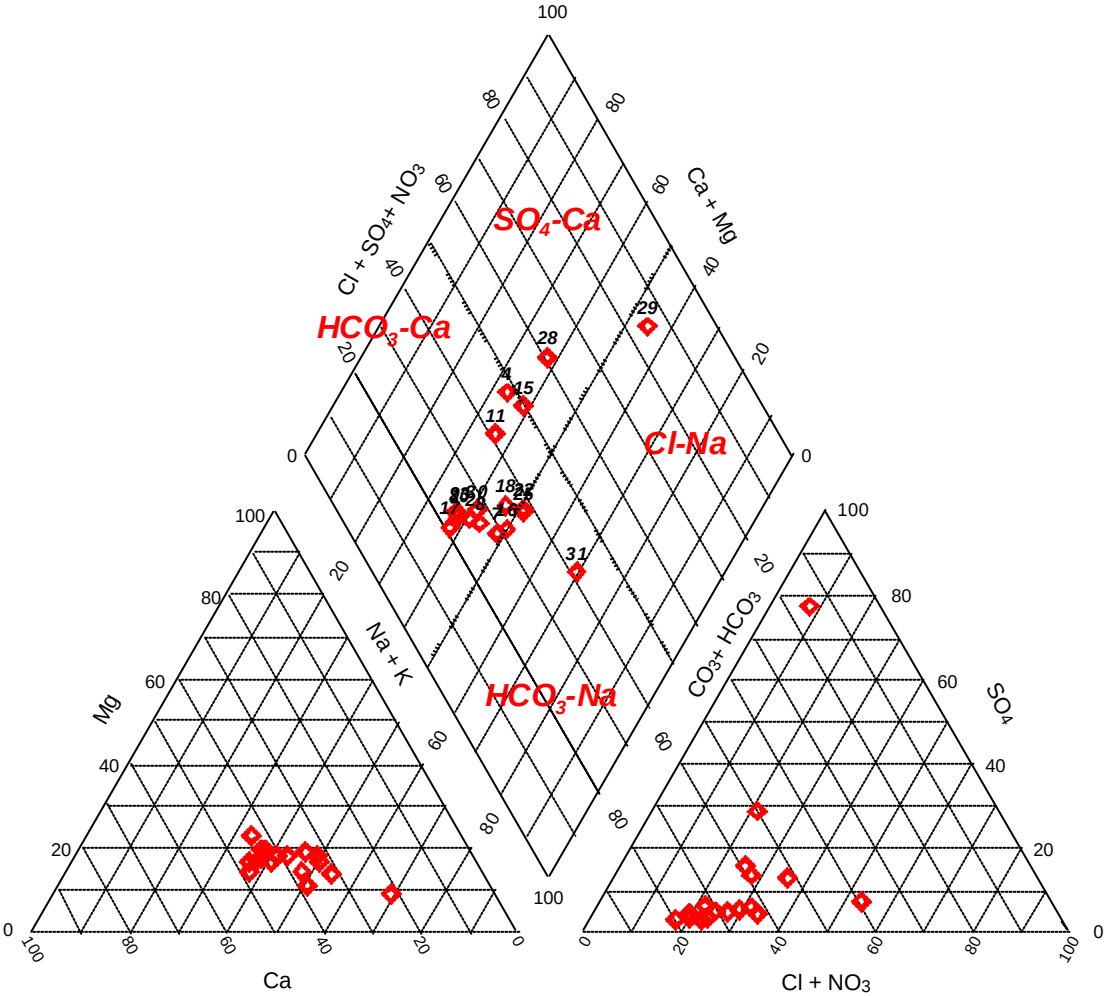


Figure 12 : Diagramme de Piper pour les points AEP

Les sources Pelée et Pécoul présentent des faciès très différents (surtout au niveau des anions) alors qu'elles sont situées à seulement 550 m l'une de l'autre. Cette variation peut avoir plusieurs origines dont :

- une géologie traversée différente (la source Pelée émerge dans des nuées ardentes alors que la source Pécoul émerge dans des dômes de lave massive,

- un flanc différent de la Montagne Pelée et donc un pluviométrie différente (plus élevée pour la source Pelée) et un lessivage des roches moins important pour la source Pécoul.

Le pôle sulfaté mis en évidence au niveau de la source Marc Cécile peut s'expliquer par la lithologie à l'émergence. En effet, cette source traverse des grès volcaniques argileux et des argiles meubles litées.

4.2.2.2. Les eaux de la campagne BRGM

Les faciès chimiques des eaux de la campagne BRGM sont illustrés par la figure 13. La plupart de ces eaux présente un faciès bicarbonaté-calcique.

- Le faciès chloruré-sodique est représenté par les points 7 et 8 (piézomètres Diamant), 21 (piézomètres Lamentin - Habitation ressource) 23 (piézomètre Saint Pierre - Fond Canonville) et 28 (piézomètre Trois-Ilets).

- Le faciès bicarbonaté-sodique est représenté par les points 3 (piézomètre Marigot),13 (Sainte Luce - Source du Riz), 16 (piézomètre Lamentin – Sarrault), 25 (piézomètre Anses d'Arlets) et 29 (piézomètre Ste Luce).

- Le faciès sulfaté-calcique n'est représenté que par le point 10 (piézomètre Marin - Cap Macré).

Le piézomètre de Morne Rouge (2) présente un faciès bicarbonaté calcique important. Il capte une eau minérale gazeuse issue du bassin aquifère de Champ-Flore. Cette formation est un paléo-lac constitué d'argiles varvées, de tourbe, de conglomérat, de cendres et de lapillis permettant la mise en charge de l'eau de l'aquifère capté.

Le piézomètre 28 (Trois Ilets) est l'échantillon présentant le faciès chloruré-sodique le plus marqué. Ceci peut être expliqué par la proximité de la mer (600 m) et donc une amorce de salinisation de la nappe par un biseau salé.

Par contre, le piézomètre 10 (Marin – Cap Macré) qui semblait lui aussi être implanté dans une nappe influencée par l'eau de mer (cf 4.1.2.1) a un faciès sulfaté calcique très marqué et qui le différencie de tous les autres échantillons. L'origine de ce faciès est très difficile à déterminer. Ce point se trouve dans une zone urbanisée, à 2 km de la côte et traverse des formations de scories basaltiques et d'andésites fracturées. Cependant, la coupe de cet ouvrage est peu précise et ne permet pas d'infirmer la possibilité d'un horizon calcaire. *Des vérifications (forages, nouveaux prélèvements) sont donc nécessaires à la compréhension du caractère chimique particulier de cet échantillon.*

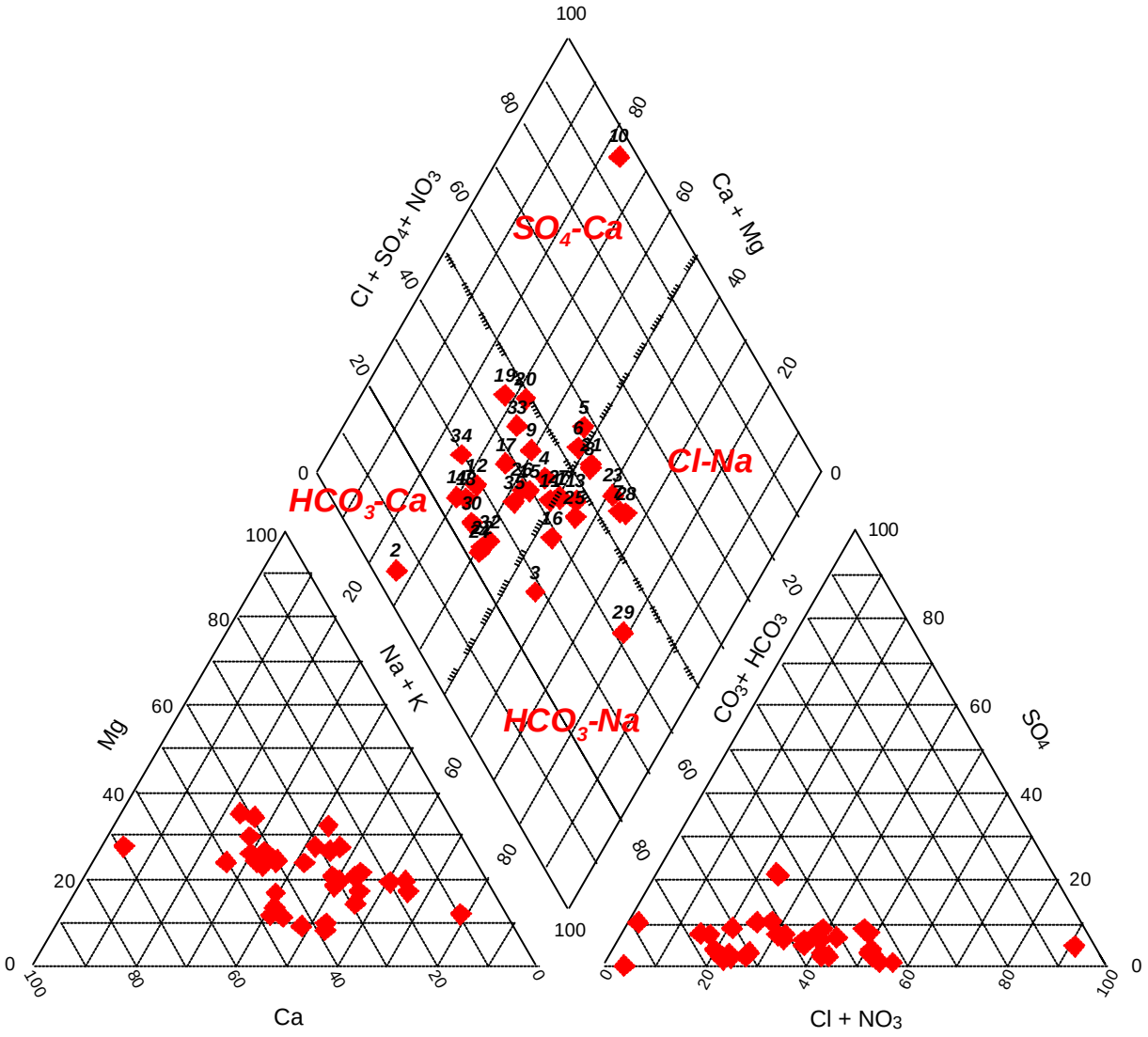


Figure 13 : Diagramme de Piper pour les points de la campagne BRGM 2003-2004

4.2.3. Les relations inter-éléments

Les concentrations des diagrammes sont exprimées en µmoles/l. La transformation des mg en µmoles se fait en divisant la concentration en mg par la masse atomique de l'élément chimique (par exemple, M = 35.5 pour Cl ; 23 pour N ; 40 pour Ca…).

Le chlore des eaux de pluie est d'origine marine exclusivement (Meybeck, 1986, Berner & Berner, 1987) dans la mesure où aucun affleurement de roches salines de

type évaporitique ne peut produire des aérosols continentaux susceptibles d'apporter une contribution en Cl à la pluie.

De même, l'absence de ce type de dépôt ne permet pas d'apport de chlore aux eaux, en dehors de celui provenant des apports de pluie. Le chlore est donc tout naturellement un élément de référence et il est possible de comparer les autres éléments chimiques à ce dernier.

4.2.3.1. Diagramme Chlore - Sodium

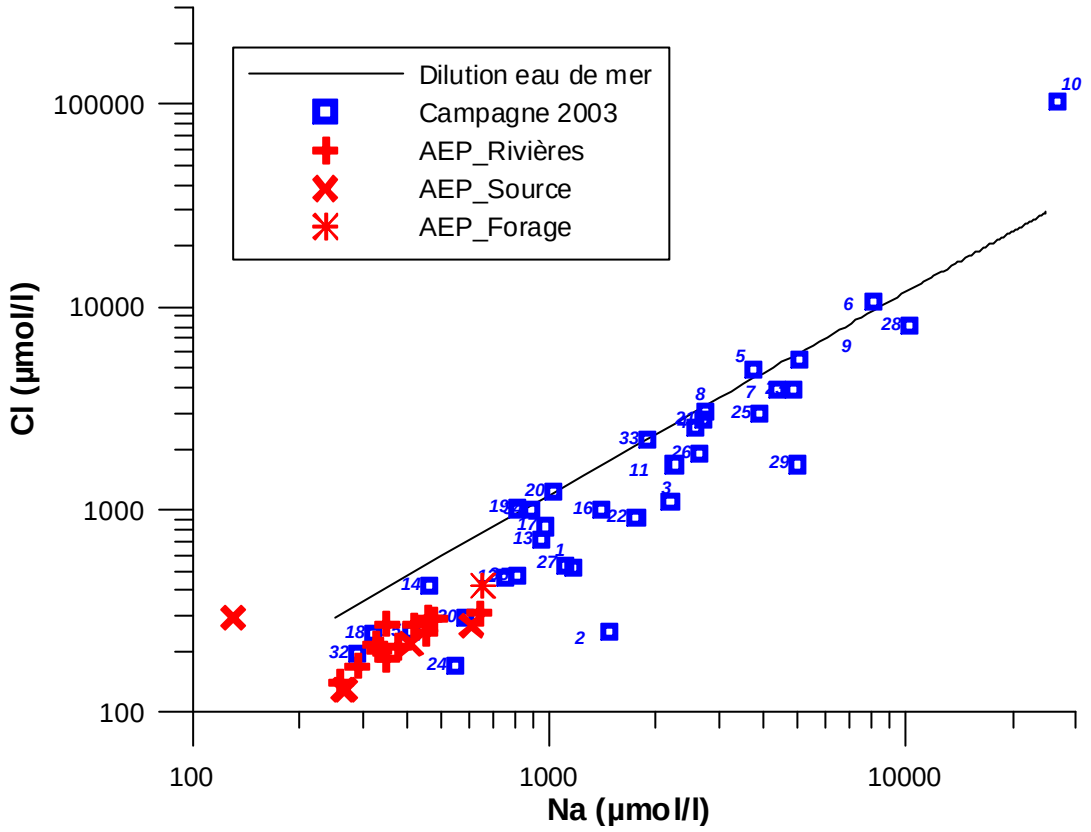


Figure 14 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en sodium

La figure 14 illustre la relation entre Na et Cl, la ligne représente la droite de dilution de l'eau de mer. Les échantillons d'eau présentent :

(i) des caractéristiques proches de l'eau de mer pour certains (sites BRGM : 5, 6, 8, 19, 20, 33…),

(ii) un net enrichissement en Na pour d'autres (sites BRGM : 2, 24, 27, 29 ; quasi tout l'échantillonnage AEP),

(iii) un enrichissement en Cl pour un site BRGM : le n°10, piézomètre Marin - Cap Macré.

L'enrichissement en Na est à relier avec des processus d'interaction eau-roche (les roches volcaniques étant riches en sodium) tandis que l'enrichissement en Cl observé peut être rapproché à des activités anthropogéniques. L'impact du biseau salé n'est pas négligeable : la répartition géographique du Sodium montre en effet des concentrations plus importantes pour les points situés sur le littoral (annexe 4) .

Le piézomètre 28 (Trois Ilets - Vatable) avec le faciès chloruré-sodique le plus marqué montre de fortes concentrations en Cl et Na, légèrement en faveur du Sodium. L'influence d'un biseau salé est possible mais les interactions eau-roche libérant du Na doivent également être envisagées pour expliquer le décalage en faveur du Sodium (fig. 14).

Par contre, le piézomètre 10 (Marin – Cap Macré), de faciès sulfaté-calcique, est également le plus riche en Na et Cl mais cette fois le décalage est en faveur du Chlore. L'origine de l'eau et de la chimie associée de cet échantillon ne peut être expliquée à ce stade.

4.2.3.2. Diagramme Chlore - Calcium

D'une manière identique, la figure 15 illustre les relations entre Cl et Ca. On observe cette fois un enrichissement en Ca de toutes les eaux. Pour expliquer ces concentrations en Calcium supérieures à la moyenne marine, un apport d'origine continentale doit donc être envisagé. Ce calcium peut être lié soit à des apports de poussières continentales par les pluies (issues de source(s) locale(s)), soit à une circulation de particules carbonatées plus générale à l'échelle de l'atmosphère comme l'ont envisagé Négrel et al. (1997)), soit à un apport de Ca par l'altération des roches.

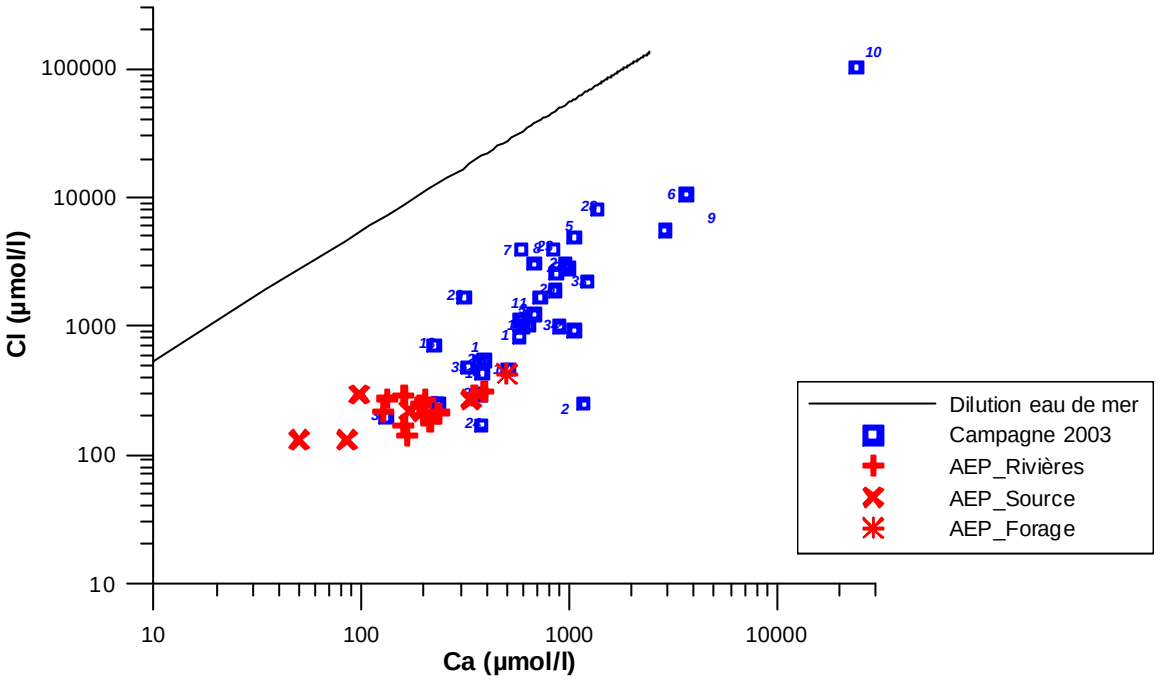


Figure 15 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en calcium

La présence de rares formations calcaires ne suffit pas à expliquer ces apports supplémentaires en calcium. Seuls les eaux des points 6, 9 et 10 traversent des formations calcaires qui peuvent expliquer leurs fortes concentrations (les plus élevées). Toutefois, l'altération de formations calcaires par les eaux, si elle peut être en faveur des concentrations en Ca, ne peut expliquer les fortes concentrations en Cl relevées pour ces trois points (378, 196 et 3640 mg/l). Une étude plus fine, notamment via les codes de calcul géochimique doit être menée pour mieux comprendre la chimie des eaux.

Pour les autres points, l'excès de calcium provient (au moins en partie) de l'altération des roches volcaniques contenant une forte proportion de Ca.

Le point 2 (Morne rouge) présente un apport en calcium plus important que les autres. Il s'agit d'une source minérale déjà identifiée. Il semblerait que le circuit hydrothermal de ses eaux lui ait permit de s'enrichir encore plus en calcium.

4.2.3.3. Diagramme Chlore - Bore

Tout comme pour Ca, un enrichissement en bore de toutes les eaux analysées, exception faite de l'échantillon 10 (piézomètre :Marin - Cap Macré) est mis en évidence sur la figure 16. Cet enrichissement est certainement le reflet des interactions eau-roche libérant du bore (Négrel et al., 2002).

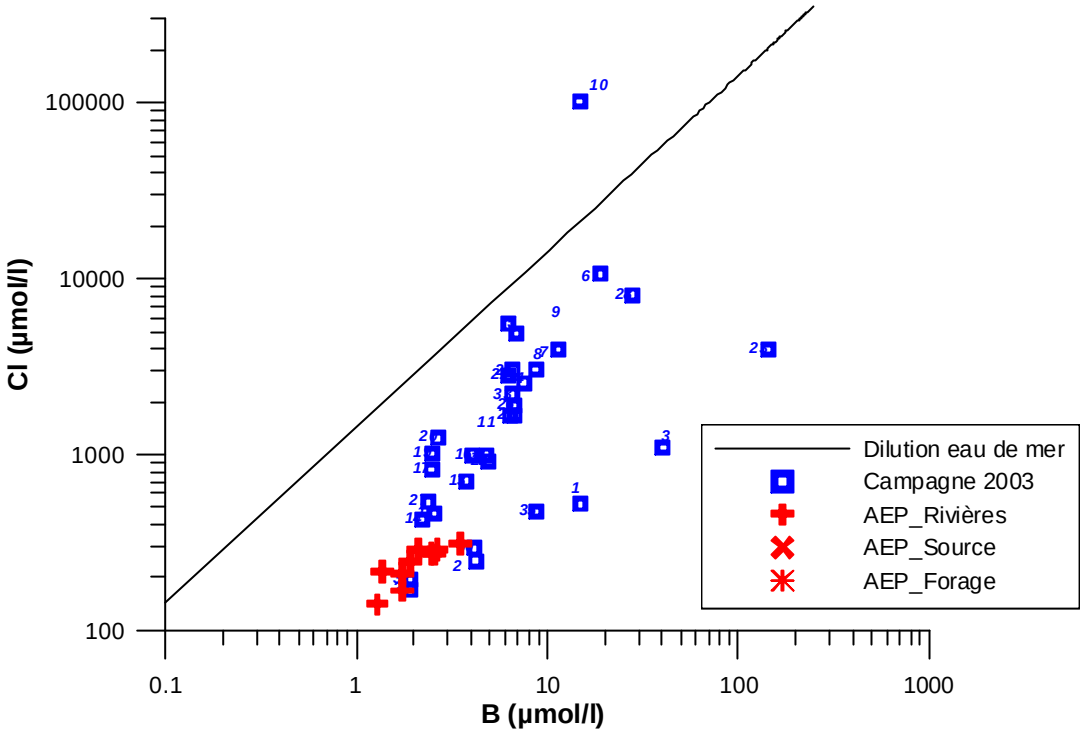


Figure 16 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en bore

Pour le piézomètre d'eau minérale n°2 (Morne rouge), les concentrations en bore ne sont pas en accord avec un circuit hydrothermal très profond, qui généralement libère beaucoup de bore.

4.2.3.4. Diagramme Chlore - Magnésium

Contrairement aux éléments chimiques précédents, la comparaison entre Cl et Mg (fig. 17) montre un enrichissement en Cl par rapport à Mg. Ce dernier est peu amené par les pluies et aérosols marins et semble peu lié avec les interactions eau - roche.

Seul le point 2 (piézomètre Morne rouge) est enrichi en Magnésium. Cette différence peut s'expliquer par des circuits hydrothermaux plus profonds et plus longs, permettant aux eaux de se charger en minéraux. Cette hypothèse demande un étayage plus important (utilisation de codes de calculs géochimique, déterminations isotopiques…).

Le site 10 (piézomètre du Marin – Cap Macré) enregistre des concentrations en chlore et en magnésium supérieures aux autres points. Des analyses complémentaires : de sols (pour compléter une coupe peu explicite) et d'isotopes (permettant de savoir s'il s'agit d'eau minérale), pourraient permettre d'avancer dans la compréhension du site.

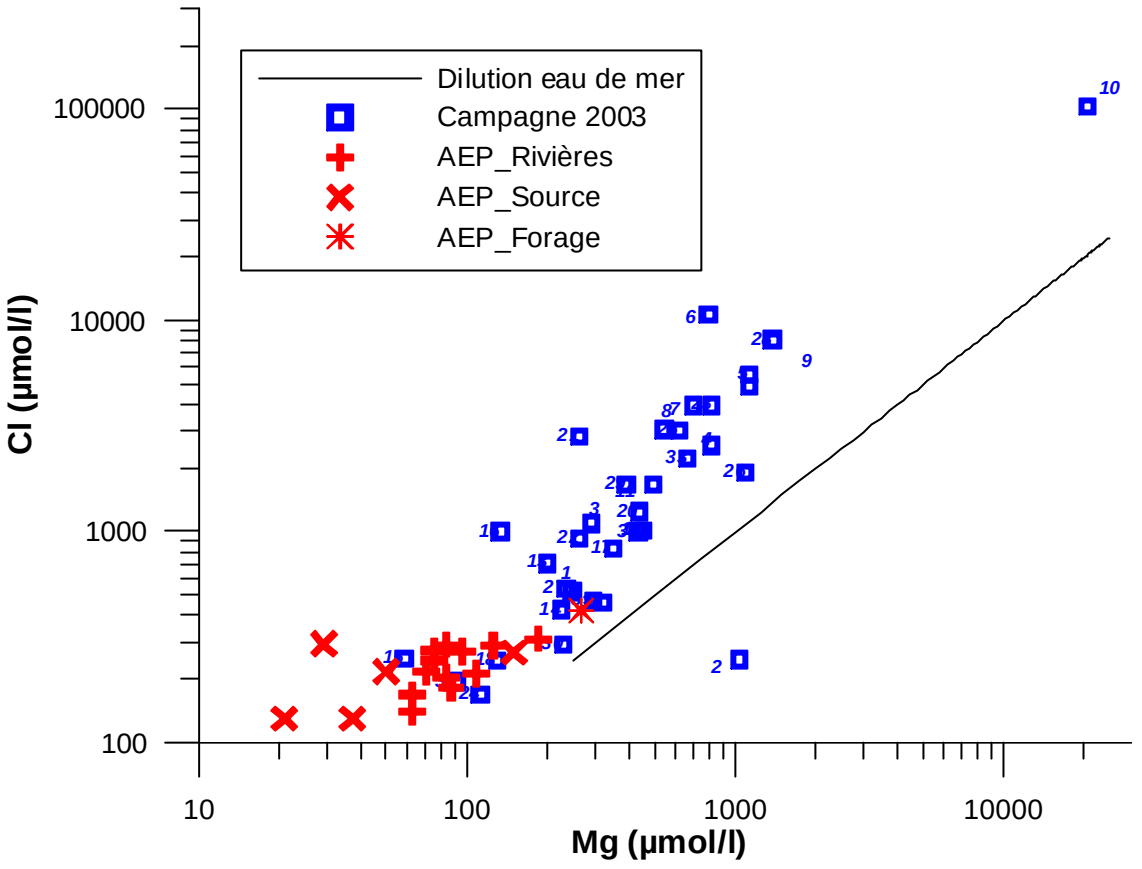


Figure 17 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en magnésium

4.2.3.5. Diagramme Chlore - Potassium

La relation entre Cl et K est également en faveur de l'enrichissement en Cl (fig. 18). Le potassium est un élément très contraint par la végétation et sa concentration peut être diminuée dans les eaux par le « pompage » végétatif.

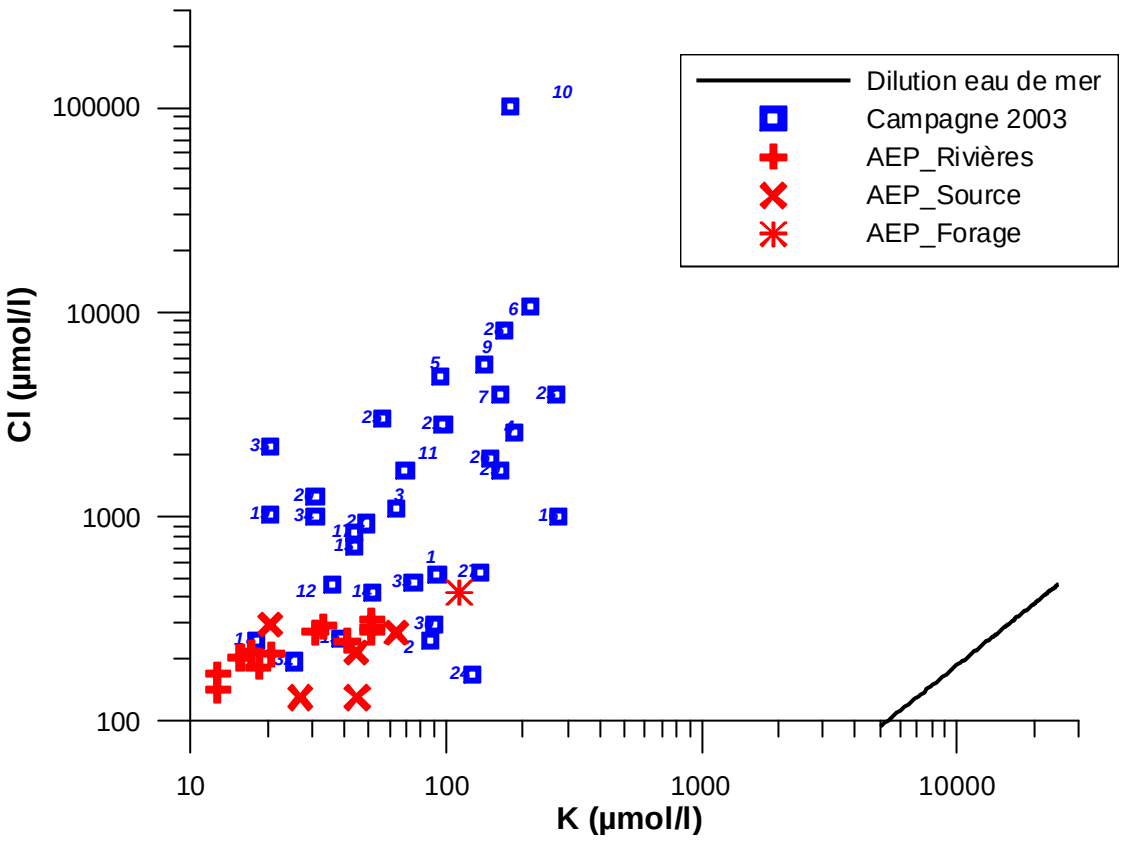


Figure 18 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en potassium

4.2.3.6. Diagramme Chlore - Sulfates

La relation avec SO_4 est similaire à celle constatée pour Magnésium et Potassium. Elle n'est pas illustrée.

4.2.3.7. Diagramme Chlore - Nitrates

Le comparaison des concentrations en Cl et NO_3 ne montre pas de relation particulière (fig. 19). Les plus fortes concentrations en NO_3 ne sont pas particulièrement associées à de fortes concentrations en Cl. Il n'y a pas de reflet particulier des possibles impacts anthropiques sur ces deux éléments.

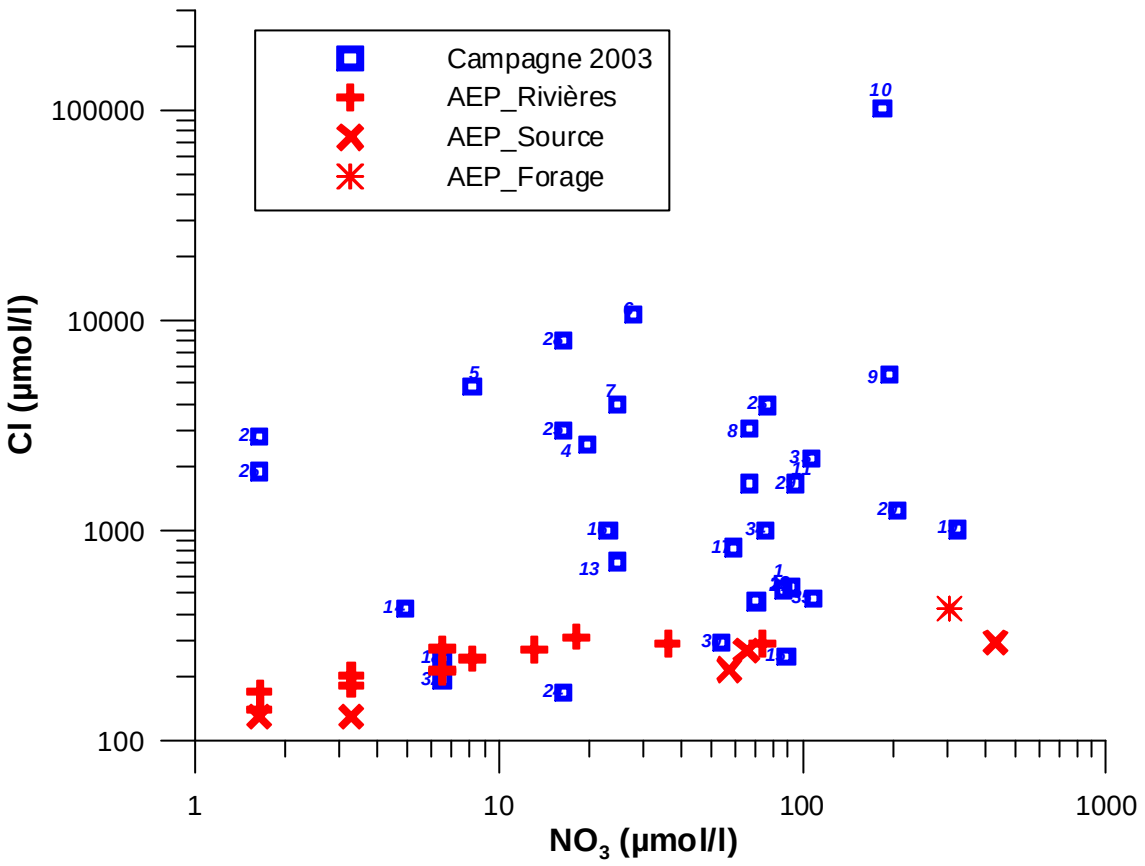


Figure 19 : Diagramme de la concentration en chlore en fonction de celle en nitrates

Le point 10 est à part en raison de sa concentration élevée en ions chlorures.

4.3. COMPARATIF DONNÉES ANCIENNES-DONNÉES NOUVELLES

Deux jeux de données sont disponibles sur les mêmes ouvrages entre des mesures faites sur la période 1974-1988 et celle de la campagne BRGM 2004 (tableau 12).

Points	Domaine hydrogéologique	Localisation	n°BSS	Dates mesures	
4	Centre	Ducos - Bois rouge	1179ZZ0157	14/01/1980	04/02/2004
10		Lamentin - Habitation Ressources	1179ZZ0070	01/10/1973	06/02/2004
5		Lamentin - sarrault	1179ZZ0158	06/02/1980	23/01/2004
6	Nord Caraïbes	Précheur - rivière du Précheur	1167ZZ0024	05/07/1980	06/04/2004
7		Saint Pierre - Rivière Blanche	1167ZZ0023	09/10/1980	06/01/2004
8		Schoelcher - Case navire	1177ZZ0165	27/09/1989	13/01/2004
9		Schoelcher - Fond Lahaye	1177ZZ0161	20/05/1988	07/01/2004
12	Sud Atlantique	François - La Victoire	1179ZZ0228	19/08/1991	05/04/2004
3		Marin - Cap Macré	1186ZZ0119	21/09/1978	08/01/2004
11		Vauclin - Puyferrat	1183ZZ0026	20/04/1974	09/01/2004
2	Sud Caraïbes	Anse d'Arlets - Grande anse	1181ZZ0110	04/01/1977	25/03/2004
1		Diamant - Habitation Dizac	1184ZZ0001	09/12/1976	08/01/2004

Tableau 12 : Présentation des points disposant de mesures antérieures à celles de la campagne BRGM du premier trimestre 2004

Les diagrammes des figures 20 et 21 illustrent les variations des paramètres chimiques (NO_3, Cl, Na, Ca, Mg, K, HCO_3), tous exprimés en µmoles/l, sur les deux périodes de mesures.

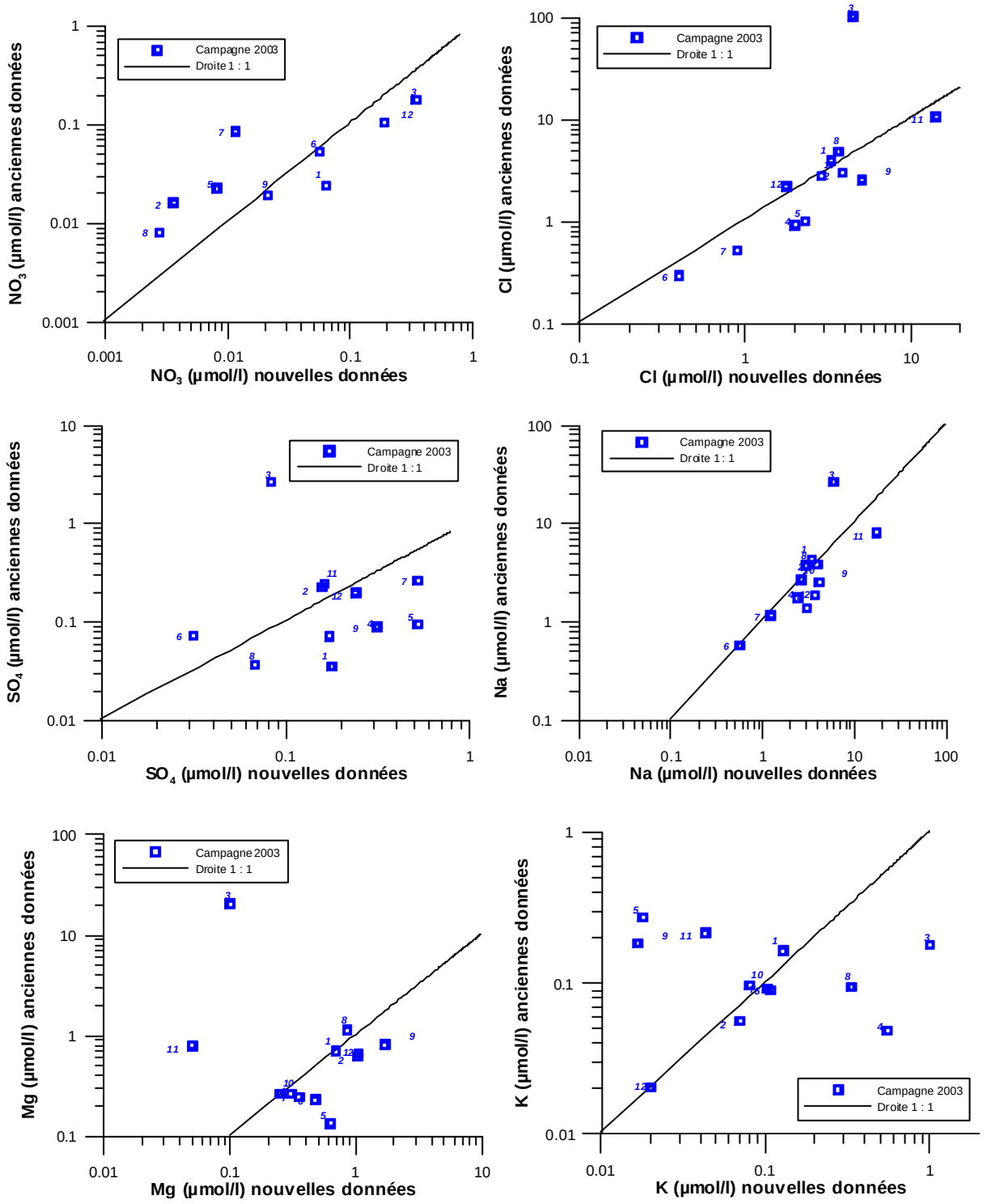


Figure 20 : Variation dans le temps des éléments NO_3, Cl, SO_4, Na, Mg et K.

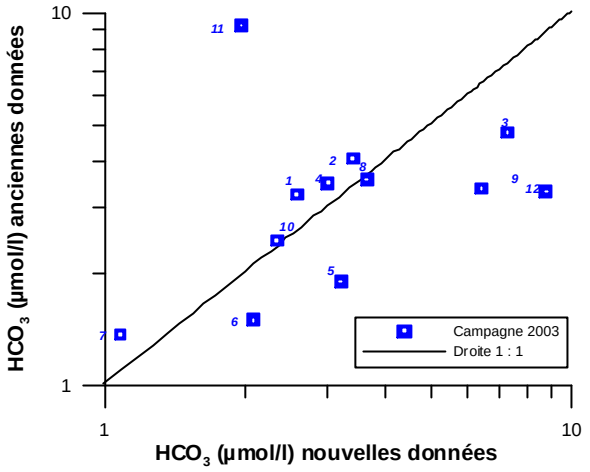


Figure 21 : Variation dans le temps de la concentration en bicarbonates

Par rapport à la droite 1 : 1, on observe :

- peu de variations pour Na entre les deux périodes de mesures ; de même pour Cl, à l'exception d'un point (3 : Marin - Cap Macré),
- une dispersion importante en SO_4, sans lien apparent avec la teneur,
- une variation en NO_3 selon une pente plus faible que la droite 1 : 1,
- hormis quelques points situés sur la droite 1 : 1, on observe une dispersion soit à droite, soit à gauche de la droite 1 : 1 pour K, Mg et HCO_3.

Le point 3 (piézomètre du Marin – Cap Macré) ressort dans pratiquement tous les graphiques (sauf NO_3 et HCO_3). La composition chimique «à part » de cette eau a déjà été mise en évidence dans le paragraphe précédent (4.2).

Le fait de retrouver pour certains éléments (Na, Cl) des concentrations proches permet de penser que les analyses sont robustes et que les ressources en eau souterraine n'ont pas varié. Cependant, les diagrammes montrant des dispersions ne sont pas suffisamment renseignés pour faire l'objet d'une interprétation fiable. En effet, les premières mesures étant assez vieilles, on ne dispose pas de tous les renseignements concernant les méthodes utilisées, les seuils de détection et même parfois la date exacte. Dans ces conditions, on ne peut départager les erreurs humaines (pollution de l'échantillon, amélioration des techniques d'analyses…) d'une variation (naturelle ou anthropique) de la ressource.

La mise en œuvre d'un réseau de suivi périodique permettant d'obtenir un état de référence de la qualité des eaux souterraines (constitué par plusieurs mesures faites à des pas de temps réguliers et donnant des résultats similaires ou cycliques) semble donc pertinent et permettra de confirmer ou d'infirmer les tendances observées sur les graphiques précédents (figures 20 et 21).

5. Le réseau Qualité Eaux souterraines : propositions

5.1. FRÉQUENCE DU SUIVI

La première campagne, réalisée entre janvier et mars 2004 par le BRGM, s'est déroulée pendant la saison sèche. Une deuxième campagne pendant la saison des pluies devrait permettre d'évaluer les effets des apports sur la qualité des eaux souterraines (dilution, réactivité…).

Ensuite, sur une durée de deux ans, les analyses pourraient être reconduites à raison d'une par an : période sèche la première année, période pluvieuse la seconde. A l'issue de cette durée, on disposerait donc de deux analyses pour chaque « saison ». Cela permettrait d'avoir une meilleure idée sur l'évolution sur un ou deux et d'observer les variations causées par les pluies au niveau de la chimie des eaux souterraines.

Par la suite, les pas de temps seraient espacés. Une analyse tout les deux ans permettrait un bon suivi. En alternant les analyses en saison sèche et humide, on obtiendrait une mesure par saison tous les quatre ans.

Ce programme prévisionnel pourrait être revu après avoir étudié les variations entre les saisons.

5.2. ANALYSES

Les éléments qu'il semble pertinent d'analyser périodiquement sur les eaux souterraines sont les suivants :

- physico-chimie de base : pH, conductivité, résidu sec, Ca, Na, K, Mg, Fe, NH_4, HCO_3, NO_3, NO_2, SO_4, PO_4, Cl, F, SiO_2,
- phytosanitaires : ces produits sont à rechercher dans les nappes où ils ont déjà été décelés ou dans les zones à risque. Ainsi pour une seconde campagne, la gamme de pesticides pourrait être élargie, quitte à la réduire par la suite en fonction des produits décelés, en se limitant géographiquement éventuellement aux zones à risques avérés.
- Métaux : Pour l'aluminium, le nickel et l'arsenic, seuls deux points sur les 34 analysés ont révélé des concentrations supérieures à la limite de détection mais inférieures aux limites de potabilité. Cependant ils restent des éléments intéressants à analyser vis-à-vis de pollutions industrielles. Quant aux concentrations en bore et en manganèse, elles sont très variables et nécessitent

plus de connaissances (sur le fond naturel géochimique notamment) pour être interprétables.

De plus, les circulations et les interactions des eaux, qu'elles soient de surface ou souterraines, avec les roches encaissantes doivent être mieux cernées par l'utilisation de la géochimie et tout particulièrement par l'application des traçages isotopiques.

Dans le contexte de la Martinique, l'application de détermination d'éléments traces (Rb, Sr, Terres Rares…) couplée avec des déterminations isotopiques (isotopes stables de la molécule de l'eau, strontium, bore, soufre et oxygène des sulfates ; …) permettrait donc de mieux connaître les interactions eau-roche, voire de les modéliser. La connaissance de ces interactions et leur impact sur la chimie de l'eau pourrait permettre de mettre en évidence l'influence anthropique sur les points d'eau et amènerait une connaissance permettant de contribuer à une politique de gestion et de protection durables des ressources en eau souterraine.

5.3. RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

- Pour une deuxième campagne de prélèvement, il semble intéressant de garder tous les points de la première afin de comparer les résultats et éventuellement éclairer certains problèmes rencontrés, comme pour le point 3 (1186ZZ0119) Marin - Cap Macré par exemple.

Toutefois 27 des 34 points utilisés aujourd'hui pour l'état de référence de la qualité des eaux souterraines en Martinique sont des piézomètres dont l'objectif essentiel est de contrôler périodiquement le niveau des nappes. Outre le fait que ces ouvrages n'ont a priori pas un objectif de suivi de qualité, Il faut noter que si les mesures de niveaux s'y font pour l'instant de façon manuelle, il est prévu qu'ils soient progressivement automatisés, à partir de fin 2004, avec mise en place de sondes automatiques.

Afin de réduire les risques de détérioration des instruments, il serait donc souhaitable de prévoir dès aujourd'hui la mise en place de deux réseaux séparés : un réseau qualitatif (de qualitomètres) et un réseau quantitatif (de piézomètres). Pour éviter des pertes d'informations au niveau des deux réseaux, de nouvelles campagnes de forations d'ouvrages spécifiques seraient donc à envisager.

Un point de prélèvement peut être rajouté parce que bientôt accessible : le piézomètre de La Mauny, à Rivière Pilote. Il n'a pas été prélevé lors de cette campagne en raison de la présence d'une pompe défectueuse dans le forage. Or, la réfection de la tête d'ouvrage ainsi que la suppression de la pompe prévus fin 2004 par le BRGM, permettront les prélèvements.

Un total de 35 points est donc envisageable pour une seconde campagne en hautes eaux.

• A l'issue de cette seconde campagne, au vu des résultats comparés de ces deux campagnes d'analyses, sera évaluée l'opportunité d'optimiser le réseau :

- par suppression de certains points,

- par création de nouveaux points dans des sites non renseignés et jugés pertinents,

- éventuellement par adaptation des analyses aux spécificités des secteurs géographiques.

• Remarque : Du fait d'objectifs différents, les critères d'implantation des points de suivi piézomètriques (suivi quantitatif des ressources) ne sont d'ailleurs pas forcément identiques à ceux des points de contrôle de la qualité (nappes ou secteurs risquant d'être fortement exploités ou encore zones de recharge pour les premiers, nappes ou secteurs risquant d'être contaminés ou particulièrement vulnérables pour les seconds). De même, les caractéristiques techniques des ouvrages peuvent être également différentes (profondeurs, diamètres..).

6. Conclusion et perspectives

Cette campagne d'analyses a permis d'avoir une première approche sur l'état général des eaux souterraines de Martinique. Globalement de qualité satisfaisante, ces eaux présentent des concentrations réduites en produits azotés ou phosphorés.

Le faciès hydrochimique bicarbonaté –calcique est le plus fréquent sur l'île, mais les autres types sont également représentés.

La plupart des métaux sont peu représentés. Cependant, le fer, le manganèse et le bore sont présents en quantité importante dans certaines nappes. Des recherches plus spécifiques pourraient donc être entreprises afin d'expliquer leur présence (certainement intéractions eau-roche).

Au niveau des produits phytosanitaires, il semblerait que certaines nappes très localisées soient contaminées. Des compléments d'analyse devraient être effectués sur les secteurs présentant le plus de risques. Ils permettraient de connaître l'étendue de la contamination et ses variations éventuelles. Des points supplémentaires pourraient également être créés. Ces nouveaux points pourraient également fournir des données utiles à un programme de recherche sue les mécanismes de transferts de ces polluants du sol vers les eaux souterraines, puis dans les nappes.

La salinité des eaux est variable et peut être, dans la plupart des cas, expliquée par la proximité de la mer. Plusieurs nappes présentant des caractéristiques de contamination par le biseau salé (concentration en sodium élevée, conductivité importante), une étude étudiant ce biseau pourrait être effectuée.

Les concentrations en magnésium et en calcium sont importantes sur certains sites prélevés. Une meilleure connaissance de la géologie alentour pourrait permettre de les expliquer.

Pour mieux distinguer l'impact du fond géochimique de l'influence anthropique, des déterminations isotopiques (O, H, B, S, Sr…) pourraient être effectuées sur les eaux souterraines ainsi que sur des eaux de pluies et des échantillons de sols.

De même, la vision des variations temporelles est inexistante et mériterait de pouvoir être prise en compte. Un suivi de la chimie de l'eau à pas de temps régulier et alternant les saisons (sèche et humide) serait pertinent.

Bibliographie

BERNER-KAY, E., BERNER, R.A. 1987. The Global Water Cycle. Geochemistry and Environment. Prentice Hall, 396 p.

Code de la Santé Publique, livre III, titre II, chapitre 1er Eaux potables.

COTTEZ S., MOURET C., 1977. Etude hydrogéologique au Robert et dans la presqu'île des Trois Ilets – Compte rendu d'exécution des sondages et des pompages. Rapport BRGM 77ANT3.

Décret du 3 janvier 1989 « relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles ». Annexes 1.1 et 1.3 pour limites d' « usage sensible ». Annexe 3 pour les limites d' « usage non sensible ».

Direction de la Santé et de la Direction Sociale de la Martinique – Analyses 2003 effectuées par la DSDS sur les eaux prélevées pour L'Alimentation en Eau Potable. Pour les éléments suivants : physico-chimie, métaux, 5 molécules phytosanitaires, phosphates et nitrates.

GAILLARDET, J., DUPRE, B., ALLEGRE, C.J., NÉGREL, PH. 1997. Chemical and physical denudation in the Amazon river basin. Chem. Geol. 142: 141-173.

MEYBECK, M., 1986. Composition chimique des ruisseaux non pollués en France. Sci. Géol. Bull. 39, 1: 3-77.

NÉGREL, Ph, ALLÈGRE, C.J., DUPRÉ, B., LEWIN, E. 1993. Erosion sources determined from inversion of major, trace element ratios and strontium isotopic ratio in riverwater: the Congo Basin case. Earth, Planet. Sci. Lett. 120: 59-76.

NÉGREL, PH., LACHASSAGNE, P., LAPORTE, p. 1997. Caractérisation chimique et isotopique des pluies de Cayenne (Guyane Francaise). C.R. Académie des Sciences 324: 379-386.

NÉGREL, Ph., PETELET-GIRAUD, E., CASANOVA, J., KLOPPMANN, W. 2002. Boron isotope signatures in the coastal groundwaters of French Guiana. Water Resources Research. 10.1029/2002WR001299.

PAULIN Ch., 1979. Recherche d'eau souterraine en Martinique. Résultats de la campagne de reconnaissance par sondages mécaniques. Rapport BRGM 79ANT20.

STOLLSTEINER P., LACHASSAGNE P., PAULIN Ch., NEEL F. (2000) – Bilan des connaissances hydrogéologiques de la Martinique – Volume 1 – Rapport BRGM RP-50 071-FR, 137 p., 1 fig., 7 tab., 5 annexes, 1 annexe hors texte.

Annexes

Annexe 1 : Anciennes analyses disponibles

Annexe 2 : Tableau de résultats des prélèvements de la campagne du premier trimestre 2004

Annexe 3 : Tableau de analyses AEP du premier trimestre 2003 (DSDS 972)

Annexe 4 : Cartographie des analyses étudiées élément par élément

Annexe 1 : Anciennes analyses disponibles

localisation	n°BSS	type	rapport	date rapport	date mesure	Résistivité (ohms.cm)	conductivité (µS/cm)	T (°C)	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
Anses d'Arlets - Grande anse	1181ZZ0110	Forage	77 ANT 3	janvier-77		1437			7.11	17.64	24.57	89.7	2.73
Anses d'Arlets - Petite Anse	1184ZZ0003	Forage	79 ANT 20	juillet-79	1980	350			7.83	212	0	147.2	3.81
Case Pilote - Mariba	1177ZZ0075	Forage	73 ANT 13	mai-73					5.25	22.8	34.12	170	6.6
Case Pilote - Mariba	1177ZZ0077	Forage	73 ANT 13	mai-73					5.8	20.4	16.56	44.48	6.5
Diamant - habitation Dizac	1184ZZ0001	Forage	77 ANT 3	janvier-77		1737			7.2	28	16.6	77.62	4.98
Ducos - Bois rouge	1179ZZ0157	Forage	81 ANT 04	janvier-81		2400			7.7	50.4	7.3	55	21.5
Ducos - Croix mail	1179ZZ0147	Forage	81 ANT 04	janvier-81	1980	2800			7.2	28.5	6.2	20	8.2
François - La victoire	1179ZZ0028	Forage	R 34272	août-91	19/08/1991			29.2	7.1	48.9	25	86	0.78
François - station service	1179ZZ0004	Forage	R 34272	août-91	19/08/1991			28.8	7.5	42.5	21.5	84.9	2.12
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0069	Forage	73 ANT 24	octobre-73					6.9	36	14.4	37.5	2.5
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0070	Forage	73 ANT 24	octobre-73					7.6	48	6	60	3.12
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0071	Forage	73 ANT 24	octobre-73					7.3	41.6	16.32	42.5	5
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0072	Forage	73 ANT 24	octobre-73					7.3	28	7.68	62	3.12
Lamentin - quartier Gireaumont	1179ZZ0159	Forage	81 ANT 04	janvier-81	1980	2800			7.4	3.2	9.7	58.4	1.5
Lamentin - sarrault	1179ZZ0158	Forage	81 ANT 04	janvier-81		2200			7.56	35.2	15	69.5	0.7
Marin - Cap Macré	1186ZZ0119	Forage	79 ANT 20	juillet-79		900			7.1	112	2.4	135.7	39.2
Morne rouge - Socomor	1168ZZ0038	Forage	79 ANT 07	mars-79	20/02/1979				6.66	40	19	24.8	4
Prêcheur - Rivière du prêcheur	1167ZZ0024	Forage	81 ANT 04	janvier-81		4400			6.8	20.4	11.4	12.9	4.2
Rivière Pilote - Fougamille	1183ZZ0026	Forage	79 ANT 20	juillet-79		2200			8.3	23.2	2.92	69	68
Rivière Pilote - La Meurny	1183ZZ0023	Forage	76 ANT 25	juin-76					7.65	20	2.4	80.04	1.677
Rivière Pilote - La Meurny	1183ZZ0024	Forage	76 ANT 25	juin-76	1976				7.1	26.4	13.32	153.18	4.134
Rivière Pilote - La Meurny	1183ZZ0025	Forage	76 ANT 25	juin-76					6.65	30.02	7.668	24.7825	1.521
Robert - fond cacao	1179ZZ0095	Forage	77 ANT 3	janvier-77	1977	1612			7.11	77.42	15.7	39.84	0.7
Robert - Pontaléry	1179ZZ0160	Forage	81 ANT 04	janvier-81	1980	1800			7.38	43.2	12.6	74.3	3.8
Saint Pierre - Fond Canonville	1167ZZ0008	Forage	79 ANT 20	juillet-79		800			7.46	17.6	8.75	26.96	7.44
Saint Pierre - Fond Canonville	1167ZZ0037	Forage	A 29816	janvier-03	10/01/2002		878 (25°C)	33.5		36	19	110	11
Saint Pierre - Fond Corré	1167ZZ0021	Forage	81 ANT 04	janvier-81		3200			7.1	26.8	10	21.2	4.8
Saint Pierre - Fond Corré	1167ZZ0022	Forage	81 ANT 04	janvier-81		2800			7	24.4	13.9	32.9	5
Saint Pierre - Rivière Blanche	1167ZZ0023	Forage	81 ANT 04	janvier-81		3450			7.1	17.2	8.5	26.1	4
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0078	Forage	74 ANT 1 / R 34340	janvier 74 / janvier 92	08/12/1991		564 (20°C)	27.5	6.75	40.8	21.7	85	4.13
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0079	Forage	74 ANT 1	janvier-74		1500			6.9	28	14.4	54	7.8
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0089	Forage	R 34434	mars-92		1700 (20°C)				36	20.4	85.56	3.51
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0090	Forage	R 34434	mars-92		1500 (20°C)				38	3.1	80.5	4.52
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0165	Forage	R 34434	mars-92	27/08/1989		586 (20°C)		6.7	41.2	20.3	68	13
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0166	Forage	R 34434	mars-92	30/11/1989		581.3 (20°C)		6.6	36.5	17.75	90.1	3.3
Schoelcher - Fond Lahaye	1177ZZ0161	Forage	R 34434	mars-92	20/05/1988		931 (20°C)		6.6	56.8	40.6	94.5	0.65
Schoelcher - Ravine touza	1177ZZ0089	Forage	75 ANT 23	décembre-75	1975					36	20.4	85.56	3.51
Schoelcher - Ravine touza	1177ZZ0090	Forage	75 ANT 23	décembre-75	1975					38	3.1	80.5	4.52
Trois Ilets - Vatable 1	1181ZZ0116	Forage	79 ANT 20	juillet-79		500			7.24	113.6	68.6	132.7	8.2
Trois Ilets - Vatable 2	1181ZZ0117	Forage	79 ANT 20	juillet-79		150			7.54	187.2	136.08	483	25.36
Vauclin - Puylerrat	1183ZZ0026	Forage	76 ANT 27	juillet-76					8.4	4.2	1.2	397.9	1.677

localisation	n°BSS	SiO2 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	PO4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)	F (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	NO2 (mg/L)	Al (mg/L)
Anses d'Arlets - Grande anse	1181ZZ0110	0	207.4	15	136.48	0.11	0.22	0.08			0.8	0.06	
Anses d'Arlets - Petite Anse	1184ZZ0003	0.5	495.22	280.95	237.58	0.23	0.4	1.4	117				
Case Pilote - Mariba	1177ZZ0075		402.6	0	160								
Case Pilote - Mariba	1177ZZ0077		190.32	0	49.2		0				100		
Diamant - habitation Dizac	1184ZZ0001	5	157.4	17	116.98	0.33	3.85	0			270	0.04	
Ducos - Bois rouge	1179ZZ0157		183	30	71								
Ducos - Croix mail	1179ZZ0147		117	4.05	33.5		0						
François - La victoire	1179ZZ0028		536.8	23	63	0	11.5		170				
François - station service	1179ZZ0004		236.6	28	50	0	29		230	40	490	0.1	0.012
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0069	30	209.8	0	45								
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0070	30	142.74	0	102								
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0071	40	244	0	49.5	0.55	0.15						
Lamentin - habitation ressources	1179ZZ0072	30	189.1	0	57.6								
Lamentin - quartier Gireaumont	1179ZZ0159		131.8	30	56.7		0.16						
Lamentin - sarrault	1179ZZ0158		195.2	50	81.6		0.5						
Marin - Cap Macré	1186ZZ0119	13	444	8	159.5	0	21	0	137				
Morne rouge - Socomor	1168ZZ0038	4	256.2	13.3	14.2	0.26	0.6	0.02	0		330		
Prêcheur - Rivière du prêcheur	1167ZZ0024		126.9	3	14.2		3.45						
Rivière Pilote - Fougamille	1183ZZ0026	3	100.04	7.6	173.96	0.24	0						
Rivière Pilote - La Meurny	1183ZZ0023	25	233.63	8	23.075	5	0	0			0		
Rivière Pilote - La Meurny	1183ZZ0024	36	206.18	7.8	243.885								
Rivière Pilote - La Meurny	1183ZZ0025	25	143.96	3	29.82		5.472	0			0		
Robert - fond cacao	1179ZZ0095	3.5	247.66	31.6	79.78	0.14	0	0		380	150		
Robert - Pontaléry	1179ZZ0160		195	90	92.2		0.16						
Saint Pierre - Fond Canonville	1167ZZ0008	5	92.72	4.4	40.83	0.28	0.8		106				
Saint Pierre - Fond Canonville	1167ZZ0037			42	160	0.34	2.5		220				0.0008
Saint Pierre - Fond Corré	1167ZZ0021		91.5	43	40.5								
Saint Pierre - Fond Corré	1167ZZ0022		83	68	35.5								
Saint Pierre - Rivière Blanche	1167ZZ0023		65.9	50	32		0.7						
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0078		239	7	80	0	0				3600		
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0079	36	213.5	0	63.5						300		
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0089	36	222	2	129.1	0.5							
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0090	36	73.2	1.8	170.4		1.2						
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0165		222	6.5	130	0	0.17			440	500	0.15	
Schoelcher - Case navire	1177ZZ0166		219.6	6	67.5	0	0						
Schoelcher - Fond Lahaye	1177ZZ0161		390.4	16.5	180	0.5	1.3						
Schoelcher - Ravine touza	1177ZZ0089	36	222	2	129.1	0.5							
Schoelcher - Ravine touza	1177ZZ0090	36	73.2	1.8	170.4		1.2	0.9					
Trois Ilets - Vatable 1	1181ZZ0116	6	374.4	8.2	407.8	0	0.6		133				
Trois Ilets - Vatable 2	1181ZZ0117	5.8	390	33	1207	0.46	1.4		49				
Vauclin - Puylerrat	1183ZZ0026	10	119.56	15.5	504.1		0				0		

Annexe 2 : Tableau de résultats des prélèvements de la campagne du premier trimestre 2004

norme usage non sensible							2	2	2	2	2	1	100		250	100
norme usage sensible							0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	10	1000	50	20
unité de mesure							µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	date du prélèvement	**n°BSS**	**type**	**X**	**Y**	**localisation**	**Atrazine**	**Chlordécone**	**Diuron**	**Hexazinone**	**béta HCH**	**Al**	**As**	**B**	**Mn**	**Ni**
25	25/03/2004	1181ZZ0131	Piézomètre	706391.96	1604425.38	Anses d'Arlet - Grande Anse	<L D	<L D	0.15	<L D	<L D	<L D	<L D	72	957	<L D
27	29/03/2004	1168ZZ0054	Piézomètre	703878.12	1640513.92	Basse Pointe - rivière Falaise	<L D	<L D	<L D	0.3	<L D	<L D	<L D	26	66	<L D
26	29/03/2004	1177ZZ0173	Piézomètre	700232.55	1620018.97	Case Pilote - Maniba	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	73	404	<L D
7	08/01/04	1184 ZZ 0001	Piézomètre	710488.56	1601864.19	Diamant - habitation Dizac	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	125	438	6
8	08/01/04	1184 ZZ 0016	Piézomètre	710881.81	1601610.76	Diamant - habitation Dizac	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	95	66	<L D
22	04/02/04	1179ZZ0157	Piézomètre	718852.41	1614810.33	Ducos - Bois Rouge	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	54	88	<L D
14	13/01/2004	1173ZZ0072	Piézomètre	705199.67	1625621.73	FdF - La Medaille	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	24	2849	<L D
18	20/01/2004	1173ZZ0076	Source	704330.46	1627423.38	Fond Saint Denis - Source de l'Alma	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D
33	05/04/2004	1179ZZ0228	Forage d'exploitation	722462.29	1616514.39	François - La Victoire	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	71	<L D	<L D
24	06/02/2004	1174ZZ0088	Piézomètre	713927.81	1628611.61	Gros Morne - La Borelli	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	0.266	<L D	21	96	<L D
19	21/01/2004	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	716936.55	1623425.38	Gros Morne - Vert Pré	<L D	1.35	<L D	<L D	2.05	<L D	<L D	27	<L D	<L D
21	6/02/04	1179ZZ0070	Piézomètre	717177.84	1616345.04	Lamentin - Habitation ressource	<L D	0.2	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	68	204	<L D
34	05/04/2004	1179ZZ0282	Source	720019.13	1616241.56	Lamentin - Morne Pitault La Frédée	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	52	<L D	<L D
16	23/01/04	1179ZZ0158	Piézomètre	718081.24	1619364.3	Lamentin - Sarrault	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	44	51	<L D
3	06/01/04	1169 ZZ 0006	Piézomètre	712514.33	1637897.76	Marigot - Anse charpentier	<L D	0.38	<L D	<L D	0.26	<L D	30	440	99	<L D
10	08/01/04	1186 ZZ 0119	Piézomètre	732018.05	1601748.05	Marin - Cap Macré	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	161	84	<L D
9	11/01/04	1186 ZZ 0118	Piézomètre	729020.73	1602307.57	Marin - Grand Fond	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	68	<L D	<L D
2	06/01/04	1168 ZZ 0037	Piézomètre	702126.82	1632646.97	Morne rouge - Desgrottes	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	46	304	<L D
15	20/01/2004	1168ZZ0055	Source	700137.29	1636204	Morne Rouge - Habitation citron	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D
30	06/04/2004	1167ZZ0024	Piézomètre	691049.17	1637378.62	Prêcheur - rivière du prêcheur	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	45	5	<L D
11	30/01/2004	1183ZZ0052	Forage d'exploitation	727415.65	1604815.33	Rivière Pilote - Fougainville	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	69	13	<L D
20	20/01/2004	1183ZZ0053	Source	725538.26	1611528.69	Saint Esprit - Source Caraïbe	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	29	<L D	<L D
32	06/04/2004	1174ZZ0089	Source	707578.79	1625925.77	Saint Joseph - Coeur Bouliki	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	21	<L D	<L D
12	15/01/2004	1174ZZ0087	Piézomètre	714012.6	1622827.19	Saint Joseph - La charmille	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	28	1379	<L D
23	17/02/2004	1167ZZ0037	Piézomètre	692760.16	1634724.57	Saint Pierre - Fond Canonville	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	1550	<L D	<L D
35	06/04/2004	1167ZZ0031	Forage d'exploitation	696457.64	1631822.25	Saint Pierre - Pécoul	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	96	<L D	<L D
1	06/01/04	1167 ZZ 023	Piézomètre	694274.82	1633152.08	Saint Pierre - Rivière Blanche	<Limite détection	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	162	<L D	<L D
13	20/01/2004	1185ZZ0121	Source	723017.45	1603438.11	Sainte Luce - Source du Riz	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	41	144	<L D
5	13/01/04	1177 ZZ 0165	Piézomètre	704816.64	1617659.76	Schoelcher - Case Navire	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	75	1399	<L D
4	07/01/04	1177 ZZ 0161	Piézomètre	703598.82	1619099.58	Schoelcher - Fond Lahaye	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	82	159	<L D
29	25/03/2004	1185ZZ0120	Piézomètre	723104.47	1600572.07	Ste Luce - stade communal	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	74	44	<L D
17	21/01/2004	1175ZZ0153	Source	717831.55	1631449.18	Trinité - Morne Figue	<L D	6.7	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	27	<L D	<L D
28	25/03/2004	1181ZZ0132	Piézomètre	713619.21	1607005.52	Trois Ilets - Vatable 3	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	13	305	242	<L D
6	09/01/04	1183 ZZ 0026	Piézomètre	732225.07	1604421.66	Vauclin - Puyferrat	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	<L D	208	1264	6

				500	3000								4	2.5	100	
		6.5-9		250	1500	200		12	50	200	250		0.1	0.5	50	5
	µS/cm		mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Conductivité	**pH**	**Ca**	**Cl**	**F**	**Fe**	**HCO3**	**K**	**Mg**	**Na**	**SO4**	**SiO2**	**NH4**	**NO2**	**NO3**	**PO4**
25	745	7.3	38.3	106.8	100	40	253	2.2	14.8	89.3	21.6	58.8	0.1	0.18	1	0.2
27	285	8.15	15.6	19	200	20	90	5.3	5.6	25.6	27.3	32.9	1.4	3.86	5.6	<L D
26	685	7.15	34.2	67.7	200	20	257	5.8	26.2	61	33.6	96.5	<L D	0.02	0.1	<L D
7	780	7.6	23.6	140.2	<L D	580	202	6.4	16.8	100	3.4	74.1	2.1	0.03	1.5	<L D
8	667	7.4	27.2	108	<L D	160	170	<L D	13	63	9.3	122	<L D	0.01	4.1	0.2
22	460	7.65	42.2	32.7	<L D	100	217	1.9	6.3	40.4	8.6	53.1	<L D	<L D	<L D	<L D
14	194	7.1	15.2	15.1	<L D	9910	88	2	5.4	10.6	1.5	27.8	1	<L D	0.3	<L D
18	110	7.45	9.4	8.7	<L D	<L D	49	0.7	3.1	7.4	1.5	33.4	<L D	<L D	0.4	<L D
33	614	7.35	48.9	78.2	900	<L D	206	0.8	15.9	43.4	19	65.9	<L D	<L D	6.5	0.3
24	170	7.45	15.1	6	<L D	350	58	4.9	2.7	12.5	4.4	22.7	<L D	<L D	1	<L D
19	325	7.4	25.6	35.9	<L D	<L D	102	0.8	10.9	18.7	3.2	59.8	<L D	<L D	19.8	<L D
21	600	7.4	39.9	99.8	<L D	280	152	3.8	6.3	62.3	10.2	50.2	0.2	<L D	0.1	<L D
34	394	7.35	35.9	35.4	<L D	<L D	169	1.2	10.4	20.6	5.8	75.6	<L D	<L D	4.6	0.4
16	337	7.5	24	35.4	100	20	118	10.7	3.2	32.2	9.1	27.2	0.1	<L D	1.4	1.8
3	433	7.8	23.4	38.8	<L D	100	177	2.5	7	50.4	4.5	30.8	0.1	<L D	<L D	<L D
10	11730	7.2	967	3640	<L D	20	296	7	492	611	255	66.7	0.2	0.01	11.2	0.2
9	1340	7.45	116	196	300	<L D	466	5.5	27	116	19.8	49.3	<L D	<L D	11.8	<L D
2	614	6.6	47	8.8	<L D	13690	391	3.4	24.8	34	< LQ	116	6.8	<L D	<L D	3.9
15	112	7.45	9.3	8.9	<L D	<L D	39	1.5	1.4	9.4	3.7	52.6	<L D	<L D	5.4	<L D
30	201	8.15	14.9	10.4	100	<L D	93	3.5	5.5	13.4	7	72.9	<L D	<L D	3.3	0.2
11	496	7.95	29.2	59.2	200	<L D	167	2.7	11.9	51.7	13.8	60.3	<L D	<L D	4.1	<L D
20	353	7.45	27.2	43.9	<L D	<L D	104	1.2	10.5	23.8	10.6	64.9	<L D	<L D	12.6	0.1
32	123	7.6	5.3	6.9	<L D	<L D	38	1	2.2	6.7	0.8	37.1	<L D	<L D	0.4	<L D
12	255	7.5	20.5	16.3	<L D	20	109	1.4	7.7	17.4	10.6	35.1	0.1	0.04	4.3	<L D
23	900	7.4	33.5	140	200	<L D	230	10.6	19.6	111	34.6	116	<L D	<L D	4.7	0.4
35	235	7.55	13	16.8	<L D	<L D	91	2.9	7.1	18.7	11	83.4	<L D	<L D	6.6	0.2
1	271	7.25	14.8	18.5	200	<L D	85	3.6	5.9	26.8	25.3	92.4	<L D	<L D	5.3	0.5
13	200	7.55	9	25.1	100	20	60	1.7	4.8	21.8	7.7	49.5	<L D	<L D	1.5	<L D
5	904	7.4	42.2	172.5	<L D	330	222	3.7	27.1	86.2	3.5	71.5	0.2	0.01	0.5	<L D
4	651	7.4	34.5	90.7	<L D	60	210	7.2	19.5	58.9	6.9	56.8	<L D	<L D	1.2	0.5
29	465	7.9	12.5	59.2	200	130	169	6.4	9.4	114	11.1	93.6	0.3	1.16	5.8	0.6
17	301	7.45	23	29.3	100	<L D	109	1.7	8.4	22.6	10	64.5	<L D	<L D	3.6	0.2
28	1695	7.8	54.9	287.2	<L D	<L D	447	6.6	33.1	235	61.7	35.2	<L D	0.03	1	<L D
6	2030	7.6	147	378	400	2950	575	8.4	19.1	187	23.7	43.4	3.3	0.08	1.7	<L D

Annexe 3 : Tableau de analyses AEP du premier trimestre 2003 (DSDS 972)

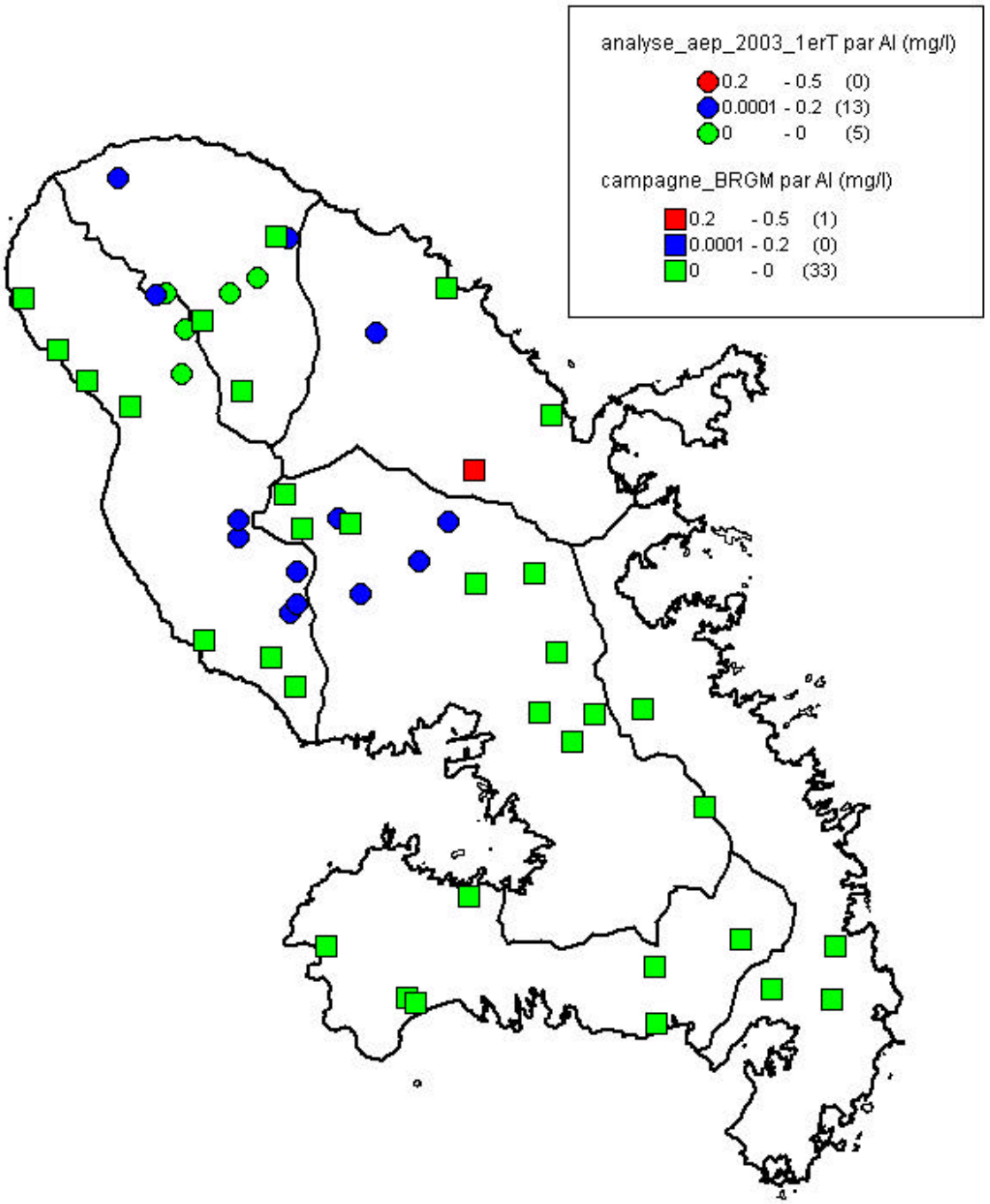
						norme usage non sensible	2	2	2	2	2	1	100		250	100
						norme usage sensible	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	10	1000	50	20
						unité de mesure	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	date du prélèvement	**n°BSS**	**type**	**X**	**Y**	**localisation**	**Atrazine**	**Chlordécone**	**Diuron**	**Hexazinone**	**béta HCH**	**Al**	**As**	**B**	**Mn**	**Ni**
4	17/03/2003	1168ZZ0044	Forage	702928.66	1638406.12	Ajoupa Bouillon - grande savane	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
28	17/03/2003	1168ZZ0047	Source	701473.72	1637648.14	Ajoupa Bouillon - s. marc cecile (trianon)	0	0.05	0.15	0	0	0	-	-	0	-
11	17/02/2003	-	Prise en rivière	704442	1640428.6	Basse Pointe - rivière capot	0	0.42	0	0	0.03	0.16	0	29	0	-
29	17/03/2003	1168ZZ0051	Source	698292.8	1637637.07	Basse Pointe - source mont pelé	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
8	20/01/2003	-	Prise en rivière	704896.65	1623457.45	FdF - rivière absalon	0	0	0	0	0	0.05	0	28	0	-
17	20/01/2003	-	Prise en rivière	704918.99	1621843.78	FdF - rivière dumauze	0	0	0	0	0	0.06	0	38	0	-
7	17/02/2003	-	Prise en rivière	695868.25	1643489.61	Grand Rivière - grande rivière	0	0	0	0	0	0.02	0	21	0	-
18	03/02/2003	-	Prise en rivière	712537.89	1625971.27	Gros Morne - rivière lézarde	0	0	0	0	0	0.05	0	15	0	-
15	10/03/2003	-	Prise en rivière	708876.71	1635576.07	Lorrain - rivière du lorrain	0	0	0	0	0	0.02	0		0	-
25	17/03/2003	1168ZZ0050	Source	699218.74	1635771.15	Morne Rouge - source escente	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
30	17/02/2003	1168ZZ0053	Source	699028.78	1633520.18	Morne Rouge - source morestin	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
2	17/02/2003	-	Prise en rivière	701949.81	1625242.08	Morne Vert - chapeau nègre (verrier)	-	-	-	-	-	0.02	0	19	0	-
23	17/03/2003	-	Prise en rivière	701906.55	1626054.92	Morne Vert - rivière picard (mont bouche)	0	0	0	0	0	0.02	0	14	0	-
9	03/02/2003	-	Prise en rivière	711112.6	1623956.54	Saint Joseph - rivière blanche	0	0	0	0	0	0.07	0	19	0	-
10	03/02/2003	-	Prise en rivière	707034.86	1626203.12	Saint Joseph - rivière blanche bouliki	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	-
22	03/02/2003	-	Prise en rivière	708144.64	1622372.32	Saint Joseph - rivière monsieur	0	0.9	0	0	0.07	0.06	5	23	0	-
31	17/03/2003	1167ZZ0052	Source	697756.95	1637526.09	Saint Pierre - source pecoul	-	-	-	-	-	0.01	-	-	0	-
16	20/01/2003	-	Prise en rivière	704547.84	1621404.21	Schoelcher - rivière duclos	0	0	0	0	0	0.05	0	27	0	-

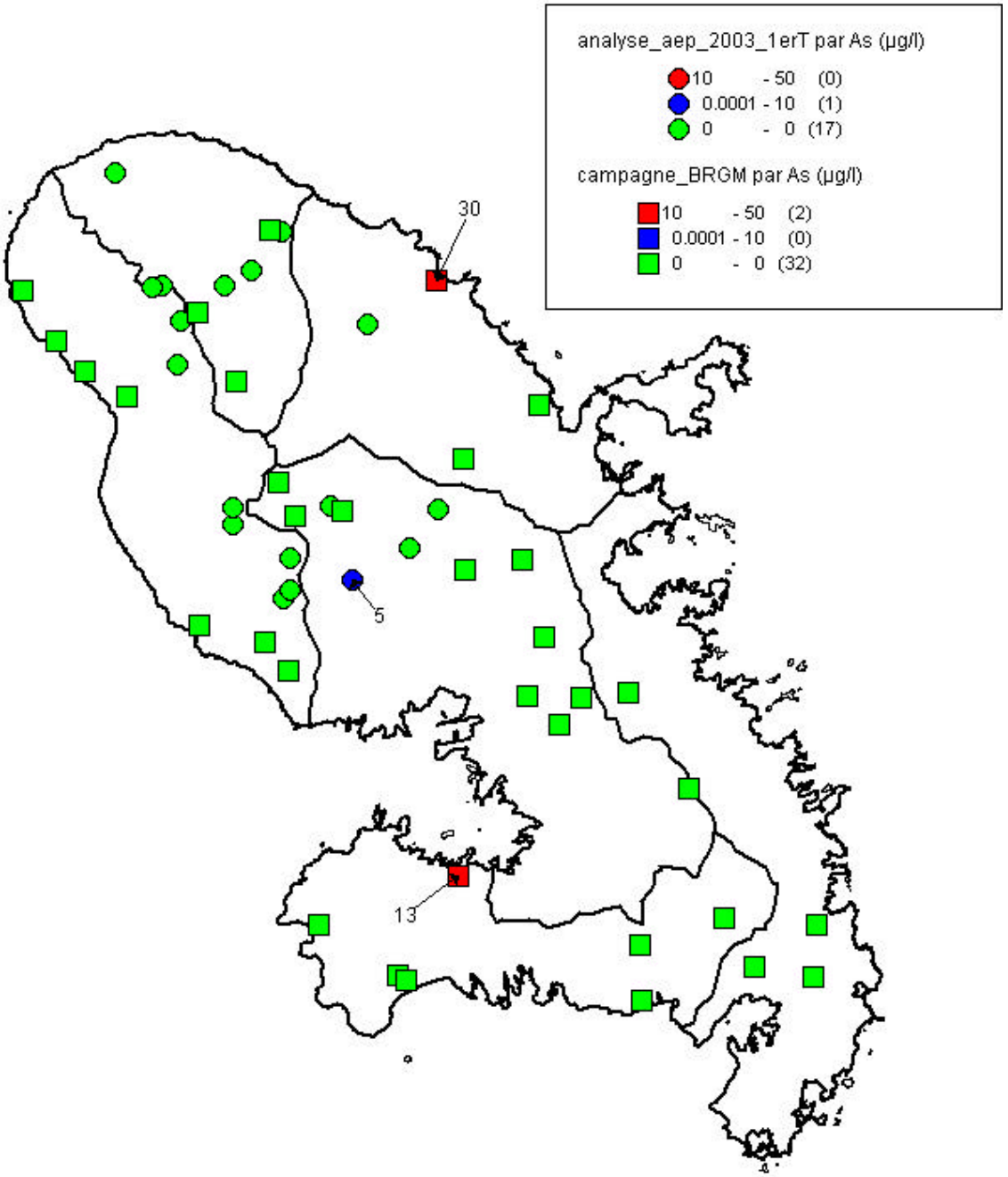
				500	3000								4	2.5	100	
		6.5-9		250	1500	200		12	50	200	250		0.1	0.5	50	5
	µS/cm		mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Conductivité	**pH**	**Ca**	**Cl**	**F**	**Fe**	**HCO3**	**K**	**Mg**	**Na**	**SO4**	**SiO2**	**NH4**	**NO2**	**NO3**	**PO4**
4	194	7.03	20	15	0	0	64	4.4	6.4	15	12.5	-	0	0	18.6	-
28	136	6.83	3.9	10.4	0	0	32.2	0.8	0.7	3	4.7	-	0	0	26.3	-
11	136	8.26	14	10.2	0	125	51.2	2	3	11	10.7	47	0	0	4.5	-
29	55	7.23	3.4	4.6	34	0	15.3	1.05	0.9	6.1	63	-	0	0	0.2	-
8	114	8.08	8.1	9.6	0	44	53	1.2	2.3	9.7	2	38	0	0	0.8	-
17	172	8.18	15.6	11	0	36	91.2	2	4.4	14.7	2.8	48	0	0	1.1	-
7	100	7.94	7.7	8.7	0	0	44.2	1.6	1.8	10.4	2.5	48	0	0	0.5	-
18	76	7.65	5.1	7.7	0	100	30.4	0.67	1.7	7.5	2	25	0	0	0.4	-
15	96	7.98	8	7.2	7	0	29.5	0.61	2	7.7	13.4	-	0	0	0.2	-
25	84	6.84	6.8	7.7	0	0	33.2	1.74	1.2	9.4	2.5	-	0	0	3.5	-
30	148	7.11	13.4	9.5	9	0	67	2.5	3.6	14	4.6	84	0	0	4	-
2	73	7.91	6.4	6	0	0	34.2	0.5	1.5	6.7	1.1	25	0	0	0.1	-
23	69	7.73	6.6	5	0	52	34	0.5	1.5	6	1.6	25	0	0	0.1	-
9	104	7.81	9.4	7.5	0	108	50.8	0.81	2.6	8.7	1.7	34	0	0	0.4	-
10	96	7.91	8.6	6.5	0	31	44.4	0.72	2.1	8.1	2	32	0	0	0.2	-
22	99	7.62	6.4	10.3	0	75	36.8	1.3	2	10.6	2	37	0	0	2.2	-
31	50	7.45	2	4.6	3	0	17	1.75	0.5	6.2	3.1	-	0	0	0.1	-
16	101	8.12	5.3	9.7	0	49	42.5	2	1.8	8.1	2.3	35	0	0	0.4	-

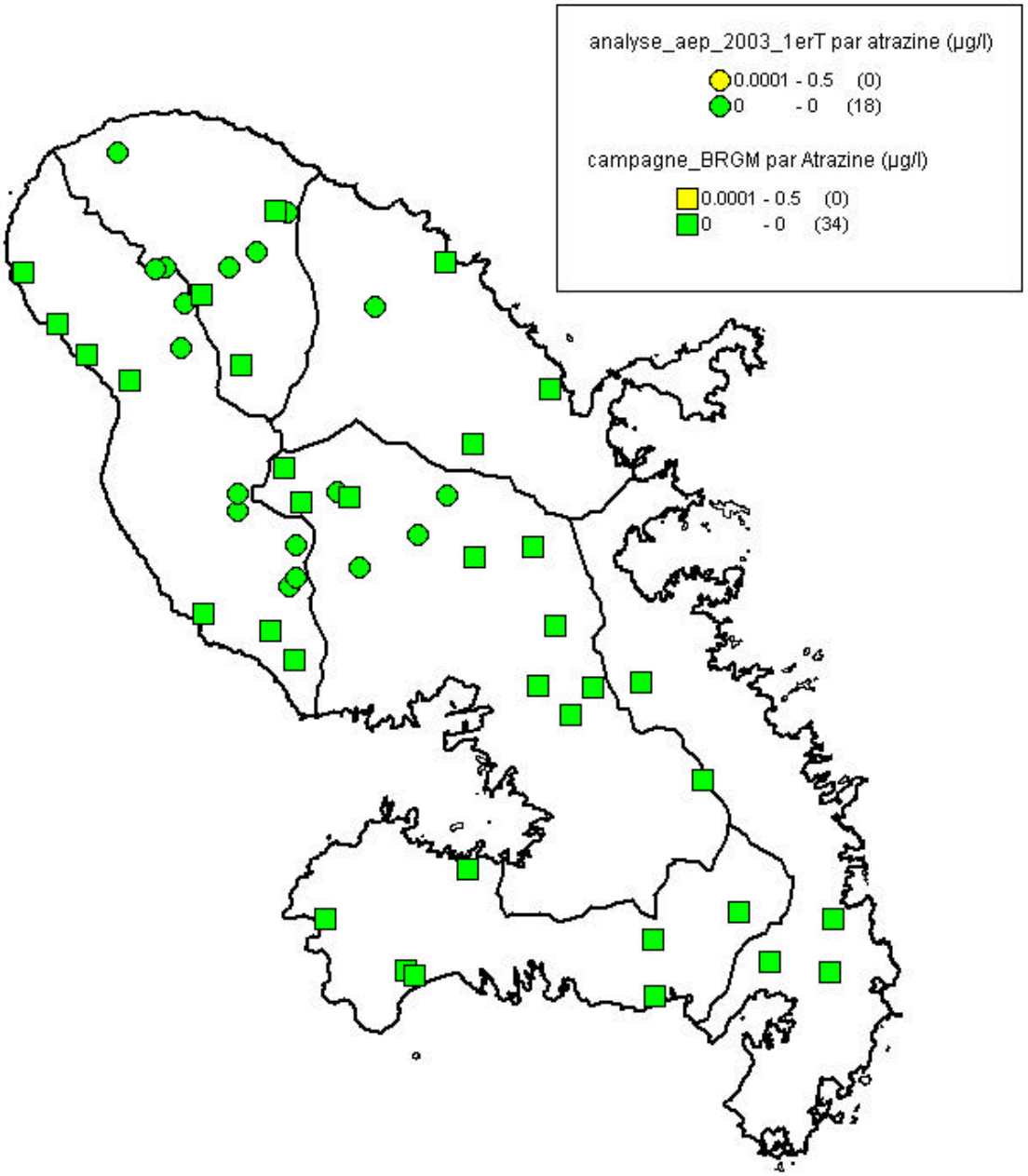
Annexe 4 : Cartographie des analyses étudiées élément par élément

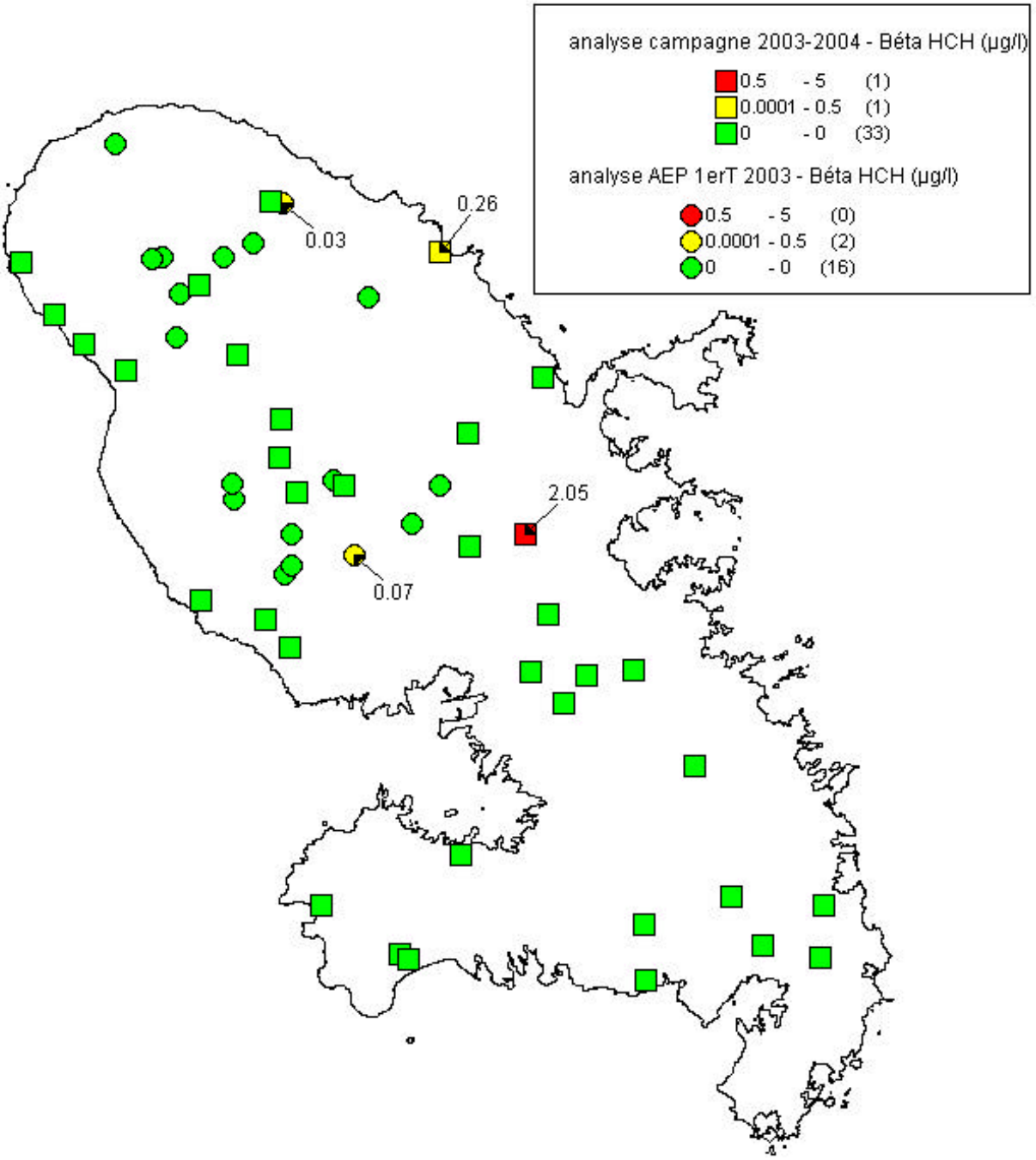
Les éléments sont dans l'ordre alphabétique :

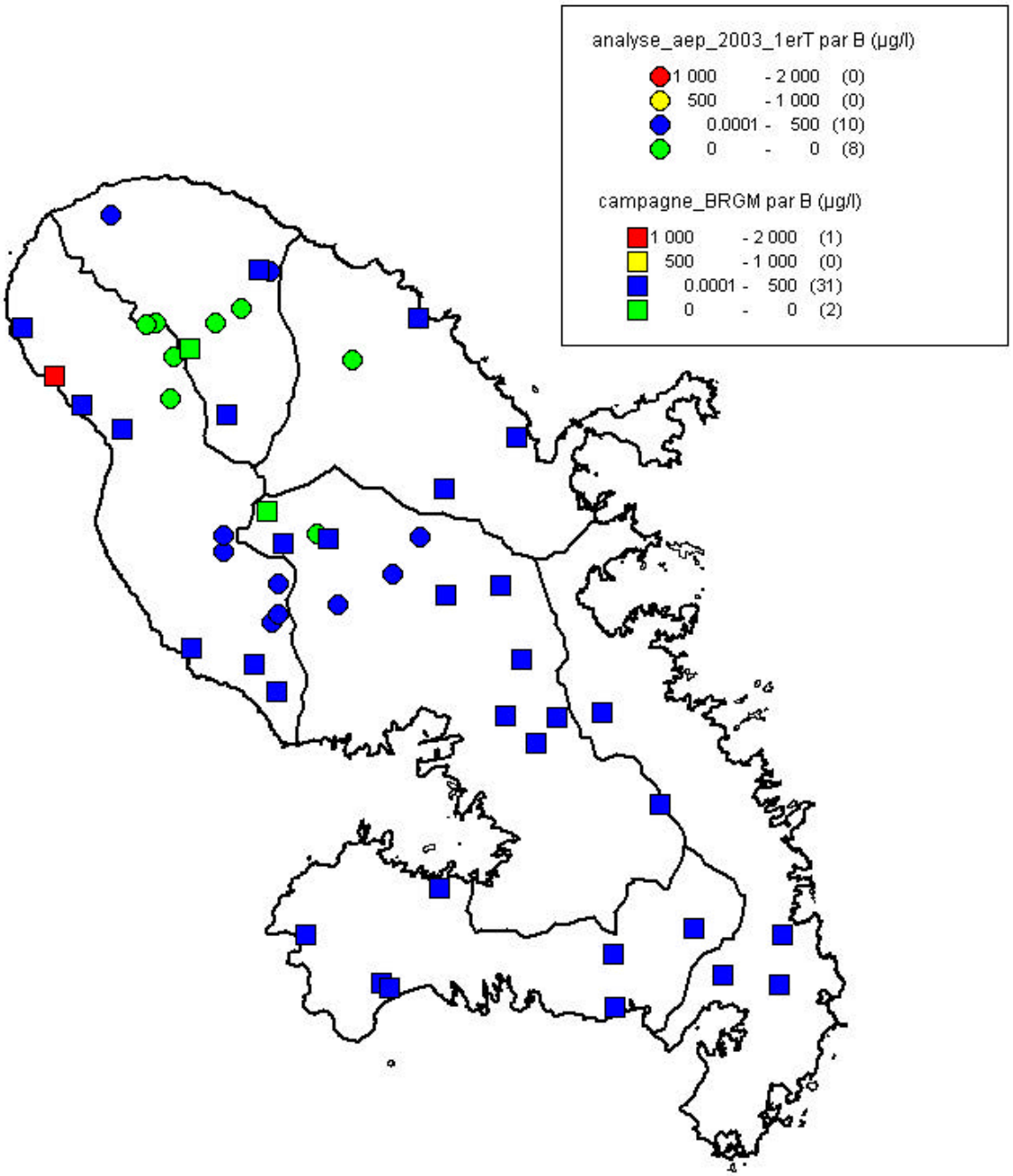
- Al : aluminium
- As : arsenic
- Atrazine
- B : bore
- Béta HCH
- Ca : calcium
- Chlordécone
- Cl : chlore
- Conductivité
- Diuron
- F : fluor
- Fe : fer
- HCO3 : bicarbonates
- Hexazinone
- K : potassium
- Mg : magnésium
- Mn : manganèse
- Na : sodium
- NH4 : ammonium
- Ni : nickel
- NO2 : nitrites
- NO3 : nitrates
- pH
- PO4 : phosphates
- SiO2 : silice
- SO4 : sulfates

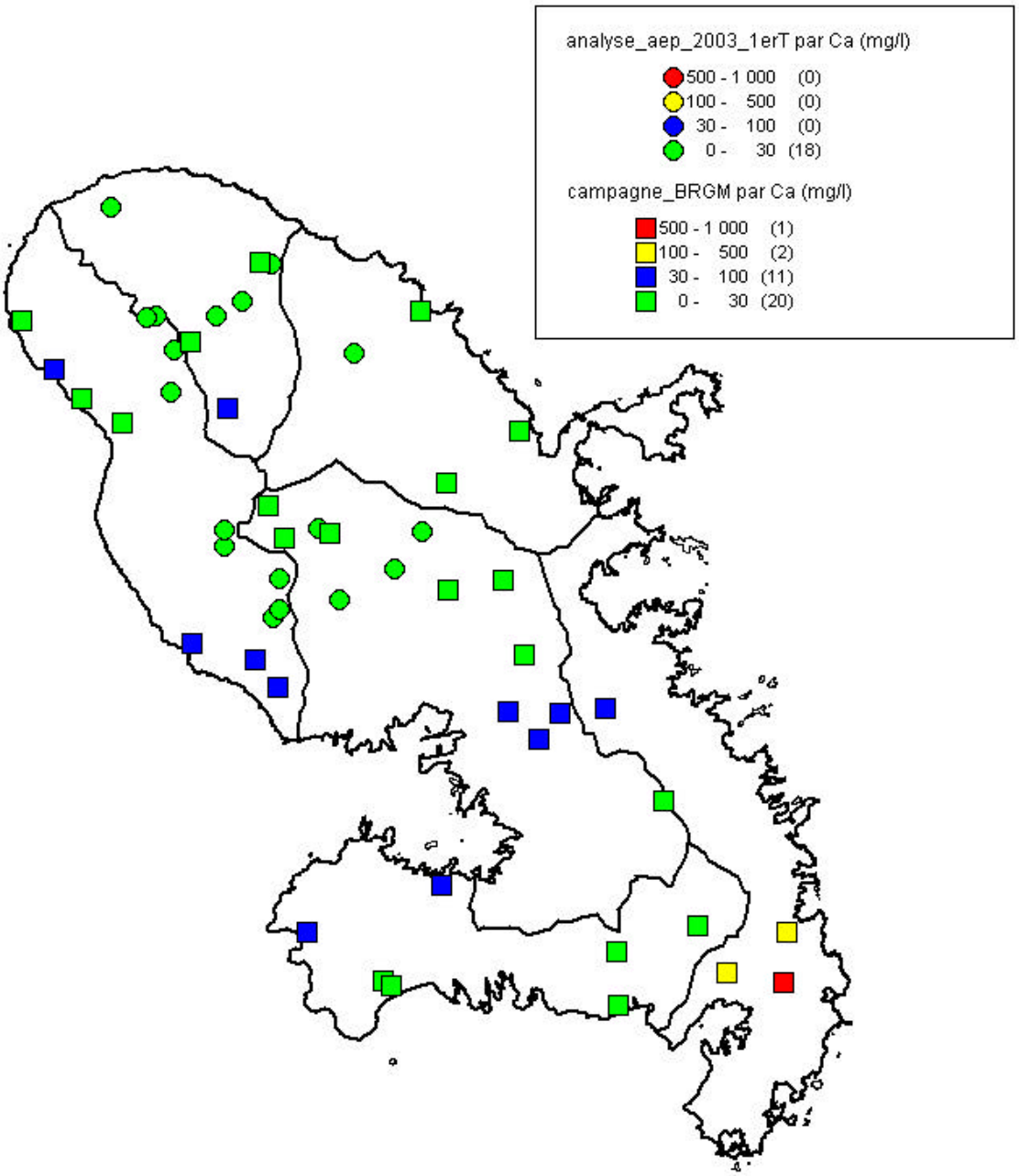

analyse_aep_2003_1erT par Al (mg/l)
0.2 - 0.5 (0)
0.0001 - 0.2 (13)
0 - 0 (5)
campagne_BRGM par Al (mg/l)
0.2 - 0.5 (1)
0.0001 - 0.2 (0)
0 - 0 (33)

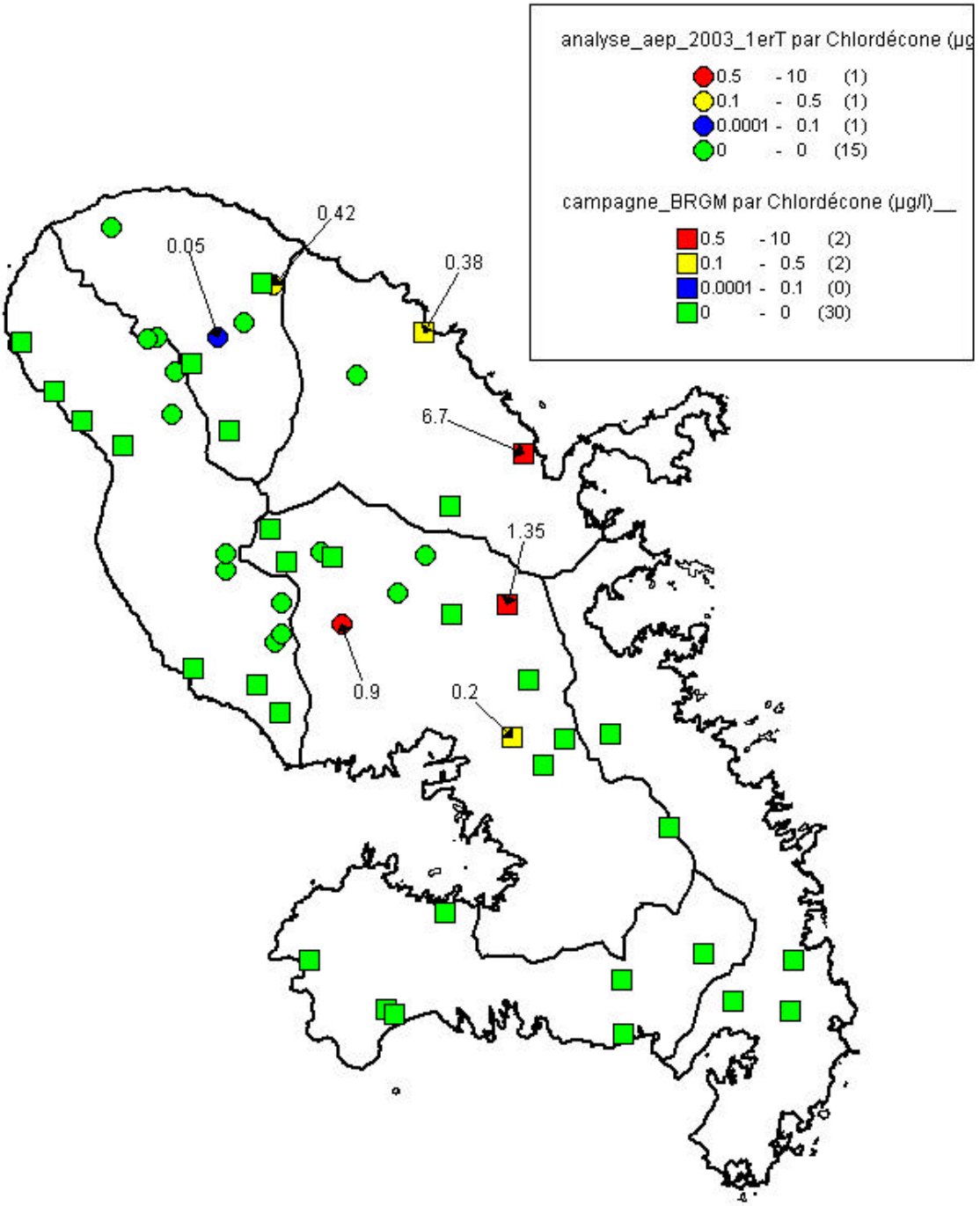

analyse_aep_2003_1erT par As (µg/l)
10 - 50 (0)
0.0001 - 10 (1)
0 - 0 (17)
campagne_BRGM par As (µg/l)
10 - 50 (2)
0.0001 - 10 (0)
0 - 0 (32)
30
5
13

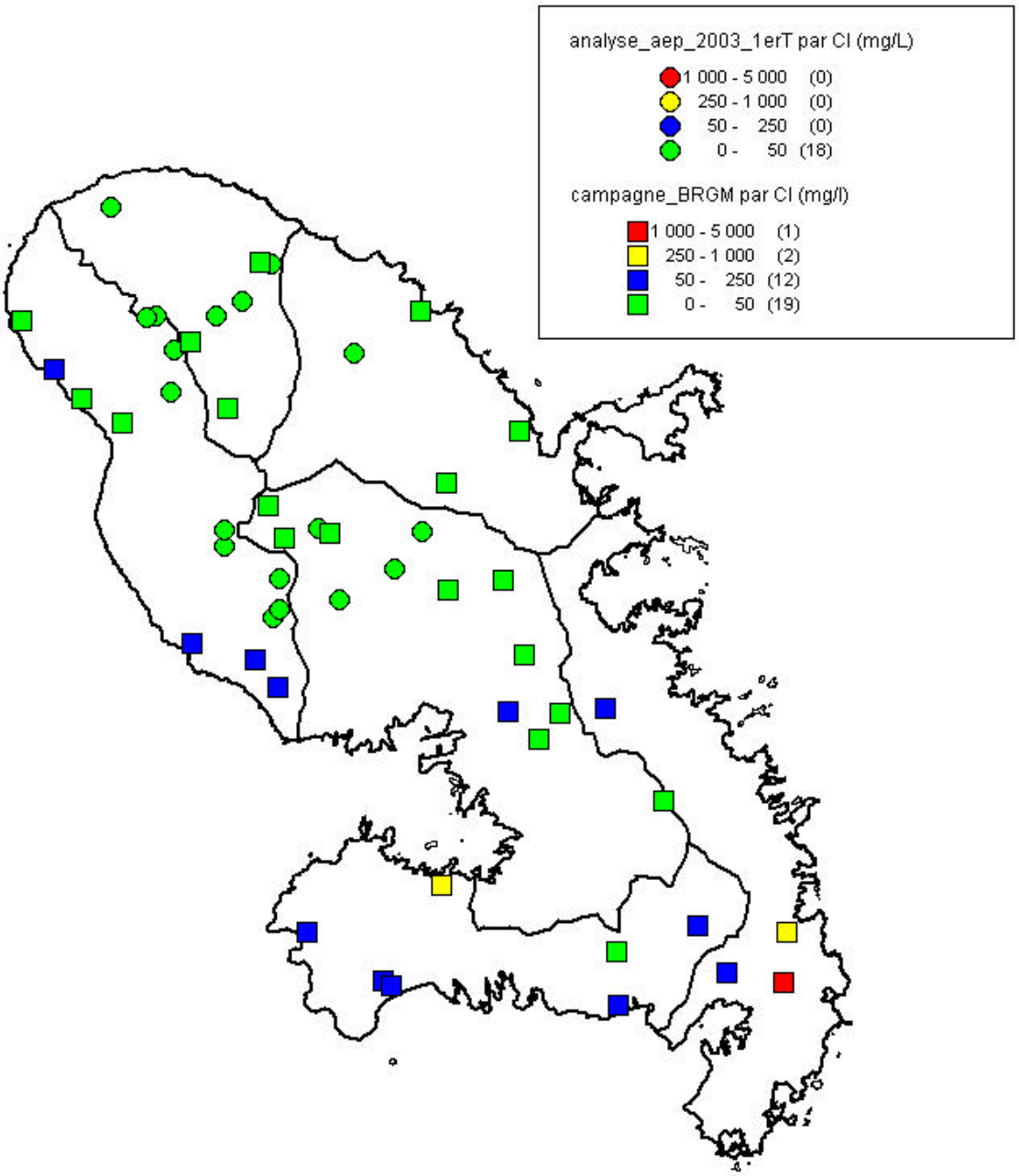

analyse_aep_2003_1erT par atrazine (µg/l)
0.0001 - 0.5 (0)
0 - 0 (18)
campagne_BRGM par Atrazine (µg/l)
0.0001 - 0.5 (0)
0 - 0 (34)

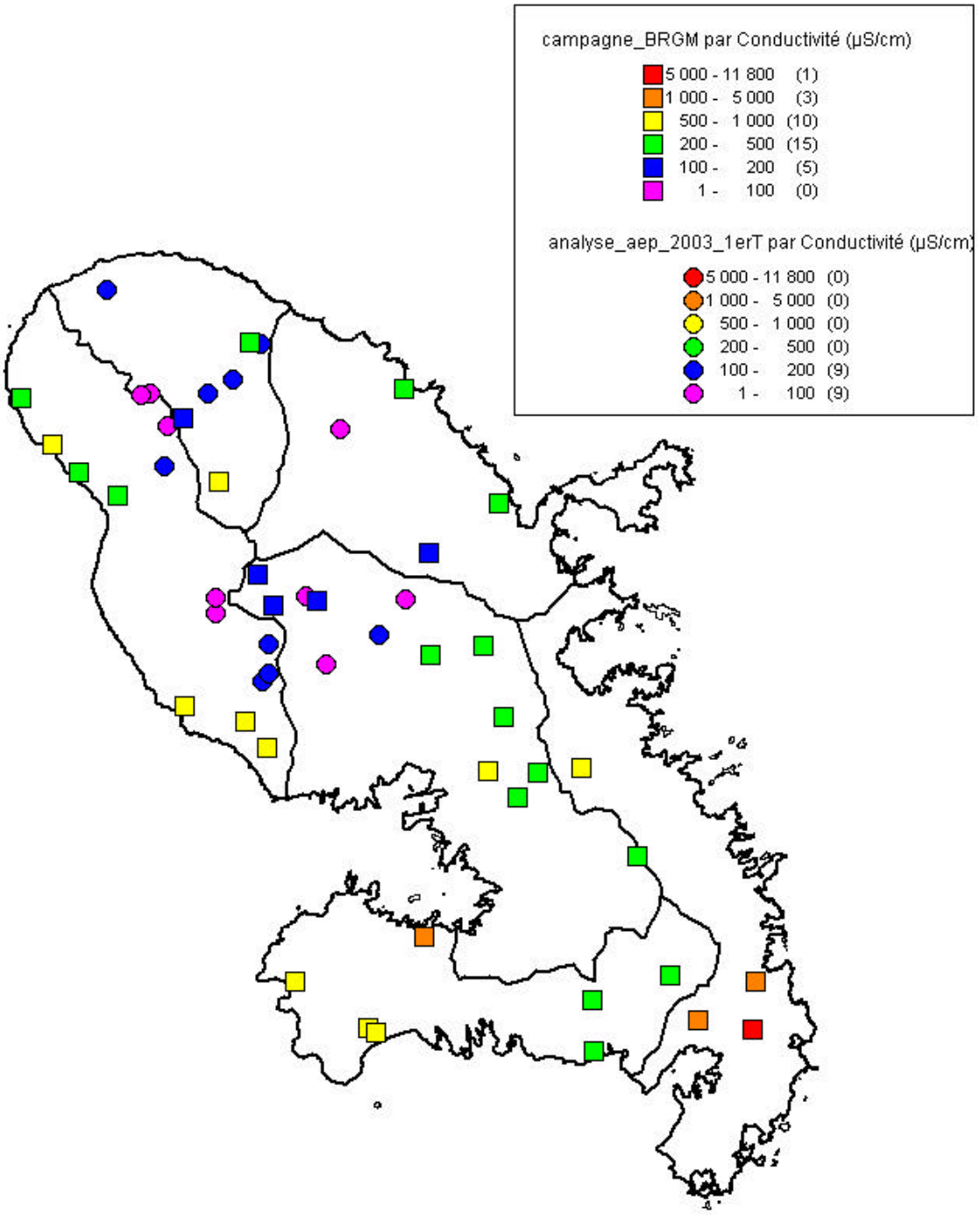

analyse campagne 2003-2004 - Béta HCH (µg/l)
0.5 - 5 (1)
0.0001 - 0.5 (1)
0 - 0 (33)
analyse AEP 1erT 2003 - Béta HCH (µg/l)
0.5 - 5 (0)
0.0001 - 0.5 (2)
0 - 0 (16)
0.03
0.26
2.05
0.07

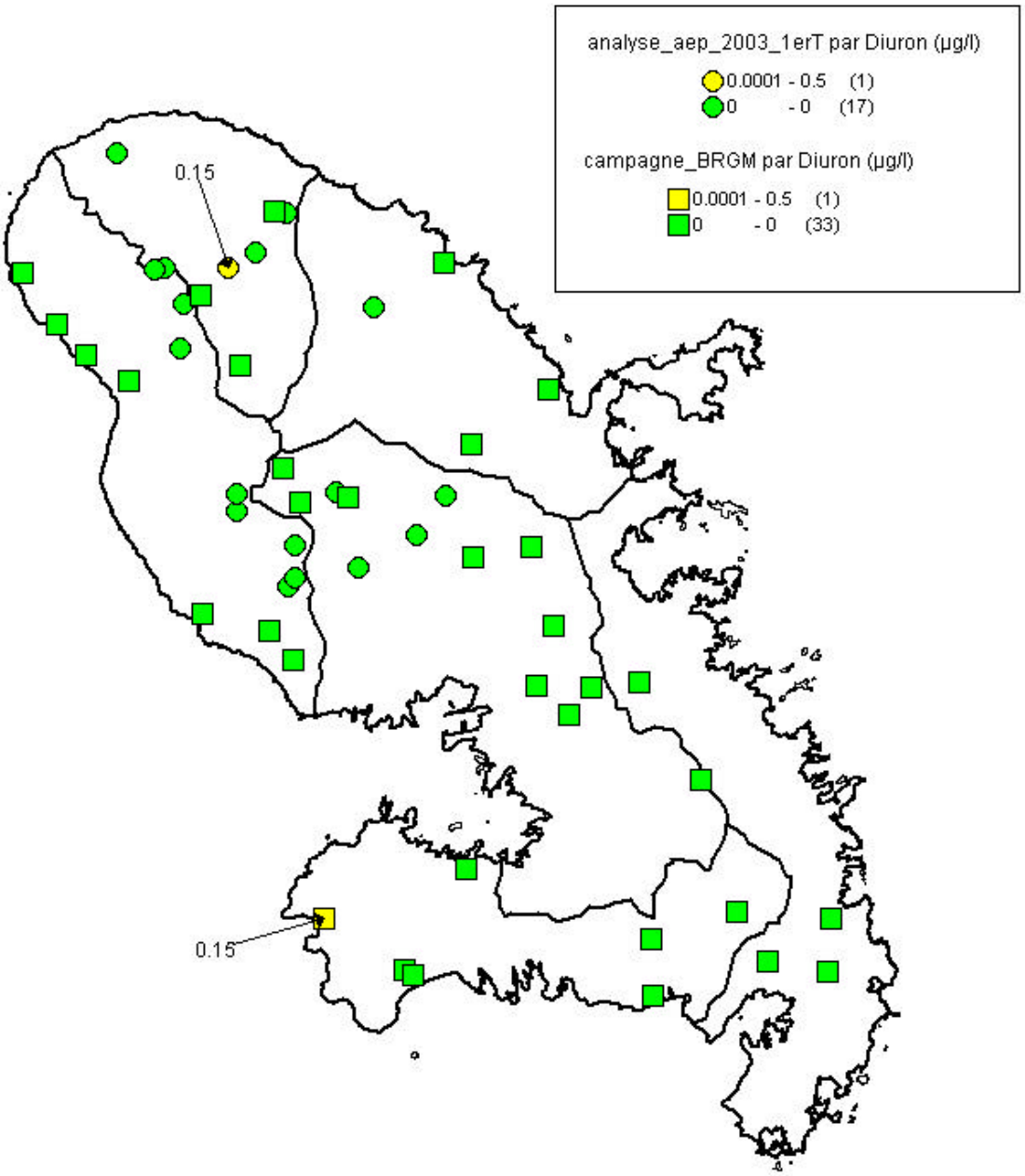

analyse_aep_2003_1erT par B (µg/l)
1 000 - 2 000 (0)
500 - 1 000 (0)
0.0001 - 500 (10)
0 - 0 (8)
campagne_BRGM par B (µg/l)
1 000 - 2 000 (1)
500 - 1 000 (0)
0.0001 - 500 (31)
0 - 0 (2)

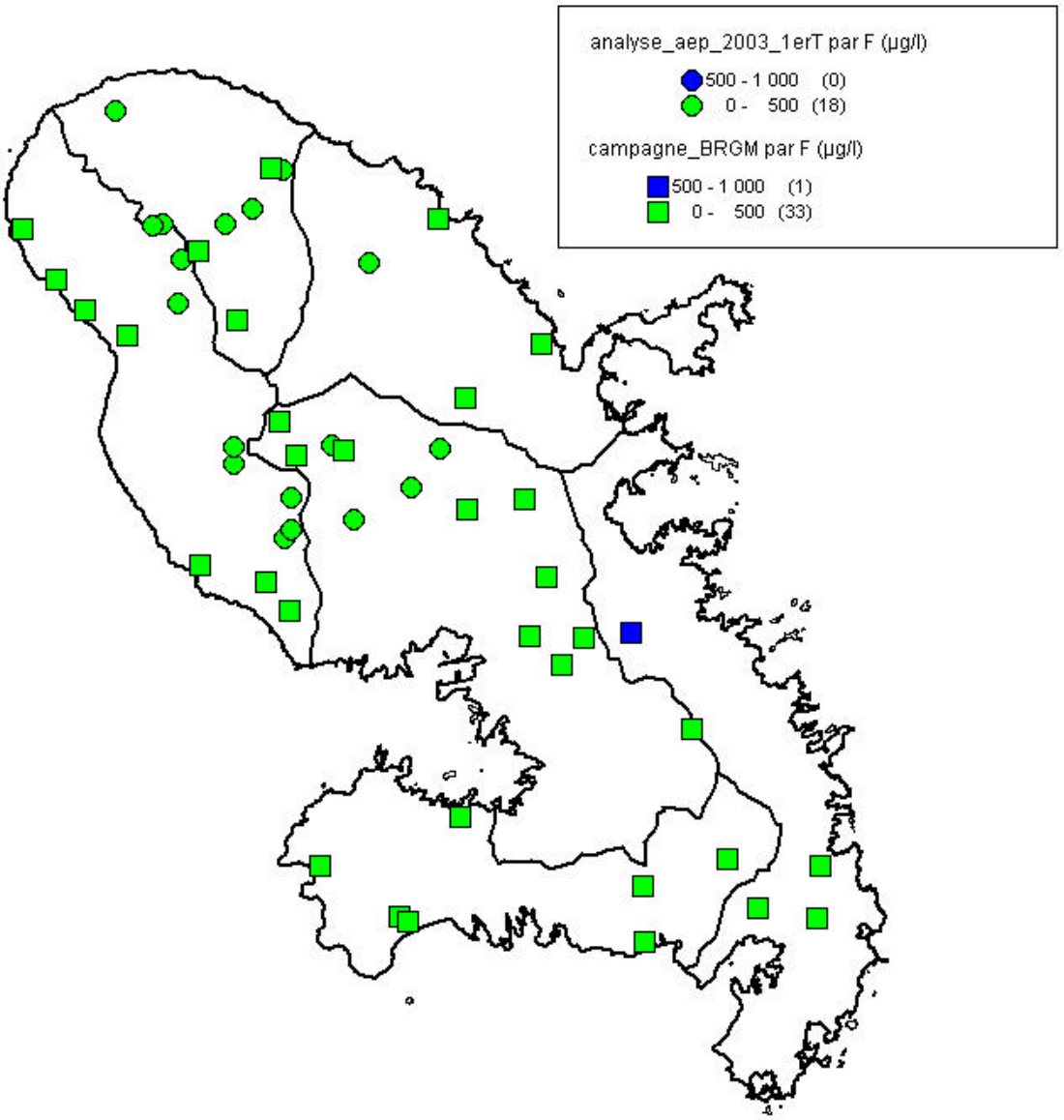

analyse_aep_2003_1erT par Ca (mg/l)
500 - 1 000 (0)
100 - 500 (0)
30 - 100 (0)
0 - 30 (18)
campagne_BRGM par Ca (mg/l)
500 - 1 000 (1)
100 - 500 (2)
30 - 100 (11)
0 - 30 (20)

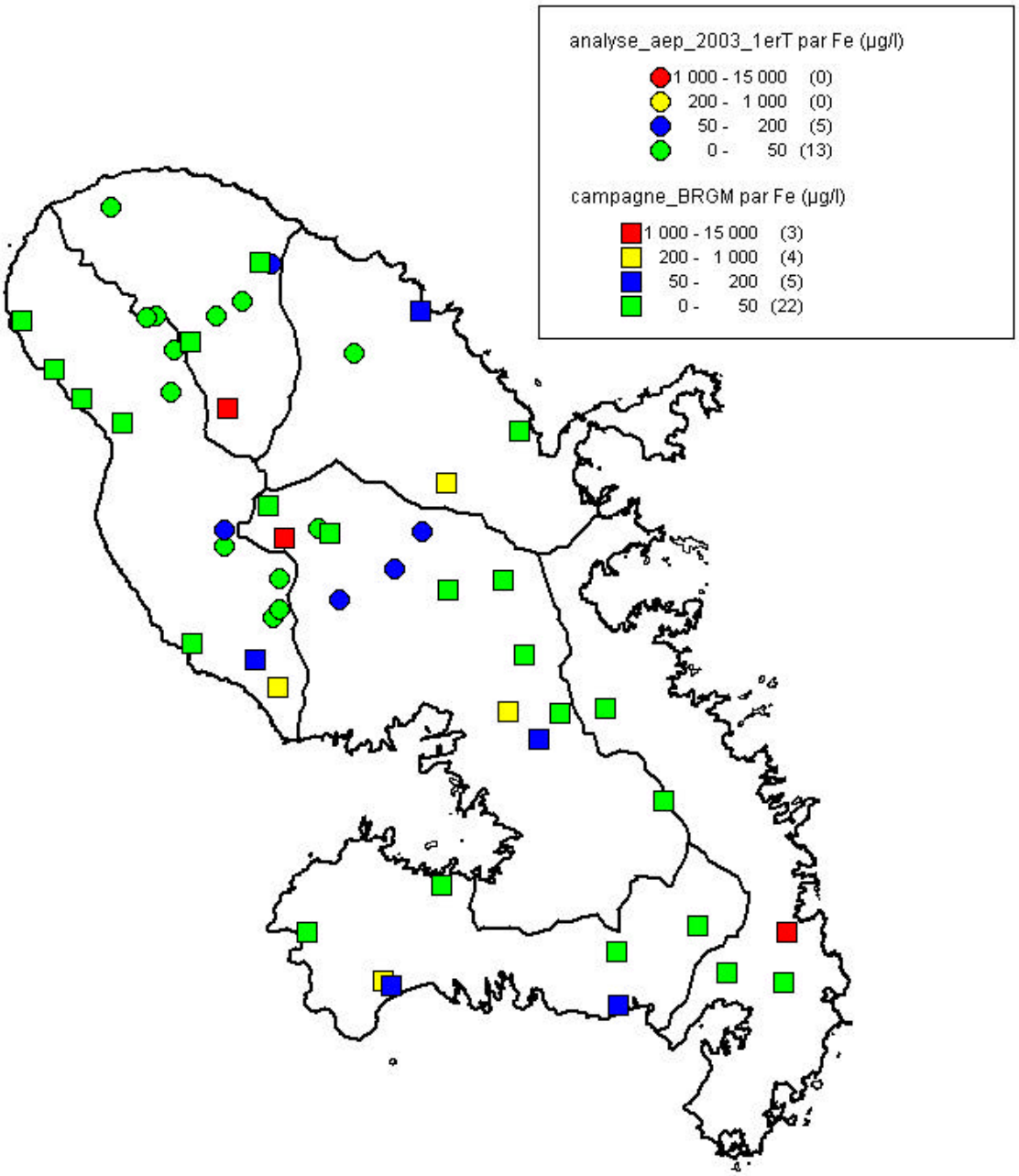

analyse_aep_2003_1erT par Chlordécone (µg
0.5 - 10 (1)
0.1 - 0.5 (1)
0.0001 - 0.1 (1)
0 - 0 (15)
campagne_BRGM par Chlordécone (µg/l)
0.5 - 10 (2)
0.1 - 0.5 (2)
0.0001 - 0.1 (0)
0 - 0 (30)
0.42
0.05
0.38
6.7
1.35
0.9
0.2

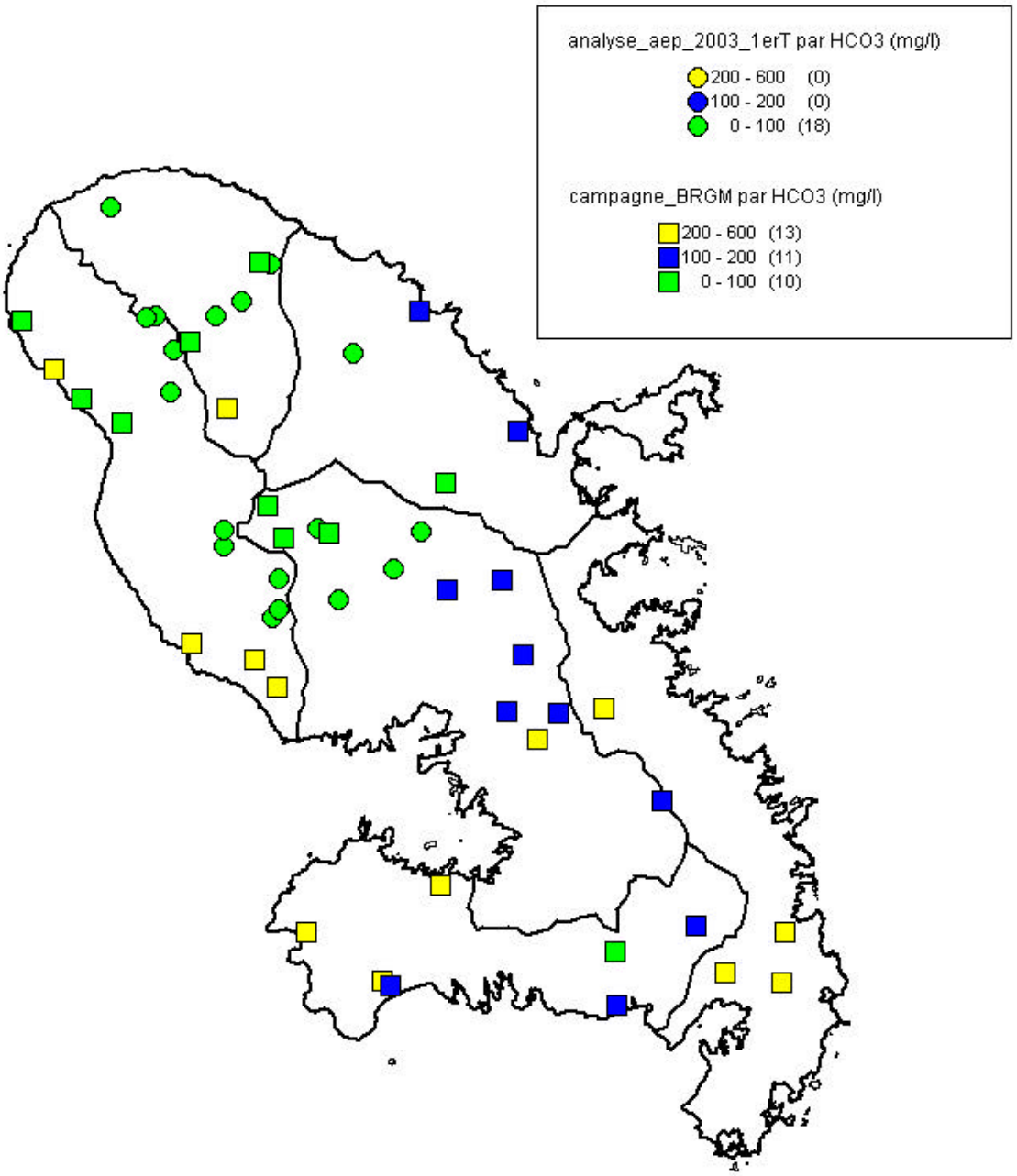

analyse_aep_2003_1erT par Cl (mg/L)
1 000 - 5 000 (0)
250 - 1 000 (0)
50 - 250 (0)
0 - 50 (18)
campagne_BRGM par Cl (mg/l)
1 000 - 5 000 (1)
250 - 1 000 (2)
50 - 250 (12)
0 - 50 (19)

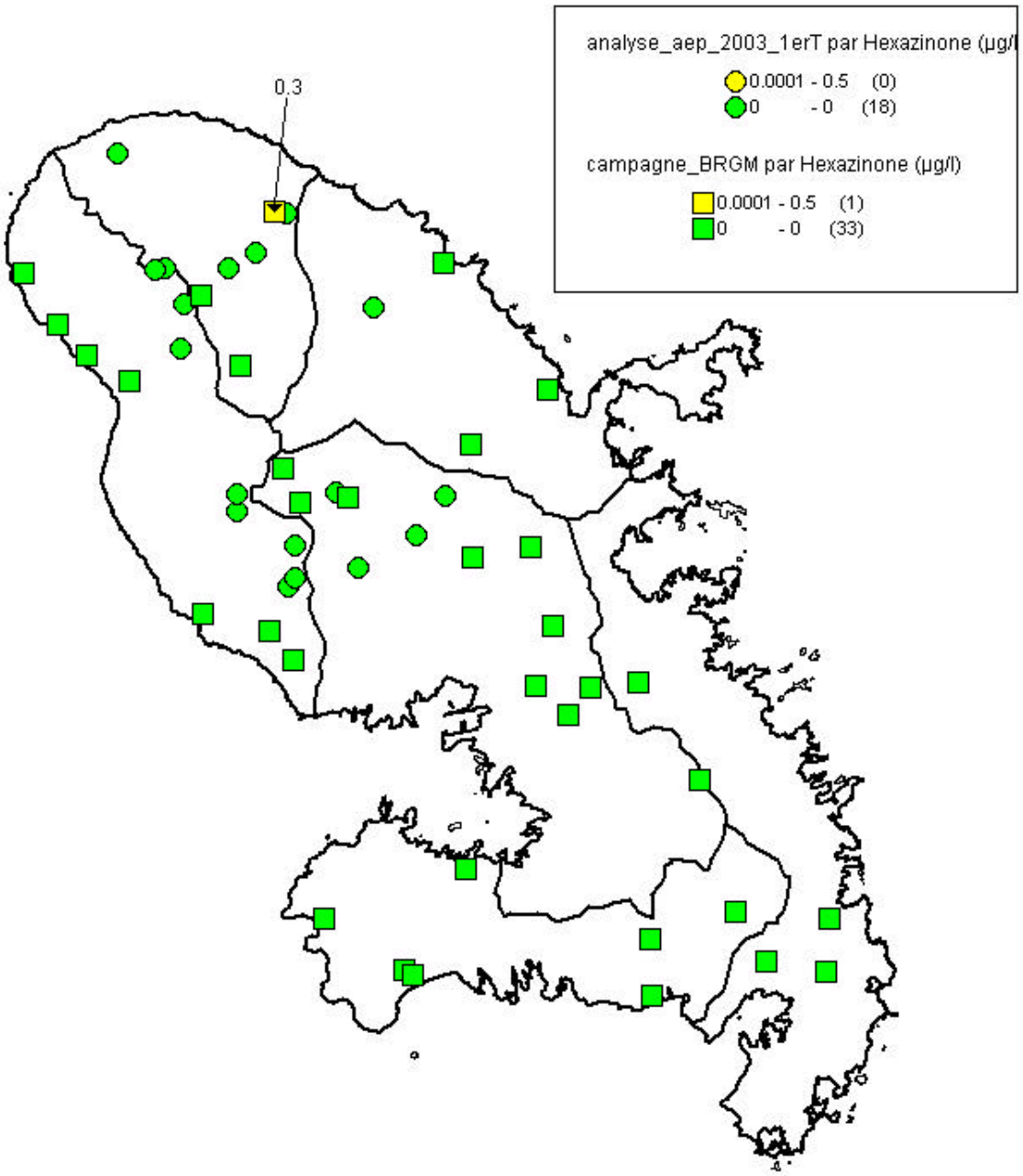

campagne_BRGM par Conductivité (µS/cm)
5 000 - 11 800 (1)
1 000 - 5 000 (3)
500 - 1 000 (10)
200 - 500 (15)
100 - 200 (5)
1 - 100 (0)
analyse_aep_2003_1erT par Conductivité (µS/cm)
5 000 - 11 800 (0)
1 000 - 5 000 (0)
500 - 1 000 (0)
200 - 500 (0)
100 - 200 (9)
1 - 100 (9)

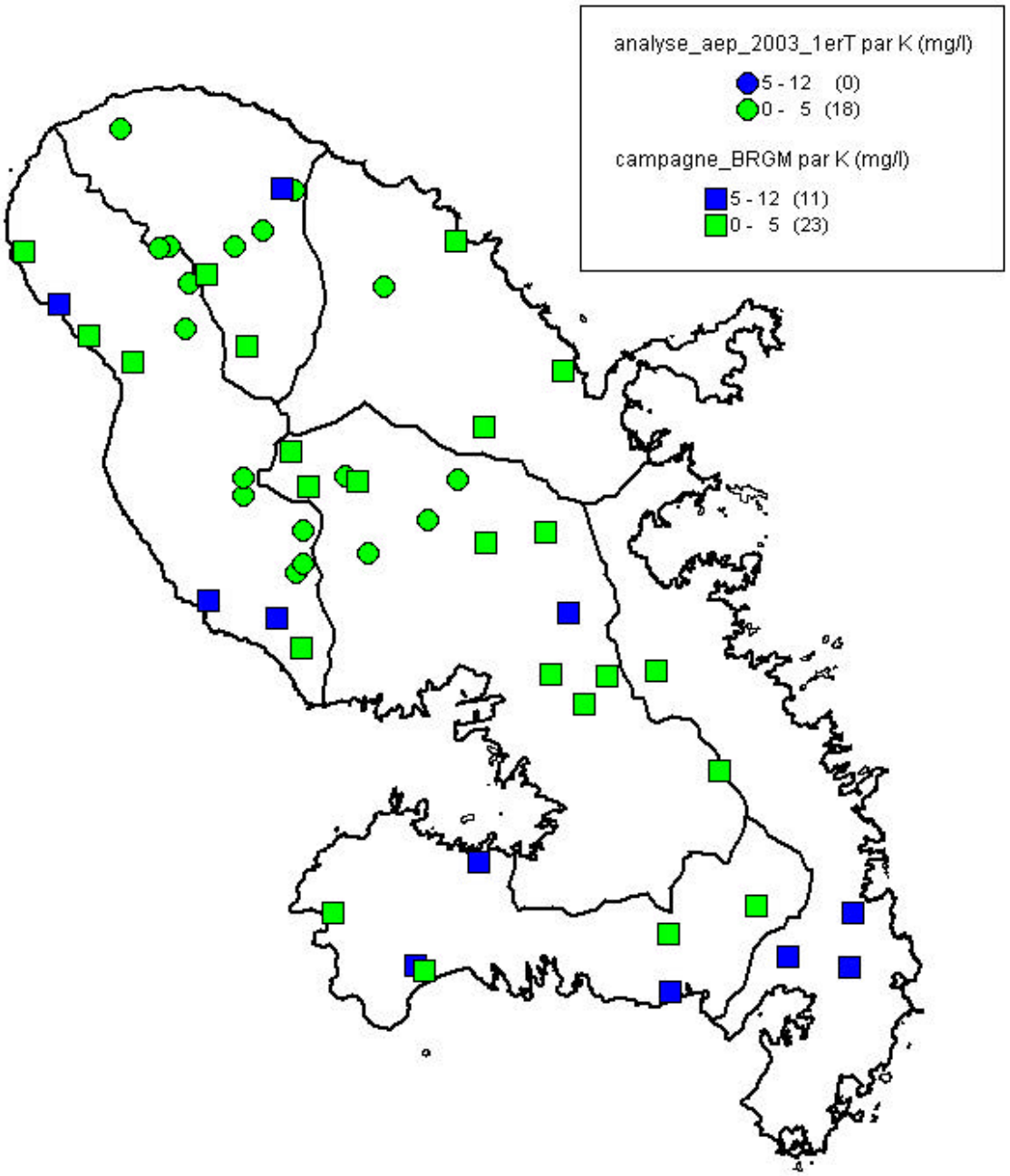

analyse_aep_2003_1erT par Diuron (µg/l)
0.0001 - 0.5 (1)
0 - 0 (17)
campagne_BRGM par Diuron (µg/l)
0.0001 - 0.5 (1)
0 - 0 (33)
0.15
0.15

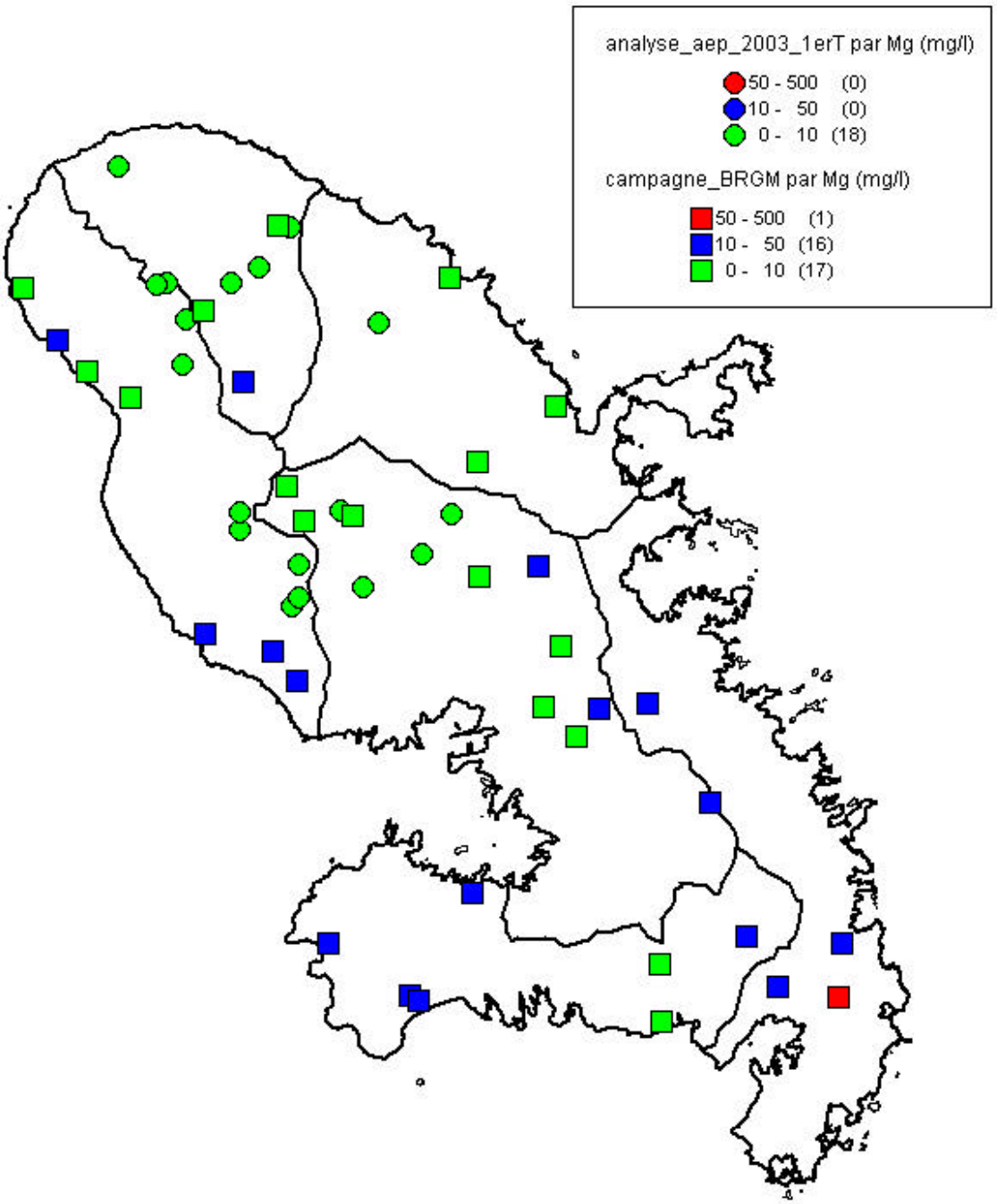

analyse_aep_2003_1erT par F (µg/l)
500 - 1 000 (0)
0 - 500 (18)
campagne_BRGM par F (µg/l)
500 - 1 000 (1)
0 - 500 (33)

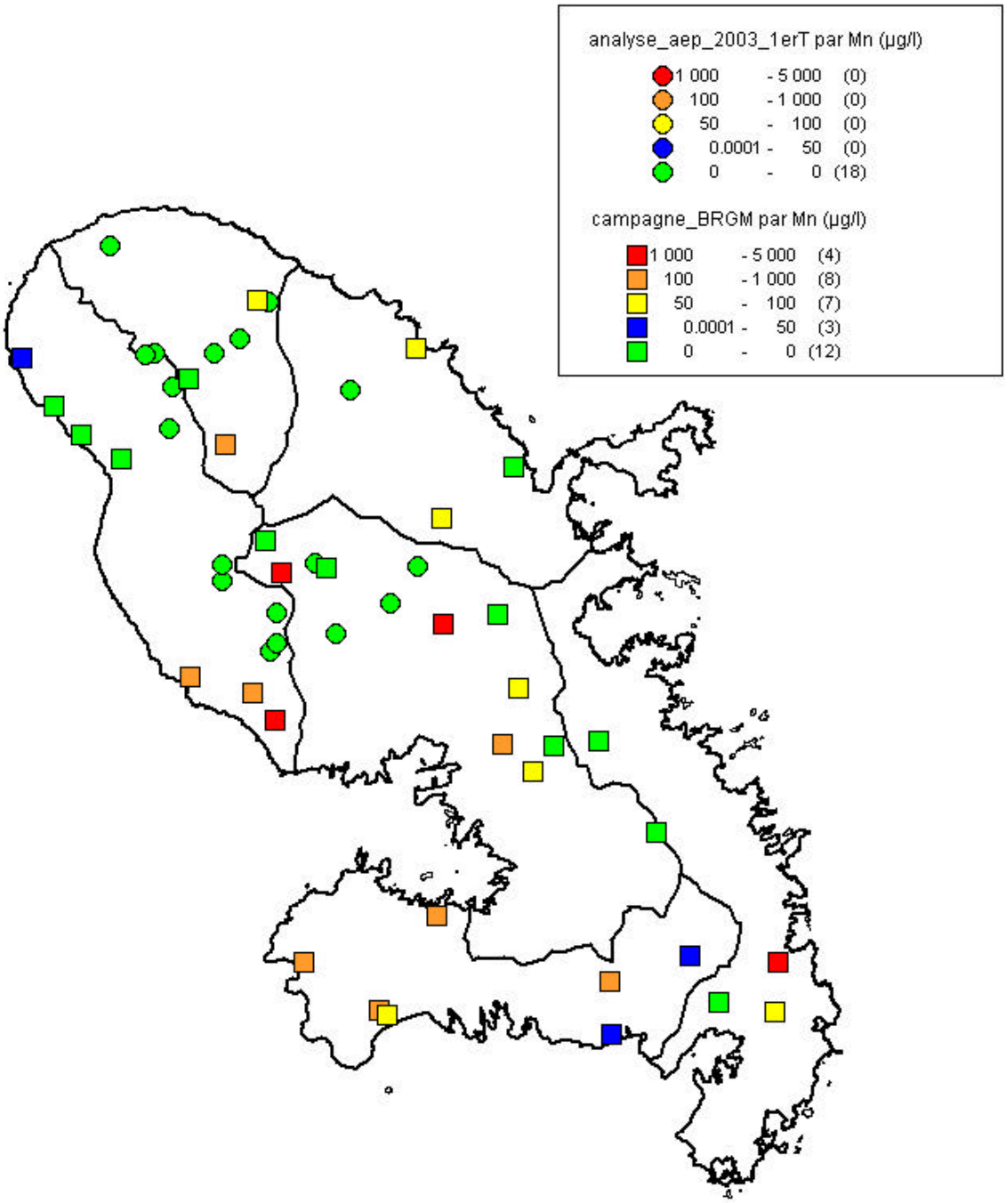

analyse_aep_2003_1erT par Fe (µg/l)
1 000 - 15 000 (0)
200 - 1 000 (0)
50 - 200 (5)
0 - 50 (13)
campagne_BRGM par Fe (µg/l)
1 000 - 15 000 (3)
200 - 1 000 (4)
50 - 200 (5)
0 - 50 (22)

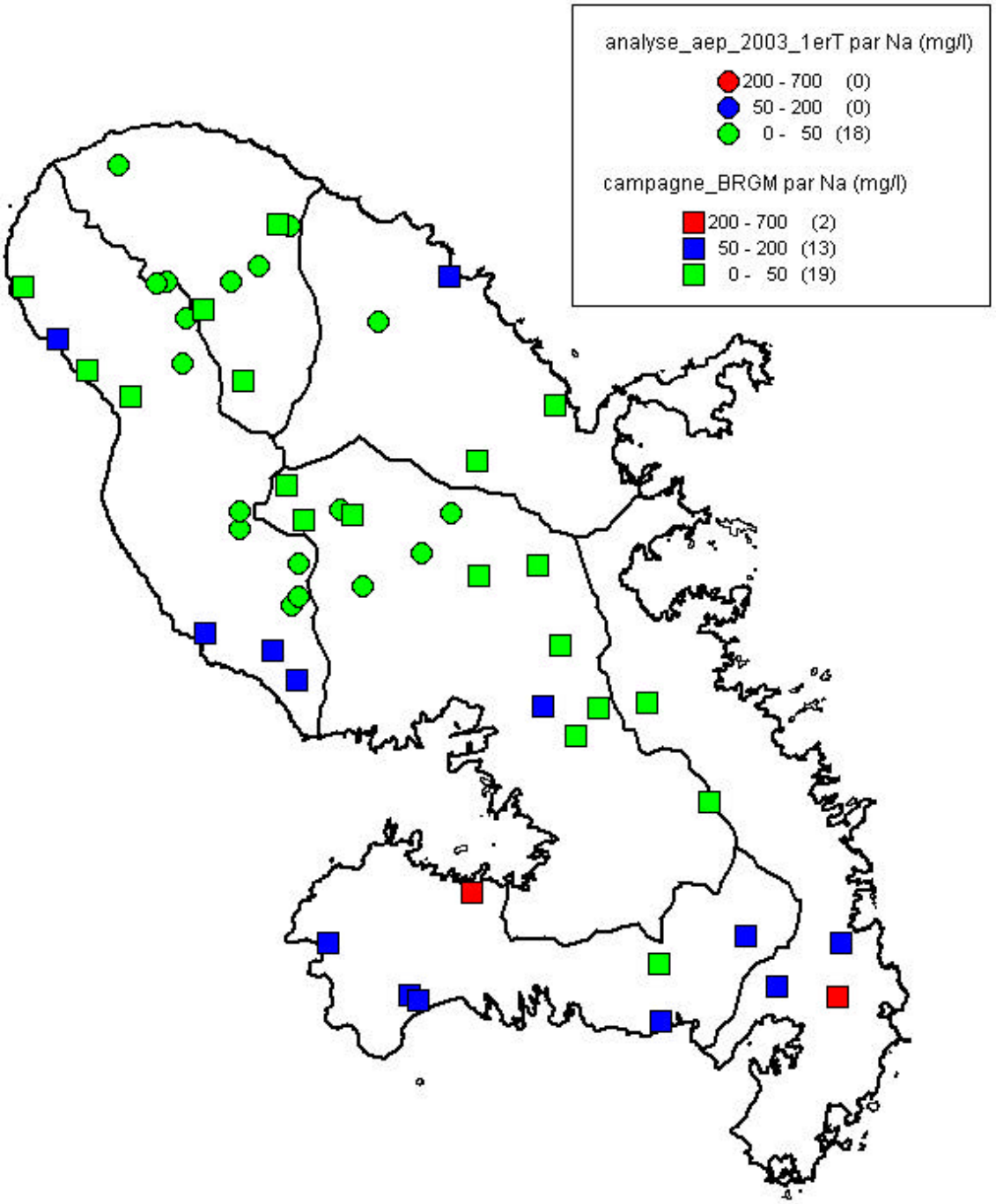

analyse_aep_2003_1erT par HCO3 (mg/l)
200 - 600 (0)
100 - 200 (0)
0 - 100 (18)
campagne_BRGM par HCO3 (mg/l)
200 - 600 (13)
100 - 200 (11)
0 - 100 (10)

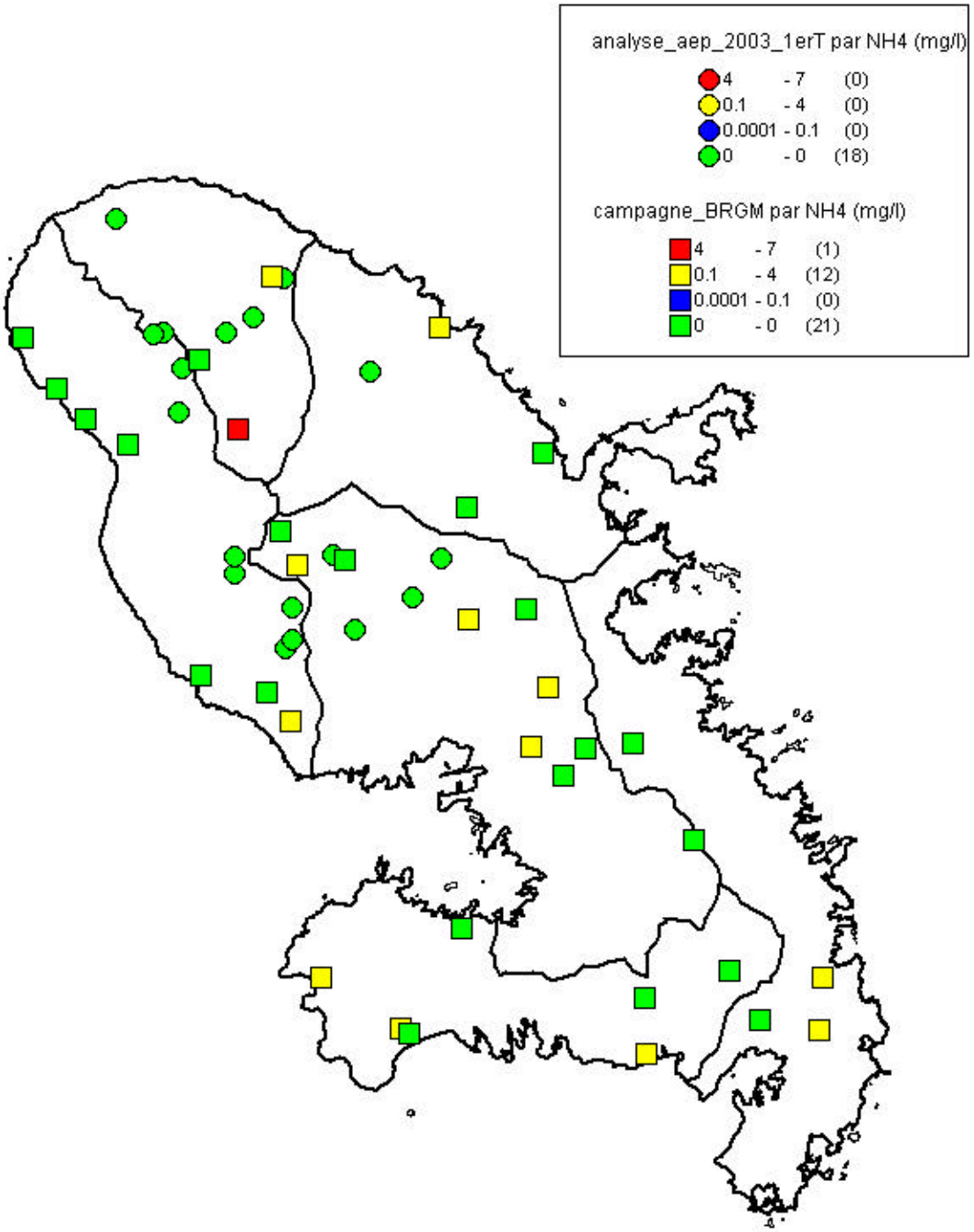

0.3
analyse_aep_2003_1erT par Hexazinone (µg/l
0.0001 - 0.5 (0)
0 - 0 (18)
campagne_BRGM par Hexazinone (µg/l)
0.0001 - 0.5 (1)
0 - 0 (33)

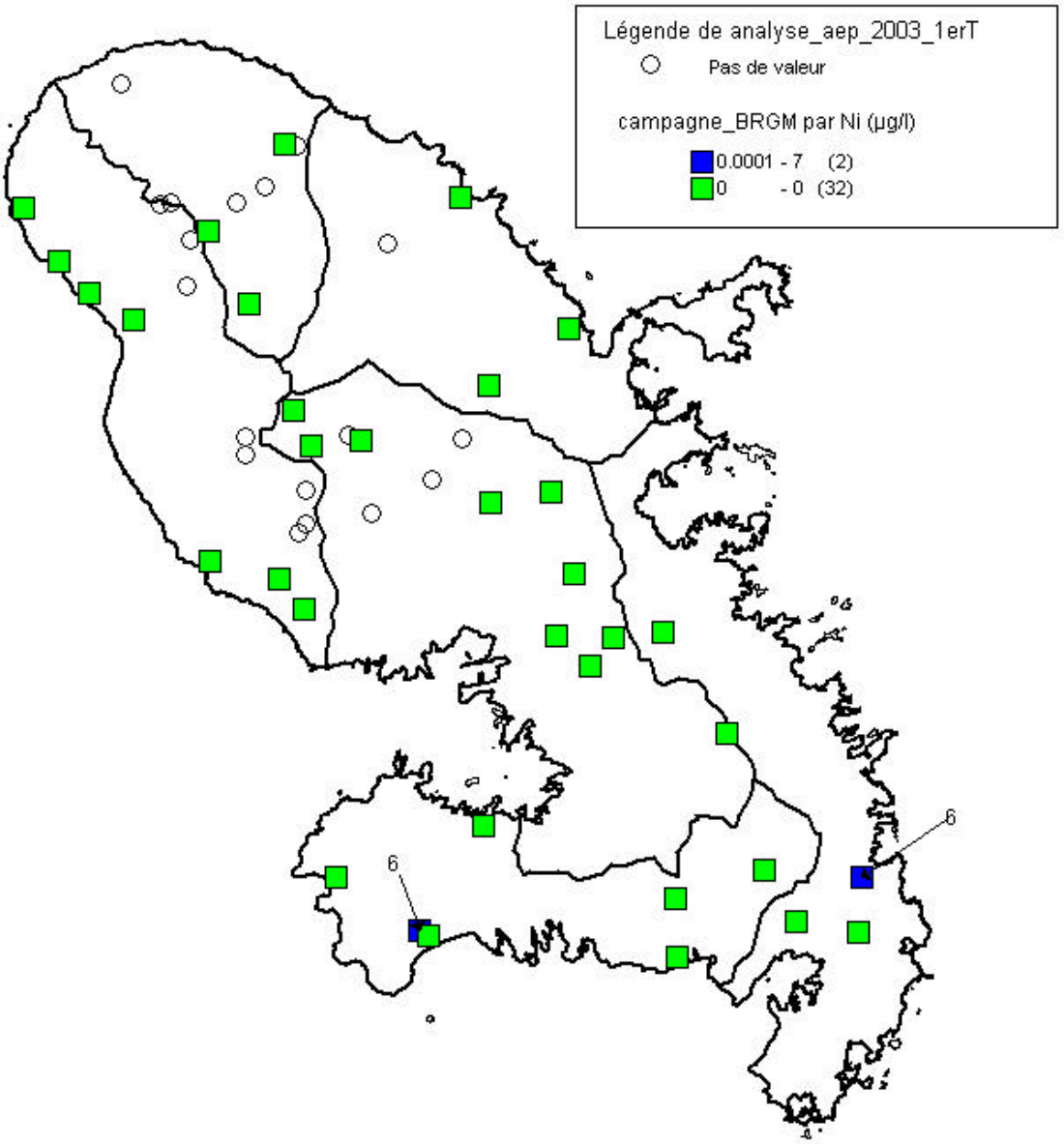

analyse_aep_2003_1erT par K (mg/l)
5 - 12 (0)
0 - 5 (18)
campagne_BRGM par K (mg/l)
5 - 12 (11)
0 - 5 (23)

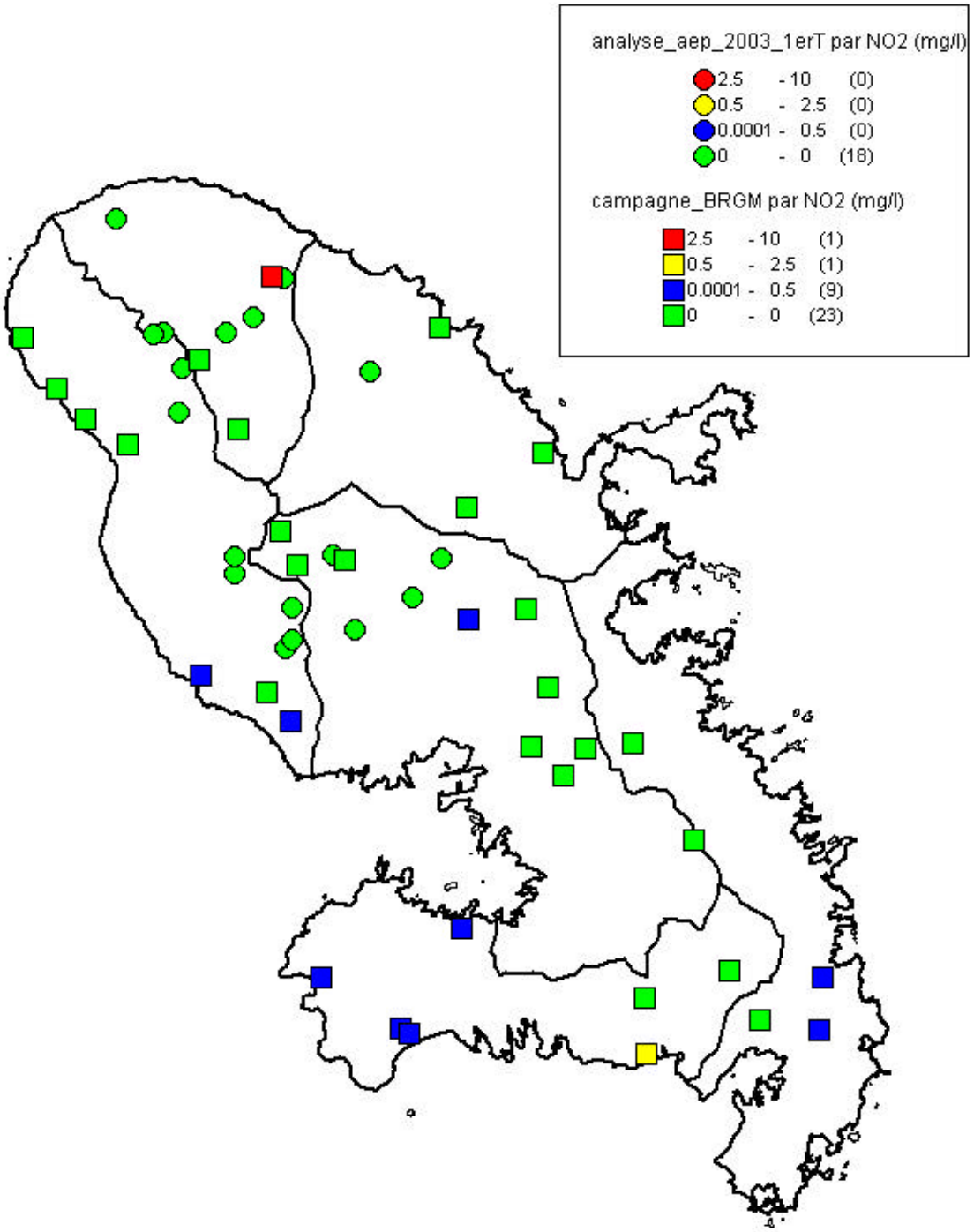

analyse_aep_2003_1erT par Mg (mg/l)
50 - 500 (0)
10 - 50 (0)
0 - 10 (18)
campagne_BRGM par Mg (mg/l)
50 - 500 (1)
10 - 50 (16)
0 - 10 (17)

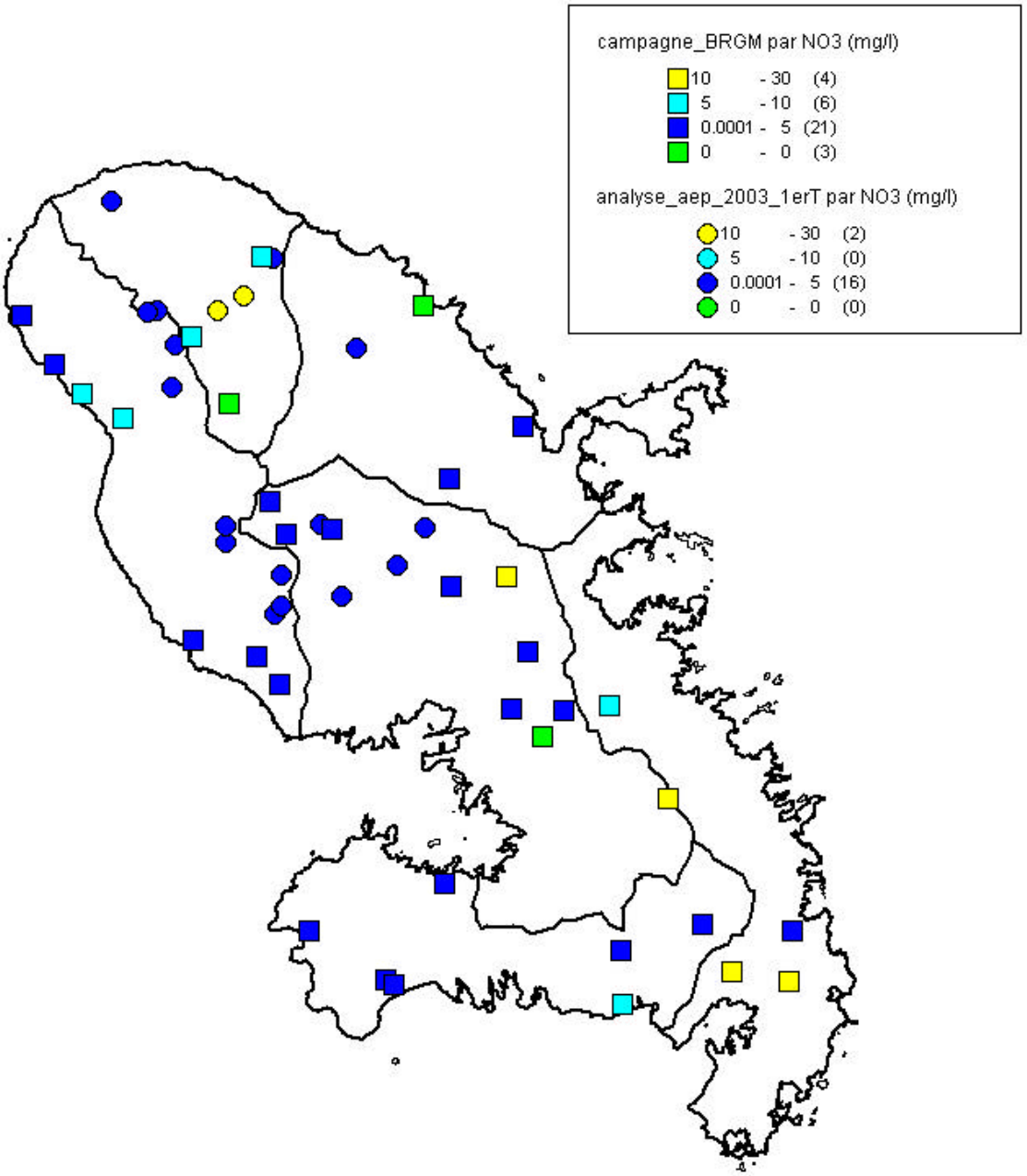

analyse_aep_2003_1erT par Mn (µg/l)
1 000 - 5 000 (0)
100 - 1 000 (0)
50 - 100 (0)
0.0001 - 50 (0)
0 - 0 (18)
campagne_BRGM par Mn (µg/l)
1 000 - 5 000 (4)
100 - 1 000 (8)
50 - 100 (7)
0.0001 - 50 (3)
0 - 0 (12)

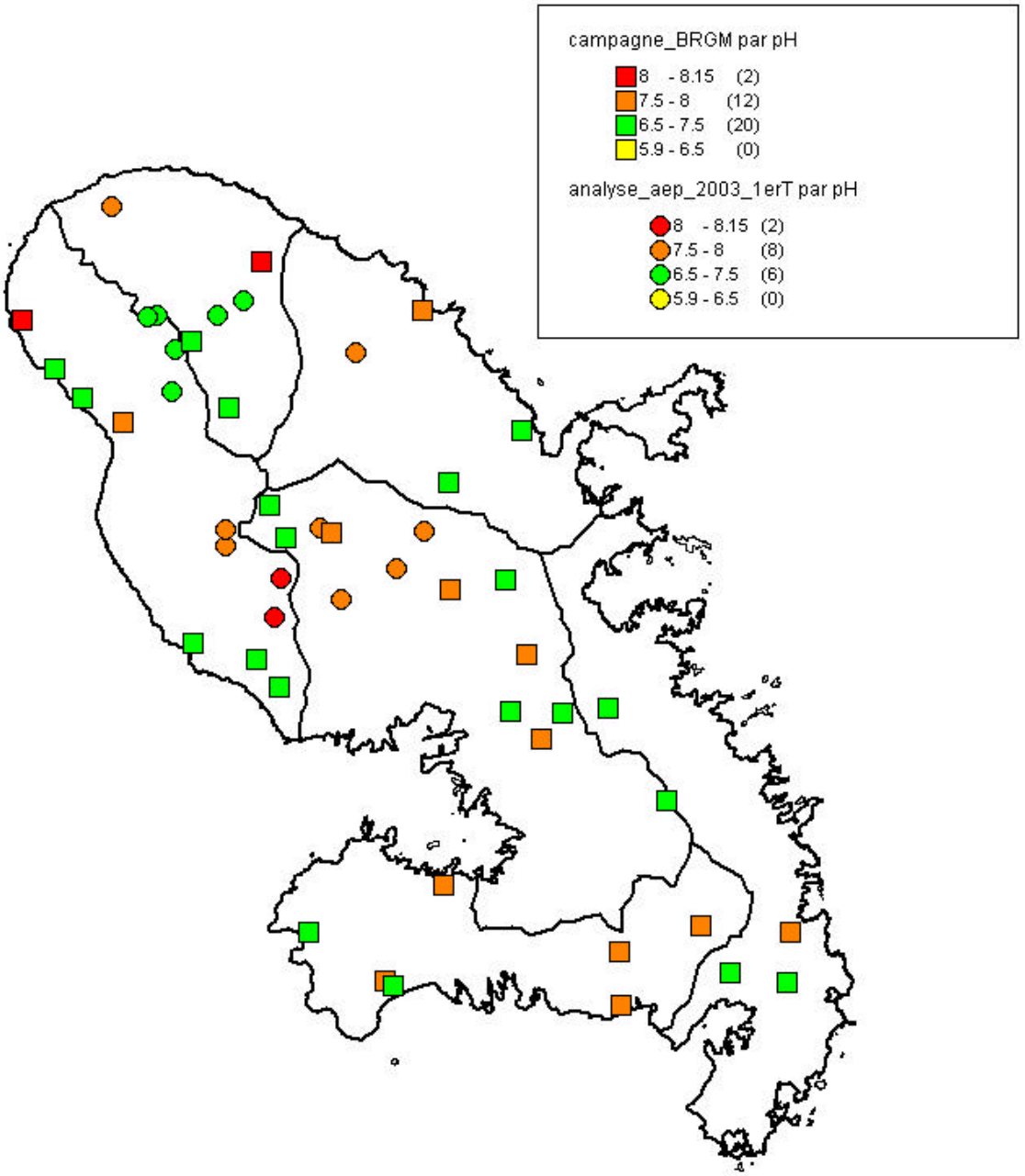

analyse_aep_2003_1erT par Na (mg/l)
200 - 700 (0)
50 - 200 (0)
0 - 50 (18)
campagne_BRGM par Na (mg/l)
200 - 700 (2)
50 - 200 (13)
0 - 50 (19)

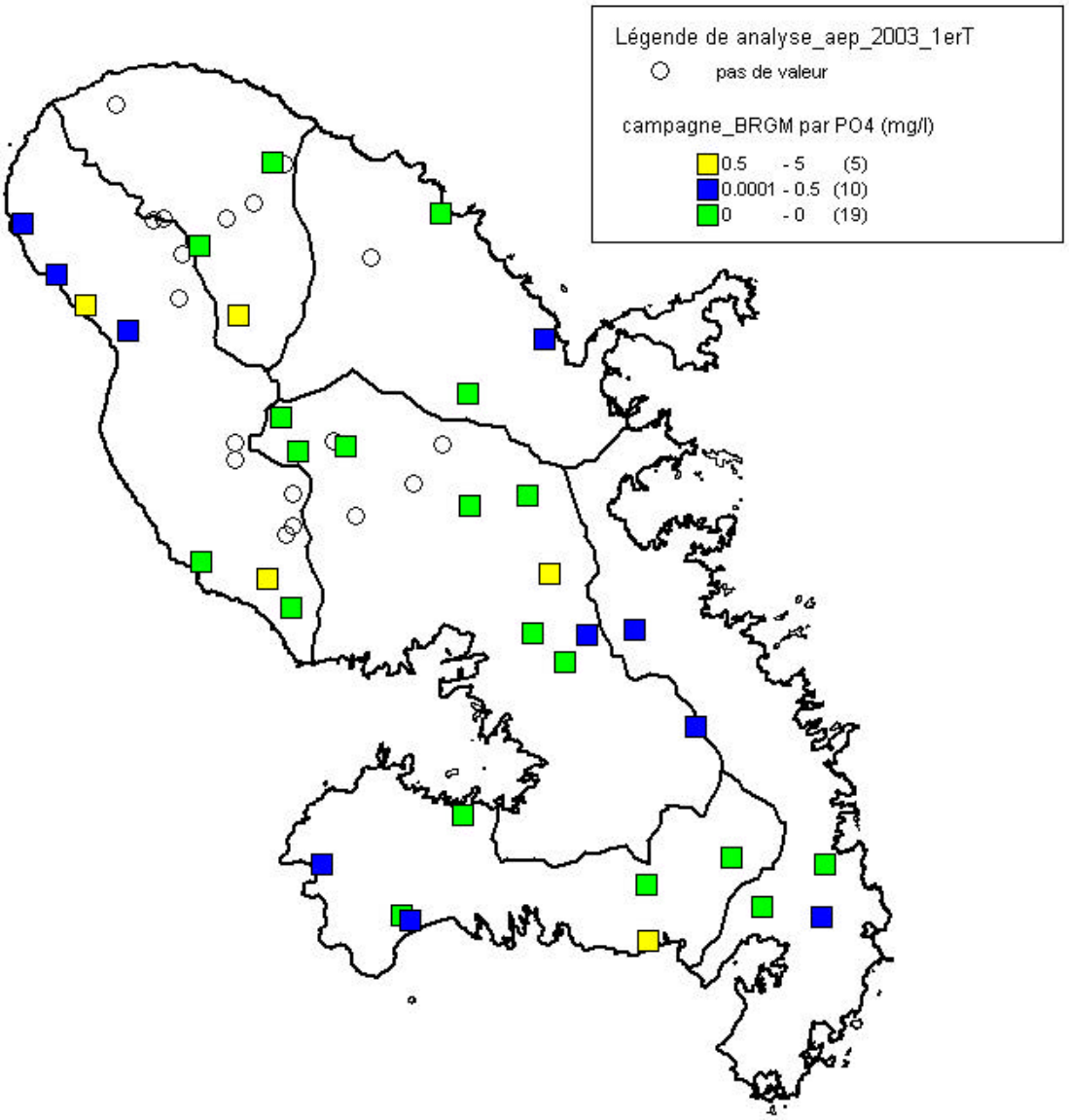

analyse_aep_2003_1erT par NH4 (mg/l)
4 - 7 (0)
0.1 - 4 (0)
0.0001 - 0.1 (0)
0 - 0 (18)
campagne_BRGM par NH4 (mg/l)
4 - 7 (1)
0.1 - 4 (12)
0.0001 - 0.1 (0)
0 - 0 (21)

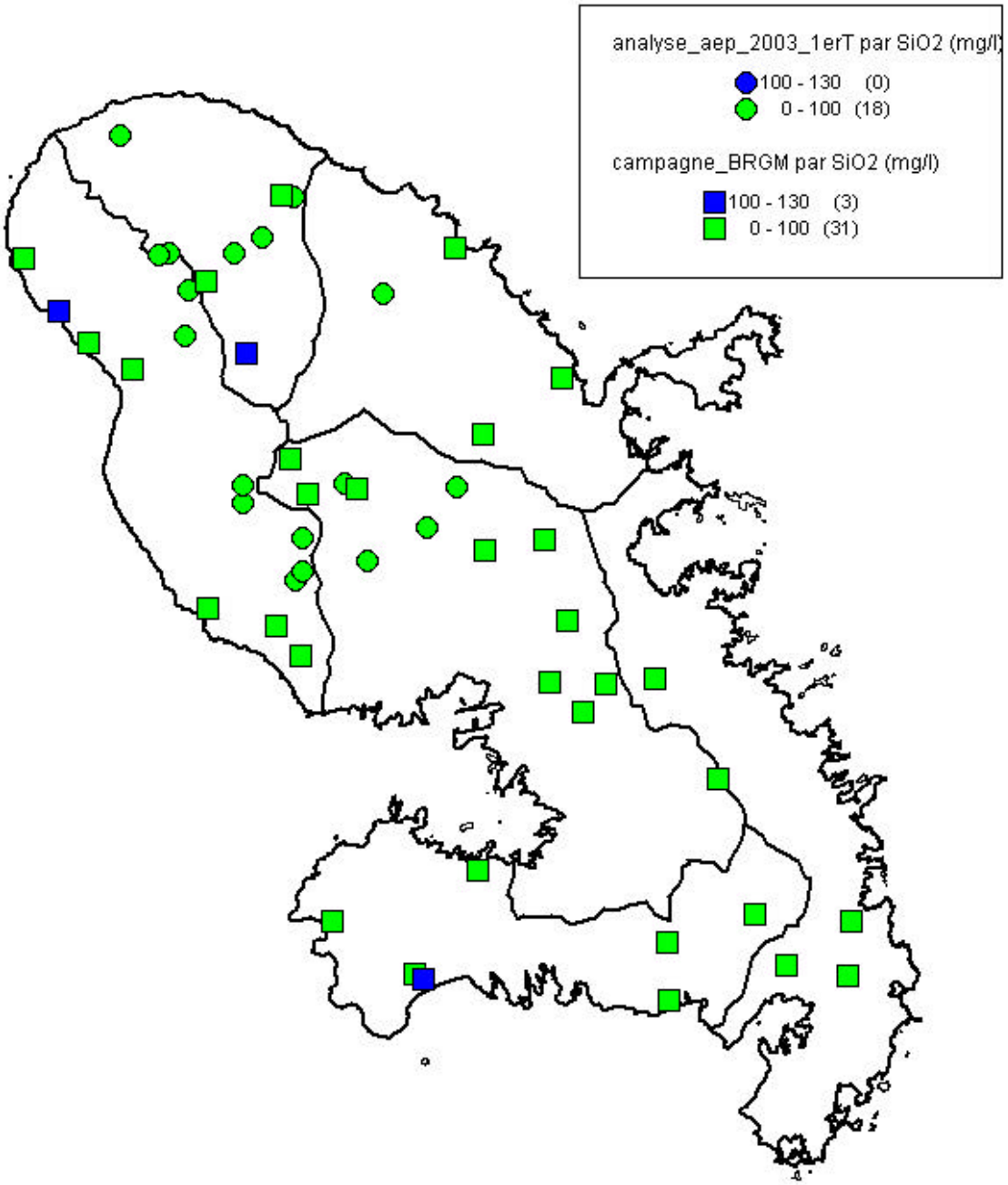

Légende de analyse_aep_2003_1erT
Pas de valeur
campagne_BRGM par Ni (µg/l)
0.0001 - 7 (2)
0 - 0 (32)
6
6

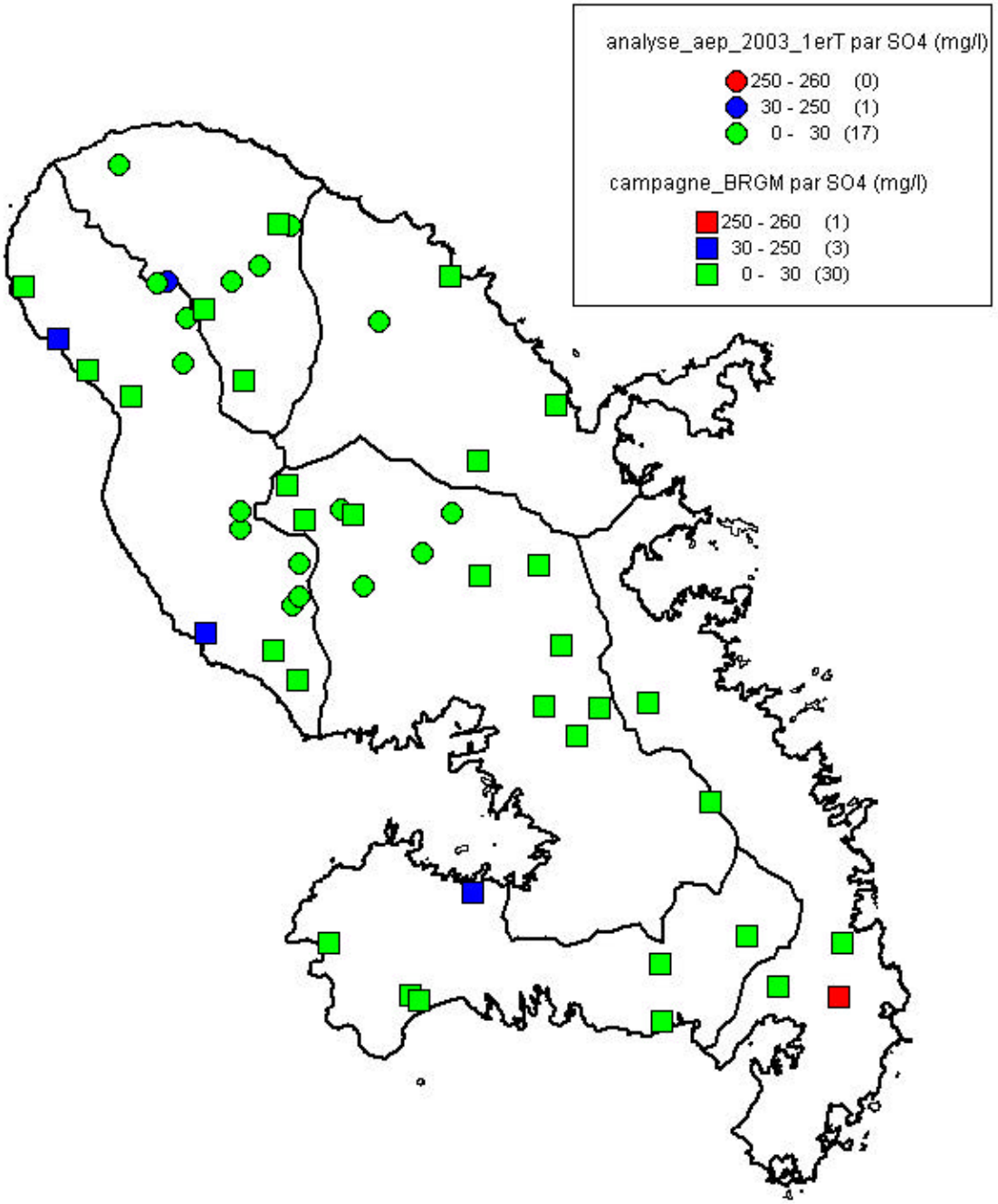

analyse_aep_2003_1erT par NO2 (mg/l)
2.5 - 10 (0)
0.5 - 2.5 (0)
0.0001 - 0.5 (0)
0 - 0 (18)
campagne_BRGM par NO2 (mg/l)
2.5 - 10 (1)
0.5 - 2.5 (1)
0.0001 - 0.5 (9)
0 - 0 (23)


campagne_BRGM par NO3 (mg/l)
10 - 30 (4)
5 - 10 (6)
0.0001 - 5 (21)
0 - 0 (3)
analyse_aep_2003_1erT par NO3 (mg/l)
10 - 30 (2)
5 - 10 (0)
0.0001 - 5 (16)
0 - 0 (0)


campagne_BRGM par pH
8 - 8.15 (2)
7.5 - 8 (12)
6.5 - 7.5 (20)
5.9 - 6.5 (0)
analyse_aep_2003_1erT par pH
8 - 8.15 (2)
7.5 - 8 (8)
6.5 - 7.5 (6)
5.9 - 6.5 (0)


Légende de analyse_aep_2003_1erT
pas de valeur
campagne_BRGM par PO4 (mg/l)
0.5 - 5 (5)
0.0001 - 0.5 (10)
0 - 0 (19)


analyse_aep_2003_1erT par SiO2 (mg/l)
100 - 130 (0)
0 - 100 (18)
campagne_BRGM par SiO2 (mg/l)
100 - 130 (3)
0 - 100 (31)


analyse_aep_2003_1erT par SO4 (mg/l)
250 - 260 (0)
30 - 250 (1)
0 - 30 (17)
campagne_BRGM par SO4 (mg/l)
250 - 260 (1)
30 - 250 (3)
0 - 30 (30)