

**Suivi de la qualité des eaux
souterraines de Martinique,
campagne de saison des pluies
2005 : résultats et comparaison avec la
1^{ère} campagne de basses eaux (2004) et
la 1^{ère} campagne de saison des pluies
(2004)**

Rapport final

BRGM/RP-54717-FR

Mai 2006

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2005 06EAUD10

N. Baran, E. Malcuit, Ph. Negrel, B. Vittecoq

Vérificateur :

Nom : E. PETELET-GIRAUD

Date :29/05/2005

Original signé par E. PETELET-
GIRAUD

Approbateur :

Nom : JP. COMTE

Date :31/05/2005

Original signé par JP. COMTE

Mots clés : qualité, eaux souterraines, physico-chimie, éléments majeurs, éléments traces, métaux, réseau de surveillance, pesticides, produits phytopharmaceutiques, DOM, Martinique.

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

N. Baran, Ph. Negrel, E. Malcuit, B. Vittecoq (2006) – Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2005 : résultats et comparaison avec la 1^{ère} campagne de basses eaux (2004) et 1^{ère} campagne de saison des pluies (2004). BRGM/RP-54717-FR. 101 pages, 7 tableaux, 47 figures, 2 photos, 4 cartes, 2 annexes.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Jusqu'en 2004 il n'existait pas, en Martinique, de réseau de surveillance patrimonial de la qualité des eaux souterraines. La directive cadre européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 demande de dresser à l'échéance 2004 un état des lieux sur la qualité chimique de la ressource en eau. A la suite de cet état des lieux, un réseau de suivi pérenne doit être mis en place, et ceci d'ici fin 2006. Des mesures devront être prises pour garantir un bon état chimique et écologique des masses d'eau d'ici 2015.

Le BRGM a ainsi été chargé par la DIREN Martinique, en janvier 2004, d'établir un premier état des lieux sur la qualité des eaux souterraines. (BRGM/RP-52997-Fr). 34 points d'eau souterraines ont été prélevés. Les analyses avaient porté sur la chimie des ions majeurs, ainsi que sur des métaux et cinq molécules phytosanitaires. Aucune pollution importante en produits azotés et phosphorés n'avait été décelée. Cependant, le bore, le fer et le manganèse sont parfois présents en quantité importante et devaient être surveillés. De plus, un certain nombre de points se sont révélés contaminés par les phytosanitaires. Ces premières constatations ponctuelles effectuées durant la saison sèche (janvier à mars 2004) devaient être vérifiées et mieux connues dans l'espace et dans le temps.

Ce rapport présente les résultats de la troisième campagne de prélèvements et d'analyses, réalisée en période des pluies 2005 (novembre 2005 - janvier 2006). 34 points d'eau souterraine ont été prélevés, ainsi qu'un échantillon de pluie. Les objectifs étaient d'observer une fois de plus et de confirmer les évolutions chimiques dues à la pluviométrie et de vérifier la présence de molécules phytosanitaires (120 molécules analysées en 2005).

Globalement la qualité des eaux souterraines est bonne, avec 53 % des sites présentant une eau de qualité « eau brute » selon les normes en vigueur pour l'AEP, et 30 % dépassant cette norme pour le manganèse ou le fer, éléments caractéristiques du fond géochimique de Martinique.

D'une manière générale les paramètres chimiques des eaux souterraines varient très peu en dépit des états hydrologiques différents. Cette faible variation laisse envisager que ces ressources en eau sont localisées dans des réservoirs de taille importante.

Les éléments chimiques doivent néanmoins être suivis régulièrement pour une meilleure connaissance des masses d'eau, de l'évolution de la qualité des eaux et de leur sensibilité respective (métaux comme le fer, le manganèse et le bore, mais aussi les produits azotés et phosphorés). De plus, 7 sites, identifiés lors de cette campagne dont 3 avaient déjà été identifiés lors des campagnes précédentes, se révèlent pollués par des produits phytosanitaires (produits interdits et autorisés). Le suivi de ces produits doit être pérennisé afin d'identifier les tendances et évolutions spatio-temporelles de leurs concentrations.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Campagne de prélèvements de la saison des pluies 2005	13
2.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENTS	13
2.2. LES ANALYSES REALISEES <i>IN SITU</i> ET AU LABORATOIRE	14
2.3. CONDITIONS DE PRELEVEMENT ET DE CONDITIONNEMENT.....	15
2.4. LES METHODES D'ANALYSES	16
2.4.1. Les méthodes d'analyses <i>in situ</i>	16
2.4.2. Les modes opératoires au laboratoire	17
3. Résultats et interprétations	19
3.1. LES PARAMETRES NON CONSERVATIFS DE L'EAU.....	19
3.1.1. La température.....	19
3.1.2. Le pH.....	19
3.1.3. La salinité.....	20
3.1.4. Relation pH – salinité	24
3.1.5. L'oxygène dissous : O ₂	25
3.1.6. Le potentiel d'oxydoréduction : Eh	25
3.2. LES METAUX	26
3.2.1. L'argent (Ag)	26
3.2.2. L'aluminium (Al)	26
3.2.3. L'arsenic (As)	27

3.2.4. Le Bore (B).....	27
3.2.5. Le Baryum (Ba).....	28
3.2.6. Le Béryllium (Be).....	28
3.2.7. Le Cadmium (Cd).....	28
3.2.8. Le Cobalt (Co).....	29
3.2.9. Le Chrome (Cr).....	29
3.2.10. Le Cuivre (Cu).....	29
3.2.11. Le Lithium (Li).....	30
3.2.12. Le Nickel (Ni).....	30
3.2.13. Le Plomb (Pb).....	30
3.2.14. Le Strontium (Sr).....	31
3.2.15. Le Zinc (Zn).....	31
3.2.16. Le Fer (Fe).....	31
3.2.17. Le Manganèse (Mn).....	32
3.2.18. Corrélation Fer – Manganèse.....	33
3.3. LES PRODUITS AZOTES ET PHOSPHORES.....	35
3.3.1. L'ammonium (NH ₄).....	36
3.3.2. Les nitrates (NO ₃).....	36
3.3.3. Les nitrites (NO ₂).....	37
3.3.4. Les orthophosphates (PO ₄).....	38
3.4. LES ELEMENTS MAJEURS.....	39
3.4.1. Caractère chimique des eaux.....	39
3.4.2. Les relations inter-éléments.....	42
3.5. COMPARATIF SAISON DES PLUIES 2004 – SAISON DES PLUIES 2005	53

3.6. COMPARATIF SAISON SECHE 2004 – SAISON DES PLUIES 2005.....	59
3.7. PLUVIOMETRIE ET QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES	65
3.8. LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	68
3.8.1. Introduction	68
3.8.2. Résultats de la campagne de prélèvement « saison des pluies 2005 »	70
3.8.3. Propriétés physico-chimiques des molécules et comportement	78
3.8.4. Les sites pollués par les produits phytosanitaires.....	82
3.9. LES FORAGES PRESENTANT UNE EAU ALCALINE.....	94
4. Etat de référence.....	95
4.1. FACIES HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES	95
4.2. CARTOGRAPHIE DE L'ETAT DE REFERENCE DES POINTS D'EAU PRELEVES	96
5. Conclusion	99
5.1. PHYSICO-CHIMIE	99
5.2. LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	100
6. Bibliographie.....	103

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des campagnes de prélèvements de 2004.....	11
Tableau 2 : Ouvrages prélevés lors de la saison de pluies 2005.....	13
Tableau 3 : Analyses physico-chimiques in situ et éléments analysés sur les 35 points pendant la saison des pluies 2005.	14
Tableau 4 : Modes opératoires des analyses physico-chimiques faites au laboratoire pour les 35 points pendant la saison des pluies 2005	17

Tableau 5 : Liste des 120 molécules phytosanitaires analysées. Les molécules en vert correspondent à celles détectées dans les rivières par la DIREN. Les limites de quantifications sont indiquées en µg/l.....	69
Tableau 6 : Propriétés de la carbendazime	77
Tableau 7 : Principales caractéristiques des molécules phytosanitaires ayant été détectées en 2004 ou 2005.....	79

Liste des figures

Figure 1 : Représentation du pH des eaux souterraines des deux campagnes de prélèvements en saison de pluies (nommée SP), 2004 et 2005.....	20
Figure 2 : Diagramme de la conductivité électrique en fonction des campagnes en saison des pluies (SP), 2004 et 2005.....	21
Figure 3 : Diagramme de la conductivité en fonction du TDS pour les échantillons des campagnes en saison de pluies (nommée SP) 2004 et 2005, vue globale et vue agrandie	23
Figure 4 : Diagramme du pH en fonction de la conductivité électrique pour les échantillons des campagnes de saison sèche (SS) et de saison des pluies (SP), 2004 et 2005.....	24
Figure 5 : Diagramme de Eh en fonction du pH pour les échantillons de la campagne de saison des pluies (SP)2005.	25
Figure 6 : Diagramme de la concentration en fer (en mg/l) en fonction de la concentration en manganèse (en µg/l) pour les échantillons des campagnes 2004 et 2005, vue globale et vue agrandie.....	34
Figure 7 : Diagramme de la concentration en fer (en mg/l) en fonction de la concentration en manganèse (en µg/l) pour les échantillons des campagnes en saison de pluies 2004 et 2005, vue agrandie.	35
Figure 8 : Diagramme somme des anions Σ^- en fonction des cations Σ^+ pour les points de la campagne en saison des pluies 2005.	39
Figure 9 : Balance ionique en fonction des sommes en cations et anions des analyses de la campagne en saison des pluies 2005.....	40
Figure 10 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en sodium (SS correspond à la saison sèche, SP aux différentes saisons des pluies)	43
Figure 11 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en calcium	44
Figure 12 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en bore	46

Figure 13 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en magnésium	47
Figure 14 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en potassium	48
Figure 15 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en sulfates	49
Figure 16 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en nitrates.....	50
Figure 17 : Variations des éléments NO ₃ , Cl, SO ₄ , HCO ₃ entre les campagnes en saison des pluies 2004 et 2005.....	53
Figure 18 : Variations des éléments Na, K, Mg, Ca entre les campagnes en saison des pluies 2004 et 2005.....	54
Figure 19 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlorures entre les saison des pluies 2004 et 2005.....	56
Figure 20 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en sodium entre les saison des pluies 2004 et 2005.....	57
Figure 21 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en bore entre les saison des pluies 2004 et 2005.	58
Figure 22 : Variations des éléments NO ₃ , Cl, SO ₄ , HCO ₃ entre les campagnes en saison des pluies (SP) 2005 et en saison sèche (SS) 2004.	59
Figure 23 : Variations des éléments Na, K, Mg, Ca entre les campagnes en saison des pluies (SP) 2005 et en saison sèche (SS) 2004.	60
Figure 24 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlore entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005.	61
Figure 25 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en sodium entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005.	63
Figure 26 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en bore entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005.....	63
Figure 27 : Comparaison des concentrations en chlorures et sodium, pour les campagnes en saison sèche 2004 et en saisons des pluies 2004 et 2005.....	65
Figure 28 : Comparaison des concentrations en chlorures et sodium, pour les campagnes en saison sèche 2004 et en saisons des pluies 2004 et 2005, vue agrandie.	66
Figure 29 : Structure moléculaire du 2,4,D.....	70
Figure 30 : Structure moléculaire de l'atrazine	71
Figure 31 : Structure moléculaire du bromacil.....	71
Figure 32 : Structure moléculaire du chlordécone	72
Figure 33 : Structure moléculaire de la dieldrine	73

Figure 34 : Structure moléculaire du diuron.....	73
Figure 35 : Structure moléculaire de l'heptachlore époxyde	74
Figure 36 : Structure moléculaire de l'hexazinone.....	75
Figure 37 : Structure moléculaire du propiconazole	75
Figure 38 : Structure moléculaire des hexachlorocyclohexanes	76
Figure 39 : Structure moléculaire de la carbendazime	76
Figure 40 : Répartition du nombre de détections des molécules en 2004 et 2005 en fonction de leurs usages	81
Figure 41 : Comparaison des produits phytosanitaires détectés à Vert Pré, en $\mu\text{g.l}^{-1}$	84
Figure 42 : Produits phytosanitaires détectés le 20 octobre 2004 au Lamentin – Habitation Ressource, en $\mu\text{g.l}^{-1}$	86
Figure 43 : Produits phytosanitaires détectés à Basse Pointe – Piézomètre à proximité de la Rivière Falaise, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$	88
Figure 44 : Produits phytosanitaires détectés dans le forage de Marigot – Anse Charpentier, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$	90
Figure 45 : Produits phytosanitaires détectés à la source Morne Figue – Commune de la Trinité, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$	91
Figure 46 : Synthèse des résultats de la campagne de novembre-décembre 2005, par molécule quantifiée au moins et une fois et par forage.....	93
Figure 47 : Diagramme de Piper	95

Liste des photos

Photo 1 : Matériel et floconnages utilisés lors des prélèvements (de gauche à droite : sonde piézométrique indiquant en plus la conductivité de l'eau et sa température, flacons en polyéthylène et en verre ambré, malette d'analyses physico-chimiques in situ, échantillonneur en polyéthylène).	14
Photo 2 : Dispositif de pompage	15

Liste des annexes

Annexe 1 Tableaux des résultats des analyses	105
Annexe 2 Cartes de suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique	107

1. Introduction

La Directive Cadre Européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 demandait de dresser à l'échéance 2004 un état des lieux sur la qualité chimique de la ressource en eau. A la suite de cet état des lieux, un réseau de suivi pérenne doit être mis en place, et ceci d'ici fin 2006.

En janvier 2004, le BRGM a ainsi été chargé, par la DIREN Martinique, d'établir un premier état des lieux sur la qualité des eaux souterraines. Cet état des lieux constitue le corps du rapport BRGM/RP-52997-Fr. Un total de 34 points d'eaux souterraines avait été prélevé en 2004.

Ces premières constatations, ponctuelles et effectuées durant la saison sèche (janvier à mars 2004) devaient être vérifiées et mieux connues dans l'espace et dans le temps. Une deuxième campagne a été réalisée en octobre et novembre 2004 lors de la période des pluies (BRGM/RP-53838-FR). Les mêmes 34 points d'eau souterraine ont été prélevés par rapport à la campagne précédente. Les objectifs étaient d'observer les évolutions chimiques dues à la pluviométrie et de vérifier la présence de molécules phytosanitaires. Lors de cette étude, la qualité des eaux souterraines a été caractérisée bonne, avec 35 % des sites présentant une eau de qualité « eau brute » selon les normes en vigueur pour l'AEP, et 25 % ne dépassant cette norme que pour le manganèse ou le fer, éléments caractéristiques du fond géochimique de Martinique.

L'ensemble de ces données, concernant les deux campagnes précédentes, est résumé dans le *Tableau 1*.

Date de prélèvements	Nombre total de points prélevés	Nombre d'analyses physico-chimiques	Éléments physico-chimiques analysés	Nombre d'analyses phytosanitaires	Nombre de molécules phytosanitaires analysées	Observations / Résultats
Saison sèche 2004 (janv - mars 2004)	34	34	ions majeurs, métaux traces	34	5	Rapport BRGM/RP-52997-FR Aucune pollution importante en produits azotés et phosphorés 6 sites indiquent des produits phytosanitaires
Saison des pluies 2004 (oct - nov 2004)	34	34	ions majeurs, métaux traces	10	111	Rapport BRGM/RP-52997-FR 35 % des prélèvements ont une eau de qualité "eaux brutes" selon les normes en vigueur pour l'AEP 4 sites pollués par des produits phytosanitaires

Tableau 1 : Récapitulatif des campagnes de prélèvements de 2004

D'une manière générale les paramètres chimiques des eaux souterraines n'ont montré que peu de variations entre les basses et hautes eaux, laissant envisager des ressources en eau de taille importante avec des réservoirs de volume élevé permettant de tamponner les entrants en période de pluies.

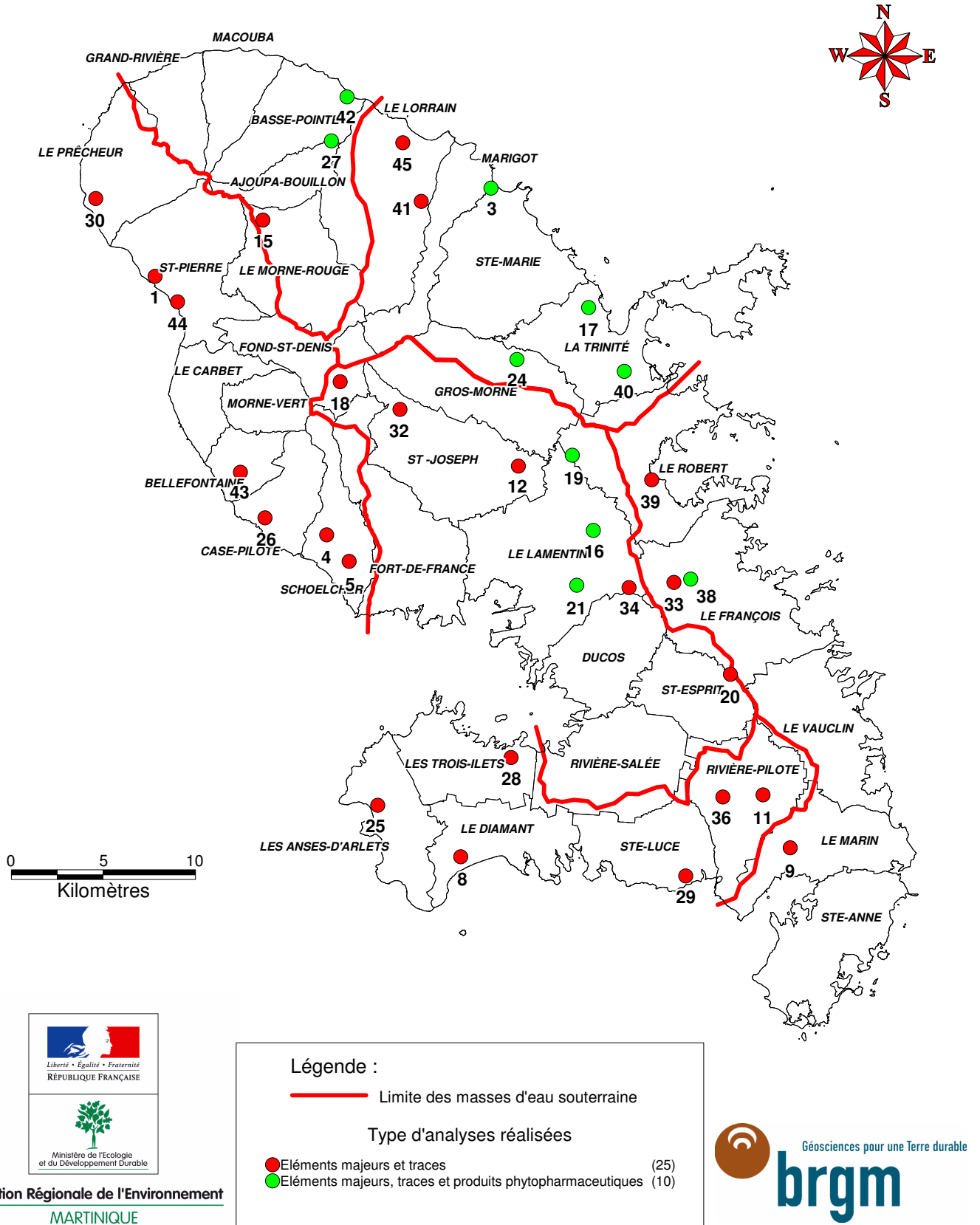
La présente étude a pour objet une troisième campagne de prélèvements et d'analyses, réalisée en période des pluies 2005 (novembre 2005 - janvier 2006). Elle a été menée en trois étapes :

- Campagne de prélèvements sur le terrain pour 35 points : 34 ouvrages (piézomètres, forages exploités, sources) et un prélèvement d'eau de pluie. 25 des points suivis en 2005 sont communs aux deux campagnes antérieures.
- Conditionnement et expédition des échantillons pour analyses par le laboratoire agréé COFRAC du BRGM à Orléans.
- Présentation et interprétation des résultats sous forme d'un rapport.

La campagne de prélèvements pendant la saison des pluies 2005 avait pour objectifs :

- Observer une fois de plus et confirmer les évolutions chimiques dues à l'augmentation de la pluviométrie par rapport à la campagne de 2004,
- Vérifier la présence de molécules phytopharmaceutiques (120 molécules analysées, dont 27 ayant été détectées par la DIREN dans les eaux de surface) dans 10 points choisis en concertation avec la DIREN,
- Compléter l'état de référence des eaux souterraines en Martinique en améliorant la caractérisation qualitative des masses d'eaux souterraines,
- Identifier d'éventuelles évolutions tendanciennes de dégradation de la qualité des eaux, dans l'espace et dans le temps.

Carte n°1 : Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique - Saison des Pluies 2005 - Types d'analyses et localisation des prélèvements



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE



2. Campagne de prélèvements de la saison des pluies 2005

2.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENTS

Dans le cadre de cette campagne de prélèvements en saison des pluies, 34 points (piézomètres, forages exploités et sources), ainsi qu'un échantillon d'eau de pluie ont été analysés. L'eau de pluie a été prélevée suite aux précipitations du 7 et 8 décembre 2005, l'ensemble de ces événements pluvieux sur 2 jours représente une vingtaine de millimètres. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 1 :

n° terrain	Date du prélèvement SP 2005	n° BSS	Type	Commune	Lieu dit
9	18/11/05	1186ZZ0118	Piézo-mètre	Marin	Grand Fond
11	18/11/05	1183ZZ0052	Piézo-mètre	Rivière Pilote	Fougainville
36	18/11/05	1183ZZ0024	Piézo-mètre	Rivière Pilote	La Mauny
29	18/11/05	1185ZZ0120	Piézo-mètre	Ste Luce	Stade communal
27	21/11/05	1168ZZ0054	Piézo-mètre	Basse Pointe	Rivière Falaise
3	21/11/05	1169ZZ0006	Piézo-mètre	Marigot	Anse Charpentier
17	21/11/05	1175ZZ0153	Source	Trinité	Morne Figue
24	21/11/05	1174ZZ0088	Piézo-mètre	Gros Morne	La Borelli
30	22/11/05	1167ZZ0024	Piézo-mètre	Prêcheur	Rivière du prêcheur
1	22/11/05	1167ZZ0023	Piézo-mètre	Saint Pierre	Rivière Blanche
26	22/11/05	1177ZZ0173	Piézo-mètre	Case Pilote	Maniba
4	24/11/05	1177ZZ0161	Piézo-mètre	Schoelcher	Fond Lahaye
5	24/11/05	1177ZZ0165	Piézo-mètre	Schoelcher	Case Navire
12	24/11/05	1174ZZ0087	Piézo-mètre	Saint Joseph	La Charmille
20	24/11/05	1183ZZ0053	Source	Saint Esprit	Source Caraïbe
8	25/11/05	1184ZZ0016	Forage exploité	Diamant	Habitation Dizac
25	25/11/05	1181ZZ0131	Piézo-mètre	Anses d'Arlet	Grande Anse
28	25/11/05	1181ZZ0132	Piézo-mètre	Trois Ilets	Vatable
21	25/11/05	1179ZZ0070	Piézo-mètre	Lamentin	Habitation Ressource
16	25/11/05	1179ZZ0158	Piézo-mètre	Lamentin	Sarrault
34	09/12/05	1179ZZ0282	Source	Lamentin	Morne Pitault La Frédée
33	09/12/05	1179ZZ0228	Forage d'exploitation	François	La Victoire
38	09/12/05	1179ZZ0299	Piézo-mètre	François	Grand Fond
39	09/12/05	1179ZZ0300	Piézo-mètre	Robert	Pontalery
40	09/12/05	1175ZZ0154	Piézo-mètre	Trinité	Le Galion
32	12/12/05	1174ZZ0089	Source	Saint Joseph	Coeur Bouliki
41	12/12/05	1169ZZ0082	Source	Lorrain	Source Carabin
42	12/12/05	1166ZZ0026	Piézo-mètre	Basse Pointe	Chalvet
15	12/12/05	1168ZZ0055	Source	Morne Rouge	Habitation Citron
18	12/12/05	1173ZZ0076	Source	Fond Saint Denis	Source de l'Alma
19	26/01/06	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	Gros Morne	Vert Pré
43	30/01/06	1173ZZ0082	Piézo-mètre	Bellefontaine	Fond Laillet
44	30/01/06	1167ZZ0045	Piézo-mètre	St Pierre	CDST
45	30/01/06	1169ZZ0084	Piézo-mètre	Lorrain	Fond Brulé
37	08/12/05	EP/RODATE	eau de pluie	Fort de France	Rodate

Tableau 2 : Ouvrages prélevés lors de la saison de pluies 2005

La carte n°1 présente la localisation des points et le type d'analyses réalisées.

2.2. LES ANALYSES REALISEES *IN SITU* ET AU LABORATOIRE

Pour tous les points suivis, des analyses physico-chimiques *in situ*, concernant les paramètres non conservatifs, ont été effectuées.

De plus, pour chacun de ces points, des prélèvements ont été réalisés et envoyés au laboratoire. Deux types d'analyses ont été réalisés. Tout d'abord, les éléments majeurs et traces ont été analysés sur les 35 points suivis. Puis les produits phytopharmaceutiques ont été analysés sur 10 ouvrages. Les éléments analysés, présentés dans les tableaux 3 et 5 (§ 3.8.1) ont été choisis en concertation avec la DIREN (sur la base des usages connus en Martinique et des produits retrouvés dans les rivières, pour les phytopharmaceutiques).

Analyses physico-chimiques <i>in situ</i>	pH, Conductivité, Température, Potentiel d'oxydoréduction, Oxygène dissous
Éléments majeurs	Ca, Mg, K, Na, Cl, SO ₄ , HCO ₃ , CO ₃ , NO ₃ , SiO ₂ , NH ₄ , NO ₂ , PO ₄
Éléments en traces	Al, Mn, Fe, Ni, As, B, F, Ag, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Pb, Sr, Zn

Tableau 3 : Analyses physico-chimiques *in situ* et éléments analysés sur les 35 points pendant la saison des pluies 2005.



Photo 1 : Matériel et flacons utilisés lors des prélèvements (de gauche à droite : sonde piézométrique indiquant en plus la conductivité de l'eau et sa température, flacons en polyéthylène et en verre ambré, malette d'analyses physico-chimiques *in situ*, échantillonneur en polyéthylène).

2.3. CONDITIONS DE PRELEVEMENT ET DE CONDITIONNEMENT

Selon la particularité de chaque site, diverses méthodes de prélèvement ont été appliquées :

- ◆ Sources : prélèvement direct.
- ◆ Forage d'exploitation : prélèvement au robinet.
- ◆ Piézomètre : pompage puis prélèvement

Pour la plupart des piézomètres, l'eau a été renouvelée dans l'ouvrage par pompage. Le prélèvement de l'eau de la nappe a ensuite été effectué à l'aide d'un préleveur à bille en polyéthylène (à la surface du puits), soit à l'exaure de la pompe.



Photo 2 : Dispositif de pompage

- ◆ Piézomètre : prélèvement à l'aide un échantillonneur en polyéthylène sans pompage préalable

Les 7 nouveaux piézomètres exécutés fin 2005 ont été prélevés à la suite de la réalisation forage, à l'aide d'un tube préleveur en polyéthylène, sans pompage préalable. En raison de contraintes techniques sur le terrain (tubage ne permettant pas le passage d'une pompe en toute sécurité), 3 autres ouvrages ont aussi été prélevés sans pompage préalable. *Dans tous les cas, une vidange manuelle de l'eau « en surface » du piézomètre a été réalisée avant le prélèvement. L'eau n'a donc pas été prélevée directement.*

L'eau prélevée est ensuite répartie dans différents flacons, selon les analyses à réaliser.

- Flacons en polyéthylène de 100 ml pour les anions et NH_4 , remplis avec l'eau filtrée sans réactif.
- Flacons en polyéthylène de 50 ml pour les cations majeurs, traces et métaux, remplis avec l'eau filtrée et acidifiée (acide nitrique pour obtenir un $\text{pH} = 2$).
- 4 flacons en verre ambré de 1000 ml, pour les produits phytopharmaceutiques, dont un acidifié avec du H_2SO_4 pour obtenir un $\text{pH} = 2$.

Le pH des eaux acidifiées est vérifié à l'aide de papier pH .

L'ensemble des flacons sont transportés dans des glacières, conservés à basse température (2 à 8°C) et à l'abri de la lumière. Les glacières ont été envoyées par transport express au Service Métrologie Monitoring Analyse, laboratoire BRGM agréé COFRAC, basé à Orléans.

Pour chaque échantillon, une bouteille en verre ambré d'un litre a été conservée au BRGM Martinique, pour témoin en cas de nécessité d'analyse de contrôle ou pour palier à une éventuelle perte d'échantillon (casse, ...), pendant le transport.

2.4. LES METHODES D'ANALYSES

2.4.1. Les méthodes d'analyses *in situ*

Les appareils utilisés sur le terrain lors de la campagne de prélèvements sont les suivants :

- Bandelette indicatrice de pH : CARLO ERBA REAGENTI, pH 1 - 12
- Multi-paramètres WTW 340i :
 - Electrode pH / Température / Rédox : pH SenTix 20
 - Domaine de mesure du pH : -2.00 à 19.99 pH , $0.01 \pm \text{pH}$,
 - Domaine de mesure de Ehmes : $\pm 1250 \text{ mV}$, $\pm 1 \text{ mV}$
 - Domaine de température : -5.0 à +105.0 °C, ± 0.1 °C
 - Electrode de Conductivité / Température / Salinité : TétraCon 325
 - Domaine de mesure : $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ à 500 mS/cm ($\pm 1\%$ lecture + 1 chiffre)
 - Domaine de mesure de la température : -5.0 à +105.0 °C, ± 0.1 °C
 - Electrode mesurant l'Oxygène dissous : Cellox 325
 - Domaine de mesure : 0.0 à 90.0 mg/l et 0 à 600 % ($\pm 0.5\%$ lecture + 1 chiffre)
 - Electrode rédox gélifiée combinée de référence (Ag, AgCl), corps époxy.

2.4.2. Les modes opératoires au laboratoire

Les modes opératoires utilisés en laboratoire lors de cette étude sont les suivants :

Eléments	Mode opératoire	Intitulé
Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn	MO 108	Analyses d'éléments traces par ICP/MS
Cl, SO ₄ , NO ₃	NF EN ISO 10304	Méthode par chromatographie ionique (DIONEX)
NH ₄ (Ammonium exprimé en NH ₄)	NF EN ISO 11732	Analyse en flux (FFA et FIA), détection spectrométrique
Ca, Fe, K, Mg, Na, SiO ₂	NF EN ISO 11885	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission
PO ₄ (OrthoPhosphates en PO ₄)	NF EN ISO 6878	Analyse des orthophosphates selon §3 de la norme
CO ₃ , HCO ₃	NF EN ISO 9963-1	Alcalinité TA/TAC par potentiométrie, CO ₃ /HCO ₃ calculés à partir des valeurs de l'alcalinité
NO ₂	NF EN 26777	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire
F	NF T 90-004	Méthode par potentiométrie (électrode combinée)

Tableau 4 : Modes opératoires des analyses physico-chimiques faites au laboratoire pour les 35 points pendant la saison des pluies 2005

3. Résultats et interprétations

3.1. LES PARAMETRES NON CONSERVATIFS DE L'EAU

3.1.1. La température

La température des eaux analysées lors de la saison des pluies 2005 varie de 21.6 à 32.7°C. On remarque que les températures les plus importantes ont été enregistrées pour les forages, notamment deux forages en exploitation (Gros Morne - Vert Pré (n° 19) et Diamant - Habitation Dizac (n°8)). Il est possible que ces températures plus élevées soient causées par le réchauffement de l'eau dans les canalisations, en effet, les prélèvements se font au robinet. Seul le piézomètre du Précheur - Rivière Précheur (n°30) a une température d'eau inférieure à 26°C. Les 7 sources analysées présentent quant à elles les températures les plus basses (c.f. Annexe 1).

3.1.2. Le pH

Les pH des eaux analysées varient de 5.95 à 11.89. Parmi tous les points suivis, 29 d'entre eux ont une eau dans les limites de potabilité vis-à-vis du pH (pH compris entre 6.5 et 8.5).

Par contre, 6 autres points présentent soit un pH supérieur à 11, soit inférieur à 6.5. Le piézomètre St Joseph-La Charmille (n° 12, pH = 5.95), la Source Carabin au Lorrain (n°41, pH = 6.06) et le piézomètre de Rivière Pilote - Fougainville (n°11, pH = 6.41) présentent des pH limites mais ces eaux peuvent subir un traitement physico-chimique. Ce qui n'est pas le cas des eaux des 3 nouveaux piézomètres réalisés en fin d'année 2005 situés à François - Grand Fond (n°38, pH = 11.89), Robert - Pontalery (n°39, pH = 11.73) et Trinité - Le Galion (n°40, pH = 11.11). Ces eaux sont inaptes à la production d'eau potable.

En comparant les 25 points en commun entre les deux campagnes de prélèvements en saison de pluies 2004 et 2005, (c.f. : *Figure 1*) on s'aperçoit que la majorité des points enregistrent une légère baisse de pH entre 2004 et 2005. Seuls 4 points dont la source de St Joseph - Cœur Bouliki voient le pH augmenter. On notera :

- St Joseph - La Charmille (n° 12) : pH = 7.25 en 2004 et 5.95 en 2005,
- Morne Rouge - Habitation Citron (n° 15) : pH = 9.00 en 2004 et 7.71 en 2005,
- St Joseph - Cœur Bouliki (n° 32) : pH = 6.60 en 2004 et 7.69 en 2005.

Il faut cependant être prudent dans l'interprétation de ces évolutions entre 2004 et 2005, puisque le pH en saison sèche 2004, ainsi qu'en saison de pluies 2004 a été mesuré au laboratoire.

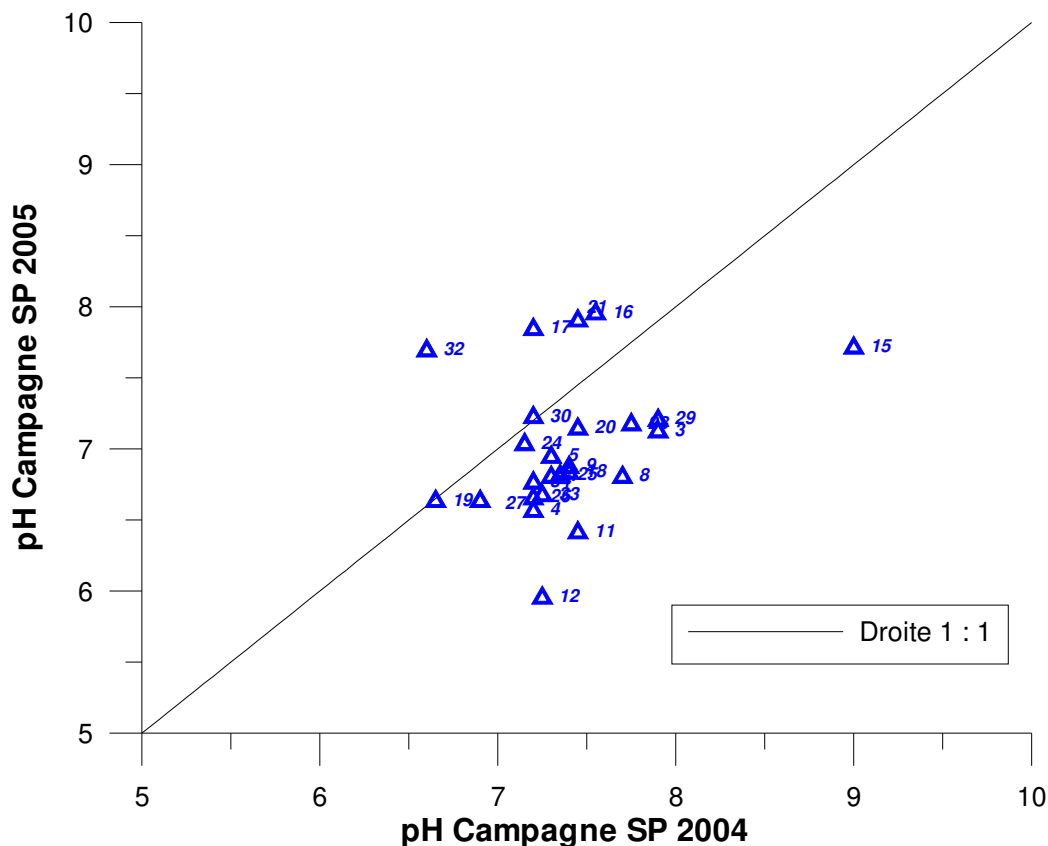


Figure 1 : Représentation du pH des eaux souterraines des deux campagnes de prélèvements en saison de pluies (nommée SP), 2004 et 2005.

3.1.3. La salinité

La salinité des eaux est en partie liée avec les interactions eau-roche et avec la capacité des eaux à dissoudre les minéraux contenus dans les roches, elle peut être représentée par la conductivité électrique (exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

En 2005, la conductivité électrique enregistrée pour les 34 points suivis varie de 99 à 2870 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une valeur de l'eau de pluie à 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Seuls deux points, les eaux des piézomètres de François - Grand Fond (n°38) et Anses d'Arlets – Grande Anse (n°25) présentent des conductivités supérieures à 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ces eaux restent apte à la production d'eau potable sous réserve d'un traitement physico-chimique adapté).

La Figure 2 illustre les variations de ce paramètre, mesuré *in situ*, lors des deux campagnes de prélèvements en saison des pluies, 2004 et 2005. Seuls 25 points en commun lors de ces deux campagnes peuvent être étudiés. On s'aperçoit que la quasi-totalité de ces points s'alignent de manière quasi parfaite sur la droite 1 :1, démontrant une très faible variabilité des conductivités électriques entre les deux périodes d'étude. La faible variabilité de la conductivité (et donc par la même de la salinité des eaux) laisse à penser que les réservoirs d'eau sont importants et ne subissent que très peu

l'impact de la dilution par les eaux de pluies. Par contre, ce n'est pas le cas pour les eaux analysées aux Anses d'Arlets - Grande Anse (n°25) et Trois Ilets - Vatable (n°28), qui indiquent une augmentation assez importante de leur conductivité. On remarque une forte hausse de la conductivité mesurée aux Anses d'Arlets - Grande Anse entre les saisons des pluies 2004 et 2005 (de 877 à 2750 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Ces deux points situés respectivement à moins de 500 m et 600 m de la mer ont été prélevés différemment en 2004 et 2005. En effet, en 2004 et 2005, un pompage a eu lieu avant le prélèvement, la différence étant la profondeur du prélèvement, en 2004 en surface du piézomètre et en 2005, 12 m plus profond. Ces deux points peuvent être influencés par la proximité du littoral mais aussi potentiellement par une source de salinité qui peut être le biseau salé ou une eau de salinité forte mais n'étant pas l'eau de mer en direct, comme les concentrations de chlorures mesurées peuvent le laisser penser. Il est probable que le fait d'avoir prélevé l'eau plus profondément en 2005 puisse avoir eu une influence sur ces conductivités rencontrées.

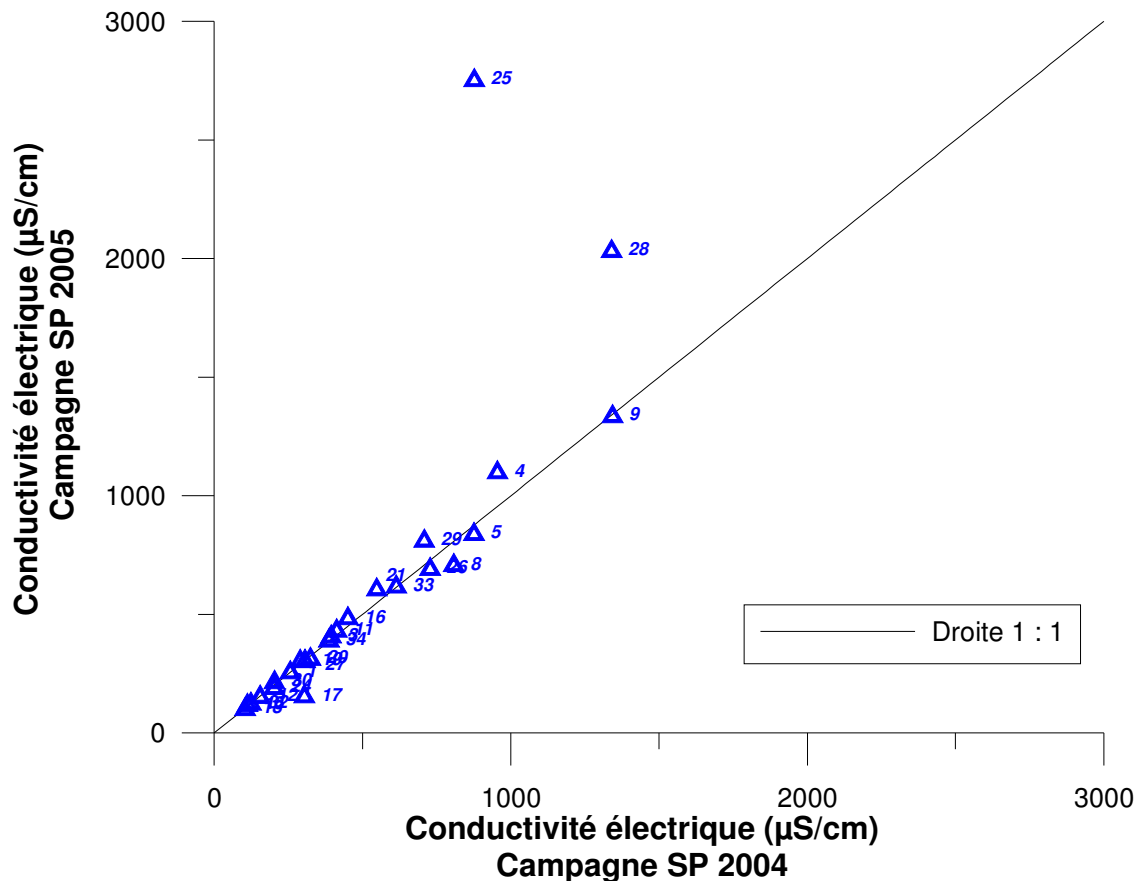


Figure 2 : Diagramme de la conductivité électrique en fonction des campagnes en saison des pluies (SP), 2004 et 2005.

La salinité des eaux peut aussi être représentée par le TDS (pour Total Dissolved Solids) qui correspond ici à la somme des concentrations des éléments chimiques majeurs (Ca, Na, Mg, K, Cl, SO₄, NO₃, HCO₃ et CO₃) issues des mesures faites en laboratoire.

La *Figure 3* illustre les variations de ces paramètres pour les deux campagnes de prélèvements en saison des pluies 2004 et 2005.

On constate une très bonne relation entre conductivité électrique et TDS pour la majorité des points. Cependant, 4 points présentent une dispersion importante.

Parmi ces derniers, 3 correspondent à des forages réalisés fin 2005 (François - Grand Fond (n°38), Robert - Pontalery (n°39) et Trinité - Le Galion (n°40)) et le dernier au piézomètre des Anses d'Arlets (n°25).

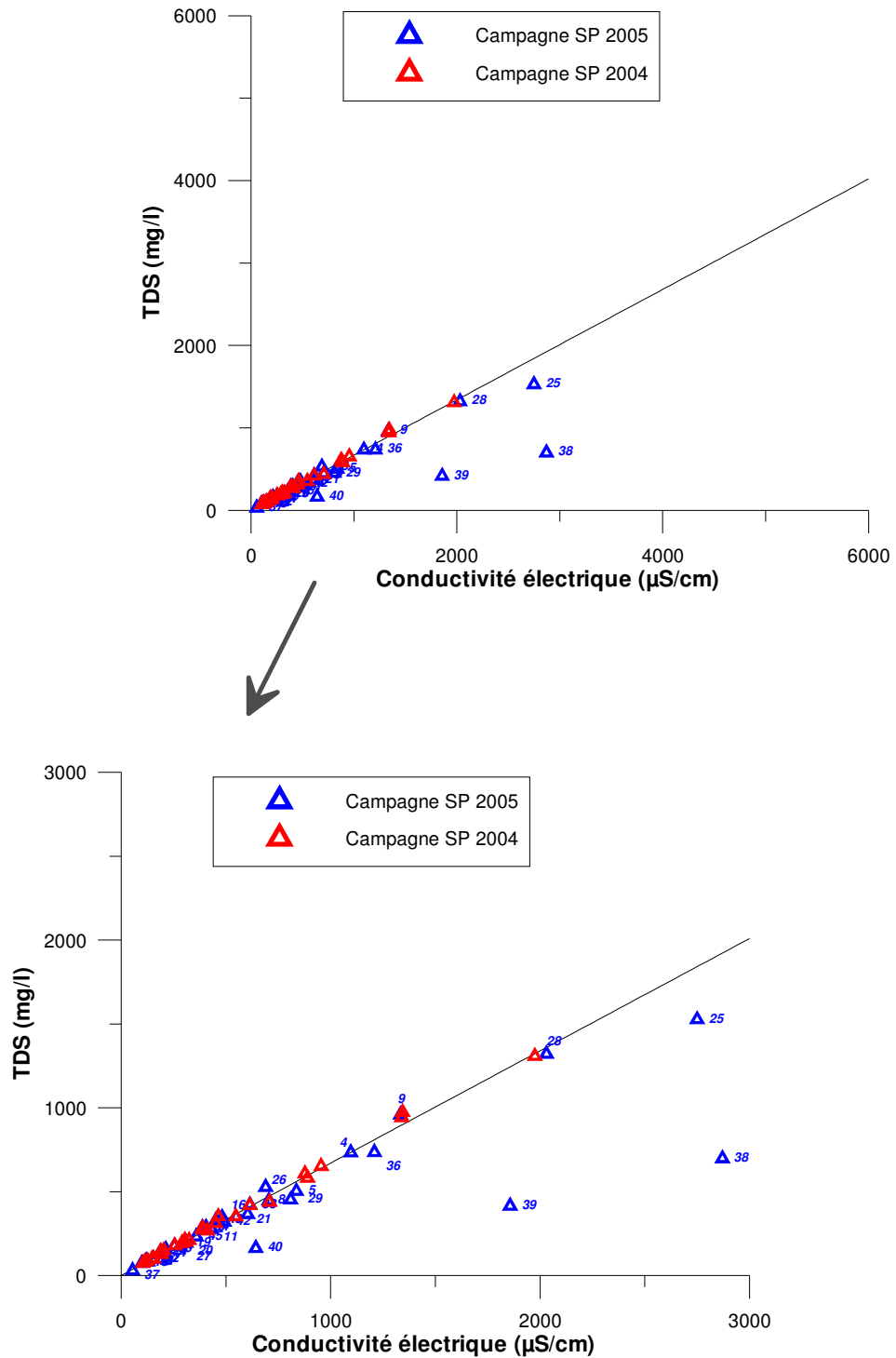


Figure 3 : Diagramme de la conductivité en fonction du TDS pour les échantillons des campagnes en saison de pluies (nommée SP) 2004 et 2005, vue globale et vue agrandie

3.1.4. Relation pH – salinité

La salinité de l'eau, sous forme de la conductivité électrique, est représentée dans la *Figure 4* ci-dessous en fonction du pH.

On n'observe pas de lien avec le pH, mais certains points sont décalés par leur valeur de pH entre les différentes campagnes.

Les nouveaux forages du François - Grand Fond (n° 38), de Robert - Pontalery (n°39) et de Trinité - Le Galion (n°40) sont très excentrés de l'ensemble des points, en raison de leur pH élevé.

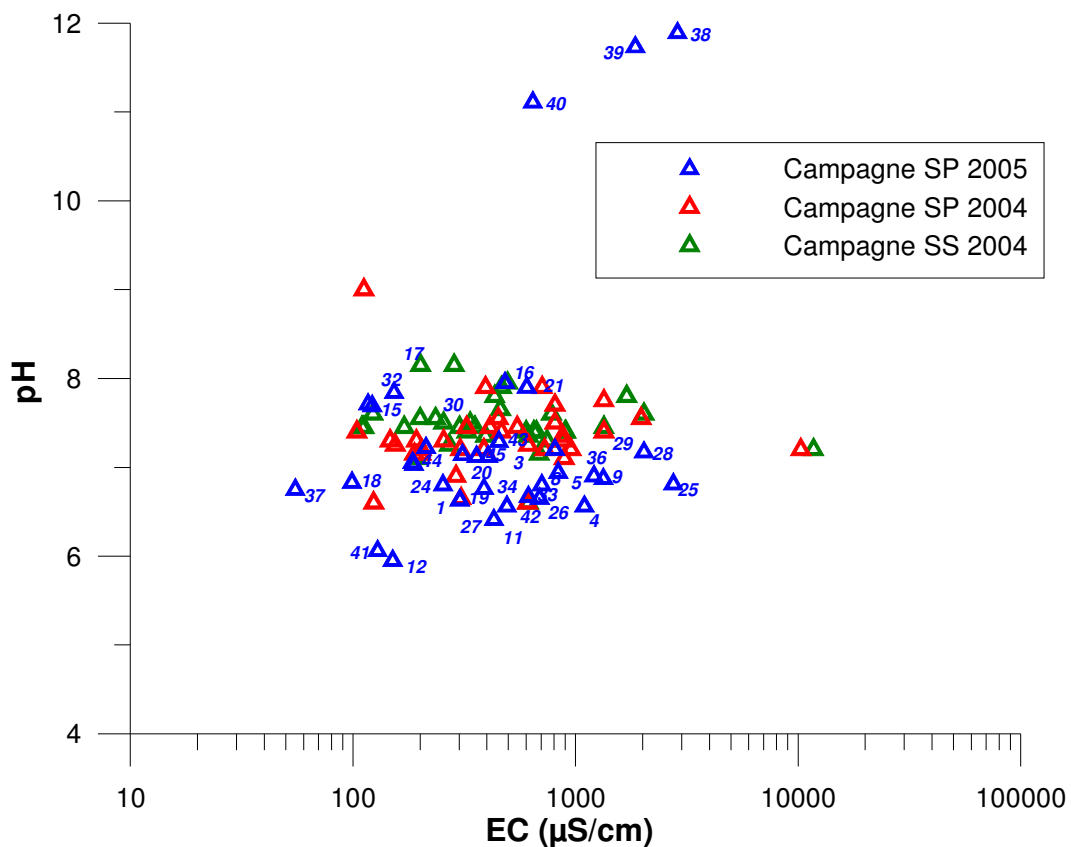


Figure 4 : Diagramme du pH en fonction de la conductivité électrique pour les échantillons des campagnes de saison sèche (SS) et de saison des pluies (SP), 2004 et 2005.

3.1.5. L'oxygène dissous : O₂

Ce paramètre a été mesuré *in situ* et est exprimé en mg/l ou en % (c.f. : Annexe 1). Il correspond à la quantité d'oxygène dissous dans l'eau souterraine en liaison avec l'état d'oxydoréduction de l'eau. Les valeurs pour la campagne en saison des pluies 2005 varient de 0.6 à 7.3 mg/l. Les valeurs les plus fortes ont majoritairement été rencontrées pour les eaux de source.

3.1.6. Le potentiel d'oxydoréduction : Eh

Le potentiel rédox pour la campagne 2005, corrigé de la valeur de l'électrode, varie de 87 à 444 mV. Plus le potentiel d'oxydoréduction est faible, plus le milieu est réducteur, et inversement, plus le potentiel Eh est fort plus le milieu est oxydant.

Ces variations sont (ou ne sont pas) liées avec le pH comme l'atteste la *Figure 5*. (Eh vs. pH).

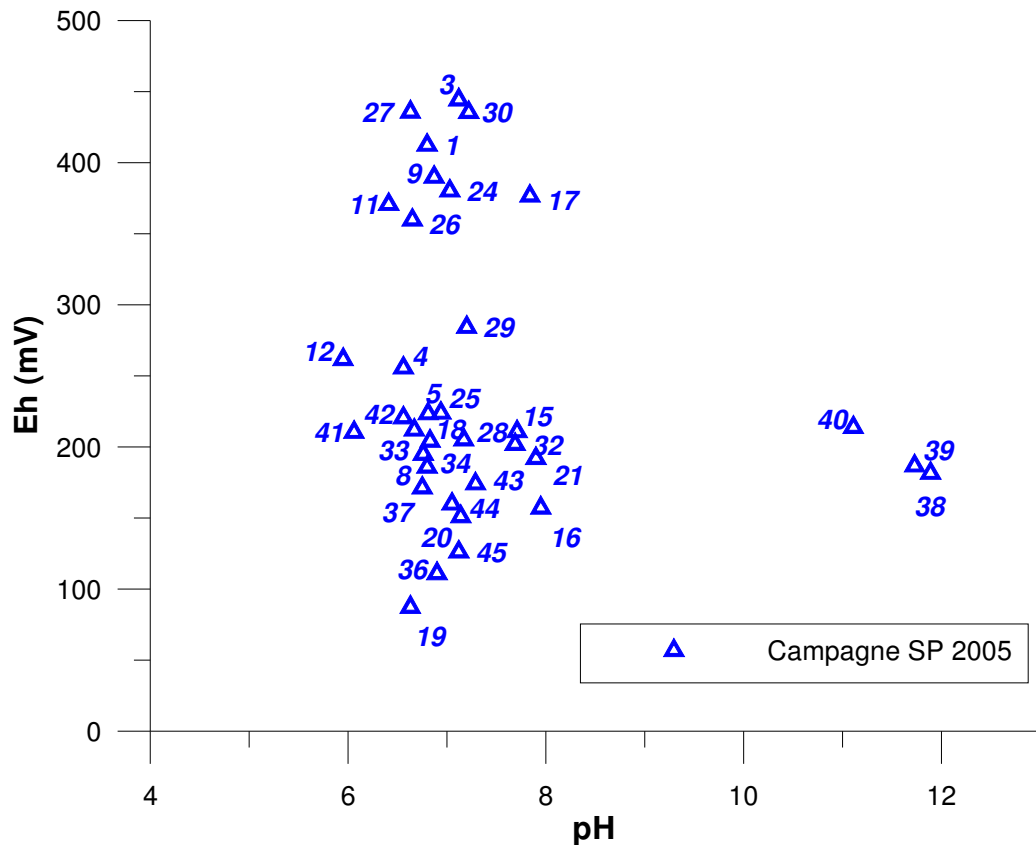


Figure 5 : Diagramme de Eh en fonction du pH pour les échantillons de la campagne de saison des pluies (SP)2005.

3.2. LES METAUX

Les valeurs utilisées comme normes sont fixées par le Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 et la directive du Conseil de l'Union européenne n°98/83/CE du 3 novembre 1998.

3.2.1. L'argent (Ag)

Tous les points suivis lors de la saison des pluies 2005 présentent des concentrations en Ag inférieures à la limite de quantification du laboratoire (5 µg/l).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 5 µg/l. Au dessous de 10 µg/l, cette eau reste de qualité acceptable pour être consommée, mais peut faire l'objet d'un traitement. Au dessus de 200 µg/l, l'eau est inapte à la production d'eau potable.

Les caractéristiques chimiques de l'argent n'autorisent pas l'existence, dans les eaux naturelles, de concentrations significatives (>1 µg/l). La solubilité de l'argent est limitée par celle de l'argent natif. Des teneurs supérieures à 10 µg/l seraient tout de même possibles dans des conditions oxydantes.

3.2.2. L'aluminium (Al)

L'aluminium n'a pas été retrouvé en 2005 sur les mêmes points qu'en 2004 lors des campagnes en saison des pluies et saison sèche.

En effet, cette année 6 nouveaux points présentent une concentration en aluminium supérieure à la limite de quantification. On y retrouve 5 forages réalisés fin 2005 (Lorrain - Fond Brulé (n°45), Robert - Pontalery (n°39), François - Grand Fond (n°38), Trinité - Le Galion (n°40) et St Pierre - CDST (n°44)), ainsi que la source de Trinité-Morne Figue (n°17). Un seul point enregistre une concentration supérieure à la norme : Lorrain - Fond Brulé (n°45, 210 µg/l). On peut noter néanmoins que les deux points suivants, Trinité - Morne Figue, Robert - Pontalery, présentent une concentration supérieure à 0.05 mg/l, avec respectivement 109 et 95 µg/l.

Norme : Si la concentration dépasse les 0.2 mg/l, cette eau brute (avant traitement) devra être désinfectée. La concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation humaine est de 0.05 mg/l.

Une étude, menée en 1997 (BRGM R 39359 ANT 97 : Caractérisation des excès d'aluminium dans les eaux superficielles de la Martinique) a montré que les teneurs en aluminium dans les eaux superficielles se caractérisaient par une grande variabilité dans l'espace et dans le temps, avec des dépassements caractérisés par des pics brutaux. Les teneurs seraient liées à la turbidité de l'eau, et aurait pour origine les produits d'altération pédoclimatique facilement mobilisables du substratum volcanique (minéraux alumino-siliceux présents dans les argiles).

Une autre étude, menée en 2001 (BRGM/RP-50991-FR - BRACH.M., NEGREL.P., WIDORY.D. (2001) - Teneurs naturelles en aluminium des eaux brutes de Guyane.) a montré que les teneurs en aluminium dans l'eau sont aussi liées au mode de filtration.

Si la teneur en aluminium est liée à la turbidité (l'aluminium étant lié aux colloïdes), elle-même liée à la pluviométrie, on pourrait en déduire une augmentation des teneurs en aluminium pendant la saison des pluies. Ce qui devra être vérifié avec les prélèvements de la saison sèche 2006.

3.2.3. L'arsenic (As)

L'arsenic a été retrouvé sur un seul site, le piézomètre de Bellefontaine - Fond Laillet (n°43, 5 µg/l).

Les deux points, qui indiquaient en janvier 2004 des teneurs en Arsenic, présentent cette année en saison des pluies des concentrations inférieures à la limite de quantification (5 µg/l).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 5 µg/l. Au dessus de 100 µg/l, cette eau est inapte à la production d'eau potable.

L'arsenic est présent naturellement dans tous les milieux qui constituent l'environnement. Il est généralement rencontré sous la forme de composés de soufre et de nombreux métaux (cuivre, cobalt, plomb, zinc, 245 minerais au total) et a déjà été retrouvé dans des roches volcaniques (Massif Central, Vosges). Dans l'eau, il se présente sous forme inorganique. Il est présent dans l'eau de mer à environ 20 µg/l. L'arsenic est lié à l'état d'oxydoréduction de l'eau souterraine.

3.2.4. Le Bore (B)

Le Bore a été déterminé sur les 34 points suivis, mais aussi dans l'eau de pluie (21 µg/l) avec une gamme de concentration qui varie entre 11 et 328 µg/l. Il est à noter que 16 points présentent une concentration supérieure à 50 µg/l (c.f. : ANNEXE 1).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 50 µg/l. Au dessous de 1000 µg/l, cette eau reste de qualité acceptable pour être consommée, mais peut faire l'objet d'un traitement.

Le bore est un élément présent naturellement dans l'environnement, mais les rejets de bore dus aux activités humaines demeurent fortement liés aux rejets d'eaux usées, notamment domestiques (le borate de sodium est présent dans les détergents). Un traitement par osmose inverse permettrait de réduire les teneurs en bore dans l'eau.

L'investigation des données de 17400 concentrations de bore sur 6400 eaux souterraines (Italie, Chypre, Grèce, Gaza) synthétisées dans le cadre du projet BOREMED (European Union, 5th Framework Program, contract EVK1-CT-2000-00046) a mis en évidence que 30% des valeurs sont inférieures à 0.3 mg/l, 23% inférieures à

0.5 mg/l et 14% inférieures à la limite fixée par la Directive EU des eaux potables (1 mg/l).

La plupart des anomalies en bore sont liées aux spécificités de l'environnement géologique et à la nature lithologique des aquifères. Une des principales conclusions de ce projet est la mise en évidence d'une origine naturelle géogénique (via les interactions eau-roche) pour les teneurs élevées en bore des aquifères étudiés.

Toutefois la grande variabilité vers des teneurs fortes n'exclut pas une pollution (lessives, engrais). Là, l'utilisation des isotopes du bore pourrait amener de plus amples informations sur l'origine et la variabilité de cet élément.

3.2.5. Le Baryum (Ba)

21 des prélèvements effectués lors de la saison de pluies 2005 présentent une concentration supérieure à la limite de quantification (5 µg/l), dont l'eau de pluie (8 µg/l). Les concentrations varient de 5 à 211 µg/l. Les concentrations les plus importantes ont été mesurées dans les eaux des piézomètres du Robert - Pontalery (n°39, 211 µg/l) et du François - Grand Fond (n°38, 190 µg/l) ; ce sont les 2 points ayant une concentration supérieure à 100 µg/l. Ces deux points avec des pH alcalin font partie d'un descriptif particulier (cf. §3.9.).

Norme : La valeur guide de 100 µg/l est indiquée pour les eaux de surface destinée à l'alimentation en eau potable, si le traitement est minimal. Le décret français 2001 - 1220 du 20/12/2001 s'accorde avec les recommandations de l'OMS et fixe une concentration maximale de 700 µg/l.

Le baryum est relativement important dans les roches ignées, et l'est un peu moins dans les roches sédimentaires. Le principal minéral contenant du baryum est la barytine BaSO₄. Il peut également entrer dans la composition de feldspaths. La présence de barytine, quelque soit la lithologie de l'aquifère, peut être un élément favorable à l'occurrence de baryum dans les eaux souterraines, bien que ce minéral ne soit que peu soluble.

Aucune relation n'est observée entre les sulfates et le baryum pour les eaux de cette campagne de prélèvements, leur origine dans les eaux n'est donc pas commune.

3.2.6. Le Béryllium (Be)

Aucun des points suivis en 2005 n'indique une concentration supérieure à la limite de quantification (5 µg/l).

3.2.7. Le Cadmium (Cd)

Aucun des points suivis en 2005 n'indique une concentration supérieure à la limite de quantification (2 µg/l).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépassée une concentration de 1 µg/l. Au dessous de 5 µg/l, cette eau reste de qualité acceptable pour être consommée, mais peut faire l'objet d'un traitement.

3.2.8. Le Cobalt (Co)

Aucun des points suivis en 2005 n'indique une concentration supérieure à la limite de quantification (2 µg/l).

3.2.9. Le Chrome (Cr)

3 points suivis en 2005 présentent une concentration supérieure à la limite de quantification (5 µg/l). Ils correspondent à 3 des forages réalisés fin 2005 (François - Grand Fond (n°38), Robert - Pontalery (n°39) et Trinité - le Galion (n°40)). Parmi ces derniers, 2 ont des concentrations en Cr supérieures à 50 µg/l : les piézomètres du François – Grand Fond (102 µg/l) et du Robert – Pontalery (52 µg/l).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépassée une concentration de 25 µg/l. Au dessous de 50 µg/l, cette eau reste de qualité acceptable pour être consommée, mais peut faire l'objet d'un traitement.

Un contexte volcanique ou intrusif semble être le plus favorable à l'existence de concentrations en chrome significatives (Robertson, 1991). Le temps de résidence semble également jouer un rôle important ; les eaux les plus vieilles étant les plus concentrées. De plus, un pH alcalin et un milieu oxygéné favorise la mise en solution du chrome. Enfin, certains auteurs comme Roberston (1991) ont remarqué une corrélation entre le chrome hexavalent et le fluor, cette relation serait indirecte et proviendrait d'une influence commune du pH.

C'est ce qui est observé ici pour les 3 forages du François - Grand Fond, Robert - Pontalery et Trinité - Le Galion. Ces eaux, qui présentent des pH alcalins, sont décrites dans un paragraphe particulier (cf. §3.9).

3.2.10. Le Cuivre (Cu)

7 points suivis en 2005 présentent une concentration supérieure à la limite de quantification (2 µg/l). Les concentrations varient de 2 à 11 µg/l (c.f. : Annexe 1). La concentration la plus importante correspond au forage d'exploitation de Gros Morne - Vert Pré (n°19).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépassée une concentration de 25 µg/l. Au dessous de 5 µg/l, cette eau reste de qualité acceptable pour être consommée, mais peut faire l'objet d'un traitement.

Le cuivre est référencé comme un élément indésirable, mais sa toxicité n'est pas certaine.

L'environnement géologique peut être une source de cuivre, surtout dans le cas d'eaux acides et en présence, en profondeur, de sulfures de cuivre plus ou moins oxydés. Mais généralement les caractéristiques chimiques du cuivre (pH, Eh, solubilité des minéraux, coprécipitation) n'autorisent pas l'existence de fortes concentrations dans les eaux naturelles. Celles-ci ne dépassent pas habituellement 1 µg/l.

3.2.11. Le Lithium (Li)

7 points suivis en 2005 présentent une concentration supérieure à la limite de quantification (10 µg/l). Les concentrations varient de 12 à 52 µg/l (c.f. : Annexe 1). Les valeurs les plus importantes ont été retrouvées pour les piézomètres du François - Grand Fond (n°38, 52 µg/l) et des Trois Ilets - Vatable (n°28, 43 µg/l).

3.2.12. Le Nickel (Ni)

Le Nickel a été détecté sur un seul point lors de la saison des pluies 2005, Schoelcher - Fond Lahaye (n°4), avec 6 µg/l.

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 10 µg/l. Au dessus de 20 µg/l, l'eau n'est plus potable et nécessite un traitement de potabilisation.

Le nickel est un allergène connu depuis longtemps. Il agit principalement par voie cutanée et par ingestion d'aliments et d'eau de boisson. Il existe d'autres effets du nickel, en particulier suite à une exposition par voie respiratoire. Son inhalation peut provoquer de l'asthme et est, à forte dose, cancérigène.

Dans les eaux souterraines, la principale source de nickel est l'oxydation de la pyrite contenant du nickel substitué au fer. Les concentrations en nickel sont généralement inférieures à quelques µg/l, même pour des eaux issues de milieux potentiellement riches en nickel comme les basaltes à olivine.

3.2.13. Le Plomb (Pb)

Aucun des points suivis en 2005 n'indique une concentration supérieure à la limite de quantification (2 µg/l).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 5 µg/l. Au dessus de 10 µg/l, l'eau n'est plus potable et nécessite un traitement de potabilisation.

Dans les eaux souterraines, des concentrations en plomb d'origine naturelle supérieures au seuil analytiques sont très rares, même si le contexte géologique en est riche.

3.2.14. Le Strontium (Sr)

Le strontium a été retrouvé dans 33 des points suivis et dans l'eau de pluie (10 µg/l). Seul le piézomètre du Lamentin - Sarault (n°16) indique une concentration inférieure à la limite de quantification (10 µg/l). Les concentrations varient entre 10 et 1354 µg/l (c.f. Annexe 1). La valeur la plus importante correspond au piézomètre de François – Grand Fond (n°38). Ce point à pH alcalin est traité dans le paragraphe 3.9.

Norme : le strontium n'est source d'aucune contrainte pour les eaux destinées à la consommation humaine. C'est pourquoi, aucun texte réglementaire ne fixe de concentration maximale admissible.

Chimiquement le strontium s'apparente au calcium auquel il se substitue dans les roches ignées comme dans les carbonates.

Les milieux sédimentaires semblent être les contextes les plus favorables à l'occurrence de strontium dans l'eau, notamment les niveaux évaporitiques, riches en célestine SrSO₄. Les filons hydrothermaux, dans lesquels la strontianite SrCO₃ est abondante, sont des milieux privilégiés pour trouver du strontium.

3.2.15. Le Zinc (Zn)

Le zinc a été retrouvé dans 29 des points suivis en 2005, ainsi que dans l'eau de pluie (23 µg/l). 4 sources et le piézomètre du Lamentin - Sarault (n°16) indiquent une concentration inférieure à la limite de quantification (5 µg/l).

Les concentrations varient entre 6 et 121 µg/l (c.f. Annexe 1). La valeur la plus importante correspond au piézomètre du Prêcheur - Rivière du Prêcheur (n°30), c'est aussi la seule concentration supérieure à 100 µg/l. Les autres sources analysées présentent des concentrations très faibles (6 et 7 µg/l).

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 100 µg/l. Au dessus de 5000 µg/l, l'eau n'est plus potable et nécessite un traitement de potabilisation.

3.2.16. Le Fer (Fe)

Le fer a été retrouvé dans 19 des points suivis en 2005. L'eau de pluie, 10 piézomètres ou forages et 5 sources indiquent une concentration inférieure à la limite de quantification (0.02 mg/l).

Les concentrations varient entre 0.02 et 6.6 mg/l (c.f. Annexe 1). La valeur la plus importante correspond au piézomètre du Rivière Pilote - La Mauny (n°36). Cette forte valeur est liée à l'état d'oxydoréduction de l'eau. En effet, le potentiel d'oxydoréduction (Eh) est faible pour ce point et le taux d'oxygène dissous est aussi un des plus faibles. Par ailleurs, parmi ces 19 points, 7 d'entre eux présentent une concentration supérieure ou égale à 0.2 mg/l, et 5 autres une concentration supérieure à 0.05 mg/l.

Norme : la concentration en Fer, pour une eau destinée à la consommation humaine, ne doit pas dépasser 0.2 mg/l (0.05 mg/l pour une eau de qualité optimale pour être consommée). Une valeur d'expert (c.f. SEQ eau souterraine) fixe à 10 mg/l, la concentration maximale au delà de laquelle on ne peut plus utiliser les procédés usuels de traitement de déferrisation.

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est naturellement présent dans les eaux souterraines. Généralement une forte valeur en fer donne un des indices sur la captivité de la nappe. Le fer est un oligo-élément indispensable à la santé humaine. Des concentrations en fer, même élevées, ne constituent pas de risque pour la santé humaine. Plusieurs techniques d'élimination existent.

Remarque : les piézomètres présentant en 2004 des concentrations supérieures à 10 mg/l n'ont pas été suivis lors de la campagne 2005.

3.2.17. Le Manganèse (Mn)

Le manganèse est associé au fer dans les eaux souterraines de Martinique. On le retrouve généralement dans les mêmes piézomètres que ceux où l'on a trouvé du fer.

Le manganèse a été retrouvé dans 19 des points suivis en 2005. L'eau de pluie indique bien évidemment une concentration inférieure à la limite de quantification (5 µg/l).

Les concentrations varient entre 6 et 2170 µg/l (c.f. : Annexe 1). La valeur la plus importante correspond au piézomètre du Rivière Pilote - La Mauny (n°36). Cette forte valeur est due à l'état d'oxydoréduction de l'eau. Par ailleurs, parmi ces 14 points, 2 d'entre eux présentent une concentration supérieure ou égale à 1000 µg/l (Rivière-Pilote - La Mauny et Gros Morne - La Borelli (n°24)), 8 autres une concentration supérieure à 50 µg/l et 3 autres une concentration supérieure à 20 µg/l.

Norme : la concentration en manganèse ne doit pas dépasser, pour une eau destinée à la consommation humaine, les 50 µg/l. (20 µg/l pour une eau de qualité optimale pour être consommée). Une valeur d'expert (c.f. SEQ eau souterraine) fixe à 1000 µg/l la concentration maximale au-delà de laquelle l'eau est inapte à la production d'eau potable.

Le manganèse est lui aussi présent, mais en quantité moindre, dans les roches, et on le retrouve aussi dans les eaux souterraines, là aussi en quantité moindre au fer. Sa présence dans les eaux souterraines, ainsi que celle du fer, est liée à la géologie de l'aquifère.

Remarque : les piézomètres présentant en 2004 des concentrations supérieures à 1000 µg/l, soit n'ont pas été suivis en 2005, soit indiquent des valeurs plus faibles en 2005. Cependant, il est à noter que les piézomètres de Schoelcher - Case Navire (n°5) et de Gros Morne - La Borelli indiquent des valeurs proches de 1000 µg/l pour les saisons des pluies 2004 et 2005. Il sera intéressant de comparer ces valeurs avec celles à venir de la saison des pluies 2006.

3.2.18. Corrélation Fer – Manganèse

Le fer et le manganèse ont un comportement assez proche ; l'un peut être considéré comme majeur, le fer, avec des concentrations atteignant plusieurs mg/l et l'autre comme mineur, le manganèse, avec des concentrations plus faibles.

Les mesures effectuées lors des campagnes de prélèvements en saison sèche et saison de pluies 2004 ne permettaient pas de voir un lien entre les concentrations en fer et en manganèse (c.f. : *Figure 6*). La concentration en fer la plus élevée n'est pas supportée par une forte concentration en Mn, et inversement.

Néanmoins, en comparant les données des deux campagnes en saison des pluies 2004 et 2005 (c.f. : *Figure 6* et *Figure 7*), on remarque une relation entre certains des points suivis.

De plus, ces deux éléments sont sensibles à l'état d'oxydoréduction des eaux. Le potentiel redox (Eh) n'a été déterminé que sur la dernière campagne de prélèvements. Pour l'instant ces données préliminaires ne sont pas suffisantes pour une interprétation précise.

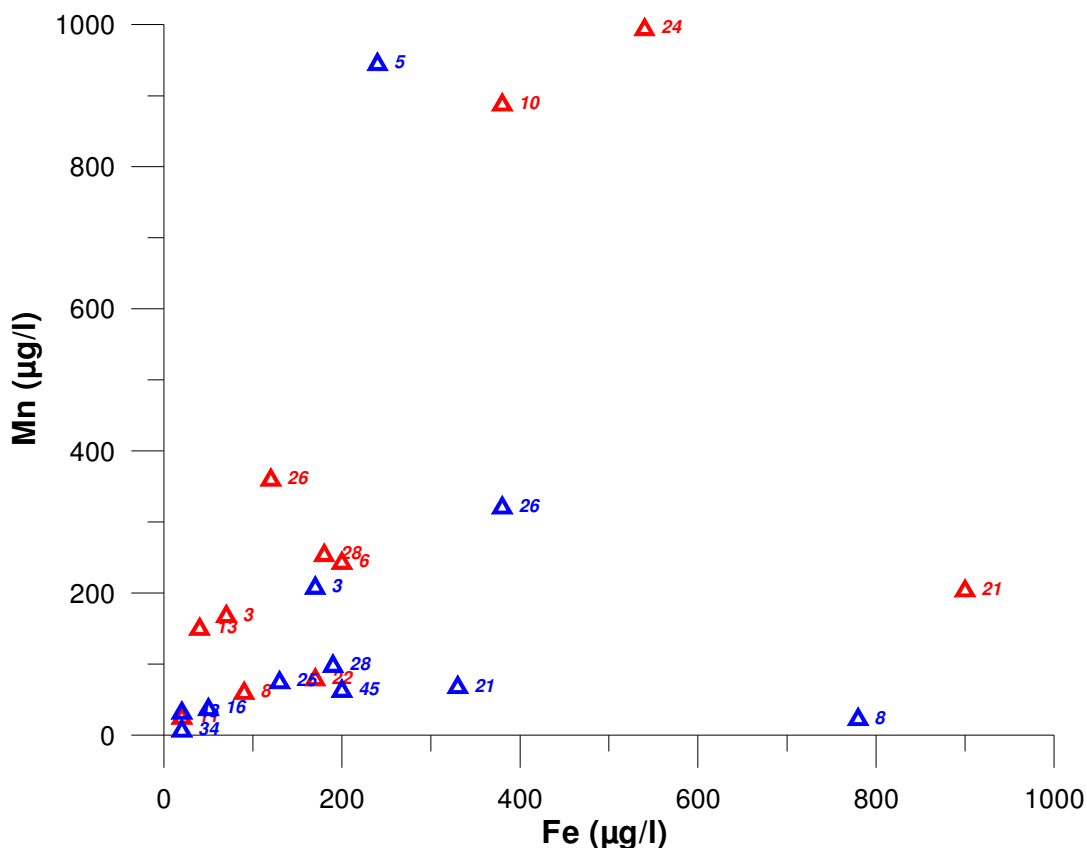


Figure 7 : Diagramme de la concentration en fer (en mg/l) en fonction de la concentration en manganèse (en µg/l) pour les échantillons des campagnes en saison de pluies 2004 et 2005, vue agrandie.

3.3. LES PRODUITS AZOTES ET PHOSPHORES

Les valeurs utilisées comme norme sont fixées par le Décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 et la directive du Conseil de l'Union européenne n° 98/83/CE du 3 novembre 1998.

L'eau d'une nappe ne contient naturellement que peu de composés azotés: ceux-ci, provenant de la décomposition de la matière vivante par les micro-organismes, sont minéralisés en azote gazeux ou restent en faible quantité dans le sol. C'est l'augmentation artificielle de la quantité d'azote combiné disponible dans le sol qui crée un déséquilibre entre l'apport et la consommation et produit un excès d'azote qui est finalement entraîné vers la nappe. Cet azote se trouve sous forme de nitrates et d'ammonium.

Le type de nappe et la réactivité de celle-ci, ainsi que la nature géochimique de l'aquifère mais aussi le temps de transit de l'eau dans la nappe jouent un rôle important vis-à-vis des teneurs en produits azotés et phosphorés dans les eaux souterraines. Dans l'état actuel des connaissances, nous ne disposons que de trop peu d'analyses,

à un pas de temps trop espacé, pour proposer une hypothèse valable sur les variations des teneurs en produits azotés et phosphorés dans les eaux.

3.3.1. L'ammonium (NH₄)

L'ammonium a été retrouvé sur 2 piézomètres (Robert - Pontalery (n°39) et Schoelcher - Case Navire (n°5)) en saison de pluies 2005, ainsi que dans l'eau de pluie. Tous les autres points indiquent une concentration inférieure à la limite de quantification (0.01 mg/l). Les concentrations retrouvées sur ces 3 points sont égales (0.10 mg/l), et donc supérieures à 0.05 mg/l.

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 0.05 mg/l. Au dessus de 0.5 mg/l, l'eau n'est plus potable et nécessite un traitement de potabilisation. Une eau dépassant les 4 mg/l est inapte à la production d'eau potable.

Les points qui présentaient en 2004 des concentrations supérieures à la norme (0.05 mg/l) soit enregistrent des concentrations plus faibles, voir inférieures à la limite de quantification, soit n'ont pas été analysés lors de la saison des pluies 2005.

Par exemple, le piézomètre de Schoelcher - Case Navire qui enregistrait en saison sèche et saison des pluies 2004 une concentration en NH₄ de 0.2 mg/l, indique en saison des pluies 2005 une valeur de 0.1 mg/l.

Dans les eaux souterraines, l'ammonium peut être lié à la réduction des nitrates (en association avec le fer). Outre cette origine 'naturelle', il peut aussi être d'origine agricole (élevage), urbaine (rejets d'effluents) ou industrielle. La présence d'ammonium dans les eaux souterraines provient d'une contamination de surface à partir d'effluents ou d'un phénomène de réduction des nitrates fréquent dans les nappes captives et nous donne un indice sur la pollution organique. Elle peut également donner un indice sur une éventuelle pollution microbiologique.

L'excès d'ammonium peut modifier le goût de l'eau (présence de chloramines) ou provoquer la prolifération de bactéries nitrifiantes dans les réseaux de distribution.

3.3.2. Les nitrates (NO₃)

Les nitrates ont été retrouvés dans 28 des points suivis en 2005. 4 piézomètres, 2 sources et bien évidemment l'eau de pluie indiquent une concentration inférieure à la limite de quantification (5 mg/l).

Les concentrations varient entre 0.7 et 48.9 mg/l (c.f. Annexe 1). Les valeurs les plus importantes correspondent à des piézomètres du nord - atlantique de l'île, dont deux sont situés sur la commune de Basse Pointe : Basse Pointe - Chalvet (n° 42, 48.9 mg/l), Basse Pointe - Rivière Falaise (n°27, 41.20 mg/l) et Lorrain - Fond Brulé (n°45, 39 mg/l). Tous les autres points présentent des concentrations inférieures à 0.25 mg/l.

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 0.25 mg/l. Au dessus de 50 mg/l, l'eau n'est plus potable et nécessite un traitement de potabilisation.

Les nitrates sont des sels très solubles qui sont facilement entraînés en profondeur par les eaux d'infiltration. Leur origine est principalement agricole, la pollution engendrée est diffuse et est le résultat d'un excès de matières organiques végétales en décomposition sur et dans le sol après la récolte, après un déboisement, un épandage d'engrais azotés en quantité supérieure aux besoins des plantes cultivées: engrais chimiques (nitrates de potasse, scories, ...) et engrais organiques (fumier, lisier, boues de stations d'épuration...).

L'origine domestique et industrielle est secondaire; la pollution engendrée est plus ponctuelle (assainissement défectueux par exemple). La pollution de l'eau des nappes par les nitrates est malheureusement un phénomène généralisé. Elle atteint la quasi-totalité des nappes libres en France (c.f. L'état des eaux souterraines en France : aspects qualitatifs et quantitatifs, collection *Etudes et Travaux n°43*, Editions Ifen, 35 p. (téléchargeable <http://www.ifen.fr/publications/ET/et43.htm>).

Les valeurs mesurées lors de la saison des pluies 2005 sont dans leur majorité proches de celles mesurées lors de la saison des pluies 2004.

3.3.3. Les nitrites (NO₂)

Les nitrites ont été retrouvés dans 6 des points suivis en 2005. Tous les autres points suivis, ainsi que l'eau de pluie indiquent une concentration inférieure à la limite de quantification (0.01 mg/l).

Les concentrations varient entre 0.01 et 0.90 mg/l (c.f. : Annexe 1). Les valeurs les plus importantes correspondent aux piézomètres du François - Grand Fond (n°38, 0.90 mg/l) et du Robert - Pontalery (n°39, 0.26 mg/l). Tous autres points présentent des concentrations inférieures à 0.05 mg/l. Ces deux points, avec des pH alcalins, font partie d'un descriptif particulier (§3.9).

Les points qui indiquaient en 2004 des concentrations supérieures à 0.1 mg/l, soit présentent cette année des concentrations plus faibles, voire inférieures à la limite de quantification, soit n'ont pas été suivis en 2005. Par exemple, les piézomètres de Basse Pointe - Rivière Falaise (n°27) et de Ste Luce - Stade communal (n°29) dans lesquels avaient été mesurées des concentrations de, respectivement, 3.86 et 1.16 mg/l lors de la saison sèche 2004, indiquent en 2005 des concentrations inférieures à la limite de quantification.

Norme : Une eau de qualité optimale pour être consommée ne doit pas dépasser une concentration de 0.05 mg/l. Au dessus de 0.1 mg/l, l'eau n'est plus potable et nécessite un traitement de potabilisation. Une eau dépassant les 0.7 mg/l est inapte à la production d'eau potable.

Les nitrites sont peu stables et en conséquence, rarement présents dans les eaux souterraines. Dans ce cas, ils sont issus d'une pollution de surface proche. Ils sont donc un bon indice de contamination organique et bactériologique. En excès dans les eaux de consommation, les nitrites sont susceptibles dans de rares cas de provoquer une méthémoglobinémie chez les nourrissons. En nappes profondes, ou captives, les nitrites se transforment en ammonium.

En saison de pluies, les nitrites sont normalement beaucoup moins présents qu'en saison sèche. On peut penser que la dilution par la pluviométrie joue un rôle. Les analyses doivent cependant être pérennisées pour confirmer cette hypothèse, d'autant plus qu'aucune tendance ne s'est dégagée pour les nitrates.

Les produits azotés et les nappes captives : la transformation des nitrates en nitrites et ammonium est un indice supplémentaire pour définir le type de nappe. Ainsi les nappes où l'on a détecté ces 3 produits ont une forte propension à être captives. Ces indices doivent ensuite être corrélés avec les connaissances hydrogéologiques disponibles (suivi piézométrique, coupe de forages, paramètres hydrodynamiques...).

3.3.4. Les orthophosphates (PO₄)

Les orthophosphates ont été retrouvés dans 6 des points suivis en 2005. Tous les autres points suivis, ainsi que l'eau de pluie indiquent une concentration inférieure à la limite de quantification (0.1 mg/l).

Les concentrations varient entre 0.2 et 0.5 mg/l (c.f. Annexe 1). La valeur la plus importante correspond au piézomètre de Belle Fontaine - Fond Laillet (n°43).

Les points qui indiquaient en 2004 des concentrations en orthophosphates, soit présentent cette année des concentrations plus faibles, voire inférieures à la limite de quantification, soit n'ont pas été suivis en 2005. 12 des 15 points qui indiquaient en saison des pluies 2004 une valeur supérieure à 0.1 mg/l présentent cette année une concentration inférieure à la limite de quantification. Parmi les 3 points restant, 2 d'entre eux ont vu leur concentration en PO₄ diminuée et le dernier inchangée.

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de 5 mg/l.

Les orthophosphates sont connus pour provenir des lessives.

3.4. LES ELEMENTS MAJEURS

3.4.1. Caractère chimique des eaux

Les eaux des forages du François - Grand Fond (n°38), Robert - Pontalery (n°39) et Trinité - Le Galion (n°40), ayant des caractéristiques trop différentes, ne seront pas étudiées avec l'ensemble des points suivis lors de la saison de pluies 2005. Ces points font l'objet d'une description séparée (§ 3.9).

Dans les eaux étudiées, les sommes des cations (Σ^+) et des anions (Σ^-) analysés ont été calculées en $\mu\text{eq/l}$. Reportés dans un diagramme somme des anions Σ^- en fonction de la somme des cations Σ^+ (Figure 8), la totalité des échantillons présente un équilibre des charges en se positionnant sur la droite 1 : 1.

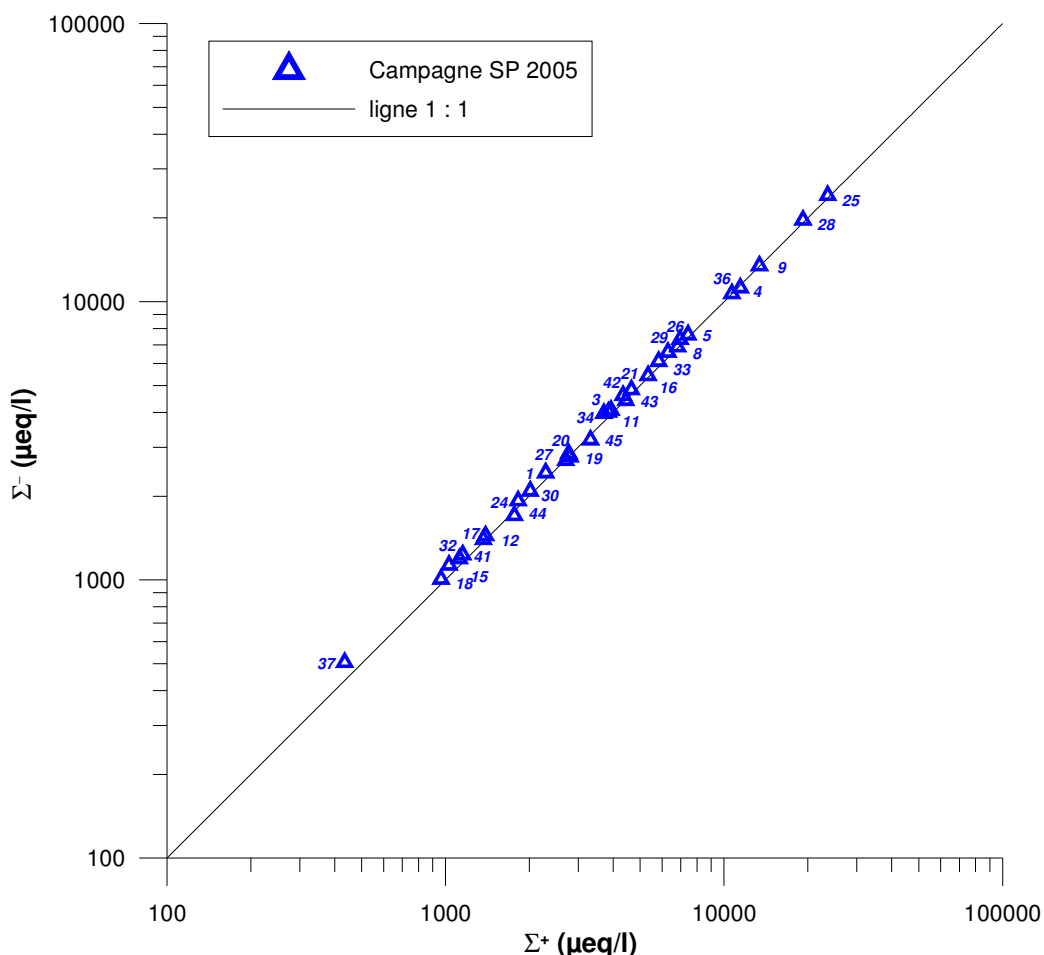


Figure 8 : Diagramme somme des anions Σ^- en fonction des cations Σ^+ pour les points de la campagne en saison des pluies 2005.

Seul l'échantillon d'eau de pluie montre un léger déséquilibre en faveur des anions.

La somme des cations (Σ^+) et des anions (Σ^-) calculée en $\mu\text{eq/l}$ 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 $\pm 5 \%$ qui sera retenue. La balance ionique est un élément permettant de contrôler la qualité des analyses uniquement pour les éléments majeurs.

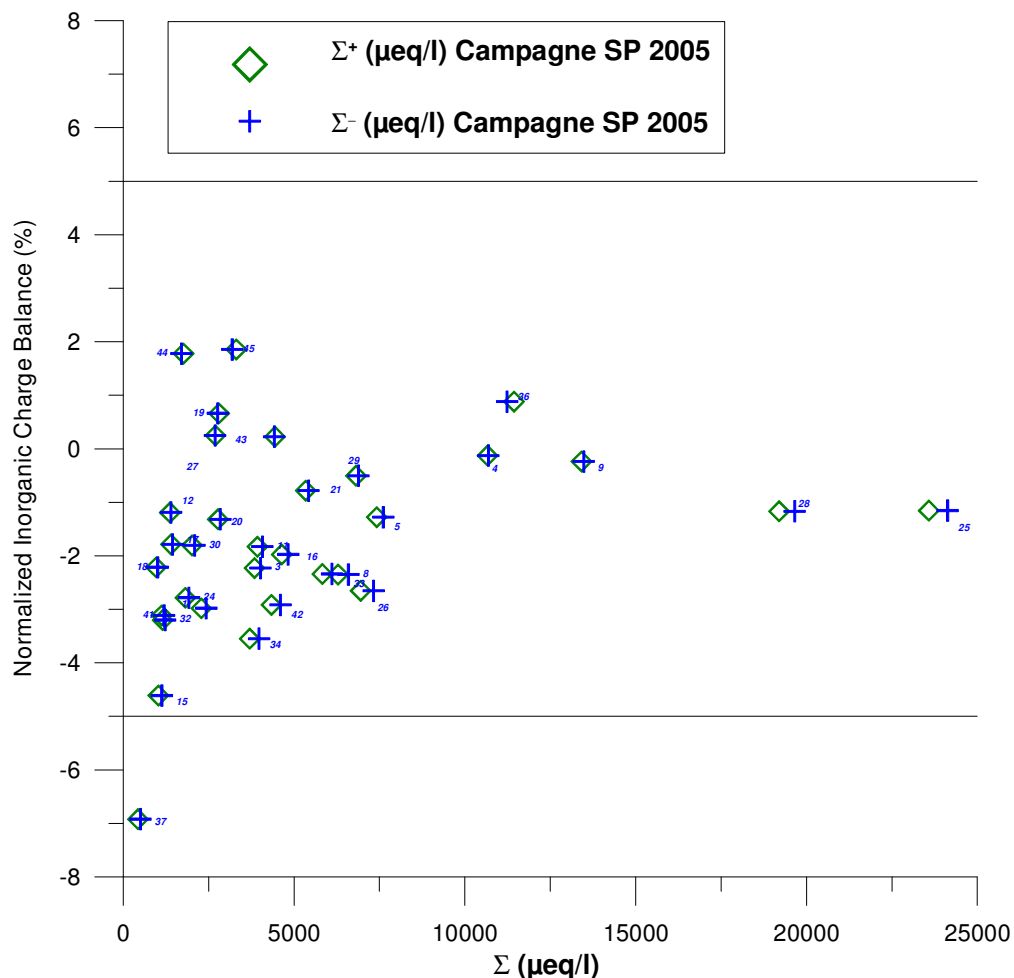


Figure 9 : Balance ionique en fonction des sommes en cations et anions des analyses de la campagne en saison des pluies 2005.

La *Figure 9* entre la balance ionique (NICB) et les sommes des cations (Σ^+) et anions (Σ^-) met en évidence que la totalité des points analysés de la campagne en saison des pluies 2005 ont une balance ionique comprise entre +5 % et -5 % (de 0.13 à 4.61 en valeur absolue).

Seule l'eau de pluie a une balance ionique inférieure à -5 % (-6.92 %), bien que l'ammonium, exprimé en NH_4 , ait été rajouté dans le calcul de la somme des cations, afin de corriger le faible excès d'anions. Les mauvaises balances ioniques dans les eaux de pluies sont un phénomène connu et fréquemment décrit dans la littérature.

3.4.2. Les relations inter-éléments

Les chlorures retrouvés dans l'eau de pluie (12.9 mg/l) sont 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 chlorures à la pluie.

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

Chlorures et sodium sont les deux éléments majeurs de l'eau de mer. La droite dite 'de dilution de l'eau de mer', et correspondant à la pente donnée par $[Cl/Na]$ dans un diagramme Cl vs. Na est fréquemment utilisée pour étudier le comportement de ces deux éléments. Cette utilisation est encore plus remarquable dans les études des eaux continentales sur des zones proches de l'océan (comme c'est le cas ici) car les aérosols marins véhiculés par les vents et les pluies ont des rapports Cl/Na marin. Ces apports constituent le signal d'entrée dans les eaux et la droite de dilution de l'eau de mer permet de caractériser des apports supplémentaires de ces deux éléments.

Diagramme Chlorures – Sodium

La *Figure 10* illustre la relation entre Na et Cl, la ligne représente la droite de dilution de l'eau de mer. Les échantillons d'eau présentent :

- ⇒ des caractéristiques proches de l'eau de mer pour certains points : 37, 17, 19, 20, 34, 42, 11, 33, 21, 5, 4,
- ⇒ un net enrichissement en Na pour d'autres :
 - 15 : Morne Rouge - Habitation Citron,
 - 18 : Fond Saint Denis - Source de l'Alma
 - 24 : Gros Morne - La Borelli,
 - 30 : Prêcheur - Rivière Prêcheur,
 - 44 : St Pierre - CDST,
 - 1 : Saint Pierre – Rivière Blanche,
 - 40 : Trinité - Le Galion,
 - 43 : Belle Fontaine - Fond Laillet,
 - 26 : Case Pilote - Maniba,
- ⇒ un enrichissement en Cl pour les points :
 - 36 : Rivière Pilote - La Mauny,
 - 25 : Anses d'Arlets - Grande Anse,

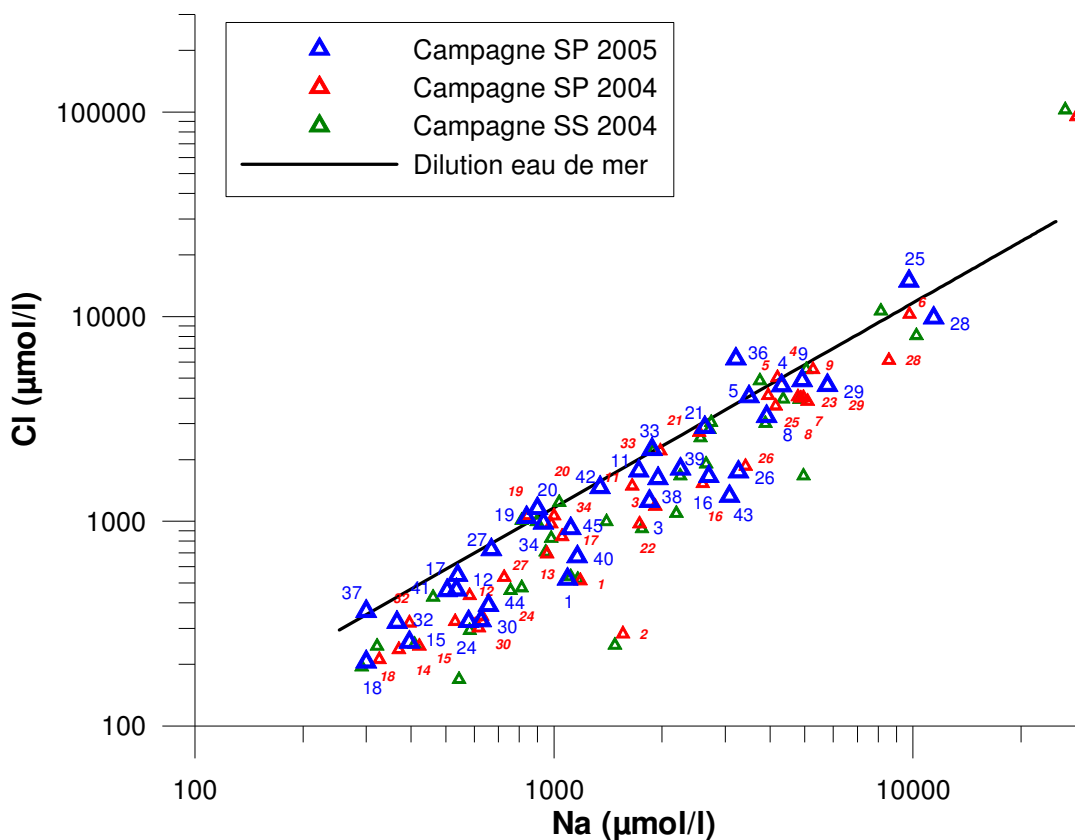


Figure 10 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en sodium (SS correspond à la saison sèche, SP aux différentes saisons des pluies)

⇒ Sur les 25 points en commun lors des deux campagnes en saison des pluies, 2004 et 2005, peu de variations sont visibles entre Cl et Na. Seuls 3 points présentent des différences notables. Ceci sera plus clairement mis en évidence dans la comparaison entre les deux campagnes (cf. chapitre ci-dessous).

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 près du littoral.

Deux phénomènes se distinguent entre les deux campagnes : soit un enrichissement en Na -Cl, soit un appauvrissement.

Les points de Trois Ilets - Vatable (28) et plus particulièrement des Anses d'Arlets - Grande Anse (25) montrent entre les saisons des pluies 2004 et 2005 une nette augmentation en Na et Cl, globalement le long de la droite pour le point 25 et enrichi en Na pour le point 28. L'influence d'un biseau salé, mais aussi du pompage lors du prélèvement, est possible mais les interactions eau-roche libérant du Na doivent

également être envisagées pour expliquer le décalage en faveur du sodium (*Figure 10*).

La source de Trinité - Morne Figure (17) présente quant à elle un appauvrissement en Na et Cl entre les deux saisons des pluies.

Diagramme Chlorures - Calcium

D'une manière identique, la *Figure 11* illustre les relations entre Cl et Ca. On observe cette fois un enrichissement en Ca de toutes les eaux par rapport à l'eau de mer.

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.

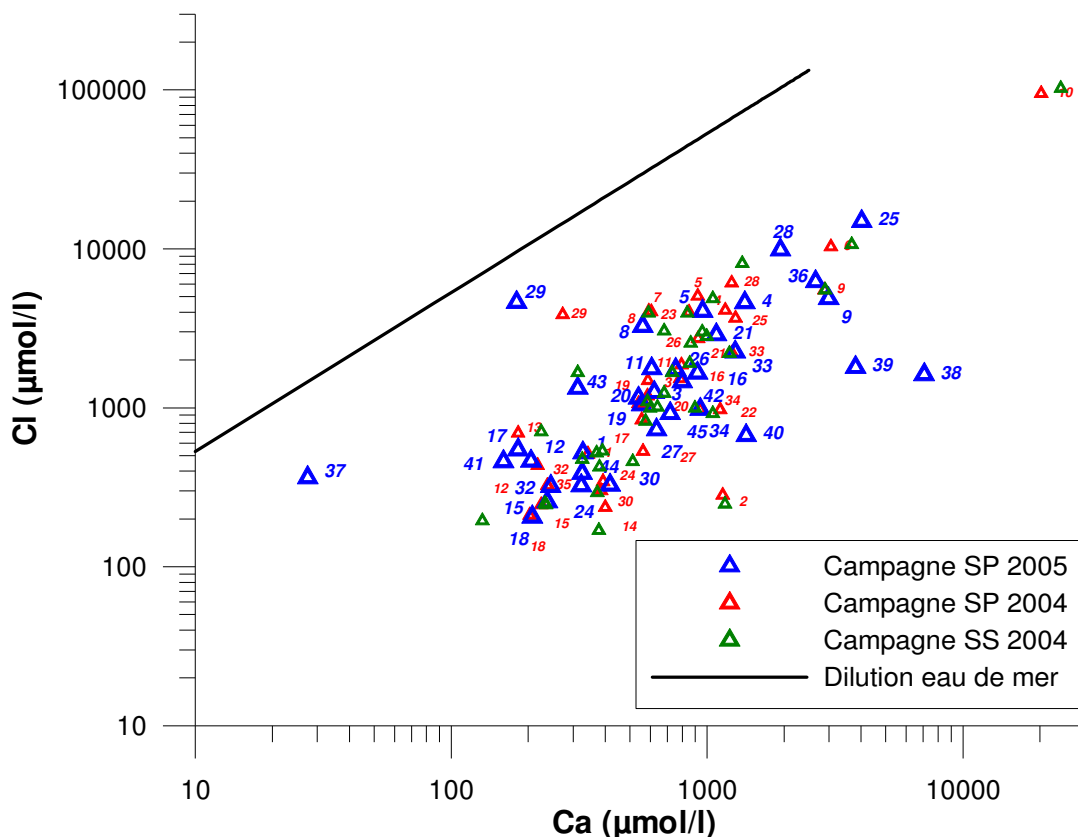


Figure 11 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en calcium

La présence de rares formations calcaires dans la zone d'étude ne suffit pas à expliquer ces apports supplémentaires en calcium.

Lors de la campagne 2005, seul le point 9, traverse des formations calcaires qui peuvent expliquer ses concentrations élevées.

Les points 25 et 28, respectivement Anses d'Arlets - Grande Anse et Trois Ilets - Vatable, indiquent eux aussi des concentrations importantes. Ces concentrations lors de la saison des pluies 2005 sont plus élevées que lors de la saison des pluies 2004.

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 points. Une étude plus fine, notamment via les codes de calculs géochimiques 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. Les points 36, 38, 39 et 40 correspondant aux forages de Rivière Pilote - La Mauny, François - Grand Fond, Robert - Pontalery et Trinité - Le Galion présentent un apport en calcium plus important que les autres. Il semblerait que les circuits hydrothermaux du secteur leur ait permis de s'enrichir encore plus en calcium.

Sur les 25 points en commun lors des deux campagnes en saison des pluies, 2004 et 2005, peu de variations sont visibles.

Diagramme Chlorures - Bore

La *Figure 12* illustre les relations entre Cl et B. On observe un enrichissement en bore de toutes les eaux analysées, à l'exception de l'échantillon 38 (François - Grand Fond) et des points 36 et 25 (respectivement Rivière Pilote - La Mauny et Anses d'Arlets - Grande Anse) qui présentent des teneurs dans les mêmes proportions que celles de l'eau de mer. Cet enrichissement est certainement le reflet des interactions eau-roche libérant du bore (Négre et al., 2002). Des apports de bore anthropique ne sont cependant pas à exclure.

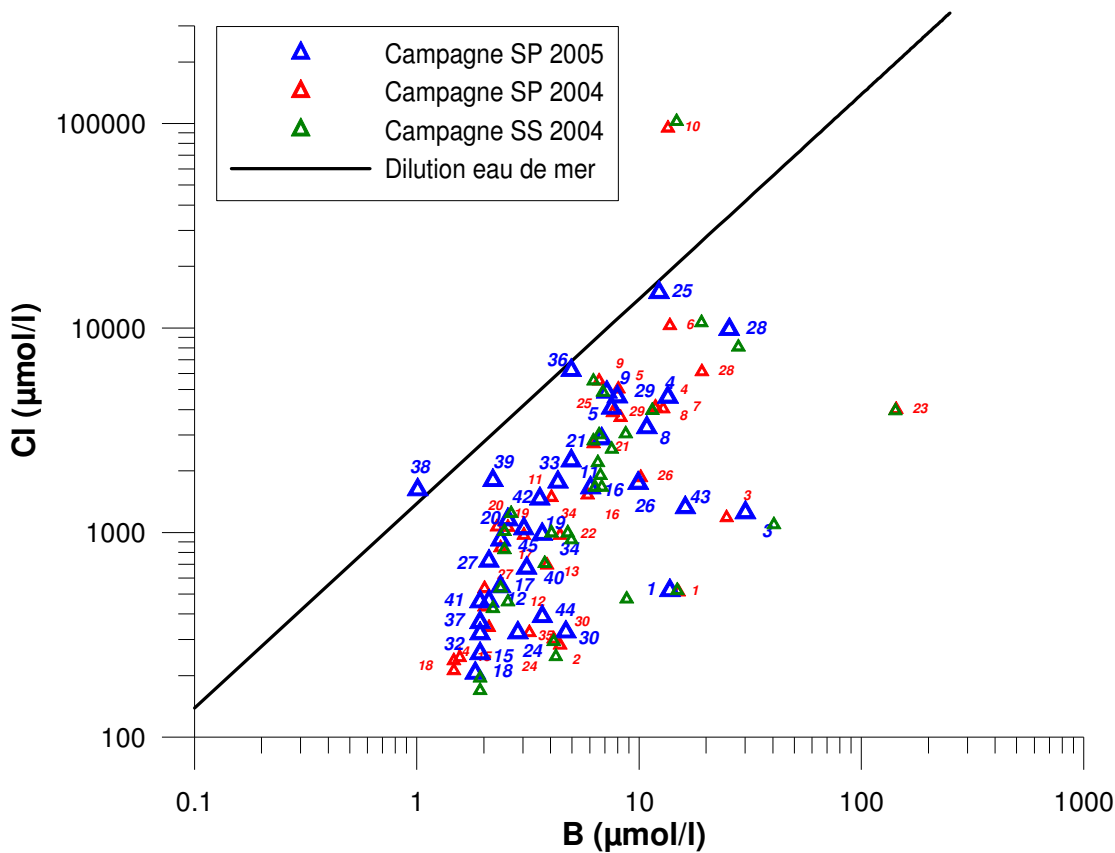


Figure 12 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en bore

On note également peu de variation entre les trois campagnes de prélèvement.

Les concentrations en bore observées n'indiquent pas un circuit hydrothermal très profond, qui généralement libère beaucoup de bore. Cependant, l'interaction eau-roche est bien mise en évidence par l'enrichissement en bore dans la plupart des eaux.

Diagramme Chlorures - Magnésium

Contrairement aux éléments chimiques précédents, la comparaison entre Cl et Mg (Figure 13) montre un enrichissement en Cl par rapport à Mg pour toutes les eaux. Ce dernier est peu amené par les pluies et aérosols marins et semble peu lié avec les interactions eau - roche.

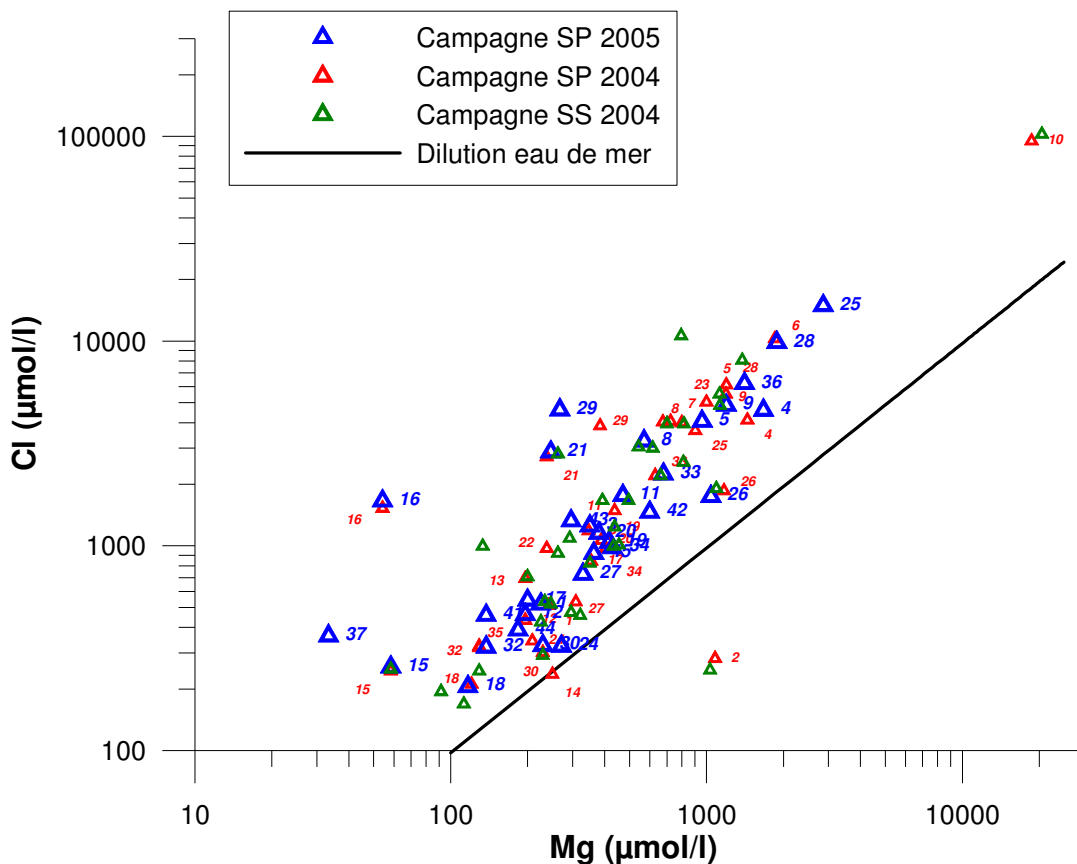


Figure 13 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en magnésium

A l'exception des points 25 (Anses d'Arlets - Grande Anse) et 28 (Trois Ilets - Vatable) clairement différents entre les deux campagnes, les autres points ne se dispersent pas entre les campagnes entre les trois campagnes de prélèvements. Ces deux points indiquent des concentrations en chlore et magnésium supérieures aux autres points en 2005, mais aussi un enrichissement en Cl et Mg entre les deux campagnes réalisées en saison des pluies.

Diagramme Chlorures - Potassium

La relation entre Cl et K est également en faveur de l'enrichissement en Cl (Figure 14). Le potassium est un élément très contraint par la végétation et sa concentration peut être diminuée dans les eaux par l'effet du « pompage » par la végétation.

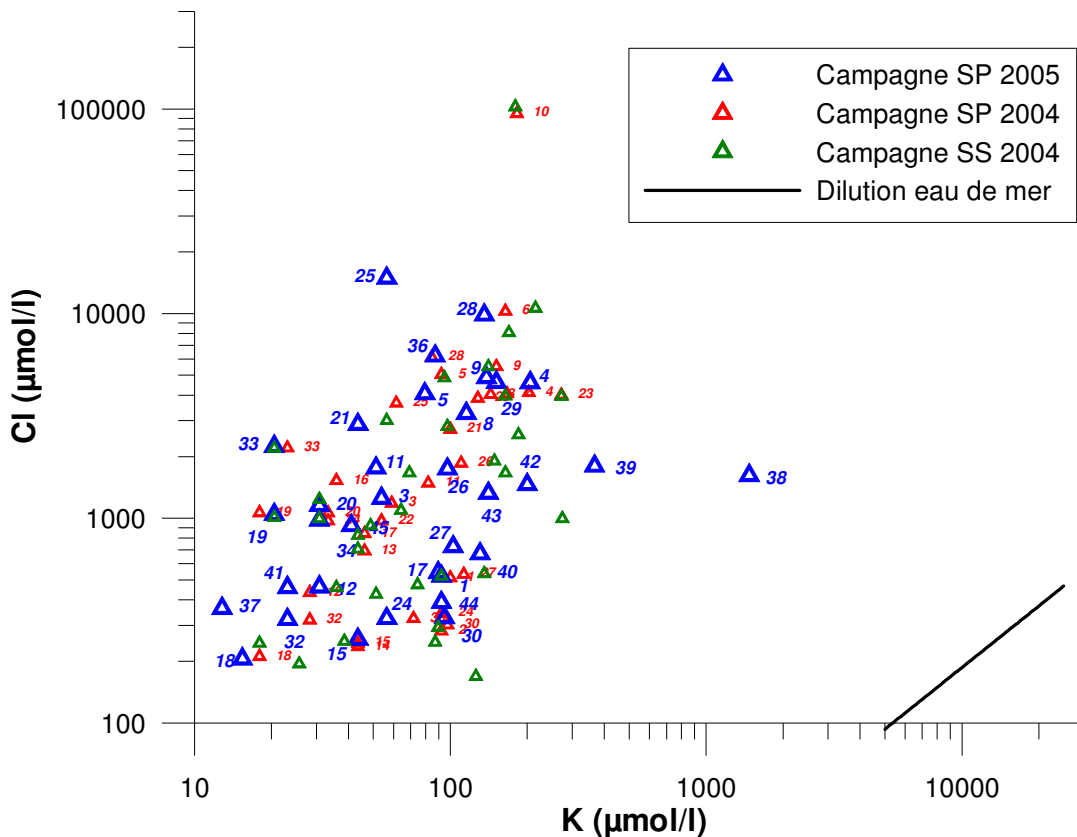


Figure 14 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en potassium

Globalement, on constate peu de variations entre les campagnes, à l'exception des points 25 et 28 qui varient entre les deux campagnes réalisées en saison des pluies 2004 et 2005.

Le point 38 (François - Grand Fond) est plus dispersé par rapport à l'ensemble des points. Pour une concentration moyenne de Cl, sa concentration en K est beaucoup plus importante. Il est de même pour le point 39 (Robert - Pontalery) mais dans une moindre mesure. Pour ces deux points, il est probable que le pompage par la végétation soit moindre et/ou que l'interaction eau-roche avec un encaissant plus riche en K soit plus importante. Néanmoins l'interprétation de ces eaux présentant un pH très alcalin n'est pas évidente.

Diagramme Chlorures - Sulfates

La relation entre Cl et SO₄ est aussi en faveur de l'enrichissement en Cl pour toutes les eaux. Elle est illustrée dans la Figure 15.

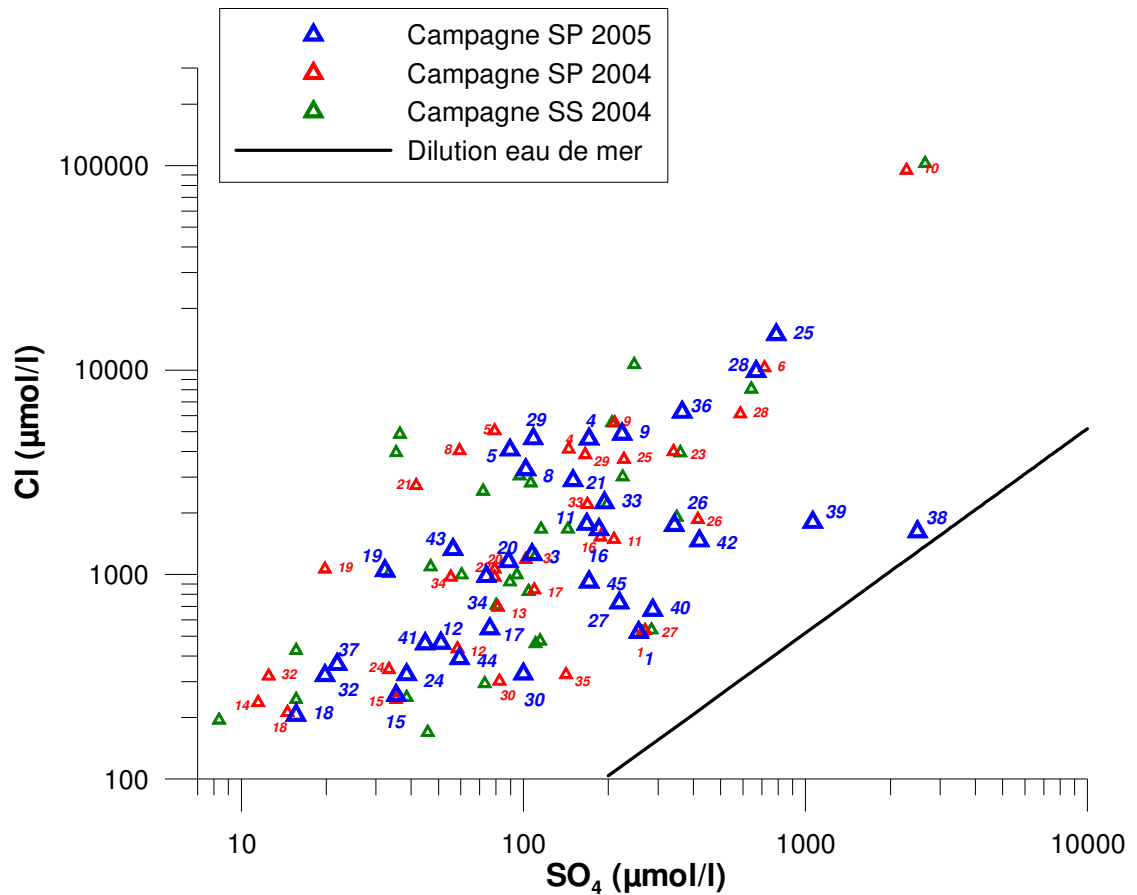


Figure 15 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en sulfates

Globalement, on constate peu de variations entre les campagnes, à l'exception du point 25 qui varie entre les deux campagnes réalisées en saison des pluies 2004 et 2005.

Le point 38 (François - Grand Fond) est plus dispersé par rapport à l'ensemble des points. Pour une concentration moyenne de Cl, sa concentration en SO₄ est beaucoup plus importante. Il est de même pour le point 39 (Robert - Pontalery) mais dans une moindre mesure.

Diagramme Chlorures - Nitrates

La comparaison des concentrations en Cl et NO₃ ne montre pas de relation particulière (Figure 16).

Les plus fortes concentrations en NO₃ 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.

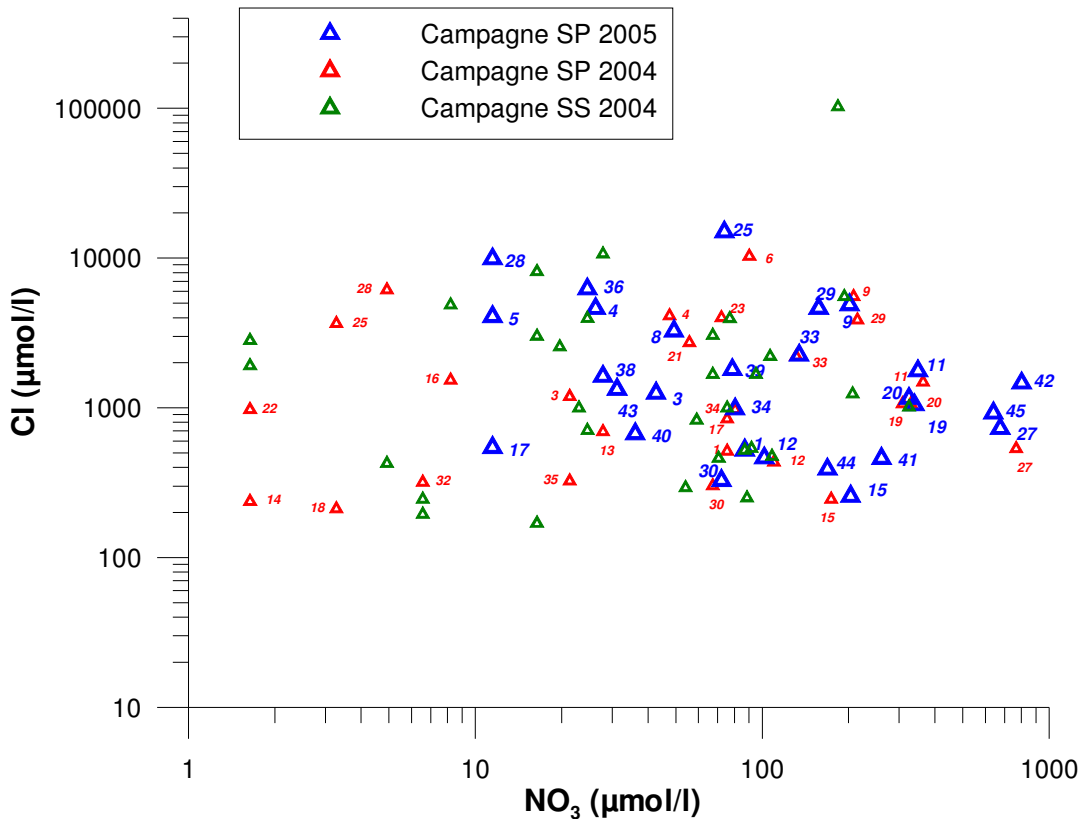


Figure 16 : Diagramme de la concentration en chlorures en fonction de celle en nitrates

Le panache des points de la campagne réalisée en saison des pluies 2005 semble moins dispersé et décalé sur la droite, par comparaison aux points des campagnes précédentes. Cependant, certains points n'ont pas été analysés en 2005 et d'autres indiquent des concentrations inférieures à la limite de quantification.

Pour les points communs aux trois campagnes, peu de variations sont visibles. Seuls les points 25 (Anses d'Arlets - Grande Anse) et 28 (Trois Ilets - Vatable) indiquent des variations importantes entre les deux campagnes réalisées en saison des pluies 2004 et 2005.

Les plus fortes concentrations en nitrates sont observés pour 2 forages à Basse Pointe (27, Rivière Falaise et 42, Chalvet), ainsi qu'au Lorrain (45, Fond Brulé) en liaison avec des zones à fort impact agricole.

3.5. COMPARATIF SAISON DES PLUIES 2004 – SAISON DES PLUIES 2005

Lors des campagnes de prélèvements en saison de pluies 2004 et 2005, 25 points communs à ces deux campagnes ont été suivis. Deux jeux de données sont donc disponibles sur les mêmes ouvrages entre les mesures faites en saison des pluies 2004 et celle de la saison des pluies 2005 et une comparaison directe est possible.

Les diagrammes des *Figure 17* et *Figure 18* illustrent les variations des anions (NO_3 , Cl , SO_4 , HCO_3) et cations (Na , K , Mg , Ca), tous exprimés en mg/l, sur les deux périodes de mesures.

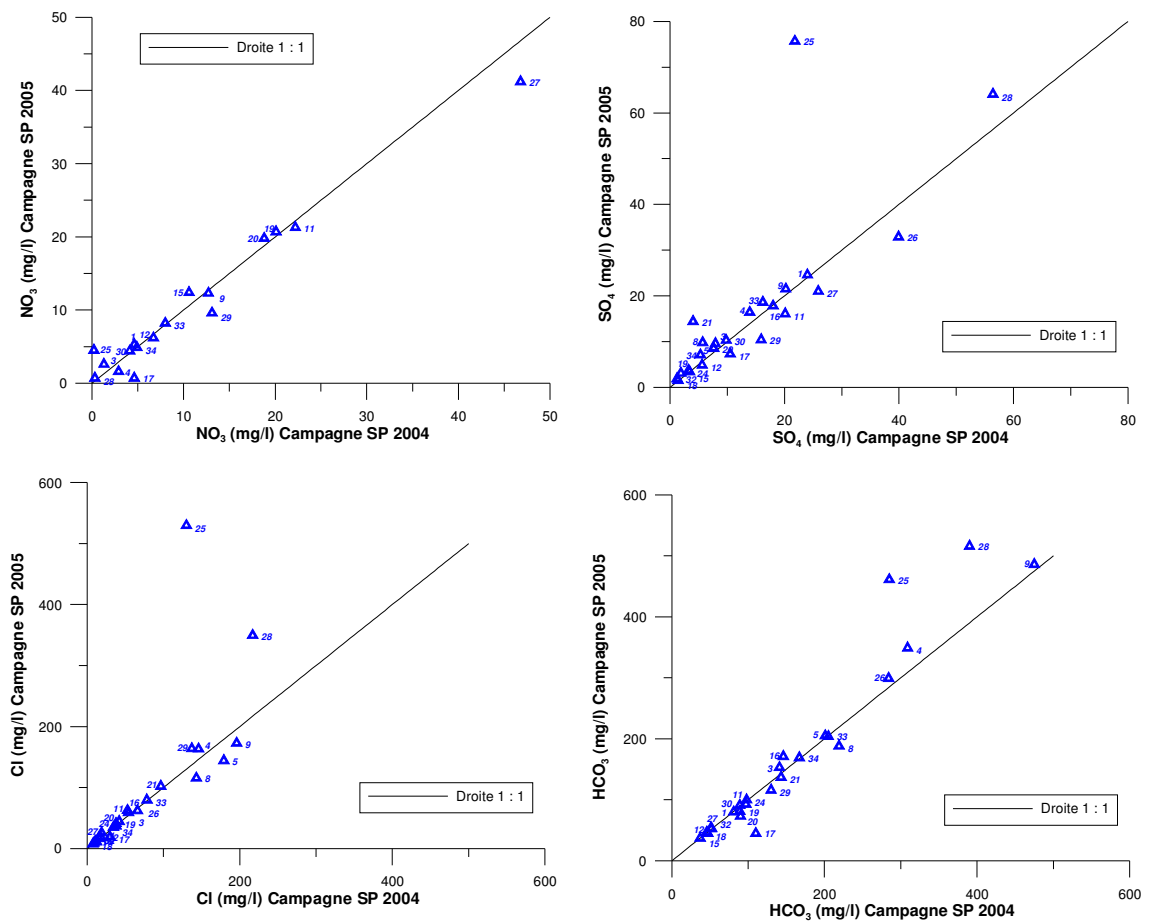


Figure 17 : Variations des éléments NO_3 , Cl , SO_4 , HCO_3 entre les campagnes en saison des pluies 2004 et 2005.

La droite 1 : 1 représente un état de concentration identique. Les points situés sur cette droite n'ont pas eu de variation de concentration significative entre les deux campagnes.

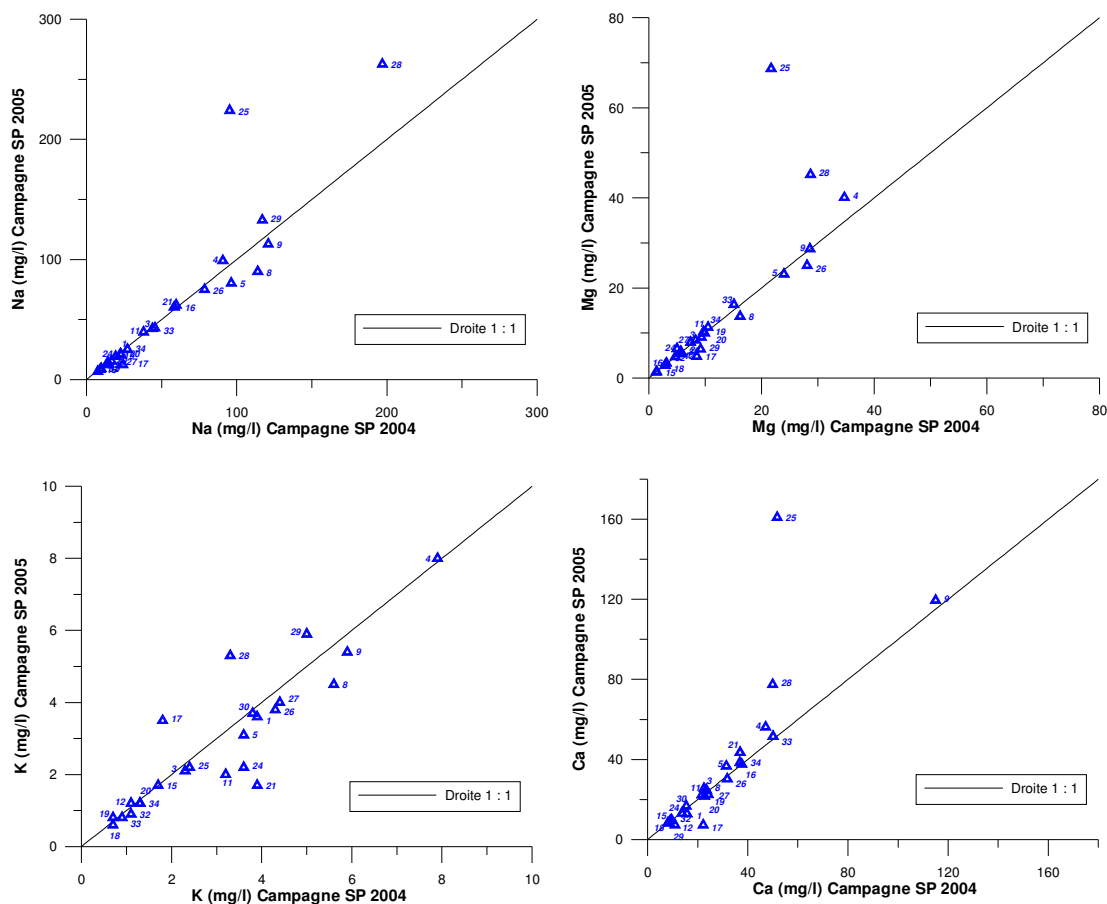


Figure 18 : Variations des éléments Na, K, Mg, Ca entre les campagnes en saison des pluies 2004 et 2005.

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

- ⇒ peu de variations pour les sulfates (SO_4), les chlorures (Cl), les bicarbonates (HCO_3), le sodium (Na), le magnésium (Mg) et le calcium (Ca), à l'exception de 2 points (25 et 28, respectivement Anses d'Arlets - Grande Anse et Trois Ilets - Vatable) entre les deux périodes de mesure.
- ⇒ peu de variations pour les nitrates (NO_3) : certains points, comme le 27 (Basse Pointe - Rivière Falaise) et le 29 (Ste Luce - Stade communal) ont leur concentration qui a baissé entre la saison des pluies 2004 et celle de 2005 ; alors que d'autres points, comme le 15 (Morne Rouge - Habitation Citron) et le 25 (Anses d'Arlets - Grande Anse), enregistrent une légère hausse de leur concentration en NO_3 .

- ⇒ une dispersion visible pour le potassium (K) : la majorité des points se situent à droite de la droite 1 : 1, ce qui indique une diminution de la concentration en K entre les saisons des pluies 2004 et 2005. Le point 21 du Lamentin - Habitation Ressource passe de 3.9mg/l à 1.70 mg/l en 2005. Cependant 3 points (17, 28 et 29) présentent une concentration plus forte en 2005 qu'en 2004.

Le fait de retrouver pour certains éléments (Na, Cl) des concentrations proches entre ces deux campagnes réalisées toutes deux en saison des pluies permet de confirmer que la qualité chimique des ressources en eau souterraine n'a pas variée entre ces deux saisons des pluies.

Seuls les points 25 et 28, respectivement Anses d'Arlets - Grande Anse et Trois Ilets - Vatable, montrent des variations importantes pour les sulfates (SO_4), les bicarbonates (HCO_3), le magnésium (Mg), le calcium (Ca) et bien évidemment pour le sodium (Na) et les chlorures (Cl). Ces variations entre les deux campagnes en saison des pluies peuvent être le fait d'un prélèvement plus profond dans la nappe, l'influence d'une eau plus salée pouvant y être plus importante. L'enrichissement en Ca et Mg dans ces deux points est en faveur de la présence d'une eau plus salée mais de composition différente de celle de l'eau de mer. Il est donc peu probable que le biseau salé soit d'une influence directe au vu de la chimie des eaux. Seules des mesures isotopiques pourront confirmer ou infirmer le rôle de ces eaux salées, i.e. origine marine directe via le biseau salé ou eau salée modifiée par les interactions eau-roche.

Comme dans l'étude précédente (BRGM/RP-53838-FR), on peut utiliser la variation d'un élément chimique X ($X = \text{Cl}, \text{Na}, \text{B}$), exprimée en unité Δ et calculée selon $X_{S1} - X_{S2}$, où S1 et S2 représentent les deux saisons de comparaison. Dans l'étude BRGM/RP-53838-FR, S1 et S2 étaient représentées par les basses eaux et les hautes eaux. Ce qui donnait pour le cas des chlorures $\Delta = \text{Cl}_{\text{BE}} - \text{Cl}_{\text{HE}}$ où BE et HE représentaient les basses eaux et les hautes eaux. Cette variation Δ était corrélée avec l'amplitude relative de la hauteur d'eau dans les ouvrages dans l'étude BRGM/RP-53838-FR. Dans la présente, on utilisera comme S1 et S2 les deux saisons des pluies 2005 et 2004.

L'utilisation des chlorures (exprimés en unité Δ) en fonction de l'amplitude relative de la hauteur d'eau dans les ouvrages met en évidence :

- ⇒ des points où ni la hauteur d'eau, ni la teneur en Cl ne varient entre les deux campagnes,
- ⇒ des points où la hauteur d'eau varie entre les deux campagnes mais pas la teneur en Cl : 9 (Marin - Grand Fond), 11 (Rivière Pilote - Fougainville) et 12 (Saint Joseph - La Charmille),
- ⇒ un point où la teneur en Cl varie entre les deux campagnes mais où la hauteur d'eau ne varie presque pas : 5 (Schoelcher - Case navire),
- ⇒ des points où la hauteur d'eau et la teneur en Cl varient entre les deux campagnes : le point 25 (Anses d'Arlets - Grande Anse) et le point 28 (Trois Ilets - Vatable).

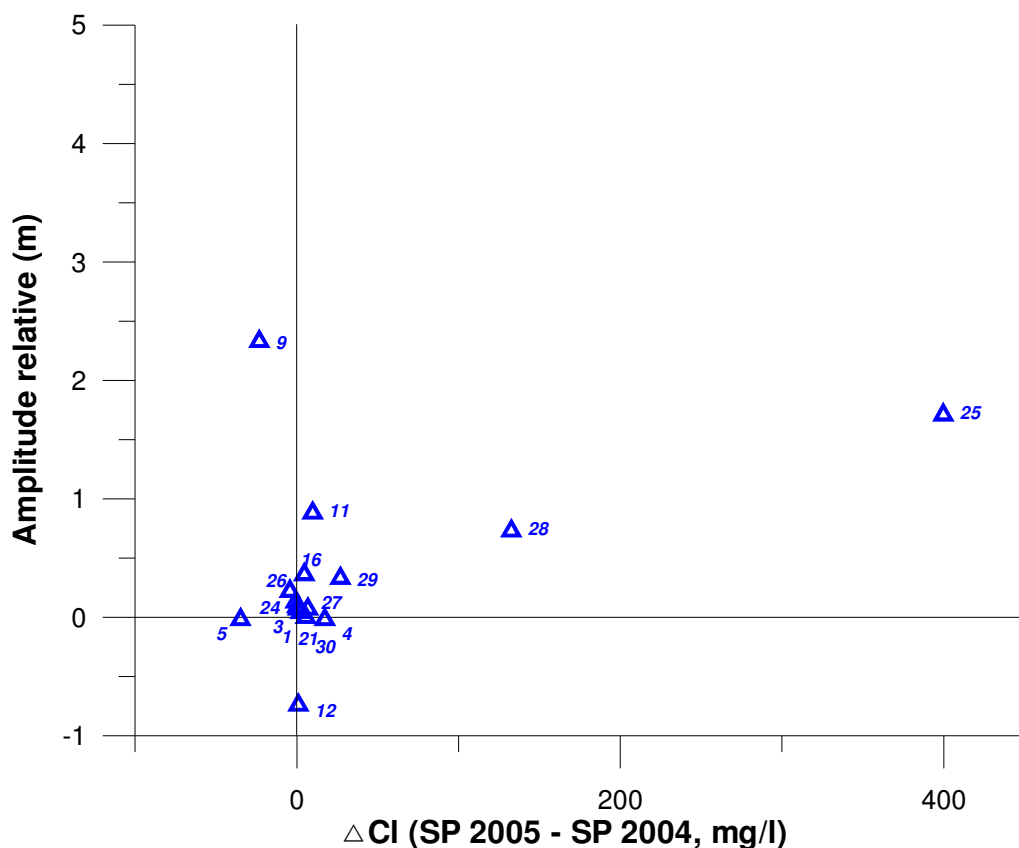


Figure 19 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlorures entre les saisons des pluies 2004 et 2005.

Ce même type de schéma est utilisé pour le sodium (Na) (c.f. Figure 20) et le bore (c.f. Figure 21). Le schéma du sodium semble très proche de celui des chlorures.

Par contre, celui du bore diffère, les échantillons montrent globalement des teneurs en saison des pluies 2005 supérieures à celles de la saison des pluies 2004. On distingue aussi les tendances suivantes :

- ⇒ des points où ni la hauteur d'eau, ni la teneur en bore ne varient entre les deux campagnes,
- ⇒ des points où la hauteur d'eau varie entre les deux campagnes mais pas la teneur en bore : 9 (Marin - Grand Fond), 11 (Rivière Pilote - Fougainville) et 12 (Saint Joseph - La Charmille),
- ⇒ des points où la teneur en B varie entre les deux campagnes sans variation du niveau d'eau : le 3 (Marigot - Anses Charpentier) indique une forte hausse de sa concentration en bore entre les deux saisons des pluies (de 270 à 328 µg/l en 2005), alors que le point 1 (Saint Pierre - Rivière Blanche) présente une légère baisse de sa concentration en bore pour les mêmes périodes (164 à 150 µg/l),

- ⇒ des points où la hauteur d'eau et la teneur en B varient entre les deux campagnes : le point 25 (Anses d'Arlets - Grande Anse) et le point 28 (Trois Ilets - Vatable).

Comme déjà cité ci-dessus dans le chapitre 3.2.4, la plupart des anomalies en bore sont liées aux spécificités de l'environnement géologique et à la nature lithologique des aquifères. Une des principales conclusions du projet BOREMED est la mise en évidence d'une origine naturelle géogénique (via les interactions eau-roche) pour les teneurs élevées en bore des aquifères étudiés.

Toutefois la grande variabilité vers des teneurs fortes n'exclut pas une pollution (lessives, engrais). Là, l'utilisation des isotopes du bore pourrait amener de plus amples informations sur l'origine et la variabilité de cet élément (Négré et al., 2002).

Ce type de schéma pour le calcium montre les mêmes tendances que celles des schémas du bore, du sodium et du chlore.

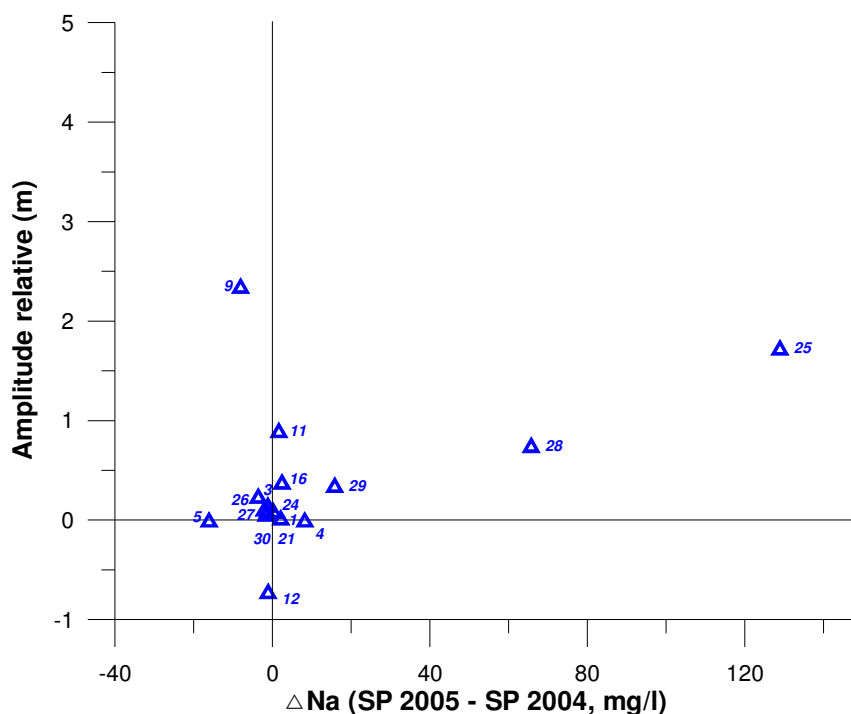


Figure 20 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en sodium entre les saisons des pluies 2004 et 2005.

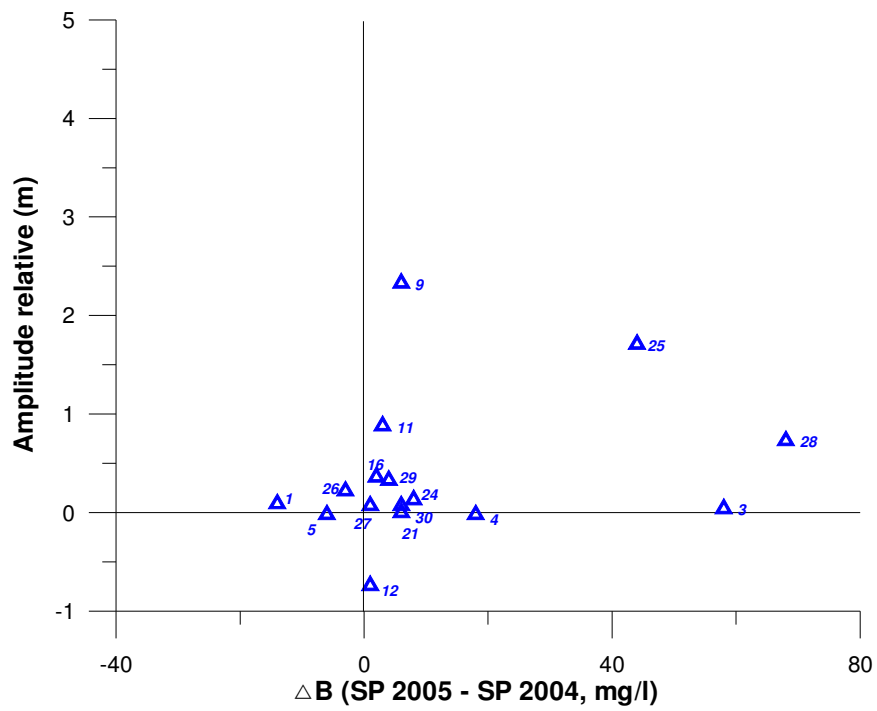


Figure 21 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en bore entre les saison des pluies 2004 et 2005.

3.6. COMPARATIF SAISON SECHE 2004 – SAISON DES PLUIES 2005

Lors des campagnes de prélèvements en saison sèche 2004 (BRGM/RP-52997-Fr) et en saison des pluies 2005, 25 points communs à ces deux campagnes ont été suivis. Deux jeux de données sont donc disponibles sur les mêmes ouvrages entre les mesures faites en saison sèche 2004 et celle de la saison des pluies 2005.

Les diagrammes des *Figure 22 et Figure 23* illustrent les variations des anions (NO_3 , Cl , SO_4 , HCO_3) et cations (Na , K , Mg , Ca), tous exprimés en mg/l, sur les deux périodes de mesures.

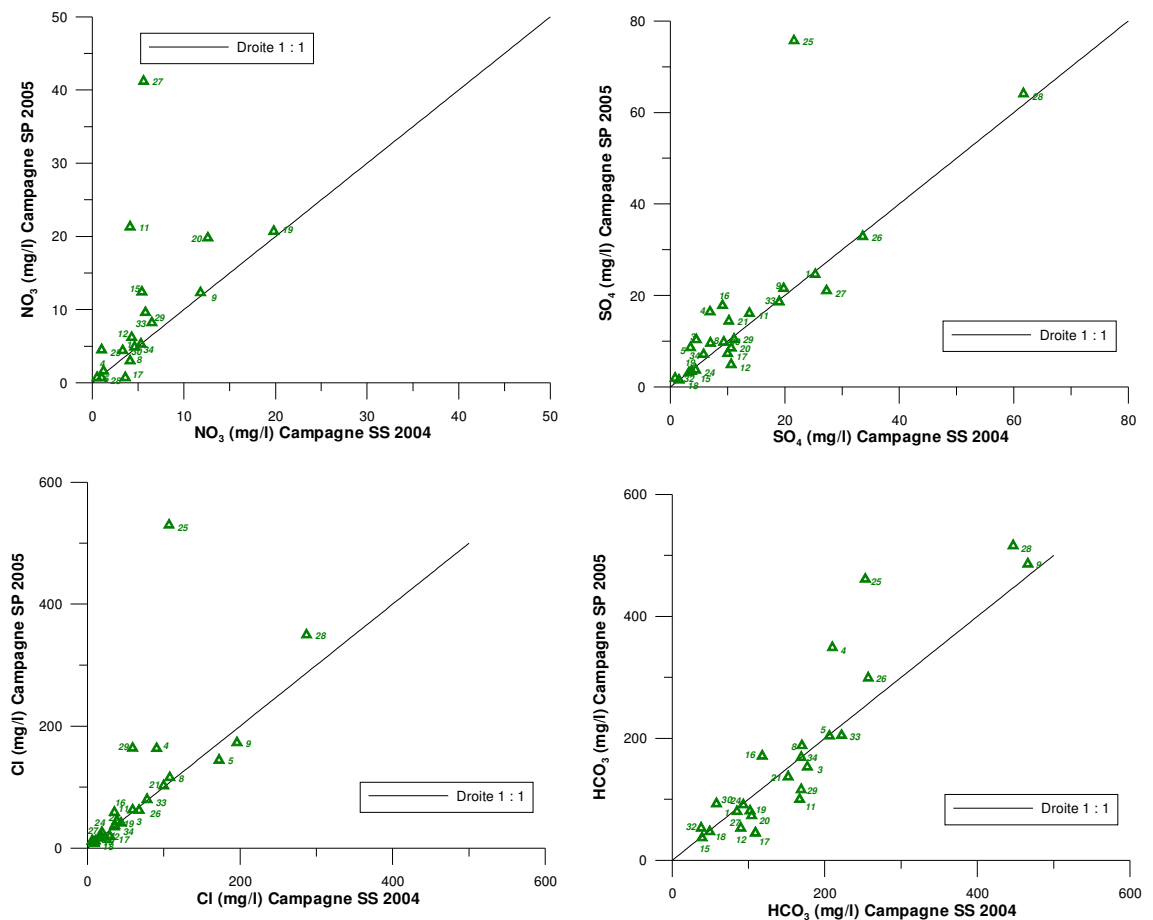


Figure 22 : Variations des éléments NO_3 , Cl , SO_4 , HCO_3 entre les campagnes en saison des pluies (SP) 2005 et en saison sèche (SS) 2004.

La droite 1 : 1 représente un état de concentration identique. Les points situés sur cette droite n'ont pas eu de variation de concentration significative entre les deux campagnes.

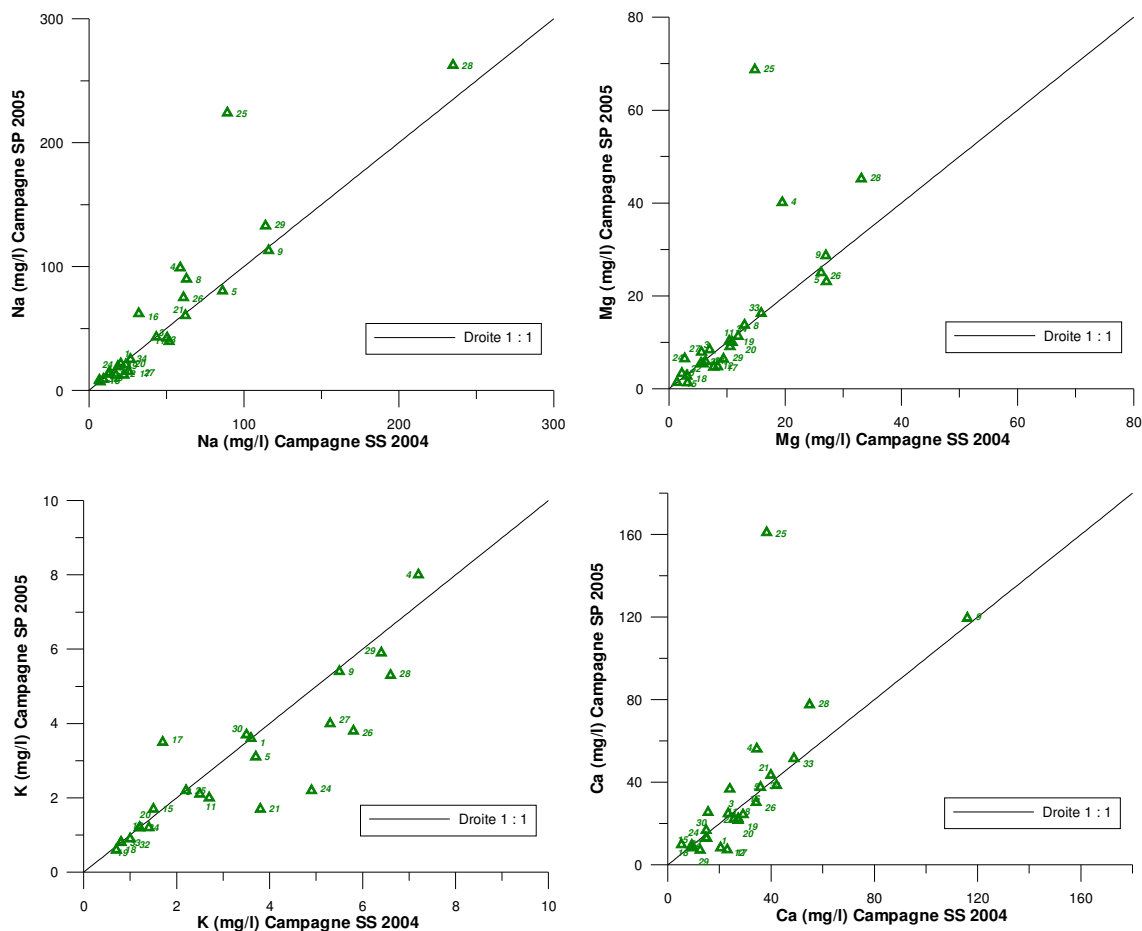


Figure 23 : Variations des éléments Na, K, Mg, Ca entre les campagnes en saison des pluies (SP) 2005 et en saison sèche (SS) 2004.

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

- ⇒ peu de variations pour les chlorures (Cl), le sodium (Na), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg), à l'exception des points 25 (Anses d'Arlets - Grande Anse), 28 (Trois Ilets - Vatable) et 4 (Schoelcher - Fond Lahaye),
- ⇒ une légère dispersion pour les sulfates (SO_4) à faible concentration, seul le point 25 des Anses d'Arlets indique une forte hausse de concentration entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005,
- ⇒ une dispersion en bicarbonates (HCO_3) relativement importante pour des teneurs élevées et faibles,
- ⇒ une variation importante pour les nitrates (NO_3), on observe la même tendance que lors de la comparaison des eaux de saison sèche 2004 et de saison des pluies 2004. Le point 27 (Basse Pointe - Rivière Falaise) indique une forte hausse de sa concentration en nitrates lors de la saison des pluies,

- ⇒ une importante dispersion pour le potassium (K). La majorité des points se situent à droite de la droite, ce qui indique une baisse de la concentration en K entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005. Seuls les points 4 (Schoelcher - Fond Lahaye) et 17 (Trinité - Morne Figue) présentent une augmentation de leur teneur en K entre les deux périodes. Le point 24 (Gros Morne - la Borelli) est celui le plus à droite de la droite 1 : 1. Sa concentration entre les deux campagnes de prélèvements passe de 4.9 à 2.2 mg/l.

Le fait de retrouver en saison sèche 2004 et en saison des pluies 2005 des concentrations proches pour certains éléments, notamment Cl et Na, confirme que la qualité des ressources en eau souterraine ne varie pas beaucoup malgré des états hydrogéologiques différents et que ces ressources en eau sont localisées dans des réservoirs de taille importante.

Les résultats de la campagne de prélèvements en saison sèche 2006 viendront *de facto* enrichir ces observations.

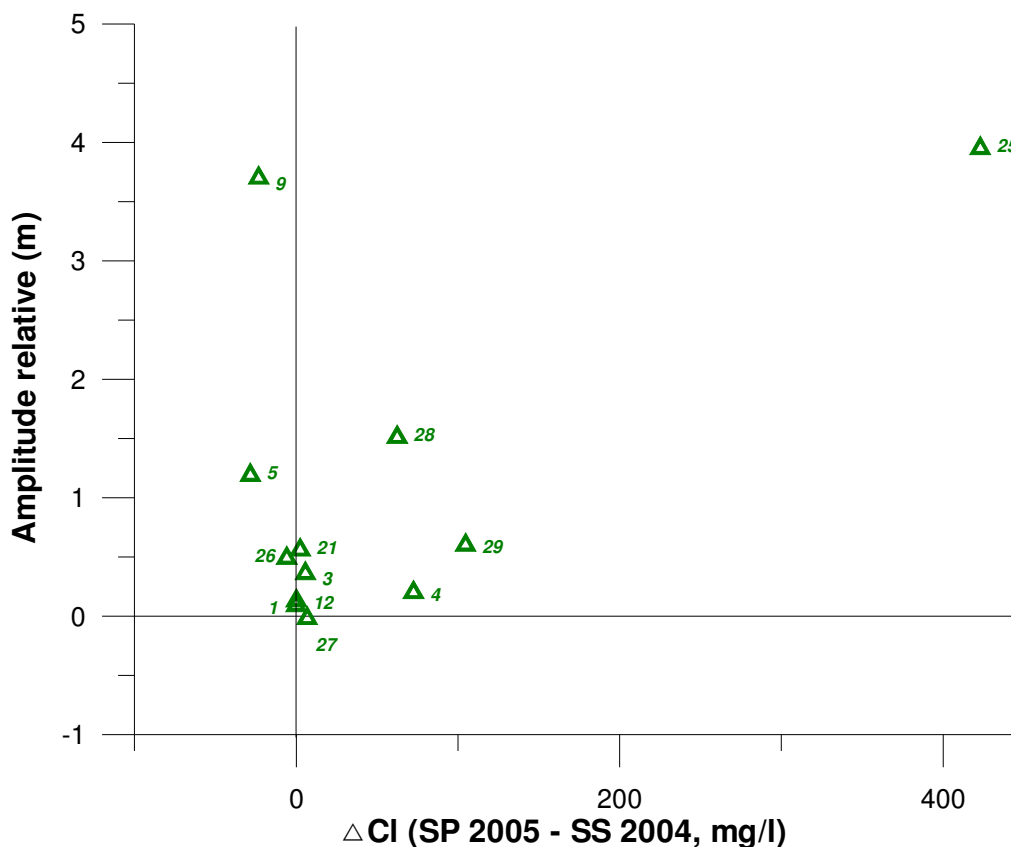


Figure 24 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlore entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005.

L'utilisation du chlorure (exprimé en unité $\Delta = Cl_{HE} - Cl_{BE}$) en fonction de l'amplitude relative de la hauteur d'eau dans les ouvrages met en évidence :

- ⇒ des points où ni la hauteur d'eau, ni la teneur en Cl ne varient entre les deux campagnes,
- ⇒ des points où la hauteur d'eau varie entre les deux campagnes mais pas la teneur en Cl : 9 (Marin - Grand Fond), 5 (Schoelcher - Case Navire),
- ⇒ deux points où la teneur en Cl varie entre les deux campagnes mais où la hauteur d'eau ne varie presque pas : 4 (Schoelcher -Fond Lahaye) et 29 (Ste Luce - Stade communal),
- ⇒ des points où la hauteur d'eau et la teneur en Cl varient entre les deux campagnes : le point 25 (Anses d'Arlets – Grande Anse) et le point 28 (Trois Ilets - Vatable).

Ce type de schéma est observé pour le sodium (c.f. *Figure 25*) et le bore (c.f. *Figure 26*). Par contre, celui du bore est plus marqué. On distingue les tendances suivantes :

- ⇒ des points où ni la hauteur d'eau, ni la teneur en bore ne varient entre les deux campagnes,
- ⇒ des points où la hauteur d'eau varie entre les deux campagnes mais pas la teneur en bore : 9 (Marin - Grand Fond), 5 (Schoelcher - Case Navire),
- ⇒ des points où la teneur en B varie entre les deux campagnes sans variation du niveau d'eau : le 3 (Marigot - Anses Charpentier) indique une baisse importante de sa concentration en bore entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005 (de 440 à 328 µg/l en 2005), alors que le point 4 (Schoelcher - Fond Lahaye) présente une hausse de sa concentration en bore pour les mêmes périodes (82 à 147 µg/l),
- ⇒ des points où la hauteur d'eau et la teneur en B varient entre les deux campagnes : le point 25 (Anses d'Arlets – Grande Anse) qui connaît une hausse de sa teneur en B et le point 28 (Trois Ilets - Vatable) qui enregistre une légère baisse.

Comme déjà cité ci-dessus, la plupart des anomalies en B sont liées aux spécificités de l'environnement géologique et à la nature lithologique des aquifères via les interactions eau-roche. Toutefois la grande variabilité vers des teneurs fortes n'exclut pas une pollution (lessives, engrais). Là encore, l'utilisation des isotopes du bore devrait amener de plus amples informations sur l'origine et la variabilité de cet élément ainsi que sur l'histoire de ces ressources en eau.

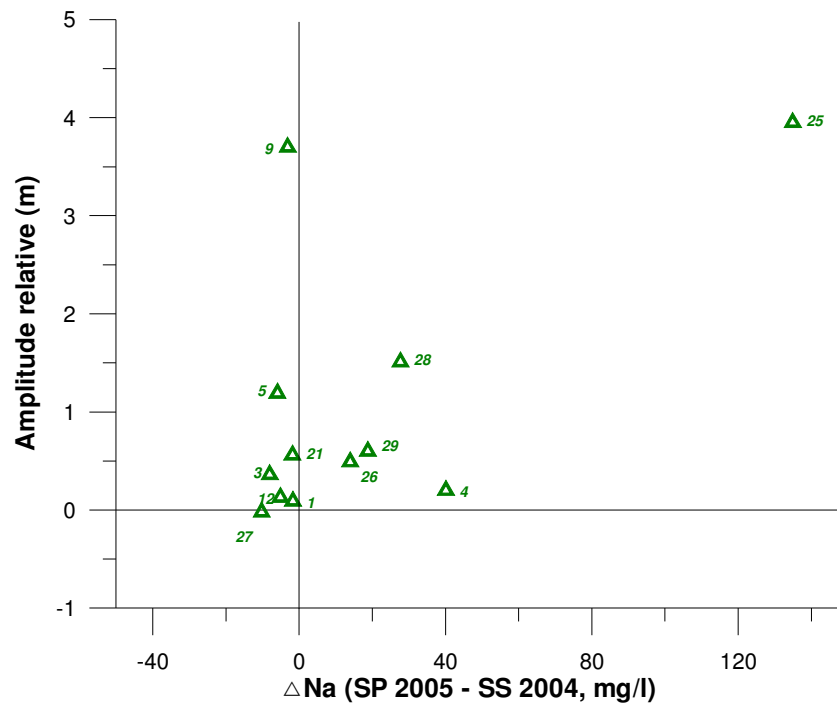


Figure 25 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en sodium entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005.

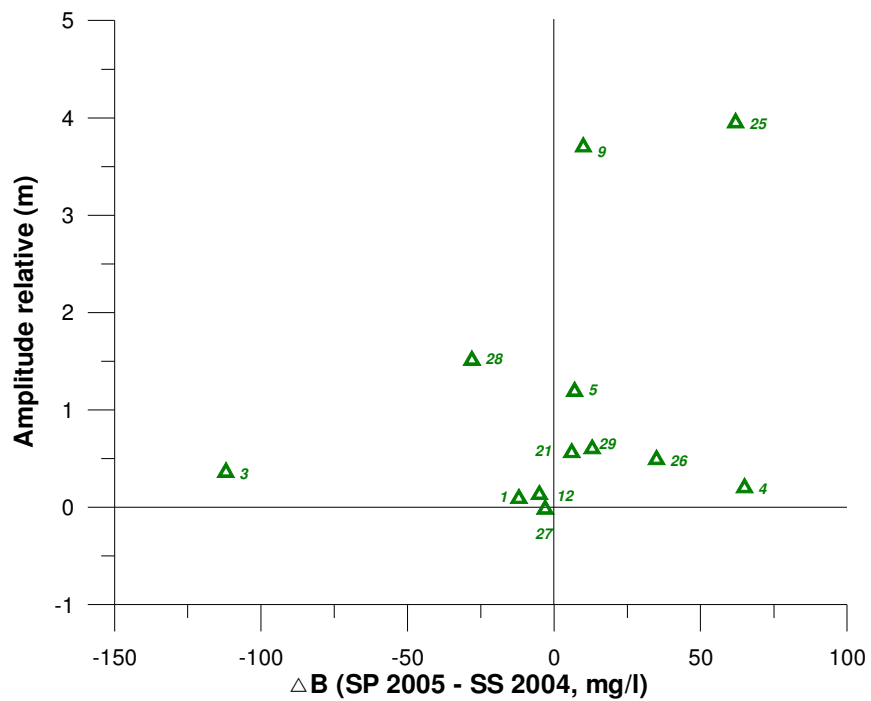
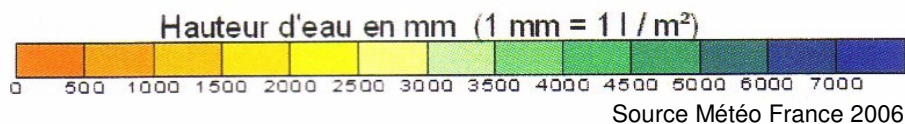
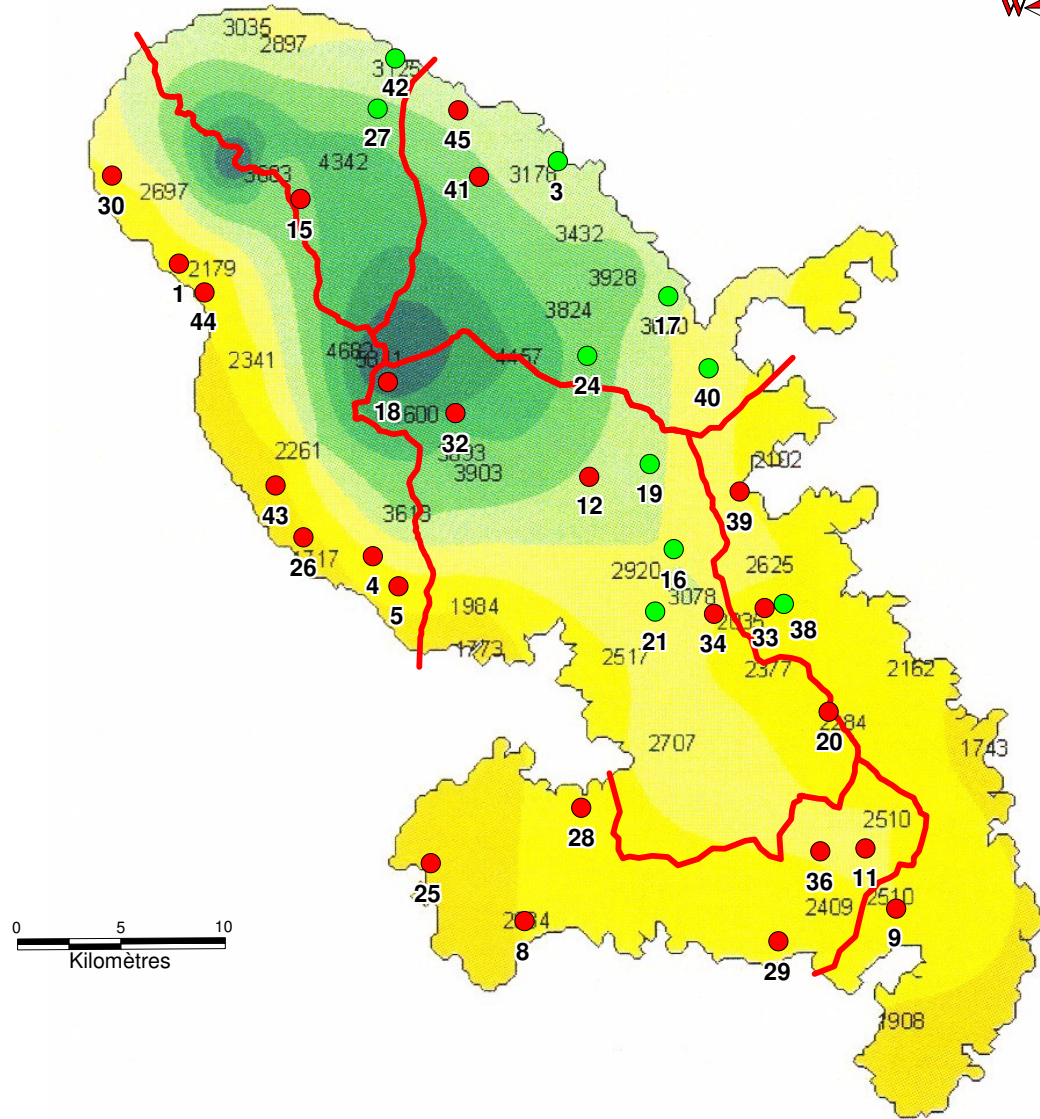
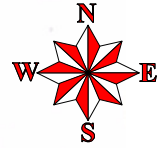


Figure 26 : Amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en bore entre la saison sèche 2004 et la saison des pluies 2005.

Carte n°2 : Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique - Saison des Pluies 2005 - Localisation des prélèvements et cumul pluviométrique annuel 2005, en mm



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE

Légende :

— Limite des masses d'eau souterraine

Type d'analyses réalisées

- Eléments majeurs et traces (25)
- Eléments majeurs, traces et produits phytopharmaceutiques (10)



3.7. PLUVIOMETRIE ET QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

La comparaison de la carte de répartition spatiale de la pluviométrie avec les concentrations en certains éléments permet de souligner que la conductivité et les concentrations en chlorures, calcium, sodium, magnésium et bore sont globalement plus fortes dans les zones de faible pluviométrie.

On peut supposer que dans ces contextes de pluviométrie moins marquée, l'hydrodynamisme résultant permet un meilleur enrichissement des eaux souterraines en éléments minéraux.

La comparaison des concentrations en chlorures et sodium, selon les points situés sur le transect reliant Morne Rouge (15) au Marin (9), recoupant ainsi des conditions pluviométriques complètement différentes, est représentée *Figure 27* (points 15, 32, 12, 16, 34, 20, 11, 9).

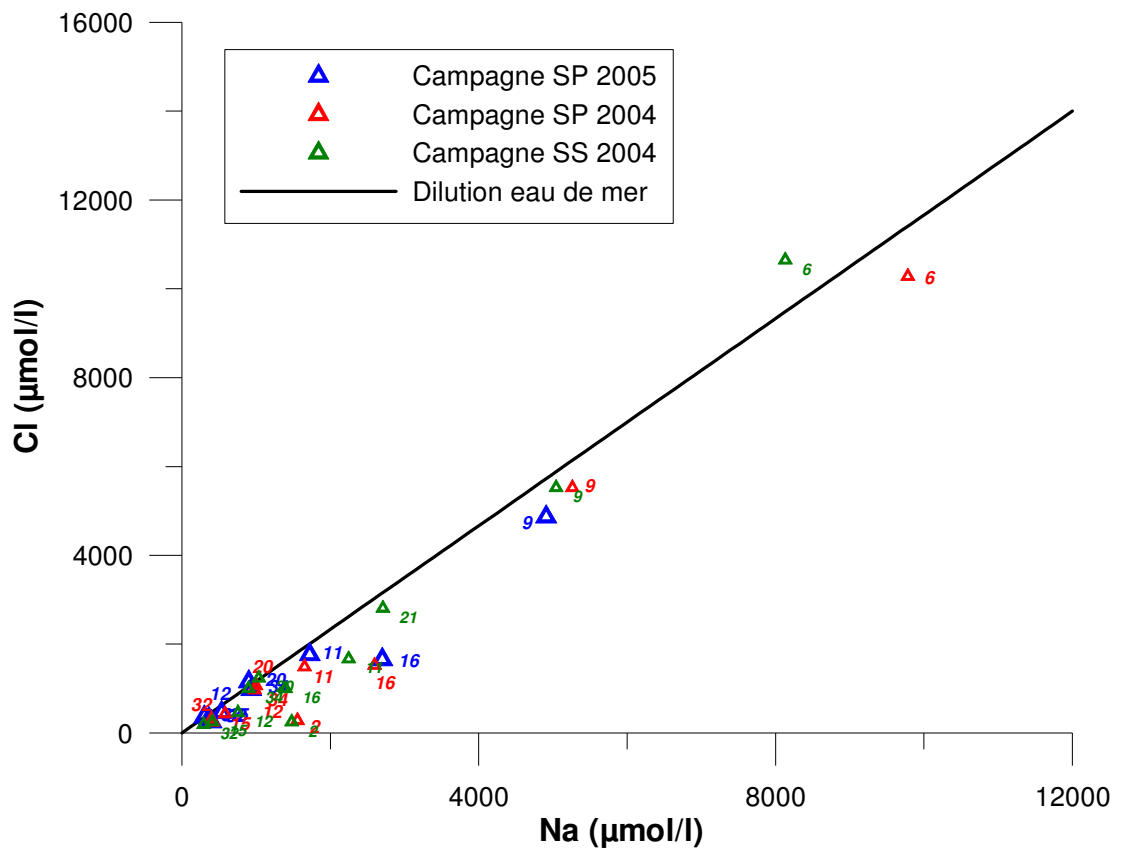


Figure 27 : Comparaison des concentrations en chlorures et sodium, pour les campagnes en saison sèche 2004 et en saisons des pluies 2004 et 2005.

Ce premier schéma montre, comme dit précédemment, une répartition des points le long de la droite de dilution de l'eau de mer.

Le point 9 (Marin - Grand Fond) est riche en Cl et Na et se situe sur la droite de dilution de l'eau de mer. L'origine des chlorures et sodium pour ce point serait essentiellement marine. On n'observe pas d'enrichissement net en sodium depuis l'altération des roches, et il n'y aurait pas d'apport net de chlorures d'origine anthropique.

Pour les points de ce transect NW-SE, on observe peu de dispersion de part et d'autre de la droite de dilution de l'eau de mer.

Dans l'état actuel des connaissances, on ne peut pas dire si les chlorures et sodium proviennent d'une invasion marine et du biseau salé dans les terres.

L'ensemble des autres points est groupé avec des teneurs beaucoup plus faibles et sont illustrés sur la vue agrandie (Figure 28). Sur ce schéma sont indiqués les pluies des zones côtières (World average, Hawaii, bermuda 55-56, bermuda 80-81, N-Atlantic, NW-Atlantic_SW, NW-Atlantic_EW ; Berner et Berner, 1987)

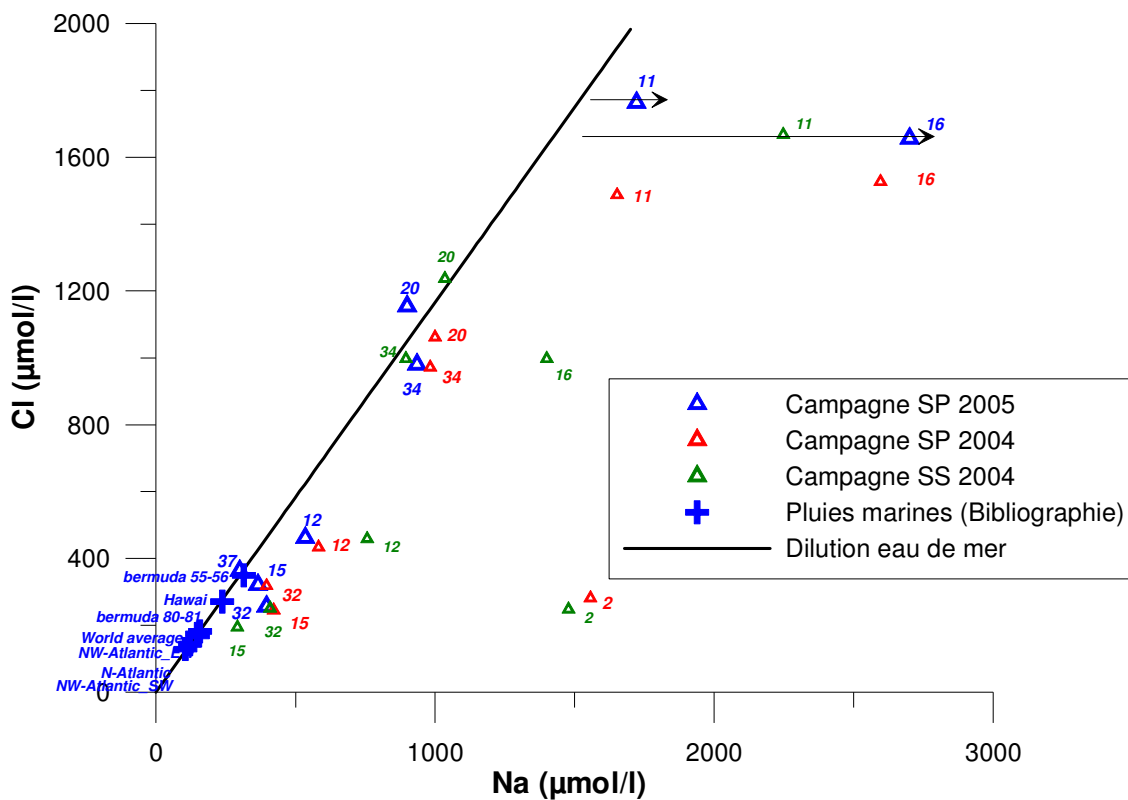


Figure 28 : Comparaison des concentrations en chlorures et sodium, pour les campagnes en saison sèche 2004 et en saisons des pluies 2004 et 2005, vue agrandie.

Sur ce schéma, le point 37 représente l'eau de pluie, recueillie sur les hauteurs de Fort de France, au lieu-dit Rodate. Ce point qui regroupe les événements pluvieux du 7 et 8 décembre 2005, soit une vingtaine de millimètres, est en parfait accord avec les pluies des zones côtières (World average, Hawaii, bermuda 55-56, bermuda 80-81, N-Atlantic, NW-Atlantic_SW, NW-Atlantic_EW ; Berner et Berner, 1987).

Plusieurs remarques découlent de ce schéma :

- en terme de concentration, les points 32 (4600 mm) et 15 (3900 mm) ont des valeurs de Cl en accord avec celles observées dans les pluies, seules les concentrations en Na sont un peu plus importantes et reflètent des interactions avec les roches avec libération de Na. Ces deux points correspondent à des sources.
- les points 12 (3400 mm), 34 (2000 mm) et 20 (2300 mm) montrent des concentrations en Cl et Na supérieures aux pluies mais qui s'alignent sur la droite de dilution de l'eau de mer. Cela peut être le signe d'une entrée de pluies avec un signal marin mais de concentrations plus fortes.
- Il semble que les concentrations en Cl et Na des eaux souterraines dans les zones à pluviométrie plus faible soient plus élevées, mais toujours avec un signal marin.
- Les points 11 (2500mm) et 16 (2900mm) montrent également des enrichissements en Na, issus de l'altération. Pour ces points, les teneurs en Cl, projetés sur la droite de dilution de l'eau de mer (flèches) sont variables et symbolisent des entrées de pluies potentiellement variables. Ces entrées sont à définir plus en détail.
- Tout comme les points 11 et 16, le point 2 de la campagne SP 2004, avec la pluviométrie la plus forte (5500mm) est décalé de la droite de dilution de l'eau de mer avec un fort enrichissement en Na, en tout point reliable avec les interactions eau-roche et libération de sodium par les processus d'altération. Projetée sur la droite de dilution de l'eau de mer (flèche), la teneur en Cl est dans la gamme de celle des pluies.

3.8. LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

3.8.1. Introduction

En janvier-mars 2004, une première campagne de mesures de teneurs en phytosanitaires a été effectuée sur 34 points. Seulement 5 molécules ont été recherchées (chlordécone, diuron, hexazinone, beta HCH et l'atrazine). En octobre-novembre 2004, une campagne de mesure a été réalisée sur seulement 10 points mais 111 molécules ont été recherchées.

Les 111 molécules correspondent à la liste type du laboratoire d'analyses (Brgm, MMA) et ne correspond pas à une liste qui aurait établie en fonction des usages et caractéristiques des molécules. Il est possible que certaines des substances recherchées ne soient pas appliquées en Martinique ou en quantités extrêmement faibles. Le besoin de connaissances des apports en phytosanitaires passés et actuels a été clairement identifié ; le SRPV, par des travaux en cours, s'emploie à répondre à cette question. Le *Tableau 5* donne la liste des substances recherchées en 2005 ; en vert sont indiquées les 36 molécules ayant été détectées dans les eaux superficielles. De cette manière, il est possible de confirmer que ces molécules ont bien été appliquées à une époque même si les périodes d'application et les quantités restent inconnues.

Dans cette troisième campagne de mesure réalisée en période de hautes eaux (novembre et décembre 2005), 120 produits phytosanitaires ont été analysés par le laboratoire MMA du BRGM sur 10 ouvrages choisis, en concertation avec la DIREN, en fonction du risque potentiel de pollution de la nappe. Les 4 points qui présentaient une contamination en octobre-novembre 2004 ont été analysés à nouveau. Sur ces 4 points, 3 révèlent toujours la présence de substances phytosanitaires. La recherche a également été effectuée sur 6 nouveaux points. Sur ces 6 autres points, 4 révèlent la présence d'au moins un produit phytosanitaire.

Sur les 10 points analysés, 3 sites se sont révélés exempts de ces 120 produits phytosanitaires :

- ⇒ Lamentin – Habitation Ressource
- ⇒ Lamentin – Sarrault
- ⇒ Trinité – Le Galion

Nbre	Molécule	LQ	Nbre	Molécule	LQ	Nbre	Molécule	LQ	Nbre	Molécule	LQ
1	2,4 DDD	0,0005	31	Chlortoluron	0,0500	61	Fénamiphos	0,0500	91	Nicosulfuron	0,1000
2	2,4 DDE	0,0005	32	Congénère 101	0,0005	62	Fénitrothion	0,0500	92	Néburon	0,0500
3	2,4 DDT	0,0005	33	Congénère 118	0,0005	63	Heptachlore	0,0005	93	Parathion-méthyl	0,0500
4	2,4,5-T	0,0500	34	Congénère 138	0,0005	64	Heptachlore époxyde cis+trans	0,0005	94	Parathion-éthyl	0,0500
5	2,4,D	0,1000	35	Congénère 153	0,0005	65	Hexachlorobenzène	0,0005	95	Penconazole	0,0500
6	4,4' DDD	0,0020	36	Congénère 180	0,0005	66	Hexaconazole	0,0500	96	Pendiméthaline	0,0500
7	4,4' DDE	0,0010	37	Congénère 194	0,0005	67	Hexazinone	0,0500	97	Pentachlorophénol	0,5000
8	4,4' DDT	0,0020	38	Congénère 28	0,0005	68	Imazalil	0,1500	98	Phosalone	0,0500
9	Acétochlore	0,0500	39	Congénère 52	0,0005	69	Imazaméthabenz	0,0500	99	Phostiasate	0,5000
10	Alachlore	0,0500	40	Cyanazine	0,0500	70	loxynil	0,0500	100	Piperonyl butoxyde	0,0500
11	Aldicarbe	0,0700	41	Desmétryne	0,0500	71	Isoproturon	0,0500	101	Prochloraze	0,0500
12	Aldrine	0,0010	42	Diazinon	0,0500	72	Isoproturon-1CH3	0,0500	102	Prométryne	0,0500
13	Alphametrine	0,0500	43	Dichlorprop	0,0500	73	Isoproturon-2CH3	0,0500	103	Propanil	0,0500
14	Amétryne	0,0500	44	Dieldrine	0,0010	74	Linuron	0,0500	104	Propazine	0,0500
15	Atrazine	0,0500	45	Difenoconazole	0,0500	75	MCPA	0,0500	105	Propiconazole	0,0500
16	Bentazone	0,0500	46	Diméthénamide	0,1000	76	Malathion	0,0500	106	Propoxur	0,0500
17	Bifenox	0,1000	47	Dinoterb	0,0500	77	Monolinuron	0,0500	107	Simazine	0,0500
18	Biphényl	0,0500	48	Diuron	0,0500	78	Monuron	0,1000	108	Sébutylazine	0,0500
19	Bitertanol	0,0500	49	Désisopropylatrazine	0,2000	79	Mécoprop	0,0500	109	Tebuconazole	0,0500
20	Bromacil	0,0500	50	Déséthylatrazine	0,1000	80	Métamitrone	0,0500	110	Tebutame	0,0500
21	Bromopropylate	0,0500	51	Endosulfan I	0,0005	81	Métazachlore	0,0500	111	Terbutylazine	0,0500
22	Bromoxynil	0,0500	52	Endosulfan II	0,0005	82	Méthabenzthiazuron	0,0500	112	Terbutryne	0,0500
23	Cadusafos	0,0500	53	Endosulfan sulfate	0,0020	83	Méthomyl	0,1000	113	Thiabendazole	0,7000
24	Captan	0,1000	54	Endrine	0,0020	84	Méthoxychlore	0,0005	114	Trifluraline	0,0500
25	Carbendazime	0,0500	55	Fenpropimorphe	0,0500	85	Métobromuron	0,0500	115	Tétraconazole	0,0500
26	Carbofuran	0,0500	56	Fenthion	0,0500	86	Métolachlor	0,0500	116	alpha HCH	0,0005
27	Carbophenothion	0,0500	57	Flufenoxuron	0,0500	87	Métoxuron	0,0500	117	beta HCH	0,0005
28	Chlordécone	0,2000	58	Flurochloridone	0,0500	88	Métribuzine	0,0500	118	delta HCH	0,0005
29	Chlorfenvinphos	0,0500	59	Fluzilazole	0,0500	89	Métsulfuron Méthyle	0,1000	119	epsilon HCH	0,0005
30	Chlorpyriphos éthyl	0,0500	60	Folpel	0,1000	90	Napropamide	0,0500	120	gamma HCH (lindane)	0,0005

Tableau 5 : Liste des 120 molécules phytosanitaires analysées. Les molécules en vert correspondent à celles détectées dans les rivières par la DIREN. Les limites de quantifications sont indiquées en µg/l

7 sites sont pollués par certains de ces produits :

- ⇒ Le Robert - Vert Pré
- ⇒ Basse Pointe – Rivière Falaise
- ⇒ Basse Pointe – Chalvet
- ⇒ Marigot – Anse Charpentier
- ⇒ Trinité – Source Morne Figue
- ⇒ Gros Morne – La Borelli
- ⇒ François – Grand Fond

Les résultats détaillés sont présentés dans les paragraphes ci-dessous et dans un tableau récapitulatif en annexe. Les valeurs utilisées comme norme sont celles données par la DCE (Directive Cadre Européenne sur l'Eau) pour les eaux distribuées destinées à la consommation humaine. La DCE indique aussi que la concentration en produits phytosanitaires (somme de tous les produits phytosanitaires) ne doit pas dépasser $0.5 \mu\text{g.l}^{-1}$.

3.8.2. Résultats de la campagne de prélèvement « saison des pluies 2005 »

Ce chapitre synthétise les mesures, seuils, normes et usages pour chacun des produits phytosanitaires détectés.

En 2004, 13 substances différentes ont été quantifiées au moins une fois dans l'un des 10 points suivis ; en 2005, 8 substances ont été quantifiées (bromacil, chlordécone, dieldrine, diuron, heptachlore, hexazinone, beta HCH, carbendazime) et 4 détectées à l'état de traces (isomères du lindane).

Le 2,4,D (2,4-dichlorophenoxy acide acétique)

Ce produit n'a pas été retrouvé sur cette campagne de prélèvements.

Il avait été détecté, une seule fois, lors de la précédente campagne, sur un seul piézomètre : celui du Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur importante de $0.81 \mu\text{g.l}^{-1}$ (seuil de quantification $0.05 \mu\text{g.l}^{-1}$). Nous reviendrons ultérieurement sur une interprétation possible de ce résultat.

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation humaine est de $0.1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Usages : le 2,4,D (sel d'amine, de diméthylamine ou ester de butyl glycol) est un herbicide généralement utilisé dans les champs de canne à sucre.

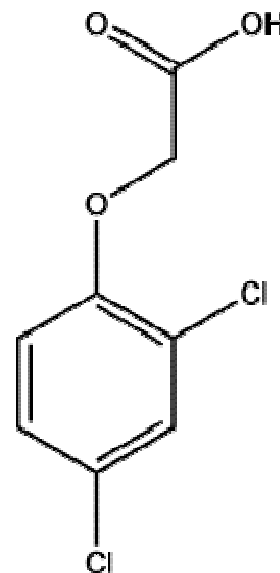


Figure 29 : Structure moléculaire du 2,4,D

L'Atrazine

Ce produit n'a pas été retrouvé pendant cette campagne de prélèvements. Il avait été retrouvé une seule fois, lors de la précédente campagne, à Basse Pointe – Rivière Falaise avec une faible teneur de $0.05 \mu\text{g.l}^{-1}$ (seuil de quantification $0.025 \mu\text{g.l}^{-1}$).

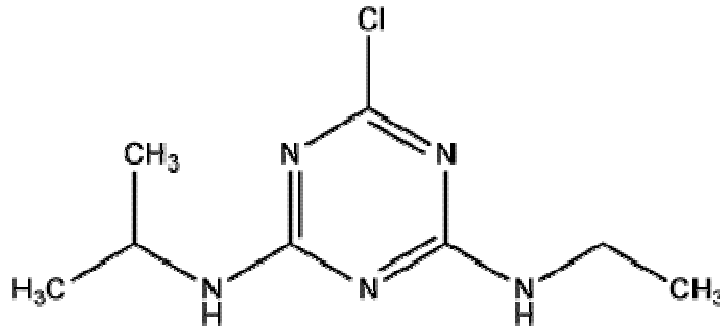


Figure 30 : Structure moléculaire de l'atrazine

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de $0.1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Usages : l'Atrazine est un herbicide de la famille des Chlorotriazines, utilisé généralement pour l'entretien des espaces verts et les bords de route ; cet herbicide est utilisé en Martinique dans les champs de canne à sucre. Il est interdit depuis le 1^{er} octobre 2003. Sa demi-vie dans le sol est de 60 jours.

Le Bromacil

Ce produit a été retrouvé une seule fois pendant cette campagne de prélèvements (Basse Pointe – chez Lélène $1.16 \mu\text{g/l}$). Il avait été retrouvé une seule fois sur ce même point lors de la précédente campagne, avec une teneur de $8.13 \mu\text{g.l}^{-1}$ (seuil de quantification $0.05 \mu\text{g.l}^{-1}$).

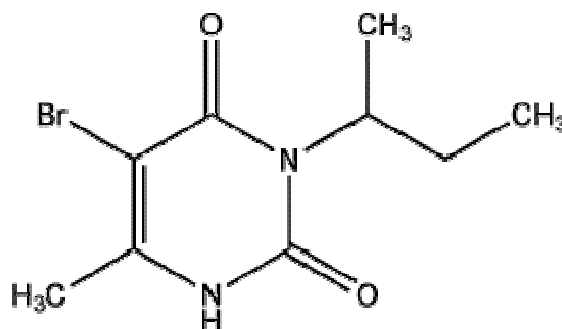


Figure 31 : Structure moléculaire du bromacil

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de $0.1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Usages : le Bromacil est un herbicide utilisé pour combattre les graminées et les broussailles, il est généralement utilisé dans les champs d'ananas. Le Bromacil est officiellement interdit depuis l'année 2003. Sa demi-vie dans le sol est de 60 jours.

Le Chlordécone

Le chlordécone a été retrouvé dans 6 piézomètres sur 10 lors de cette campagne de prélèvements. Les valeurs, pour cette campagne 2005, varient entre 0.38 et $2.5 \mu\text{g.l}^{-1}$. Le seuil de quantification de cette molécule est de $0.2 \mu\text{g.l}^{-1}$, ce qui est élevée par rapport à celui des autres molécules quantifiées. Il convient également de noter que ce seuil correspond à 2 fois la valeur retenue pour l'eau potable ($0.1 \mu\text{g/l}$).

Il avait été retrouvé sur 1 piézomètre parmi 10 en octobre 2004, et sur 4 piézomètres parmi 34 en janvier 2004.

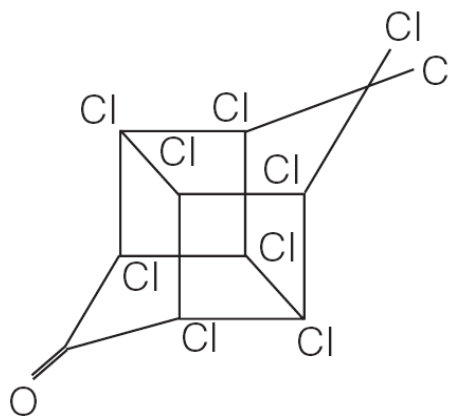


Figure 32 : Structure moléculaire du chlordécone

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de $0.1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Usages : Le chlordécone (aussi connu sous le nom de Curlone) est un insecticide organochloré interdit depuis 1993 dans les DOM. Il fut utilisé pour lutter contre le charançon du bananier.

Effets sur la santé : les effets du chlordécone sont multiples : troubles neurologiques, stérilité....

La Dieldrine

La dieldrine a été retrouvée dans 2 piézomètres lors de cette campagne de prélèvements : les deux piézomètres sont sur Basse Pointe. Le premier, au niveau de Rivière Falaise (chez Lélène), avec une teneur de $0,137 \mu\text{g.l}^{-1}$ (une teneur de $0,41 \mu\text{g.l}^{-1}$ avait été mesurée dans ce piézomètre lors de la campagne d'octobre novembre 2004) et le second au lieu-dit Chalvet (nouveau point de suivi), avec une teneur de $0.037 \mu\text{g.l}^{-1}$ (le seuil de quantification est de $0.01 \mu\text{g.l}^{-1}$).

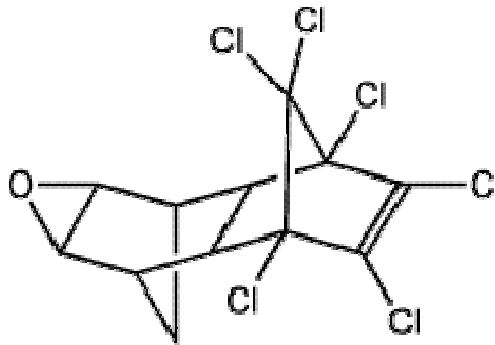


Figure 33 : Structure moléculaire de la dieldrine

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de $0.03 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Usage : La dieldrine est un insecticide hautement toxique pour les organismes aquatiques et est très persistante dans le milieu naturel. En outre, elle provoque également de sérieuses intoxications chez l'homme. Son usage est officiellement interdite depuis 1972. En théorie, entre 75 et 100% de la dieldrine sont dégradés ou décomposés en l'espace de 3 à 25 ans.

Effets sur la santé : la dieldrine est classée comme probablement cancérogène pour l'homme (foie, seins).

Le Diuron

Le diuron a été retrouvé pendant cette campagne de prélèvements dans un seul site (Basse Pointe, chez Lélène, $0.17 \mu\text{g/l}$). Il avait été retrouvé en octobre 2004 dans ce même point avec une teneur de $0.15 \mu\text{g.l}^{-1}$, alors qu'il n'avait pas été détecté en mars 2004,. Il avait été mesuré à la même teneur aux Anses d'Arlets – Grande Anse en Mars 2004 $0.15 \mu\text{g/l}$). Il avait aussi été retrouvé, en octobre 2004, au Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur de $1.73 \mu\text{g.l}^{-1}$ alors qu'il n'a pas été détecté en novembre-décembre 2005.

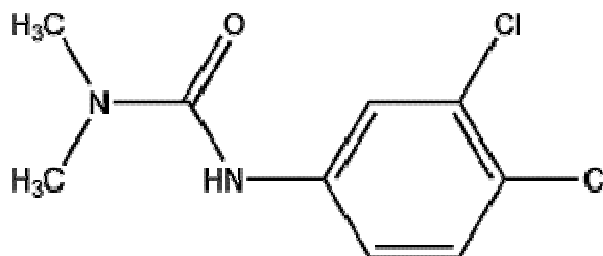


Figure 34 : Structure moléculaire du diuron

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de $0.1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Usage : le diuron est un herbicide systémique de la famille des urées substituées pour le désherbage des zones non agricoles, ainsi que des cultures types bananes, cannes à sucre et ananas. Sa demi-vie dans le sol est de 90 jours. L'usage de diuron est autorisé, mais avec des restrictions d'usage. Le ministre de l'agriculture, par décisions des 15 février et 4 juillet 1997, a interdit l'emploi du diuron seul pour le désherbage des zones non agricoles.

Effets sur la santé : le diuron a une faible toxicité aiguë. Les effets toxiques observés chez les animaux sont la perte de poids et des anomalies du sang, du foie et de la rate.

Heptachlore époxyde

L'heptachlore époxyde a été retrouvé deux fois lors de cette campagne de prélèvements, à Basse Pointe – Chalvet, avec une teneur de $0.07 \mu\text{g.l}^{-1}$ et au niveau de Gros Morne –Pré Vert ($0.007 \mu\text{g/l}$). Il avait été mesuré, lors de la précédente campagne, à une teneur de $0.02 \mu\text{g.l}^{-1}$ dans le piézomètre Basse Pointe – Chez Lélène (seuil de quantification : $0.005 \mu\text{g.l}^{-1}$).

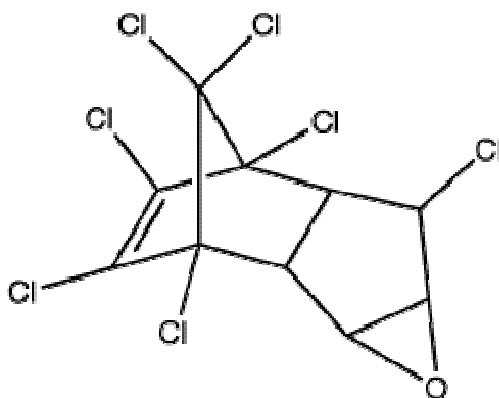


Figure 35 : Structure moléculaire de l'heptachlore époxyde

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de $0.03 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Usage : L'heptachlore est un insecticide qui agit par contact, et est utilisé essentiellement contre les insectes rampants et les termites. L'heptachlore est présent sous forme d'impuretés dans le Chlordane, utilisé comme insecticide dans les champs de bananes. L'heptachlore époxyde est un produit de dégradation de l'heptachlore.

Effets sur la santé : L'heptachlore époxyde a des effets cancérigènes démontrés chez l'animal. Chez l'homme, il s'accumule essentiellement dans les tissus adipeux mais aussi dans le foie, les reins et les muscles. Il a été démontré que, chez la femme, l'heptachlore traversait le placenta pour atteindre le fœtus en développement.

Hexazinone

Ce produit a été retrouvé une fois lors de cette campagne de prélèvements (Basse Pointe, chez Lélène 0.17 µg/l). Il avait été retrouvé, lors des précédentes campagnes, en mars 2004 dans ce même piézomètre avec une teneur de 0.3 µg.l⁻¹ et avec une teneur de 0.45 µg.l⁻¹ en octobre 2004. Il avait aussi été retrouvé, au Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur de 0.78 µg.l⁻¹ (seuil de quantification : 0.035 µg.l⁻¹) alors qu'il n'est plus détecté en novembre-décembre 2005.

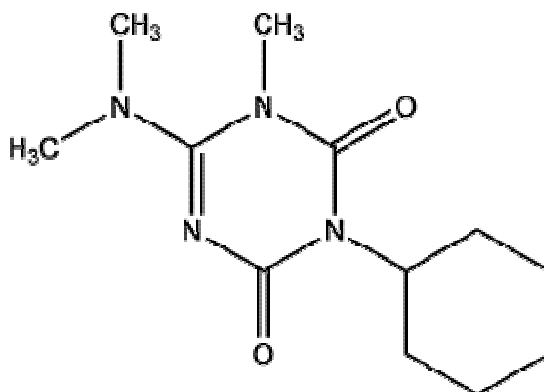


Figure 36 : Structure moléculaire de l'hexazinone

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de 0.1 µg.l⁻¹.

Usage : l'hexazinon est un herbicide organoazoté interdit au 31 décembre 2003, mais avec des dérogations au 31 décembre 2007 pour la canne à sucre notamment. Sa demi-vie dans le sol est de 90 jours.

Effets sur la santé : l'hexazinon est classé comme moyennement toxique.

Propiconazole

Ce produit n'a pas été retrouvé lors de cette campagne de prélèvements. Il avait été retrouvé, lors de la précédente campagne, au Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur de 0.09 µg.l⁻¹.

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de 0.1 µg.l⁻¹.

Usage : Le propiconazole est un fongicide généralement utilisé par traitement aérien pour lutter contre la cercosporiose (champignon réduisant la production) des bananiers.

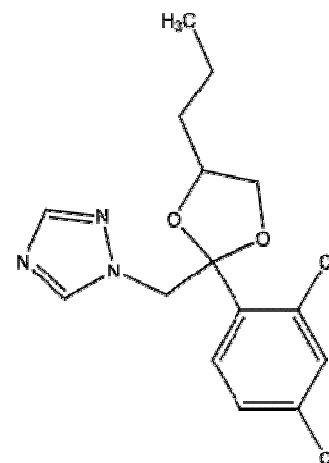
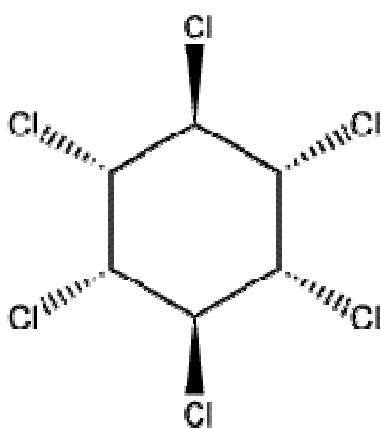


Figure 37 : Structure moléculaire du propiconazole

Les hexachlorocyclohexanes (HCH)

Le β -HCH a été quantifié dans 5 piézomètres lors de cette campagne de prélèvements. Les valeurs, pour cette campagne 2005, varient entre 0.007 et 0.336 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (le seuil de quantification est de 0.005 $\mu\text{g.l}^{-1}$). La contamination observée pour 3 points en octobre-novembre 2004 a été confirmée en 2005 ; les 2 autres quantifications correspondent à des points analysés pour la première fois.

Lors de la précédente campagne, des traces de α -HCH, Δ -HCH et γ -HCH (Lindane) avaient été retrouvés au forage de Marigot – Anses Charpentier, ces éléments ont été à nouveau détectés en 2005, mais en dessous du seuil de quantification.



Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de 0.1 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

Usage : les hexachlorocyclohexanes ont été utilisés pour lutter contre le charançon du bananier. Leur emploi est actuellement interdit. (1997 pour le Gamma HCH).

Effets sur la santé : les isomères du HCH ont principalement des effets hépatiques (augmentation des enzymes hépatiques sanguines) et des effets endocriniens (altération des niveaux d'hormones sexuelles). Il est possible que l'exposition au lindane ait des effets cancérogènes.

Figure 38 : Structure moléculaire des hexachlorocyclohexanes

Le lindane serait encore utilisé comme insecticide (anti-poux, anti-puces...) dans les hôpitaux et les écoles. Les quantités utilisées ne sont pas connues.

La carbendazime

La carbendazime a été quantifiée à 0.18 $\mu\text{g/l}$ au niveau de Gros-Morne, La Borelli.

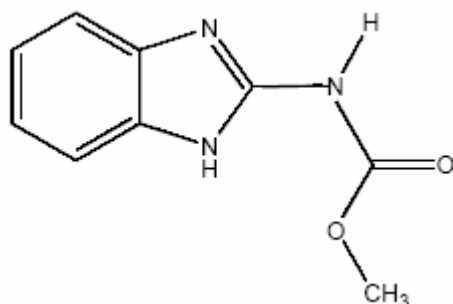


Figure 39 : Structure moléculaire de la carbendazime

Propriétés physico-chimiques:

Solubilité dans l'eau à 24 °C – pH 7	8 mg/L
Partition n-octanol/eau (log K _{ow}) – pH 7	1,51
Pression vapeur (20 °C)	0,09 mPa
Coefficient d'adsorption (K _{oc})	200-250

Données écotoxicologiques:

48h LC ₅₀	<i>Daphnia magna</i>	130-220 µg/L
96h LC ₅₀	Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	830 µg/L
72h EC ₅₀	Croissance algue (<i>Scenedesmus capricornutum</i>)	300 µg/L
4 semaines LC ₅₀	Ver de terre (<i>Eisenia fetida</i>)	600 µg/kg sol
Contact LD ₅₀	Abeille	> 50 µg/ abeille

Evolution dans l'environnement:

Eau-DT ₅₀	2-25 mois
Sol-DT ₅₀	8-32 jours
Mobilité moyenne	

Tableau 6 : Propriétés de la carbendazime

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de 0.1 µg.l⁻¹.

Usage : la carbendazime est un fongicide systémique servant à détruire maints pathogènes des céréales, des fruits, des plantes ornementale et des légumes. Ce fongicide est absorbé par les organes verts et les racines des végétaux et véhiculé par le courant de sève brute. Son action peut être préventive en empêchant l'installation du champignon ou curative en limitant son développement et en empêchant sa sporulation. Sa persistance d'action est de l'ordre de 2 à 3 semaines (Source : index phytosanitaire Acta 2005) Les formulations commerciales en renfermant se présentent essentiellement sous forme de poudres mouillables ou de liquides pour pulvérisation.

Effets sur la santé : les seules observations disponibles rapportent des modifications au niveau du sang, de l'intestin, des testicules, du thymus et de la moelle osseuse, après administration de 500 mg/kg chez le rat. Il n'existe pas de publication d'intoxication chronique ou aiguë chez l'homme. (Source : fiche toxicologique n°214 de l'INRS).

3.8.3. Propriétés physico-chimiques des molécules et comportement

Les propriétés physico-chimiques des molécules (solubilité dans l'eau, pression de vapeur, constant de Henry, coefficient de partage eau-octanol) conditionnent fortement le devenir de ces molécules dans l'environnement et notamment leur aptitude à être transportées vers les eaux superficielles ou souterraines.

La persistance des molécules dépend de l'intensité des processus de biotransformation, d'oxydation abiotique, d'hydrolyse et de photolyse, eux-mêmes influencés par les propriétés des molécules. A cela, s'ajoutent les conditions de milieu (température, humidité du sol,...) qui peuvent modifier l'intensité des différents processus.

Les processus de sorption et de biodégradation sont classiquement considérés comme deux processus majeurs susceptibles de réduire la quantité de phytosanitaires pouvant transiter au-delà du sol.

En effet, la mobilité de la matière active est réduite par son adsorption sur les particules du sol. La sorption est généralement corrélée au taux de carbone organique des sols dans la mesure où la matière active est adsorbée sur la matière organique du sol. Le coefficient de partage carbone organique-eau K_{oc} (en $dm^3.kg^{-1}$) permet d'estimer le degré d'adsorption du pesticide par le sol. La constante d'adsorption mesurée en laboratoire est normalisée par rapport à la teneur en carbone organique ce qui autorise la comparaison des résultats obtenus pour différentes molécules et différents sols. Dans les faits, la valeur de K_{oc} pour une molécule donnée n'est pas unique car la nature même de la matière organique influence les processus de sorption ; ceci explique les larges gammes de valeurs de K_{oc} rencontrées dans la littérature pour une molécule donnée.

La cinétique de la dégradation est souvent décrite par une simple loi exponentielle, traduisant le fait que la quantité dégradée par unité de temps est proportionnelle à la quantité restante. La vitesse de dégradation est indiquée par la durée de demi-vie (DT50 ou $t_{1/2}$) qui correspond à la durée nécessaire pour que 50 % du produit soit dégradé.

	selon Gustafson (1989)		Selon base de données PAN	
molécule	Temps de demi- vie (j) et K _{OC} (ml/g)	GUS	Temps de demi- vie (j) et K _{OC} (ml/g)	GUS
2.4D	DT ₅₀ = 7 K _{OC} = 53	1.92	DT ₅₀ = 34 K _{OC} = 45	3.59
Atrazine	DT ₅₀ = 74 K _{OC} = 107	3.68	DT ₅₀ = 146 K _{OC} = 93	4.40
Bromacil	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = 346 K _{OC} = 17	2.53
Chlordécone	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?
Dieldrine	DT ₅₀ = 934 K _{OC} = 12100	-0.25	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?
Diuron	DT ₅₀ = 188 K _{OC} = 389	3.21	DT ₅₀ = 372 K _{OC} = 499	3.35
Heptachlore	DT ₅₀ = 109 K _{OC} = 13330	-0.25	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?
Hexazinone	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = 222 K _{OC} = 640	4.53
Propiconazole	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = 71 K _{OC} = 656	2.19
Alpha HCH	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?
Beta HCH	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?
Delta HCH	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?
Gamma HCH (lindane)	DT ₅₀ = 569 K _{OC} = 1727	2.1	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?
Carbendazime	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?	DT ₅₀ = ? K _{OC} = ?	?

Tableau 7 : Principales caractéristiques des molécules phytosanitaires ayant été détectées en 2004 ou 2005

Le Tableau 7 permet de visualiser les principales caractéristiques des molécules qui ont été détectées dans les eaux souterraines en 2004 ou en 2005. Les données proviennent de la base de données PAN (<http://www.pesticideinfo.org>) ou de la littérature (Gustafson, 1989). *Il convient de noter que les informations ne sont disponibles pour plusieurs molécules.*

Les valeurs connues sont très variables en fonction des molécules variant entre 28 et 929 mg/l pour la solubilité, de 17 à 13300 pour le K_{OC} et de 7 à 934 jours pour la demi-vie, laissant présager des comportements variables.

Afin d'apprécier *a priori* le comportement des molécules et le risque de lessivage vers les eaux souterraines, Gustafson (1989) a mis au point un indicateur mécaniste simple à faible niveau d'agrégation qui prend uniquement en compte les propriétés de la substance active sans intégrer de variables liées à l'usage et au milieu : l'indice GUS.

$$\text{GUS} = [\log(\text{DT}_{50})] * [4 - \log(\text{K}_{\text{OC}})]$$

L'avantage est qu'il est donc possible de disposer d'une base de données avec la valeur du GUS pour l'ensemble des substances actives utilisées. Cet indicateur a d'ailleurs souvent été repris comme donnée d'entrée dans d'autres méthodes.

L'indice repose sur l'hypothèse que plus un produit est facilement adsorbé par les particules de sol et moins il est persistant, moins le risque est grand de le voir être entraîné en profondeur. Des valeurs seuils (1,8 et 2,8) permettent de définir trois classes de risque : si $GUS > 2,8$ les substances actives sont considérées comme lessivables ; si $GUS < 1,8$ les substances actives sont considérées comme non lessivables ; dans l'intervalle [1,8-2,8] il est difficile de conclure sur la capacité de la substance active à être lessivée.

A titre indicatif, le Tableau 7 liste les indices GUS pour les molécules pour lesquelles les données de K_{oc} et de DT_{50} sont disponibles.

Selon Gustafson (1989), la dieldrine et l'heptachlore sont considérées comme des molécules non lessivables alors que l'atrazine et le diuron apparaissent comme les molécules lessivables. Le 2,4-D et le lindane apparaissent comme des molécules de transition.

Lorsque les données de PAN sont utilisées pour calculer ce même indice GUS, toutes les molécules pour lesquelles l'indice de GUS peut être estimées présentent des valeurs $>2,8$, sauf le propiconazole ($GUS = 2,2$), laissant imaginer que toutes ces molécules peuvent potentiellement se trouver dans l'eau souterraine.

La différence entre les indices définis par Gustafson et les données de PAN illustrent la variabilité des valeurs moyennes retenues pour le K_{oc} ou la DT_{50} . Cette variabilité résulte de l'évolution des connaissances, l'influence de la nature de la matière organique sur le K_{oc} mais aussi des conditions de milieu rencontrées pour la détermination de la DT_{50} . A noter que la plupart des molécules sont étudiées sur des sols et conditions de milieu spécifique à l'Amérique du Nord ou l'Europe. **Très peu d'études sont réalisées dans des contextes tropicaux ce qui permettrait d'obtenir des valeurs plus spécifiques et représentatives.**

Dans la liste des substances recherchées et pour lesquelles Gustafson avait fourni un indice, l'aldicarbe, la cyanazine, le métolachlore, la métribuzine, le prometryne et la simazine apparaissent comme des molécules susceptibles d'être retrouvées dans les eaux souterraines, ce qui n'est pas le cas, ces molécules n'ont pas été quantifiés lors des campagnes de 2004 et de 2005. Il est à noter que la cyanazine, le métolachlore et la métribuzine ne sont pas non plus détectés dans les eaux de surface ; la question de leur usage peut donc se poser.

L'absence de détection des 3 autres molécules peut vraisemblablement être mise en relation avec les quantités de matières actives apportées ainsi que de leur répartition sur l'île.

En effet, les herbicides ne représentent que 22% des quantités de matières importées contre 58% pour les insecticides et les nématicides. Les fongicides ne représentent que 6%, ce qui, en plus de leurs propriétés physico-chimiques, pourrait expliquer cette

faible présence dans les eaux souterraines (données correspondant aux importations de l'année 2002, Bocquene 2002).

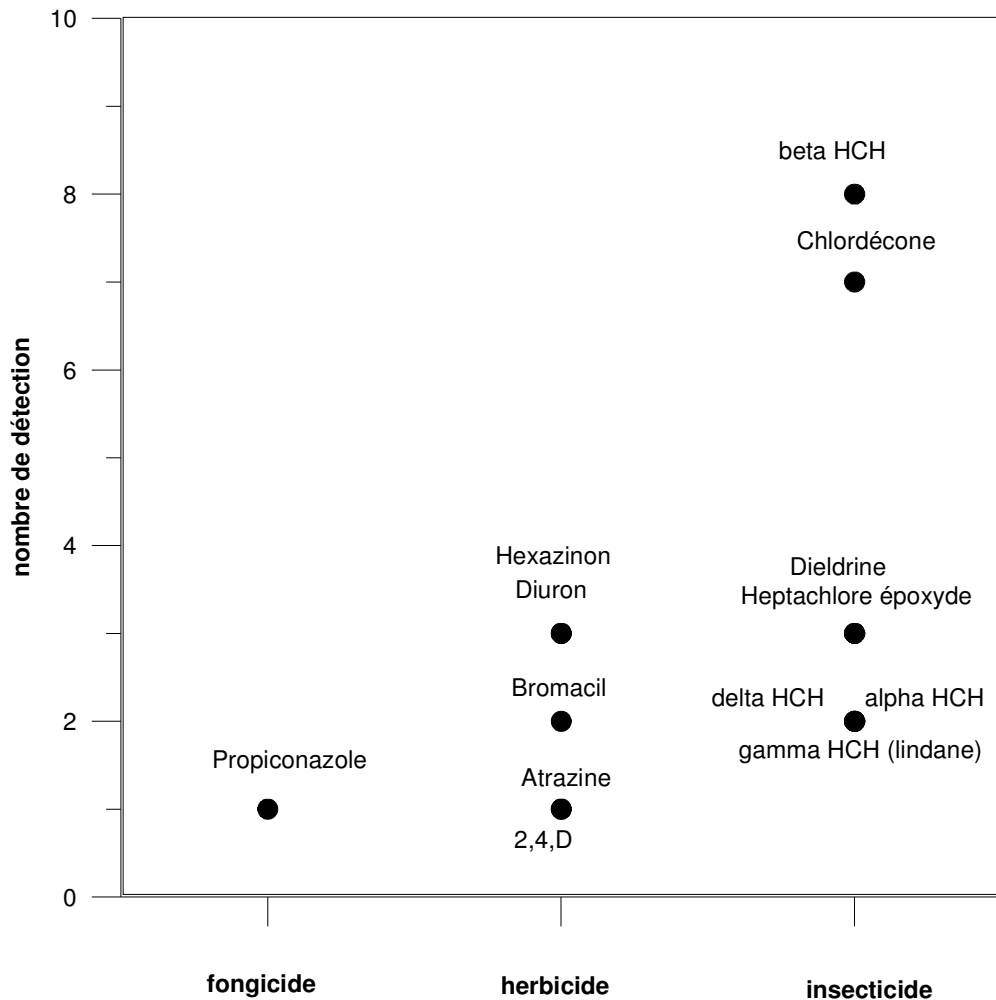


Figure 40 : Répartition du nombre de détections des molécules en 2004 et 2005 en fonction de leurs usages

La Figure 40 permet de visualiser la répartition des détections en 2004 et 2005 cumulées en fonction des usages. Même si cette figure doit être considérée avec précaution vu le nombre très faibles d'analyses, les insecticides apparaissent comme les molécules les plus détectées.

3.8.4. Les sites pollués par les produits phytosanitaires

Un certain nombre de sites sont ainsi pollués par certains de ces produits phytosanitaires. Les paragraphes ci-dessous reprennent les données des paragraphes ci-dessus, en regroupant les produits analysés selon les sites sur lesquels ils ont été détectés.

Les différents types de pollutions

Au préalable, il est nécessaire de rappeler les différentes voies par lesquelles les forages ou sources se retrouvent pollués. On considère généralement 3 voies différentes de pénétration des divers contaminants vers les nappes souterraines:

1) **la pollution ponctuelle** : la substance polluante peut pénétrer de manière très localisée, le point d'entrée est alors de superficie très limitée. L'exemple le plus classique est l'infiltration des eaux de rinçage de pulvérisateurs. On pourrait aussi classer dans cette catégorie l'usage exceptionnel d'un pesticide précis sur une parcelle de faible surface.

2) **les pollutions linéaires** : le désherbage chimique le long des axes routiers peut correspondre à l'émission de matières polluantes dissoutes sur de grandes longueurs. (Un autre exemple possible correspondrait à un cours d'eau pollué alimentant un aquifère).

3) **La pollution diffuse** : l'application aux cultures de divers pesticides conduit à une grande dispersion en produits potentiellement néfastes. Ceux-ci parviennent aux nappes par de vastes surfaces d'affleurement, lorsque l'infiltration de l'eau de pluie entraîne en profondeur des substances répandues sur le sol.

Les rendements de l'agriculture actuelle ne pourraient être obtenus sans l'usage de ces produits qui permettent de minimiser les frais culturaux par l'élimination des mauvaises herbes, d'éviter les parasitoses ou de limiter l'effet des insectes ravageurs.

La contrepartie est un entraînement potentiel de ces produits par les eaux, de ruissellement d'une part, d'infiltration d'autre part. Ainsi, on retrouve un certain nombre de ces pesticides dans les rivières et dans les eaux souterraines.

La recherche industrielle spécialisée moderne s'attache donc à mettre au point des substances peu mobiles, à vie courte, rapidement biodégradées.

Bref historique de l'usage des produits phytosanitaires en Martinique

Les premiers produits phytosanitaires utilisés, dans les années 1960, dans la lutte contre les « pestes animales », appartenaient à la famille des organochlorés (HCH, dieldrine et aldrine).

Ces molécules furent remplacées, à la fin des années 1960, par un autre organochloré : le chlordécone. Dès 1971, les organochlorés firent progressivement l'objet de restriction d'usage, car ils étaient soupçonnés de contaminer les sols et les rivières (dieldrine interdite d'usage en 1972, chlordécone en 1993).

Dans les années 1980-1990, de nouvelles molécules à rémanence plus courte et à toxicité immédiate, les organophosphorés et les carbamates, remplacèrent progressivement les organochlorés. Les organophosphorés de type malathion, méthylparathion, disulfoton, diazinon furent largement utilisées sur l'île à cette période.

Sous l'impulsion des nouvelles réglementations européennes, ces molécules ont été remplacées à leur tour par d'autres molécules organophosphorées moins toxiques (terbuphos, cadusaphos, izasophos, phénamiphos). En 1998 les organophosphorés représentaient 90 % des produits importés.

Ces dernières années, des réglementations sévères ont été mises en place à l'échelle européenne et nationale. En 2003, 160 substances actives et 600 produits commerciaux ont été retirés du marché français.

Les points suivants sont importants sont à noter :

- Les organochlorés, produits les plus toxiques à l'origine de la contamination des sols, rivières et eaux souterraines, furent employés de 1960 à 1997.
- parmi les produits phytosanitaires actuellement importés en Martinique, 50 % seraient utilisés par la profession agricole et 50 % pour des activités non agricoles (étude CIRAD, 1996).
- En 2002, 60 % des produits phytosanitaires importés étaient des insecticides / nématocides, 22 % des herbicides et 6 % des fongicides (quantités de produits bruts, d'après le service des douanes).
- La culture de la banane est de loin (86 %) la culture qui utilise le plus de produits phytosanitaires, devant la culture de l'ananas (7%) et les cultures maraîchères (4%) (Balland et al, 1998).

Forage 1175ZZ0106 – Vert Pré

Convention de représentation : pour tous les graphiques relatif à chaque point de suivi, aucune valeur n'est indiquée lorsque la molécule n'a pas été recherché (par exemple pour Vert Pré, l'heptachlore époxyde n'a pas été recherché en janvier 2004) et une valeur négative, correspondant à la valeur de la limite de quantification, est portée quand les molécules n'ont pas été quantifiées (par exemple l'heptachlore époxyde a été recherché mais non quantifiée en novembre 2004 et mai 2005 avec une technique présentant pour cette molécule une limite de quantification de 0.005 µg/L). Une valeur 0 correspond au cas où la molécule est détectée mais à des teneurs non quantifiables.

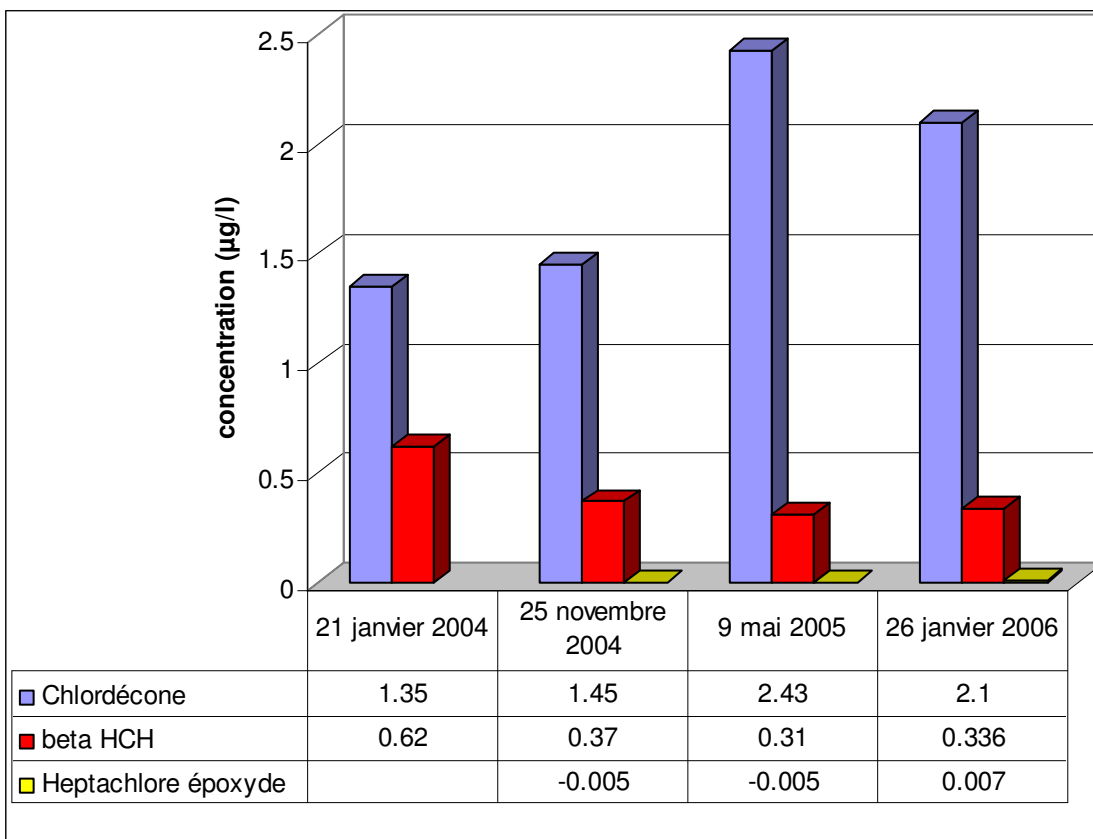


Figure 41 : Comparaison des produits phytosanitaires détectés à Vert Pré, en µg.l⁻¹

Ce forage est marqué par la présence de deux insecticides : le chlordécone et le β-HCH. Ces produits étaient anciennement utilisés dans les champs de banane pour lutter contre le charançon. Leur emploi est désormais interdit.

Il est à noter que ce secteur est situé en zone bleue de la cartographie statistique du risque de pollution des sols par le chlordécone (rien ou traces) et bleu pour le β-HCH

(pas de β -HCH). (Cf.BRGM/RP-53262-FR cartographie du risque de pollution des sols de Martinique par les organochlorés).

Ainsi, même si le sol dans le secteur du forage n'a pas été exposé à ces insecticides (ce qui reste à prouver par la réalisation d'analyses de sols), la nappe souterraine est contaminée à des teneurs conséquentes (en 2005, valeur la plus forte trouvée pour le β -HCH et deuxième valeur la plus forte pour le chlordécone).

Cette constatation amène de nombreuses questions quant aux circulations souterraines au sein des aquifères volcaniques. Il faut savoir si les produits rencontrés proviennent de la zone la plus proche présentant un risque statistique de pollution des sols, à savoir au sud de Morne des Esses ; et connaître alors les circulations souterraines et l'extension de l'aquifère ou des aquifères concernés et leurs relations.

Les connaissances hydrogéologiques sont actuellement insuffisantes pour caractériser plus en détail la contamination de ce site.

Des prospections de terrain devraient aussi être effectuées afin de connaître l'usage du chlordécone et du β -HCH sur le secteur de Vert Pré. La réalisation d'analyse de sol dans ce secteur serait aussi envisageable pour déterminer l'origine des produits retrouvés dans les eaux souterraines.

L'heptachlore époxyde, quand à lui, a été quantifié pour la première fois à une teneur proche de la limite de quantification (0.007 $\mu\text{g/l}$ pour une LQ de 0.005 $\mu\text{g/l}$), ce qui pourrait expliquer l'absence de quantification lors des campagnes précédentes.

Forage 1179ZZ0070 – Lamentin – Habitation Ressource

En février 2004, le chlordécone a été trouvé dans ce forage à une teneur équivalente à la limite de quantification (0.2 µg/l) et n'a pas été détecté lors des campagnes suivantes.

Lors de la campagne octobre-novembre 2004, les analyses avaient montré de fortes teneurs en produits phytosanitaires, produits dont l'usage est autorisé (herbicides et fongicides), et donc probablement utilisés sur les cultures avoisinantes.

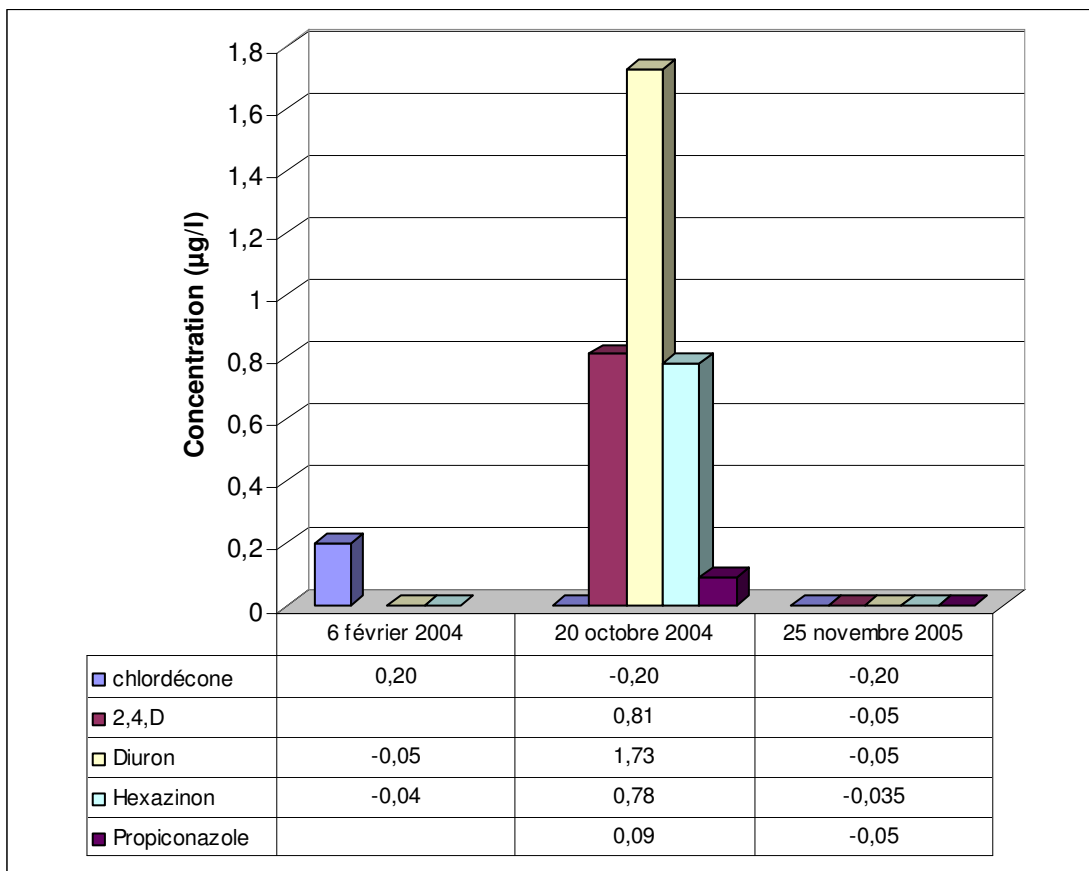


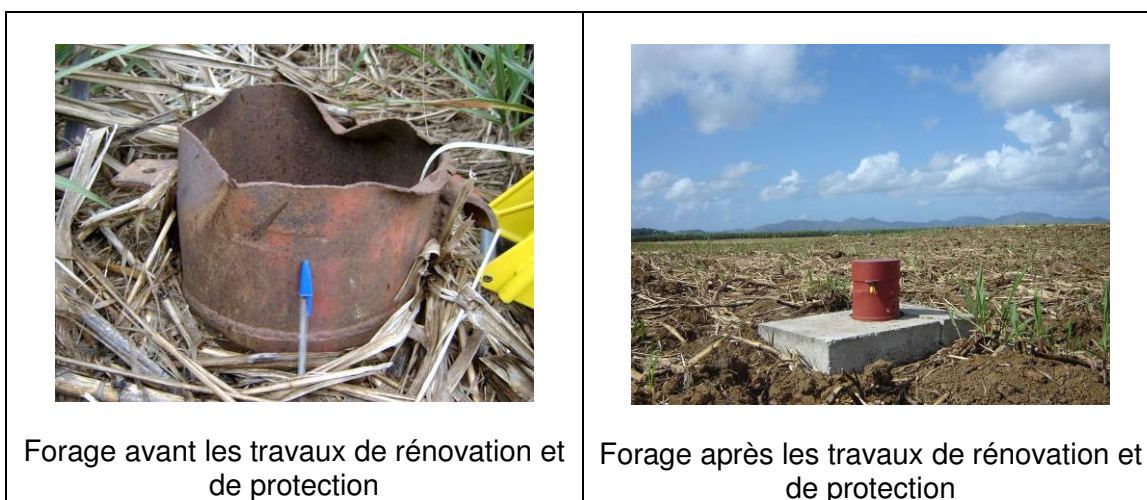
Figure 42 : Produits phytosanitaires détectés le 20 octobre 2004 au Lamentin – Habitation Ressource, en µg.l¹

Les analyses réalisées lors de la saison des pluies 2005 montrent quant à elle que ce forage ne présente plus aucune trace de produit phytosanitaire.

Cet ouvrage, comme on peut le voir sur les photos ci-dessus, avait été laissé à l'abandon pendant de nombreuses années, et était situé dans un champ de canne à sucre. Dans le cadre du réseau piézométrique (MEDD-BRGM), des travaux avaient été décidés courant 2004 et réalisés début 2005 afin de protéger l'ouvrage et la ressource.

Les deux analyses réalisées avant et après les travaux tendent à prouver que nous étions en présence d'une pollution dite ponctuelle : les produits utilisés (épandage aérien notamment) dans les champs se retrouvaient directement dans le forage. Cette hypothèse est validée par d'autres prélèvements réalisés pour la CACEM et qui n'auraient a priori détecté aucun produit phytosanitaire.

Cette observation irait également dans le sens d'un renouvellement assez important de la nappe à la fois naturel mais aussi induit par les différents pompages qui ont été réalisés pour les prélèvements en vue de la réalisation des analyses. En effet, la dégradation des phytosanitaires en zone saturée est souvent très limitée ; la décroissance de teneurs proches du $\mu\text{g/l}$ à des teneurs inférieures aux limites de quantification est plus vraisemblablement liée au renouvellement de l'eau de la nappe au droit du forage.



Photos 1 : Forage 1179ZZ0070 avant et après les travaux de rénovation

Forage 1168ZZ0054 – Basse Pointe – Rivière Falaise

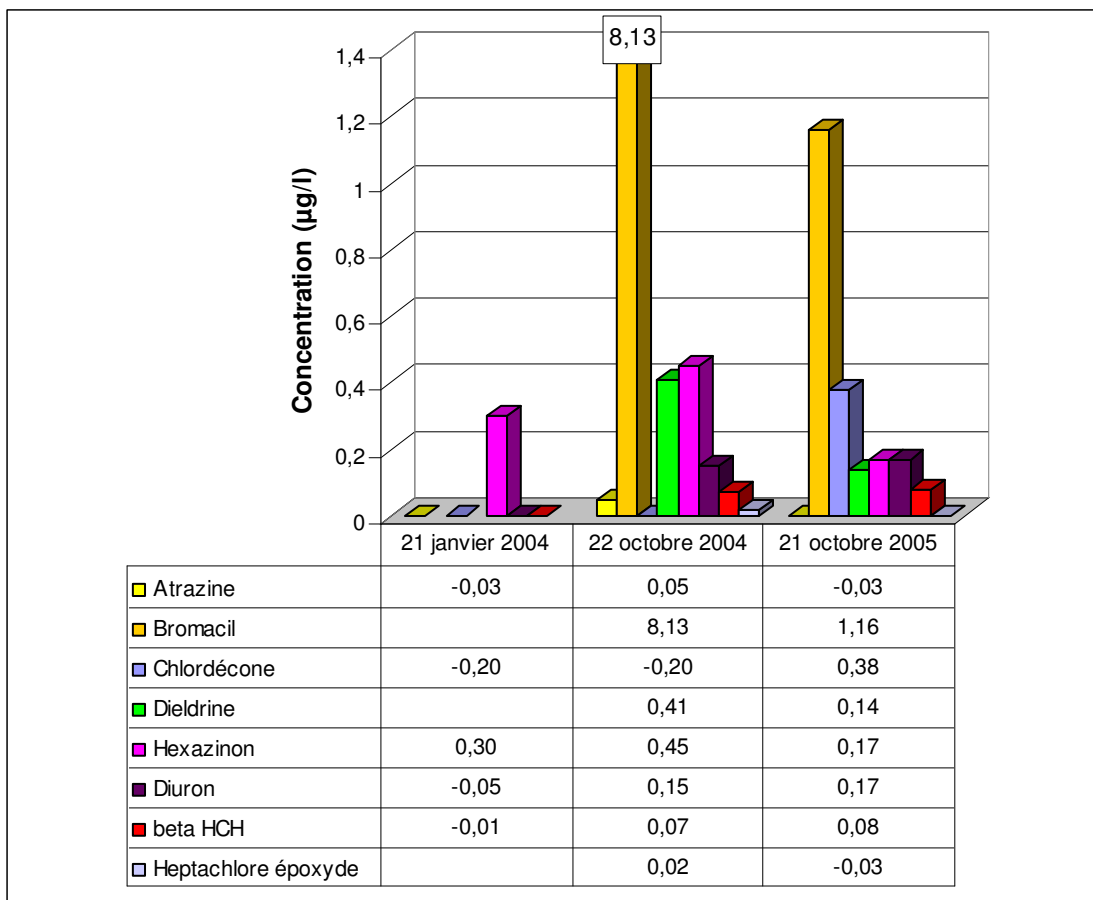


Figure 43 : Produits phytosanitaires détectés à Basse Pointe – Piézomètre à proximité de la Rivière Falaise, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$

Ce piézomètre, situé à Basse Pointe à proximité de la Rivière Falaise (en contrebas du restaurant « Chez Lélène »), présente plusieurs types d'évolution. Alors que les teneurs en bromacil, en dieldrine et en hexazinone ont fortement diminuée en octobre 2004 et octobre 2005, les teneurs en diuron et beta-HCH sont stables (aux erreurs analytiques près).

Le chlordécone est quantifié pour la première fois (son seuil de quantification est élevé : $0.2 \mu\text{g/l}$). L'atrazine n'a été détecté qu'en octobre 2004, à une teneur assez faible ($0.05 \mu\text{g/l}$).

- **Cas du Bromacil**

Ce produit avait été mesuré, lors de la précédente campagne (octobre 2004), à une très forte concentration ($8.13 \mu\text{g.l}^{-1}$). Cet herbicide est généralement utilisé dans les champs d'ananas ; son utilisation est interdite depuis 2003. Au vu des teneurs de

plusieurs µg/l observées en 2004, l'hypothèse, qui avait déjà été évoquée l'année dernière, est celle d'une pollution ponctuelle. Compte tenu de l'interdiction d'utilisation de ce produit en 2003, on peut supposer que les stocks restant ont été utilisés abondamment jusqu'à épuisement des stocks courant 2004 (ou alors les stocks restant de ces produits ont été soit déversés dans la rivière ou dans la nappe à proximité du piézomètre, cette hypothèse est peu probable compte tenu du coût d'achat non négligeable de ces produits).

Il faudrait aussi vérifier si des mesures faites dans la rivière (si elles existent) entre 2003 et 2005 confirment ou non cette hypothèse.

Le renouvellement de l'eau de la nappe et la disparition de la source de contamination ponctuelle ont pu conduire à la diminution des teneurs observées. Les prochaines mesures devraient permettre de valider cette hypothèse.

- **Cas de l'atrazine et de l'heptachlore époxyde**

Ces deux produits avaient été détectés en octobre 2004, à de très faibles teneurs, inférieurs aux normes en vigueur (pour un usage eau potable). L'atrazine avait été quantifiée légèrement au dessus de sa limite de quantification. Ces deux produits n'ont pas été détectés lors de la campagne de prélèvement d'octobre 2005. Compte tenu de leur faible teneur, ces produits ne sont pas jugés comme « problématique », néanmoins on restera attentif à toute « réapparition » de ces produits dans les futurs résultats des analyses.

- **Cas du diuron et du β-HCH**

Ces deux herbicides ont été retrouvés en octobre 2004 et en octobre 2005 à des teneurs similaires.

- **Cas de la dieldrine et de l'hexazinone**

Ces deux produits voient leurs concentrations diminuer entre octobre 2004 et octobre 2005.

- **Cas du chlordécone**

Le chlordécone n'avait pas été détecté lors des 2 précédentes campagnes, et a été détecté à une teneur de 0.38 µg/l (soit 2 fois au dessus de la limite de quantification) en octobre 2005.

Il est absolument nécessaire de suivre l'évolution des concentrations des produits phytosanitaires sur ce piézomètre, afin de mieux connaître et de pouvoir expliquer les processus de transfert des produits phytosanitaires des sols sur lesquels ils ont été épandus, vers les nappes qui sont actuellement polluées.

Forage 1169ZZ0006 – Marigot – Anse Charpentier

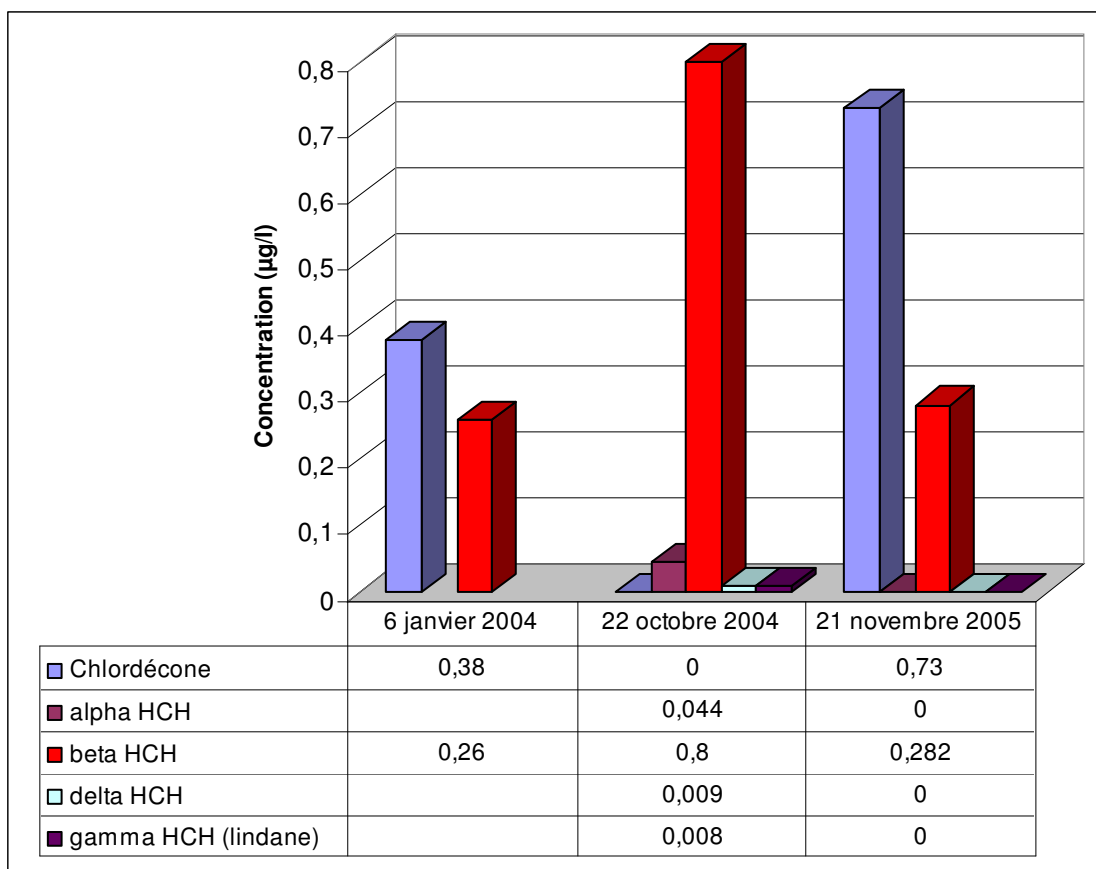


Figure 44 : Produits phytosanitaires détectés dans le forage de Marigot – Anse Charpentier, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$

Ce forage est lui aussi marqué par la présence des deux insecticides « habituels » à savoir le chlordécone et le β -HCH (et ses isomères de l'hexachlorocyclohexane trouvé également en traces inférieures à la limite de quantification en novembre 2005).

Il est à noter que ce secteur est situé en zone rouge de la cartographie statistique du risque de pollution des sols par le chlordécone et le β -HCH. Les sols en amont et à l'aplomb de ce forage sont donc très certainement pollués, et la nappe souterraine sous-jacente a très probablement été contaminée par infiltration de ces deux produits.

Là aussi, étant donné que ces deux produits ne sont officiellement plus utilisés, le suivi de leurs concentrations permettra de mieux connaître les processus de transfert entre les sols et les nappes souterraines.

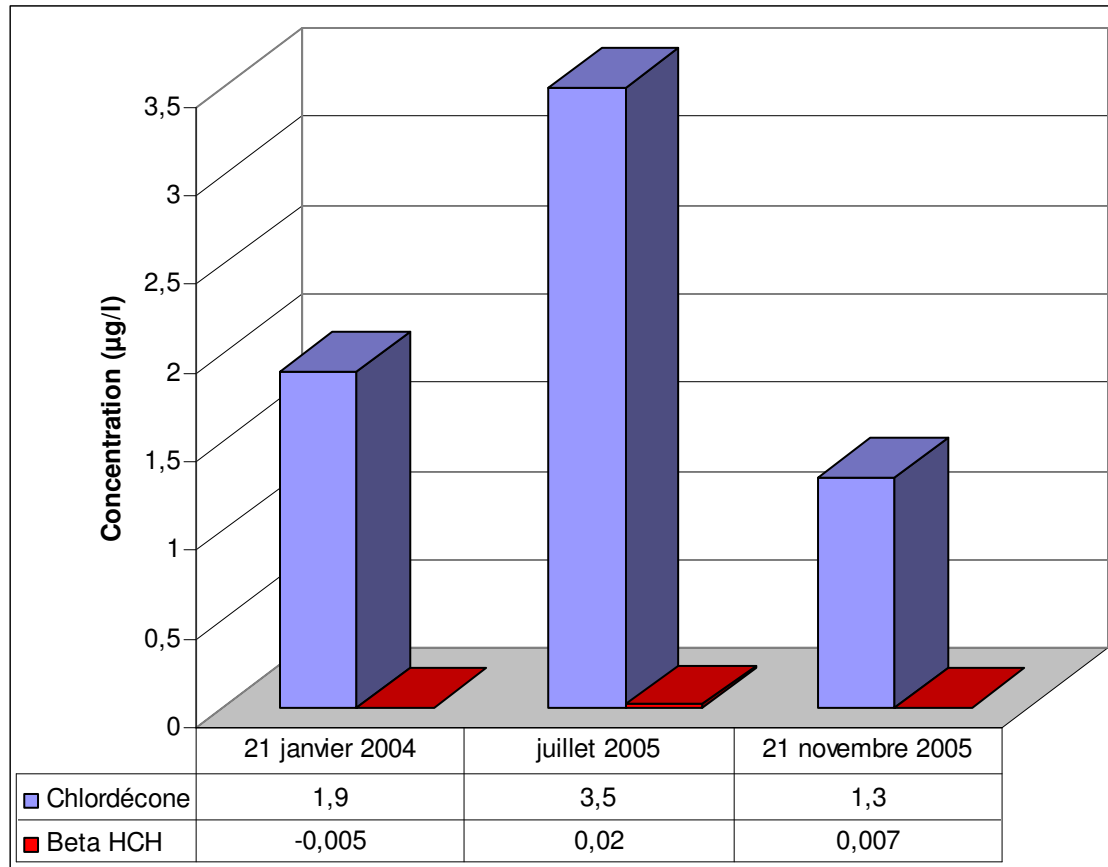
Source 1175ZZ0153 – Trinité – Morne Figue

Figure 45 : Produits phytosanitaires détectés à la source Morne Figue – Commune de la Trinité, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$

Cette source est elle aussi marquée par les deux insecticides « habituels », chlordécone et beta-HCH.

Pour pouvoir interpréter correctement les variations de teneurs mesurées sur une source, il est indispensable de connaître le débit de celle-ci. Malheureusement, le débit de cette source n'est pas mesurable, à moins de réaliser de lourds travaux de génie civil. Si l'on souhaite conserver ce point, présentant des concentrations très élevées, il serait nécessaire de réaliser des travaux permettant de mesurer le débit de la source.

Néanmoins, sur la base des 3 mesures déjà disponible, on peut déjà déceler une tendance possible : les valeurs de janvier 2004 et de novembre 2005 correspondent à des mesures réalisées pendant la « saison des pluies » et la valeur de juillet 2005 peut être attribuée à la « saison sèche ».

Sur cette base, on observerait ainsi une concentration plus élevée en chlordécone et en beta-HCH pendant la saison sèche. Cette hypothèse paraît logique si on considère

que les eaux qui s'infiltreraient actuellement et rapidement sont peu chargées en ces 2 substances : pendant la saison des pluies le débit de la source est plus fort en raison de la recharge engendrée par les précipitations, les teneurs en chlordécone seraient alors « diluées ».

Les autres sites contaminés

Les 3 sites suivants ont été analysés pour la première fois en novembre et décembre 2005.

- **Gros Morne – La Borelli**

Un seul produit a été détecté à une concentration légèrement supérieure à la norme : il s'agit du carbendazime (0.18 µg/l), produit généralement utilisé sur les cultures légumières. Il serait intéressant de connaître les lieux d'épandages de ce produit en amont de ce piézomètre, afin de mieux appréhender les transferts de polluants.

- **Basse pointe – Chalvet**

4 produits ont été détectés : les 3 insecticides habituels (chlordécone : 2.5 µg/l, beta-HCH : 0.024 µg/l et dieldrine : 0.037 µg/l), ainsi que l'heptachlore époxyde à une concentration 2.5 fois supérieure à la norme (0.07 µg/l).

Ce point présente la plus forte teneur en chlordécone mesurée en 2005.

- **François – Grand Fond**

Seul le chlordécone a été détecté dans ce forage, à une concentration 4 fois supérieure à la norme (0.4 µg/l).

A titre de synthèse, la carte 4 représente les points contaminés par les produits phytosanitaires pour la campagne de novembre-décembre 2005.

La Figure 46 récapitule les résultats obtenus par forage et par molécule quantifiée au moins une fois au cours de la campagne 2005. Elle permet de montrer la variabilité de la contamination entre les points. Les teneurs rencontrées sont fortement variables d'une molécule à une autre. D'un point de mesure à l'autre, le nombre et la nature des molécules quantifiées apparaissent également très différents. Le chlordécone est ainsi détecté dans 6 des 10 points ; le point Basse Pointe-chez Lélène présente le plus grand nombre de molécules quantifiées (6).

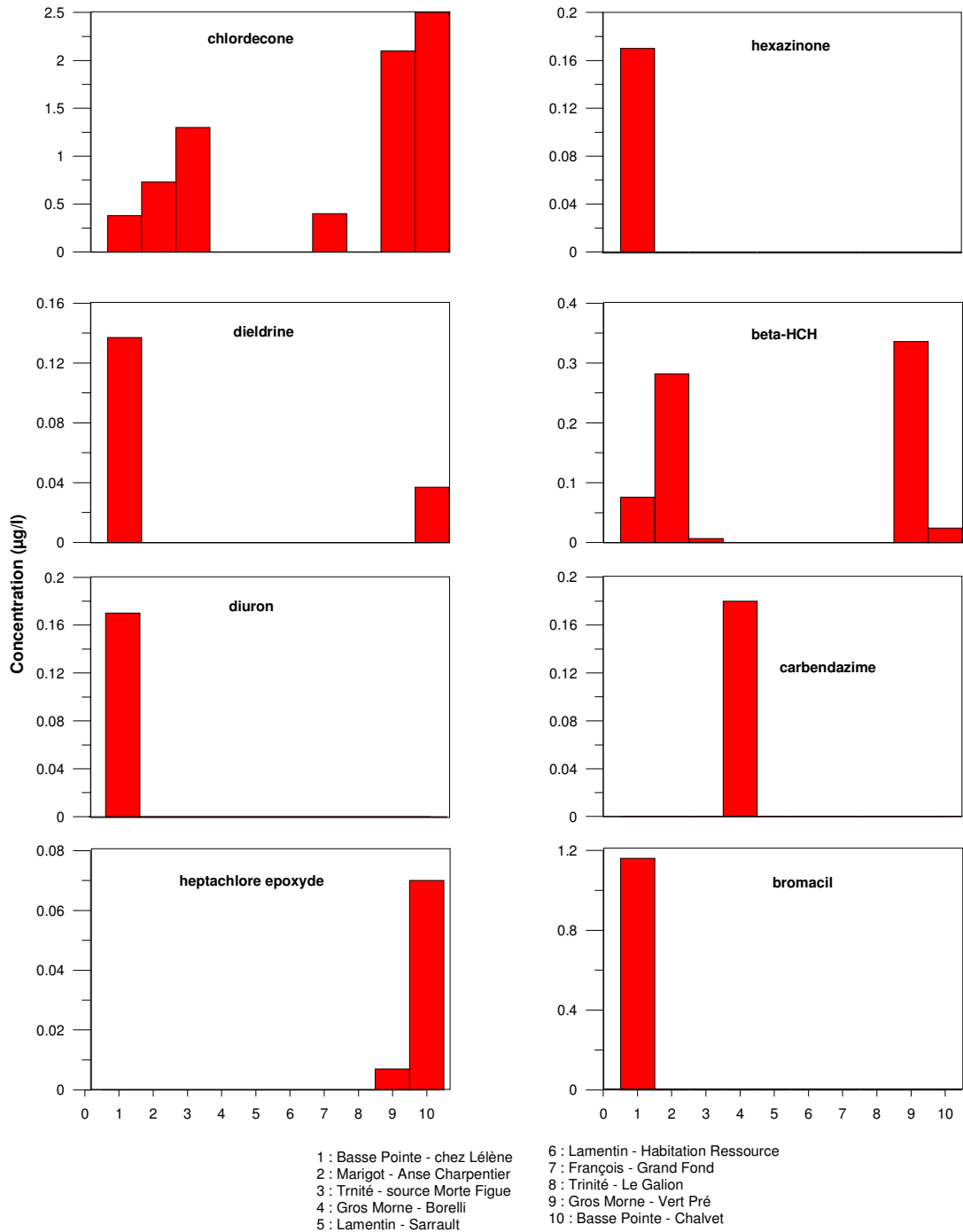


Figure 46 : Synthèse des résultats de la campagne de novembre-décembre 2005, par molécule quantifiée au moins et une fois et par forage

3.9. LES FORAGES PRESENTANT UNE EAU ALCALINE

Lors de la campagne de prélèvements en saison de pluies 2005, 3 des 35 points analysés présentent des caractéristiques complètement différentes. Ce sont 3 nouveaux forages réalisés fin 2005 :

- François - Grand Fond,
- Robert - Pontalery,
- Trinité - La Galion.

Les eaux de ces forages montrent un pH alcalin avec des valeurs > 11 , des salinités relativement peu élevées avec des TDS entre 160 et 700 mg/l. Les caractéristiques chimiques montrent des teneurs en Mg inférieures à la limite de quantification, l'absence d' HCO_3 remplacés par CO_3 (logique aux valeurs de pH observées) ; des nitrates en très faible teneur. Comparativement aux autres eaux, les teneurs en Ca, K et SO_4 sont beaucoup plus importantes. Par exemple, les teneurs en K sont d'un facteur 1.7 à 19.3 supérieur par rapport à la valeur moyenne des eaux prélevées lors de cette campagne. Ce facteur est de 1.7 à 8.4 pour Ca et de 1.7 à 14.7 pour SO_4 . A contrario, ce même facteur n'est que de 0.3 à 0.8 pour Na et Cl.

Pour les éléments en traces, ce calcul ne peut être fait que pour Sr (seul élément avec des valeurs $> \text{LQ}$ pour la plupart des eaux). Le facteur est de 1.3 à 9.2 pour cet élément. Pour les éléments en trace, on observe de très fortes teneurs dans les eaux de ces trois ouvrages pour Ba (31 – 211 $\mu\text{g/l}$) ; Cr (16 – 102 $\mu\text{g/L}$, tous les autres points sont $< \text{LQ}$ de 5 $\mu\text{g/l}$) tandis que les autres éléments en traces montrent des teneurs semblables par rapport à l'ensemble des eaux prélevées lors de cette campagne.

Il est clair que ces trois nouveaux ouvrages nécessitent plus de données (géochimie, environnement, aquifères, ...), ainsi que plus de recul pour être replacés dans le contexte général de la Martinique. Un suivi à plus long terme (pompage de longue durée, suivi chimique et isotopique) est à envisager.

4. Etat de référence

4.1. FACIES HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

Le diagramme de Piper 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).

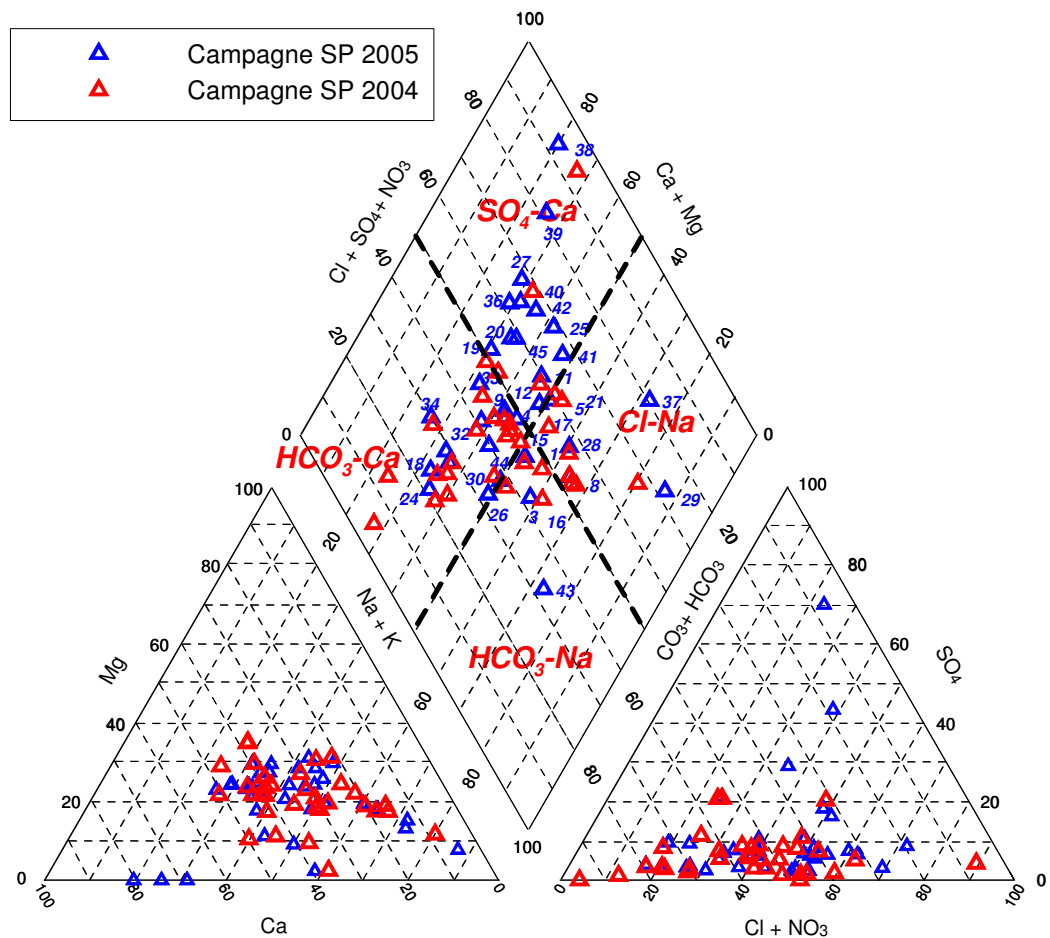


Figure 47 : Diagramme de Piper

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique.

A 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.

Les faciès chimiques des eaux sont identiques entre les deux campagnes de prélèvements.

4.2. CARTOGRAPHIE DE L'ETAT DE REFERENCE DES POINTS D'EAU PRELEVES

Les cartes de ce rapport n°3 « Saison des pluies 2005 - analyses physico-chimiques » et n°4 « Saison de pluies 2005 - analyses des produits phytosanitaires » synthétisent les analyses de la campagne en saison des pluies 2005. Elles permettent de hiérarchiser les ouvrages selon leurs teneurs en éléments au regard de la potabilité de l'eau.

Le SDAGE stipule que les eaux souterraines de Martinique doivent être privilégiées pour l'alimentation en eau potable (AEP).

Ainsi, les critères (normes) qui ont été appliqués pour réaliser cette carte sont ceux du décret N°2001-1220 du 12 décembre 2001 en application de la Directive Européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 concernant les eaux potables.

Pour la carte n°3 « Saison des pluies 2005 - analyses physico-chimiques », les différentes classes d'aptitude pour l'usage production d'eau potable sont les suivantes :

- en bleu : les points de bonne qualité. Les concentrations des différents éléments mesurés sont inférieures aux limites des eaux distribuées ou des eaux brutes,
- en jaune : les points dont les concentrations en un ou plusieurs éléments (élément indiqué sur la carte) sont supérieures aux normes françaises et européennes. Ces éléments devront être dilués ou éliminés,
- en rouge : les points dont les concentrations sont telles que les eaux sont inaptées pour l'alimentation en eau potable,
- en vert : les points dont les concentrations en fer et/ou manganèse sont supérieures aux norme pour une eau destinée à la consommation humaine. Ces éléments devront être dilués ou éliminés. Différentes techniques existent pour leur élimination :
 - pour le fer : oxydation chimique, biologique ou traitement associé à une décarbonatation,

- pour le manganèse : oxydation chimique par le permanganate de potassium, oxydation catalytique sur dioxyde de manganèse naturel ou démanganisation biologique.

Pour la carte n°4 « Saison de pluies 2005 - analyses des produits phytosanitaires », deux classes d'aptitude sont représentées :

- en bleu : aucun produit phytosanitaire n'a été détecté,
- en rouge : les points contaminés par les produits phytopharmaceutiques, avec des concentrations supérieures aux normes. Ces éléments devront être dilués ou éliminés. Différents procédés existent pour leur élimination : oxydation par l'ozone, adsorption par charbon actif ou microfiltration, ultrafiltration et nanofiltration.

Ces cartes dressent ainsi un état de référence de la qualité des eaux souterraines de Martinique en saison des pluies 2005.

On peut distinguer les éléments limitant naturels comme le fer et le manganèse qui correspondent au fond géochimique de Martinique. L'aluminium et les chlorures sont retrouvés, une et deux fois, avec des valeurs juste supérieures aux normes. Ces valeurs correspondent surtout à des « effets de sites » plutôt qu'à une représentativité de l'état qualitatif des masses d'eau.

D'un autre côté, on trouve différents éléments d'origine anthropique : le bore caractéristique (à cette concentration) des rejets de détergent ménagés, l'ammonium et les nitrites liés aux usages de nitrates dans l'agriculture.

Enfin, on distingue les produits phytopharmaceutiques pour lesquels des actions spécifiques doivent être menées : réglementation ou interdiction des usages, suivi et retrait des stocks de produits interdits, sensibilisation pour un usage raisonné...

5. Conclusion

5.1. PHYSICO-CHIMIE

En Martinique, la qualité physico-chimique des eaux souterraines est plutôt bonne : 50 % des sites montrent une bonne qualité physico-chimique, avec des concentrations inférieures aux normes des eaux brutes destinées à l'alimentation en eau potable.

Néanmoins, le fer et le manganèse présents dans l'eau dépasse cette norme « eaux brute » pour 30% des sites.

Les chlorures sont aussi présents, sur certains sites proches du littoral (6%), avec des concentrations supérieures aux normes de potabilité, mettant en évidence l'importance de la connaissance et du suivi du biseau salé et/ou de la présence d'eaux salées.

Enfin, certains sites montrent encore des concentrations supérieures à la limite autorisée pour les « eaux brutes » en certains éléments (aluminium, magnésium, ammonium, nitrites, bore, chrome, potassium, sulfates) correspondant à des pollutions anthropiques et/ou à des spécificités hydrogéologiques et géochimiques localisées.

Le fait de retrouver pour certains éléments des concentrations proches en dépit des états hydrologiques différents permet de penser que les analyses sont cohérentes, mais surtout que ces ressources en eau correspondent à des réservoirs de taille importante. En effet, les suivis, réalisés en saison sèche et en saison des pluies, ont permis jusqu'à présent de montrer la faible variation des paramètres chimiques dans les eaux souterraines. Il est donc possible d'envisager l'existence de ressources en eau de taille importante permettant de tamponner les entrants en période de pluies.

La mise en œuvre d'un réseau de suivi périodique qui permet 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 pertinente.

5.2. LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

120 produits phytosanitaires ont été analysés sur 10 sites dont 4 qui l'avaient été en janvier-mars 2004 et octobre-novembre 2004.

Sur ces 4 forages, 3 (Basse Pointe chez Lélène, Marigot Anse Charpentier, Gros Morne Vert Pré) présentent une contamination par au moins une molécule phytosanitaire. Toutefois, l'évolution de la qualité de l'eau de ces points reste difficile à décrire, les substances détectées pouvant par exemple être différentes d'une campagne à l'autre. Le quatrième point (Lamentin, Habitation Ressource) ne révèle plus de trace de produits phytosanitaires. Le renouvellement de l'eau de la nappe et par ailleurs l'aménagement de la tête de forage permettant d'assurer sa protection contre les apports directs à la nappe pourraient expliquer ce retour à une bonne qualité d'eau.

Parmi les 6 autres points analysés, 4 ont présenté une contamination par au moins une molécule phytosanitaire.

Malgré sa limite de quantification élevée (0.2 µg/l) par rapport à celles des autres molécules détectées, le chlordécone apparaît comme la molécule la plus fréquemment détectée (dans 6 piézomètres sur 10 analysés, à des teneurs comprises entre 0.38 et 2.50 µg/l) suivie par le Beta-HCH (dans 5 piézomètres sur 10 analysés, à des teneurs comprises entre 0.024 et 0.336 µg/l) mais à des teneurs moindres. Ces observations résultent du long historique d'usage de ces molécules ainsi que de leur persistance dans le milieu naturel.

7 sites se révèlent pollués par au moins une molécule, donc à des teneurs supérieures à la norme de potabilité. Certains produits ont leur usage interdit depuis de nombreuses années. D'autres produits, dont l'usage est actuellement autorisé, sont également retrouvés en quantité importante.

Il est encore impossible, uniquement sur deux campagnes avec seulement 4 points de mesure communs, de décrire des tendances précises d'évolution de la qualité de l'eau souterraine relativement à ces produits. Ces tendances sont évidemment influencées par l'hydrodynamique des aquifères. Pour évaluer l'impact de la pluviométrie sur la concentration en produits phytosanitaires dans les eaux souterraines, et de dissocier l'évolution, la résorption, ou les variations des concentrations en ces produits il est nécessaire de continuer l'acquisition de données régulières afin de connaître l'évolution temporelle de la concentration des produits phytosanitaires détectés. Il est également nécessaire de parfaire les connaissances sur le fonctionnement des aquifères ainsi que sur le devenir de certaines des molécules sur lesquelles peu d'information existe (molécules anciennes comme le chlordécone ou à l'inverse molécules nouvellement homologuées) et notamment dans le contexte tropical.

De nombreuses interrogations subsistent quant au mode de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes souterraines (manque de connaissance locale des processus de transferts des polluants vers et au sein des aquifères).

Des études poussées doivent être menées afin de caractériser au mieux les nappes contaminées, études devant inclure un fort volet hydrogéologique.

6. Bibliographie

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

BLUM A., CHERY L., BARBIER J., BAUDRY D., PETELET-GIRAUD E., 2002. Contribution à la caractérisation des états de référence géochimique des eaux souterraines. Outils et méthodologie. Rapport final, Rapport BRGM RP-51549-FR, 5 volumes.

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

COMTE J-P., CHARGUERON C., NEGREL 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.

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 ».

DESPRATS JF, COMTE JP, CHABRIER Ch (2004) FR – cartographie du risque de pollution des sols de Martinique par les organochlorés – phase 3. BRGM/RP-53262.

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 phytopharmaceutiques, phosphates et nitrates.

Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000.

FIQUET, LALLIER, RIOU SANJUAN (1997) : Caractérisation des excès d'aluminium dans les eaux superficielles de la Martinique – 31p, 10 figures, 6 tableaux, 5 annexes, rapport R 39359 ANT 97

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

GUSTAFSON D.I., 1989. Groundwater ubiquity score : a simple method for assessing pesticide leachability. Environmental Toxicology and Chemistry, 8 : 339-357.

INDEX PHYTOSANITAIRE ACTA 2005.

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 Française). 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.

NEGREL Ph. , VITTECOQ B. (2004) – Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, 2^{ème} campagne 2004 (saison des pluies) : résultats et comparaison avec la 1^{ère} campagne de basses eaux. BRGM/RP53838-FR, 63 pages, 4 tableaux, 27 figures, 6 cartes, 3 annexes.

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

SEQ eau souterraines version 0 – les études des agences de l'eau n°80 ou plus facile à avoir : <http://www.rnde.tm.fr/francais/frame/acgen.htm?page=%27../ac/seq/seq0005.htm%27>

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.

Annexe 1

Tableaux des résultats des analyses

Annexe 1 : Tableau 1 - Résultats des 3 campagnes de prélèvements réalisées en 2004 et 2005 : Saison sèche 2004 (SS 2004), Saison des pluies (SP 2004) et Saison de pluies 2005 (SS 2005)

N° terrain 2004	n° BSS	Type d'analyse	Date du prélèvement SS 2004	Date du prélèvement SP 2004	Date du prélèvement SP 2005	Type	Commune	Lieu dit	X	Y	AI	AI	AI	As	As	As	B	B	B	Mn	Mn	Mn	Ni	Ni	Ni									
											SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005			
9	1186ZZ0118	physico, métaux	11/01/04	26/10/04	18/11/05	Piezomètre	Marin	Grand Fond	728780	1602100	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	68	72	78	<L D	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
11	1183ZZ0052	physico, métaux	30/01/04	26/10/04	18/11/05	Piezomètre	Rivière Pilote	Fougainville	727303,7	1604980,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	69	44	47	13	24	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
36	1183ZZ0024	physico, métaux	X	X	18/11/05	Piezomètre	Rivière Pilote	La Maury	725120,0	1604860,0	X	X	<L Q	X	X	<L Q	X	X	54	X	X	2170	X	X	<L Q									
29	1185ZZ0120	physico, métaux	25/03/04	26/10/04	18/11/05	Piezomètre	Ste Luce	Stade communal	723102,4	1600577,1	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	74	83	87	44	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
27	1168ZZ0054	physico, métaux et phyto	29/03/04	22/10/04	21/11/05	Piezomètre	Basse Pointe	Rivière Falaise	703854,8	1640502,1	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	26	22	23	66	8	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
3	1169ZZ0006	physico, métaux et phyto	06/01/04	22/10/04	21/11/05	Piezomètre	Marigot	Anse Charpentier	712520,0	1637940,0	<L Q	<L Q	<L Q	30	<L Q	<L Q	440	270	328	99	167	207	<L Q	<L Q	<L Q									
17	1175ZZ0153	physico, métaux et phyto	21/01/04	27/10/04	21/11/05	Source	Trinité	Morne Figue	717831,6	1631449,2	<L Q	<L Q	109	<L Q	<L Q	<L Q	27	26	26	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
24	1174ZZ0088	physico, métaux et phyto	06/02/04	22/10/04	21/11/05	Piezomètre	Gros Morne	La Borelli	713936,1	1628627,1	266	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	21	23	31	96	993	1216	<L Q	<L Q	<L Q									
30	1167ZZ0024	physico, métaux	06/04/04	25/10/04	22/11/05	Piezomètre	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	691060,0	1637380,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	45	45	51	5	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
1	1167ZZ0023	physico, métaux	06/01/04	25/10/04	22/11/05	Piezomètre	Saint Pierre	Rivière Blanche	694280,0	1633150,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	162	164	150	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
26	1177ZZ0173	physico, métaux	29/03/04	25/10/04	22/11/05	Piezomètre	Case Pilote	Maniba	700250,3	1620025,5	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	73	111	108	404	359	320	<L Q	<L Q	<L Q									
4	1177ZZ0161	physico, métaux	07/01/04	25/10/04	24/11/05	Piezomètre	Schoelcher	Fond Lahaye	703600,0	1619100,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	82	129	147	159	7	<L Q	<L Q	<L Q	6									
5	1177ZZ0165	physico, métaux	13/01/04	25/10/04	24/11/05	Piezomètre	Schoelcher	Case Navire	704820,0	1617660,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	75	88	82	1399	1210	944	<L Q	<L Q	<L Q									
12	1174ZZ0087	physico, métaux	15/01/04	20/10/04	24/11/05	Piezomètre	Saint Joseph	La Charmille	714016,0	1622836,0	<L Q	140	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	28	22	23	1379	175	315	<L Q	<L Q	<L Q									
20	1183ZZ0053	physico, métaux	20/01/04	26/10/04	24/11/05	Source	Saint Esprit	Source Caraïbe	725538,3	1611528,7	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	29	28	28	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
8	1184ZZ0016	physico, métaux	08/01/04	26/10/04	25/11/05	Forage exploité	Diamant	Habitation Dizac	710881,8	1601610,8	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	95	140	118	66	59	22	<L Q	<L Q	<L Q									
25	1181ZZ0131	physico, métaux	25/03/04	26/10/04	25/11/05	Piezomètre	Anses d'Arlet	Grande Anse	706369,6	1604409,9	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	72	90	134	957	680	74	<L Q	<L Q	<L Q									
28	1181ZZ0132	physico, métaux	25/03/04	19/10/04	25/11/05	Piezomètre	Trois îlets	Vatable	713610,1	1607008,2	<L Q	<L Q	<L Q	13	<L Q	<L Q	305	209	277	242	253	97	<L Q	<L Q	<L Q									
21	1179ZZ0070	physico, métaux et phyto	06/02/04	20/10/04	25/11/05	Piezomètre	Lamentin	Habitation Ressource	717180,0	1616370,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	68	68	74	204	203	67	<L Q	<L Q	<L Q									
16	1179ZZ0158	physico, métaux et phyto	23/01/04	20/10/04	25/11/05	Piezomètre	Lamentin	Sarraut	718080,0	1619350,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	44	64	66	51	13	36	<L Q	<L Q	<L Q									
37	EP/RODATE	physico, métaux	X	X	08/12/05	eau de pluie	Fort de France	Rodate			X	X	<L Q	X	X	<L Q	X	X	21	X	X	<L Q	X	X	<L Q									
34	1179ZZ0282	physico, métaux	05/04/04	25/11/04	09/12/05	Source	Lamentin	Morne Pitault La Frédée	720019,0	1616242,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	52	33	40	<L Q	8	6	<L Q	<L Q	<L Q									
33	1179ZZ0228	physico, métaux	05/04/04	25/11/04	09/12/05	Forage d'exploitation	François	La Victoire	722462,0	1616514,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	71	<L Q	54	<L Q	47	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
38	1179ZZ0299	physico, métaux et phyto	X	X	09/12/05	Piezomètre	François	Grand Fond	723 380	1 616 705	X	X	43	X	X	<L Q	X	X	11	X	X	<L Q	X	X	<L Q									
39	1179ZZ0300	physico, métaux	X	X	09/12/05	Piezomètre	Robert	Pontalery	721 260	1 622 090	X	X	95	X	X	<L Q	X	X	24	X	X	<L Q	X	X	<L Q									
40	1175ZZ0154	physico, métaux et phyto	X	X	09/12/05	Piezomètre	Trinité	Le Galion	719 772	1 627 983	X	X	16	X	X	<L Q	X	X	34	X	X	<L Q	X	X	<L Q									
32	1174ZZ0089	physico, métaux	06/04/04	25/11/04	12/12/05	Source	Saint Joseph	Coeur Bouliki	707578,8	1625925,8	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	21	<L Q	21	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
41	1169ZZ0082	physico, métaux	X	X	12/12/05	Source	Lorrain	Source Carabin	708738,0	1637216,0	X	X	<L Q	X	X	<L Q	X	X	21	X	X	<L Q	X	X	<L Q									
42	1166ZZ0026	physico, métaux et phyto	X	X	12/12/05	Piezomètre	Basse Pointe	Chalvet	704 700	1 642 890	X	X	<L Q	X	X	<L Q	X	X	39	X	X	<L Q	X	X	<L Q									
15	1168ZZ0055	physico, métaux	20/01/04	22/10/04	12/12/05	Source	Morne Rouge	Habitation Citron	700137,3	1636204,0	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	17	21	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
18	1173ZZ0076	physico, métaux	20/01/04	22/10/04	12/12/05	Source	Fond Saint Denis	Source de l'Alma	704330,5	1627423,4	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	16	20	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
19	1175ZZ0106	physico, métaux et phyto	21/01/04	25/11/04	26/01/06	Forage d'exploitation	Gros Morne	Vert Pré	716936,6	1623425,4	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	27	25	33	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q									
43	1173ZZ0082	physico, métaux	X	X	30/01/06	Piezomètre	Bellefontaine	Fond Laillet	698 915	1 622 510	X	X	<L Q	X	X	5	X	X	176	X	X	31	X	X	<L Q									
44	1167ZZ0045	physico, métaux	X	X	30/01/06	Piezomètre	St Pierre	CDST	695 500	1 631 760	X	X	11	X	X	<L Q	X	X	40	X	X	<L Q	X	X	<L Q									
45	1169ZZ0084	physico, métaux	X	X	30/01/06	Piezomètre	Lorrain	Fond Brulé	707 735	1 640 405	X	X	210	X	X	<L Q	X	X	26	X	X	62	X	X	<L Q									
35	1167ZZ0031		06/04/04	27/10/04	X	Forage d'exploitation	Saint Pierre	Pécoui	696457,6	1631822,3	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	96	35	X	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X									
23	1167ZZ0037		17/02/04	25/10/04	X	Piezomètre	Saint Pierre	Fond Canonville	692760,2	1634724,6	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	1550	1560	X	<L Q	8	X	<L Q	<L Q	X									
2	1168ZZ0037		06/01/04	22/10/04	X	Piezomètre	Morne Rouge	Desgrottes	702126,8	1632647,0	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	46	48	X	304	334	X	<L Q	<L Q	X									
14	1173ZZ0072		13/01/04	22/10/04	X	Piezomètre	Fort de France	La Medaille	705199,7	1625621,7	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	24	16	X	2849	3634	X	<L Q	<L Q	X									
22	1179ZZ0157		04/02/04	25/11/04	X	Piezomètre	Ducos	Bois Rouge	717177,8	1616345,0	<L Q	100	X	<L Q	<L Q	X	54	48	X	88	78	X	<L Q	<L Q	X									
6	1183ZZ0026		09/01/04	19/10/04	X	Piezomètre	Vauclin	Puyferrat	732225,1	1604421,7	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	208	150	X	1264	242	X	6	<L Q	X									
7	1184ZZ0001		08/01/04	26/10/04	X	Piezomètre	Diamant	Habitation Dizac	710488,6	1601864,2	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	125	129	X	438	476	X	6	<L Q	X									
13	1185ZZ0121		20/01/04	26/10/04	X	Source	Sainte Luce	Source du Riz	723017,5	1603438,1	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	41	42	X	144	149	X	<L Q	<L Q	X									
10	1186ZZ0119		08/01/04	19/10/04	X	Piezomètre	Marin	Cap Macré	732018,1	1601748,1	<L Q	<L Q	X	<L Q	<L Q	X	161	147	X	84	887	X	<L Q	<L Q	X									
unité											µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
bleu clair - max eau distribuée											50	50	50	5	5	5	50	50	50	20	20	20	10	10	10									
bleu foncé - max eau brute											200	200	200	10	10	10	1000	1000	1000	50	50	50	20	20	20									
jaune - max pour traitement physico chimique														100	100	100				1000	1000	1000	40	40	40									
rouge - eau inapte à la production d'eau potable																																		
Limite de quantification											30	10	10	10	10	5	20	10	10	5	5	5	5	5	5									
Unité de limite de quantification											µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l									

Annexe 1 : Tableau 1 - Résultats des 3 campagnes de prélèvements réalisées en 2004 et 2005 : Saison sèche 2004 (SS 2004), Saison des pluies (SP 2004) et Saison de pluies 2005 (SS 2005)

N° terrain 2004	Commune	Lieu dit	Conductivité	Conductivité	Conductivité	T (°C)	pH	pH	pH	Eh _{mes} (mV)	Eh (mv)	O2 (%)	O2 (mg/l)	Ca	Ca	Ca	Cl	Cl	Cl	F	F	F	Fe	Fe	Fe	
			SS 2004	SP 2004	SP 2005	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SP 2005	SP 2005	SP 2005	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004
9	Marin	Grand Fond	1340	1343	1334	27,7	7,45	7,40	6,87	185	389,8		3,00	116	115	119,50	196	196	172,8	300	300	300	<LQ	<LQ	20	
11	Rivière Pilote	Fougainville	496	413	430	27,9	7,95	7,45	6,41	166	370,7	52,8	4,13	29,2	23,5	24,30	59,2	52,8	62,6	200	100	<LQ	<LQ	20	<LQ	
36	Rivière Pilote	La Maury	X	X	1209	27,5	X	X	6,90	-94	111,0	12,5	1,00	X	X	106,40	X	X	220,8	X	X	<LQ	X	X	6600	
29	Ste Luce	Stade communal	465	708	809	28,5	7,9	7,90	7,20	80	284,2	75,2	5,90	12,5	10,9	7,20	59,2	137	163,9	200	300	300	130	<LQ	40	
27	Basse Pointe	Rivière Falaise	285	290	302	26,6	8,15	6,90	6,63	230	435,6	75,1	5,92	15,6	22,5	25,40	19	18,9	25,8	200	<LQ	<LQ	20	<LQ	30	
3	Marigot	Anse Charpentier	433	394	405	28,6	7,8	7,90	7,12	240	444,2	18,7	1,47	23,4	23,4	24,90	38,8	42,1	44,5	<LQ	<LQ	<LQ	100	70	170	
17	Trinité	Morne Figue	301	304	153	25,2	7,45	7,20	7,84	170	376,6	89,0	7,30	23	22,2	7,30	29,3	29,9	19,3	100	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	90
24	Gros Morne	La Borelli	170	202	188	27,3	7,45	7,15	7,03	175	380,1	16,5	1,27	15,1	15,7	12,90	6	12,2	11,5	<LQ	<LQ	<LQ	350	540	260	
30	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	201	203	213	25,5	8,15	7,20	7,22	229	435,4	62,5	5,10	14,9	15,4	16,70	10,4	10,7	11,6	100	200	100	<LQ	<LQ	<LQ	
1	Saint Pierre	Rivière Blanche	271	256	254	28,4	7,25	7,30	6,80	208	412,3	73,2	5,38	14,8	13,7	13,10	18,5	18,2	18,5	200	300	200	<LQ	<LQ	<LQ	
26	Case Pilote	Maniba	685	728	690	30,6	7,15	7,20	6,65	157	359,7	21,0	1,57	34,2	31,8	30,20	67,7	66,1	61,9	200	200	200	20	120	380	
4	Schoelcher	Fond Lahaye	651	955	1097	29,4	7,4	7,20	6,56	52	255,6	37,0	2,70	34,5	47,1	56,20	90,7	146	163,3	<LQ	<LQ	100	60	<LQ	60	
5	Schoelcher	Case Navire	904	876	837	29,0	7,4	7,30	6,94	20	223,9	26,0	1,98	42,2	36,8	38,50	172,5	179	144,2	<LQ	<LQ	<LQ	330	2040	240	
12	Saint Joseph	La Charmille	255	155	151	28,1	7,5	7,25	5,95	57	261,5	37,1	2,88	20,5	8,7	8,20	16,3	15,4	16,4	<LQ	<LQ	<LQ	20	<LQ	<LQ	
20	Saint Esprit	Source Caraïbe	353	324	311	26,0	7,45	7,45	7,14	-55	151,0	84,9	6,75	27,2	22,7	21,60	43,9	37,7	41,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
8	Diamant	Habitation Dizac	667	808	706	31,9	7,4	7,70	6,80	-16	185,8	36,8	2,74	27,2	24,2	22,40	108	143	115,7	<LQ	100	100	160	90	780	
25	Anses d'Arlet	Grande Anse	745	877	2750	28,3	7,3	7,35	6,81	19	223,4	15,7	1,20	38,3	51,7	161,00	106,8	130	529,8	100	<LQ	<LQ	40	<LQ	130	
28	Trois Ilets	Vatable	1695	1340	2030	28,9	7,8	7,75	7,17	1	205,0	17,7	1,36	54,9	49,9	77,50	287,2	217	349,6	<LQ	100	<LQ	<LQ	180	190	
21	Lamentin	Habitation Ressource	600	548	604	27,6	7,4	7,45	7,90	-13	191,9	22,6	1,77	39,9	36,9	43,50	99,8	96,7	102,2	<LQ	<LQ	<LQ	280	900	330	
16	Lamentin	Sarrault	337	451	482	28,7	7,5	7,55	7,95	-47	157,1	26,4	2,04	24	31,4	36,70	35,4	54,2	58,8	100	<LQ	<LQ	20	<LQ	50	
37	Rodate		X	X	55	24,4	X	X	6,75	-36	171,2	70,7	5,74	X	X	1,10	X	X	12,9	X	X	<LQ	X	X	<LQ	
34	Lamentin	Morne Pitault La Frédée	394	387	388	26,2	7,35	7,20	6,76	-11	194,9	44,4	3,55	35,9	37,6	37,60	35,4	34,5	34,8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20	
33	François	La Victoire	614	614	615	29,0	7,35	7,25	6,67	8	211,9	7,4	0,57	48,9	50,1	51,50	78,2	78,3	79,7	900	100	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
38	François	Grand Fond	X	X	2870	28,1	X	X	11,89	-23	181,5	36,9	2,90	X	X	282,30	X	X	57,5	X	X	300	X	X	<LQ	
39	Robert	Pontalery	X	X	1857	27,9	X	X	11,73	-18	186,7	39,7	3,11	X	X	152,20	X	X	63,9	X	X	500	X	X	20	
40	Trinité	Le Gallon	X	X	643	29,2	X	X	11,11	10	213,7	85,2	6,64	X	X	56,90	X	X	23,8	X	X	400	X	X	<LQ	
32	Saint Joseph	Coeur Bouiki	123	124	122	23,5	7,6	6,60	7,69	-6	201,8	75,1	6,14	5,3	9,6	9,80	6,9	11,3	11,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
41	Lorrain	Source Carabin	X	X	129	25,6	X	X	6,06	4	210,3	77,5	6,22	X	X	6,40	X	X	16,3	X	X	<LQ	X	X	<LQ	
42	Basse Pointe	Chalvet	X	X	492	26,7	X	X	6,56	15	220,5	68,1	5,39	X	X	32,00	X	X	51,9	X	X	<LQ	X	X	<LQ	
15	Morne Rouge	Habitation Citron	112	112	117	23,6	7,45	9,00	7,71	3	210,7	78,8	6,28	9,3	9,0	9,50	8,9	8,7	9,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
18	Fond Saint Denis	Source de l'Alma	110	104	99	21,6	7,45	7,40	6,83	-5	204,2	74,1	6,00	9,4	8,1	8,30	8,7	7,5	7,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
19	Gros Morne	Vert Pré	325	306	302	32,7	7,4	6,65	6,63	-114	87,2	68,1	4,89	25,6	21,6	22,20	35,9	37,8	37,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
43	Bellefontaine	Fond Laillet	X	X	453	27,4	X	X	7,29	-31	174,0	43,1	3,43	X	X	12,50	X	X	47,1	X	X	200	X	X	20	
44	St Pierre	CDST	X	X	185	26,3	X	X	7,05	-46	159,8	68,8	5,54	X	X	13,00	X	X	13,8	X	X	<LQ	X	X	<LQ	
45	Lorrain	Fond Brulé	X	X	359	27,2	X	X	7,12	-79	126,2	80,0	6,21	X	X	28,70	X	X	32,7	X	X	100	X	X	200	
35	Saint Pierre	Pécol	235	147	X	X	7,55	7,30	X	X	X	X	X	13	9,5	X	16,8	11,5	X	<LQ	100	X	<LQ	<LQ	X	
23	Saint Pierre	Fond Canonville	900	890	X	X	7,4	7,10	X	X	X	X	X	33,5	34	X	140	142	X	200	400	X	<LQ	<LQ	X	
2	Morne Rouge	Desgrottes	614	608	X	X	6,6	6,60	X	X	X	X	X	47	46,1	X	8,8	10,0	X	<LQ	100	X	13690	13600	X	
14	Fort de France	La Medaille	194	189	X	X	7,1	7,15	X	X	X	X	X	15,2	16,0	X	15,1	8,4	X	<LQ	<LQ	X	9910	14100	X	
22	Ducos	Bois Rouge	460	464	X	X	7,65	7,40	X	X	X	X	X	42,2	45,0	X	32,7	34,5	X	<LQ	<LQ	X	100	170	X	
6	Vauclin	Puyferrat	2030	1975	X	X	7,6	7,55	X	X	X	X	X	147	122	X	378	365	X	400	400	X	2950	200	X	
7	Diamant	Habitation Dizac	780	809	X	X	7,6	7,50	X	X	X	X	X	23,6	23,7	X	140,2	144	X	<LQ	<LQ	X	580	2790	X	
13	Sainte Luce	Source du Riz	200	193	X	X	7,55	7,30	X	X	X	X	X	9	7,3	X	25,1	24,6	X	100	100	X	20	40	X	
10	Marin	Cap Macré	11730	10300	X	X	7,2	7,20	X	X	X	X	X	967	809	X	3640	3375	X	<LQ	100	X	20	380	X	
unité					µS/cm									mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
bleu clair - max eau distribuée					≥ 180 et ≤ 400									≥ 32 et ≤ 160	≥ 32 et ≤ 160	≥ 32 et ≤ 160	25	25	25	≥ 700 et ≤ 1500	≥ 700 et ≤ 1500	≥ 700 et ≤ 1500	50	50	50	
bleu foncé - max eau brute					> 400 et ≤ 2500												250	250	250	< 700	< 700	< 700	200	200	200	
jaune - max pour traitement physico chimique					< 180 ou > 2500 et ≤ 4000									< 32 ou > 160	< 32 ou > 160	< 32 ou > 160				> 1500 et ≤ 10000	> 1500 et ≤ 10000	> 1500 et ≤ 10000	10000	10000	10000	
rouge - eau inapte à la production d'eau potable					> 4000												>250	>250	>250	> 10000	> 10000	> 10000				
Limite de quantification			20	20			3	3						0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	20	20	20	
Unité de limite de quantification			µS/cm	µS/cm			U	U						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	

Annexe 1 : Tableau 1 - Résultats des 3 campagnes de prélèvements réalisées en 2004 et 2005 : Saison sèche 2004 (SS 2004), Saison des pluies (SP 2004) et Saison de pluies 2005 (SS 2005)

N° terrain 2004	Commune	Lieu dit	HCO3	HCO3	HCO3	K	K	K	Mg	Mg	Mg	Na	Na	Na	SO4	SO4	SO4	SiO2	SiO2	SiO2	NH4	NH4	NH4	
			SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004
9	Marin	Grand Fond	466	475	486	5,5	5,9	5,4	27	28,6	28,7	116	121	112,9	19,8	20,2	21,5	49,3	51,4	51,1	<L Q	<L Q	<L Q	
11	Rivière Pilote	Fougainville	167	98	100	2,7	3,2	2,0	11,9	10,5	11,3	51,7	38,0	39,6	13,8	20,1	16,1	60,3	65,7	74,6	<L Q	<L Q	<L Q	
36	Rivière Pilote	La Mauny	X	X	260	X	X	3,4	X	X	33,8	X	X	73,9	X	X	35,1	X	X	57,3	X	X	<L Q	
29	Ste Luce	Stade communal	169	130	116	6,4	5,0	5,9	9,4	9,2	6,4	114	117	132,8	11,1	15,9	10,4	93,6	93,6	104,1	0,3	<L Q	<L Q	
27	Basse Pointe	Rivière Falaise	90	51	53	5,3	4,4	4,0	5,6	7,4	7,9	25,6	16,7	15,4	27,3	25,9	21,0	32,9	87,8	85,7	1,4	<L Q	<L Q	
3	Marigot	Anse Charpentier	177	141	153	2,5	2,3	2,1	7	8,3	8,4	50,4	44,0	42,4	4,5	9,8	10,3	30,8	44,2	43,7	0,1	<L Q	<L Q	
17	Trinité	Morne Figue	109	110	45	1,7	1,8	3,5	8,4	8,5	4,8	22,6	24,2	12,4	10	10,5	7,3	64,5	67,1	27,0	<L Q	<L Q	<L Q	
24	Gros Morne	La Borelli	58	97	93	4,9	3,6	2,2	2,7	5,0	6,5	12,5	14,5	13,3	4,4	3,2	3,7	22,7	43,5	82,9	<L Q	0,3	<L Q	
30	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	93	89	91	3,5	3,8	3,7	5,5	5,5	5,5	13,4	14,2	14,4	7	7,9	9,6	72,9	74,9	77,2	<L Q	<L Q	<L Q	
1	Saint Pierre	Rivière Blanche	85	81	80	3,6	3,9	3,6	5,9	5,8	5,4	26,8	27,2	25,1	25,3	24,0	24,6	92,4	94,0	88,9	<L Q	<L Q	<L Q	
26	Case Pilote	Maniba	257	284	299	5,8	4,3	3,8	26,2	28,1	25,0	61	78,6	75,0	33,6	39,9	32,9	96,5	99,1	100,6	<L Q	<L Q	<L Q	
4	Schoelcher	Fond Lahaye	210	309	349	7,2	7,9	8,0	19,5	34,7	40,1	58,9	90,8	99,0	6,9	13,9	16,4	56,8	96,2	112,4	<L Q	<L Q	<L Q	
5	Schoelcher	Case Navire	222	201	205	3,7	3,6	3,1	27,1	24,0	23,1	86,2	96,4	80,3	3,5	7,6	8,6	71,5	75,4	76,8	0,2	0,2	0,1	
12	Saint Joseph	La Charmille	109	47	45	1,4	1,1	1,2	7,7	4,7	4,7	17,4	13,4	12,3	10,6	5,6	4,9	35,1	35,7	37,4	0,1	<L Q	<L Q	
20	Saint Esprit	Source Caraïbe	104	90	73	1,2	1,3	1,2	10,5	9,3	9,1	23,8	23,0	20,7	10,6	7,6	8,5	64,9	62,7	61,0	<L Q	<L Q	<L Q	
8	Diamant	Habitation Dizac	170	219	188	<L D	5,6	4,5	13	16,2	13,7	63	114	90,0	9,3	5,7	9,8	122	95,6	106,2	<L Q	<L Q	<L Q	
25	Anses d'Arlet	Grande Anse	253	285	461	2,2	2,4	2,2	14,8	21,7	68,7	89,3	95,3	224,2	21,6	21,8	75,7	58,8	71,1	69,8	0,1	<L Q	<L Q	
28	Trois Ilets	Vatable	447	390	516	6,6	3,3	5,3	33,1	28,7	45,2	235	197	262,7	61,7	56,4	64,1	35,2	44,5	43,3	<L Q	<L Q	<L Q	
21	Lamentin	Habitation Ressource	152	143	137	3,8	3,9	1,7	6,3	5,7	5,9	62,3	58,4	60,5	10,2	4,0	14,4	50,2	41,3	62,1	0,2	0,3	<L Q	
16	Lamentin	Sarraut	118	146	171	10,7	1,4	<L Q	3,2	1,3	1,3	32,2	59,7	62,1	9,1	18,0	17,8	27,2	39,6	45,9	0,1	<L Q	<L Q	
37	Rodate				6			0,5	X	X	0,8	X	X	6,9	X	X	2,1	X	X	<L Q	X	X	0,1	
34	Lamentin	Morne Pitault La Frédée	169	167	169	1,2	1,3	1,2	10,4	9,7	10,3	20,6	22,6	21,5	5,8	5,3	7,1	75,6	75,3	74,2	<L Q	<L Q	<L Q	
33	François	La Victoire	206	205	204	0,8	0,9	0,8	15,9	15,1	16,3	43,4	45,5	43,1	19	16,2	18,6	65,9	65,2	66,2	<L Q	<L Q	<L Q	
38	François	Grand Fond			<L Q			57,6	X	X	<L Q	X	X	44,8	X	X	239,6	X	X	3,2	X	X	<L Q	
39	Robert	Pontalezy			<L Q			14,3	X	X	<L Q	X	X	51,8	X	X	101,8	X	X	8,3	X	X	0,1	
40	Trinité	Le Gallon			<L Q			5,1	X	X	<L Q	X	X	26,7	X	X	27,6	X	X	61,2	X	X	<L Q	
32	Saint Joseph	Coeur Bouliki	38	52	53	1	1,1	0,9	2,2	3,1	3,3	6,7	9,1	8,4	0,8	1,2	1,9	37,1	43,6	44,8	<L Q	<L Q	<L Q	
41	Lorrain	Source Carabin			24			0,9	X	X	3,3	X	X	11,6	X	X	4,3	X	X	25,9	X	X	<L Q	
42	Basse Pointe	Chalvet			93			7,8	X	X	14,4	X	X	30,9	X	X	40,4	X	X	80,1	X	X	<L Q	
15	Morne Rouge	Habitation Citron	39	37	37	1,5	1,7	1,7	1,4	1,4	1,4	9,4	9,7	9,1	3,7	3,4	3,4	52,6	52,3	53,1	<L Q	<L Q	<L Q	
18	Fond Saint Denis	Source de l'Alma	49	46	47	0,7	0,7	0,6	3,1	2,9	2,8	7,4	7,5	6,9	1,5	1,4	1,5	33,4	33,4	32,5	<L Q	<L Q	<L Q	
19	Gros Morne	Vert Pré	102	89	81	0,8	0,7	0,8	10,9	9,9	10,0	18,7	19,4	19,3	3,2	1,9	3,1	59,8	52,4	52,8	<L Q	<L Q	<L Q	
43	Bellefontaine	Fond Laillet			180			5,5	X	X	7,1	X	X	70,9	X	X	5,4	X	X	91,1	X	X	<L Q	
44	St Pierre	CDST			63			3,6	X	X	4,4	X	X	15,1	X	X	5,7	X	X	73,9	X	X	<L Q	
45	Lorrain	Fond Brulé			80			1,6	X	X	8,7	X	X	25,6	X	X	16,4	X	X	63,10	X	X	<L Q	
35	Saint Pierre	Pécol	91	45	X	2,9	2,8	X	7,1	3,1	X	18,7	12,2	X	11	13,6	X	83,4	75,1	X	<L Q	<L Q	X	
23	Saint Pierre	Fond Canonville	230	227	X	10,6	10,6	X	19,6	19,2	X	111	112	X	34,6	32,7	X	116	116	X	<L Q	<L Q	X	
2	Morne Rouge	Desgrottes	391	391	X	3,4	3,6	X	24,8	25,9	X	34	35,8	X	<L Q	<L Q	X	116	117	X	6,8	7	X	
14	Fort de France	La Medaille	88	103	X	2	1,7	X	5,4	6,0	X	10,6	8,5	X	1,5	1,1	X	27,8	31,5	X	1	0,7	X	
22	Ducos	Bois Rouge	217	218	X	1,9	2,1	X	6,3	5,7	X	40,4	39,8	X	8,6	7,6	X	53,1	53,6	X	<L Q	0,1	X	
6	Vauclin	Puyferrat	575	471	X	8,4	6,4	X	19,1	44,5	X	187	225	X	23,7	68,8	X	43,4	41,4	X	3,3	0,9	X	
7	Diamant	Habitation Dizac	202	222	X	6,4	6,5	X	16,8	17,4	X	100	110	X	3,4	<L Q	X	74,1	75,4	X	2,1	1,9	X	
13	Sainte Luce	Source du Riz	60	58	X	1,7	1,8	X	4,8	4,7	X	21,8	22,0	X	7,7	7,8	X	49,5	51,5	X	<L Q	<L Q	X	
10	Marin	Cap Macré	296	412	X	7	7,1	X	492	448	X	611	656	X	255	219	X	66,7	76,2	X	0,2	0,2	X	
unité						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l				mg/l	mg/l	mg/l	
bleu clair - max eau distribuée						10	10	10	30	30	30	20	20	20	25	25	25				0,05	0,05	0,05	
bleu foncé - max eau brute						12	12	12	50	50	50	200	200	200	250	250	250				0,5	0,5	0,5	
jaune - max pour traitement physico chimique						70	70	70	400	400	400										4	4	4	
rouge - eau inapte à la production d'eau potable																								
Limite de quantification			5	5	5	0,3	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	
Unité de limite de quantification			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l

Annexe 1 : Tableau 1 - Résultats des 3 campagnes de prélèvements réalisées en 2004 et 2005 : Saison sèche 2004 (SS 2004), Saison des pluies (SP 2004) et Saison de pluies 2005 (SS 2005)

N° terrain 2004	Commune	Lieu dit	NO2	NO2	NO2	NO3	NO3	NO3	PO4	PO4	PO4	CO3	CO3	Ag	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Pb	Sr	Zn	
			SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2004	SP 2004
9	Marin	Grand Fond	<L Q	<LQ	<LQ	11,8	12,7	12,3	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	671	32	
11	Rivière Pilote	Fougainville	<L Q	<LQ	<LQ	4,1	22,2	21,3	<L Q	0,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	9	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	81	11	
36	Rivière Pilote	La Mauny	X	X	<LQ	X	X	1,5	X	X	<LQ	X	<LQ	<LQ	22	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	318	10	
29	Ste Luce	Stade communal	1,16	0,02	<LQ	5,8	13,1	9,6	0,6	0,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	36	21	
27	Basse Pointe	Rivière Falaise	3,86	<LQ	<LQ	5,6	46,8	41,2	<L Q	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	93	9	
3	Marigot	Anse Charpentier	<L Q	0,1	0,02	<L Q	1,3	2,6	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25	<LQ	110	29	
17	Trinité	Morne Figue	<L Q	<LQ	0,01	3,6	4,6	0,7	0,2	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3	<LQ	<LQ	45	<LQ	
24	Gros Morne	La Borelli	<L Q	<LQ	<LQ	1	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	34	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	53	6	
30	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	<L Q	<LQ	<LQ	3,3	4,1	4,4	0,2	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	54	121	
1	Saint Pierre	Rivière Blanche	<L Q	<LQ	<LQ	5,3	4,6	5,3	0,5	0,6	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	4	17	<LQ	44	25	
26	Case Pilote	Maniba	0,02	<LQ	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	159	18	
4	Schoelcher	Fond Lahaye	<L Q	<LQ	<LQ	1,2	2,9	1,6	0,5	0,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	21	<LQ	246	10	
5	Schoelcher	Case Navire	0,01	<LQ	<LQ	0,5	<LQ	0,7	<L Q	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	216	11	
12	Saint Joseph	La Charmille	0,04	<LQ	0,01	4,3	6,7	6,2	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	32	39	
20	Saint Esprit	Source Caraïbe	<L Q	<LQ	<LQ	12,6	18,8	19,8	0,1	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	60	<LQ	
8	Diamant	Habitation Dizac	0,01	<LQ	<LQ	4,1	<LQ	3,0	0,2	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	122	17	
25	Anses d'Arlet	Grande Anse	0,18	<LQ	0,01	1	0,2	4,5	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	14	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	712	17	
28	Trois Ilets	Vatable	0,03	<LQ	<LQ	1	0,3	0,7	<L Q	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	56	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3	43	<LQ	607	25	
21	Lamentin	Habitation Ressource	<L Q	<LQ	<LQ	0,1	3,4	<LQ	<L Q	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	65	7	
16	Lamentin	Sarrault	<L Q	<LQ	<LQ	1,4	0,5	<LQ	1,8	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
37	Rodate		X	X	<LQ	X	X	<LQ	X	X	<LQ	X	<LQ	<LQ	8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10	23	
34	Lamentin	Morne Pitault La Frédée	<L Q	<LQ	<LQ	4,6	4,9	4,9	0,4	0,4	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	92	7	
33	François	La Victoire	<L Q	<LQ	<LQ	6,5	8,0	8,2	0,3	0,3	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	77	10	
38	François	Grand Fond	X	X	0,90	X	X	1,7	X	X	<LQ	X	15	<LQ	190	<LQ	<LQ	<LQ	102	4	52	<LQ	1354	7	
39	Robert	Pontalery	X	X	0,26	X	X	4,8	X	X	<LQ	X	27	<LQ	211	<LQ	<LQ	<LQ	52	3	21	<LQ	486	13	
40	Trinité	Le Gallon	X	X	<LQ	X	X	2,2	X	X	<LQ	X	21	<LQ	31	<LQ	<LQ	<LQ	16,00	<LQ	<LQ	<LQ	188	9	
32	Saint Joseph	Coeur Boufiki	<L Q	<LQ	<LQ	0,4	0,4	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	41	<LQ	
41	Lorrain	Source Carabin	X	X	<LQ	X	X	15,9	X	X	<LQ	X	<LQ	<LQ	6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	36	7	
42	Basse Pointe	Chalvet	X	X	<LQ	X	X	48,9	X	X	<LQ	X	<LQ	<LQ	11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	145	10	
15	Morne Rouge	Habitation Citron	<L Q	<LQ	<LQ	5,4	10,6	12,4	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	57	<LQ	
18	Fond Saint Denis	Source de l'Alma	<L Q	<LQ	<LQ	0,4	0,2	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	44	6	
19	Gros Morne	Vert Pré	<L Q	<LQ	<LQ	19,8	20,1	20,7	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11	<LQ	<LQ	61	26	
43	Bellefontaine	Fond Laillet	X	X	<LQ	X	X	1,9	X	X	0,5	X	<LQ	<LQ	16	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12	<LQ	65	6	
44	St Pierre	CDST	X	X	<LQ	X	X	10,3	X	X	0,3	X	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2	<LQ	<LQ	46	8	
45	Lorrain	Fond Brulé	X	X	<LQ	X	X	39,0	X	X	0,2	X	<LQ	<LQ	7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	170	9	
35	Saint Pierre	Pécoul	<L Q	<LQ	X	6,6	1,3	X	0,2	0,2	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
23	Saint Pierre	Fond Canonville	<L Q	<LQ	X	4,7	4,4	X	0,4	0,4	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2	Morne Rouge	Desgrottes	<L Q	<LQ	X	<L Q	<LQ	X	3,9	4,4	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
14	Fort de France	La Medaille	<L Q	<LQ	X	0,3	0,1	X	<L Q	<LQ	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
22	Ducos	Bois Rouge	<L Q	<LQ	X	<L Q	0,1	X	<L Q	0,1	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
6	Vauclin	Puyferrat	0,08	0,06	X	1,7	5,5	X	<L Q	0,2	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
7	Diamant	Habitation Dizac	0,03	<LQ	X	1,5	<LQ	X	<L Q	0,3	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
13	Sainte Luce	Source du Riz	<L Q	<LQ	X	1,5	1,7	X	<L Q	<LQ	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
10	Marin	Cap Macré	0,01	0,06	X	11,2	<LQ	X	0,2	0,2	X	<LQ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
unité			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l						µg/l	µg/l		µg/l		µg/l	µg/l		µg/l		µg/l	
bleu clair - max eau distribuée			0,05	0,05	0,05	25	25	25							5			1		25	100		5		100
bleu foncé - max eau brute			0,1	0,1	0,1	50	50	50							10	100		5		50	200		10		5000
jaune - max pour traitement physico chimique			0,7	0,7	0,7	100	100	100							200	700					4000		50		
rouge - eau inapte à la production d'eau potable																									
Limite de quantification			0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	5	5	5	5	5	2	2	5	2	10	2	10	5	
Unité de limite de quantification			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l

Annexe 1 : Tableau 2 - Analyses de produits phytosanitaires

	2,4,D	Atrazine	Bromacil	Chlordéc one	Dieldrine	Diuron	Heptachlore époxyde	Hexazin on	Propicon azole	alpha HCH	beta HCH	delta HCH	gamma HCH (lindane)	Carbenda zime	Total
Limite de quantification	0,05	0,025	0,05	0,2	0,01	0,05	0,005	0,035	0,075	0,005	0,005	0,005	0,005	0,05	
Unité	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Norme DCE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	0,1	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
unité	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	

5 produits phytosanitaires analysés sur les 34 points du réseau (figurent uniquement les sites concernés) : campagne basses eaux (janvier à mars 2004)

	Numéro BSS et date						
Anses d'arlets - Grande Anse	1181ZZ0131 25/03/04	< LQ		0,15		< LQ	< LQ
Basse Pointe - Chez Lélène	1168ZZ0054 29/03/04	< LQ		< LQ		0,3	< LQ
Gros morne - Vert Pré	1175ZZ0106 21/01/04	1,35		< LQ		< LQ	0,62
Lamentin - H. Ressource	1179ZZ0070 06/02/04	0,2		< LQ		< LQ	< LQ
Marigot - Anse Charpentier	1169ZZ0006 06/01/04	0,38		< LQ		< LQ	0,26
Trinité - Source Morne Figue	1175ZZ0153 21/01/04	1,9		< LQ		< LQ	< LQ

111 produits phytosanitaires analysés sur les 10 points du réseau suivants (figurent uniquement les pesticides quantifiés) : campagne hautes eaux (octobre et novembre 2004)

	Numéro BSS et date																
Gros morne - Vert Pré	1175ZZ0106 25/11/04	< LQ	< LQ	< LQ	1,45	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,371	< LQ	< LQ			1,82
Diamant - H. Dizac	1184ZZ0016 24/11/04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			
Morne Rouge - Desgrottes	1168ZZ0037 22/10/04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			
Basse Pointe - Chez Lélène	1168ZZ0054 22/10/04	< LQ	0,05	8,13	< LQ	0,41	0,15	0,02	0,45	< LQ	< LQ	0,072	< LQ	< LQ			9,28
Marigot - Anse Charpentier	1169ZZ0006 22/10/04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,044	0,8	0,009	0,008			0,86
Saint Joseph - La Charmille	1174ZZ0087 20/10/04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			
Schoelcher - Case Navire	1177ZZ0079 25/10/04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			
Lamentin - H. Ressource	1179ZZ0070 20/10/04	0,81	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,73	< LQ	0,78	0,09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			3,41
Sainte Luce - Stade	1185ZZ0120 26/10/04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			
Marin - Cap Macré	1186ZZ0119 19/10/04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			

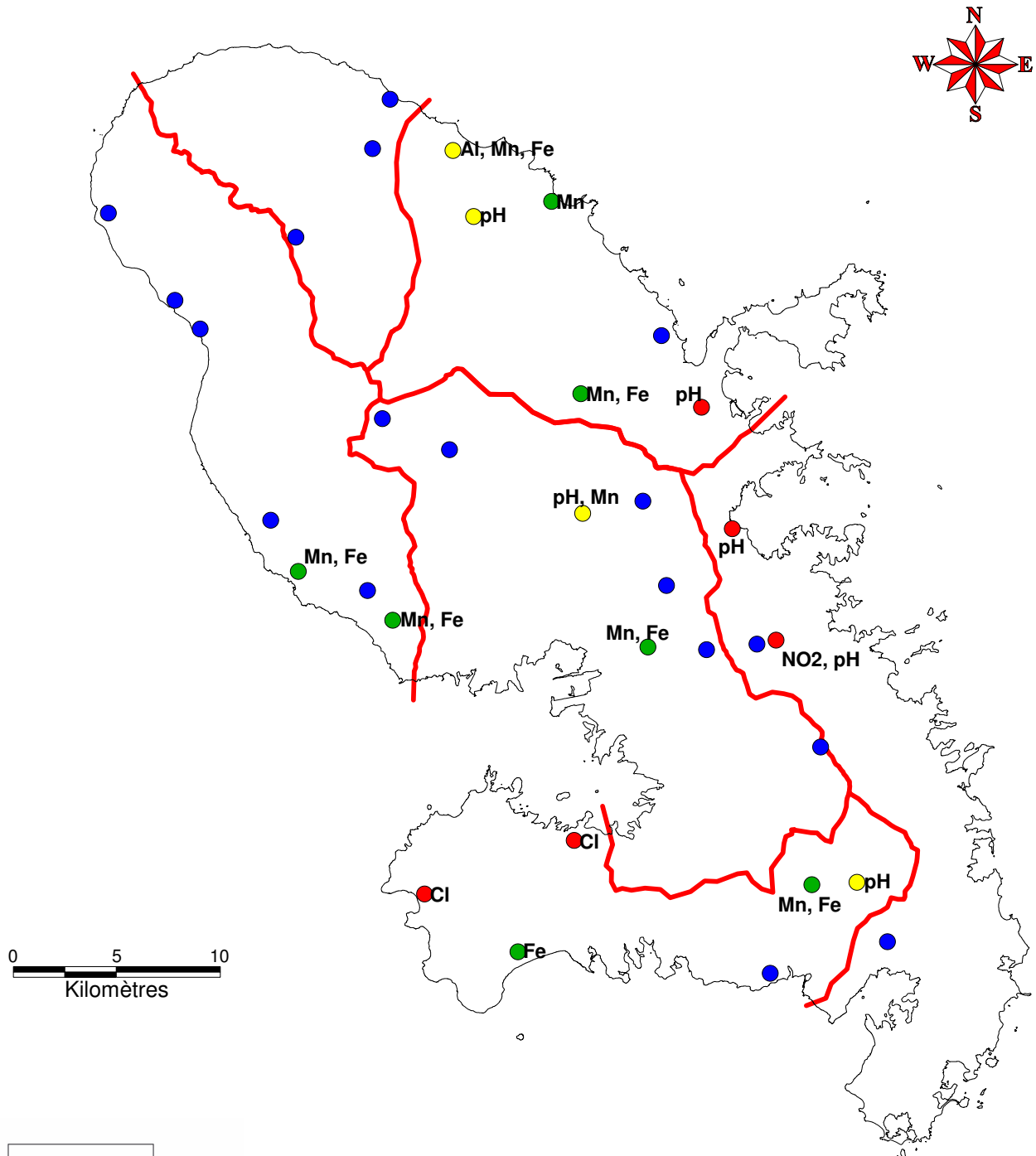
120 produits phytopharmaceutiques analysés sur les 10 points du réseau suivants (figurent uniquement les pesticides quantifiés) : campagne hautes eaux (novembre et décembre 2005)

	Numéro BSS et date																
Basse Pointe - Chez Lélène	1168ZZ0054 21/11/05	< LQ	< LQ	1,16	0,38	0,137	0,17	< LQ	0,17	< LQ	< LQ	0,076	< LQ	< LQ	< LQ		2,09
Marigot - Anse Charpentier	1169ZZ0006 21/11/05	< LQ	< LQ	< LQ	0,73	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	traces	0,282	traces	traces	< LQ		1,01
Trinité - Source Morne Figue	1175ZZ0153 21/11/05	< LQ	< LQ	< LQ	1,3	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,007	< LQ	< LQ	< LQ		1,31
Gros Morne - La Borelli	1174ZZ0088 21/11/05	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,18		0,18
Lamentin - Sarrault	1179ZZ0158 25/11/05	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ		
Lamentin - H. Ressource	1179ZZ0070 25/11/05	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ		
François - Grand Fond	1179ZZ0299 12/12/05	< LQ	< LQ	< LQ	0,4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ		0,40
Trinité - le galion	1175ZZ0154 12/12/05	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ		
Gros Morne - Vert Pré	1175ZZ0106 26/01/05	< LQ	< LQ	< LQ	2,1	< LQ	< LQ	0,007	< LQ	< LQ	< LQ	0,336	< LQ	< LQ	< LQ		2,44
Basse Pointe - Chalvet	1166ZZ0026 12/12/05	< LQ	< LQ	< LQ	2,5	0,037	< LQ	0,07	< LQ	< LQ	< LQ	0,024	< LQ	< LQ	< LQ		2,63

Annexe 2

Cartes de suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique

Carte n°3 : Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique - Saison des Pluies 2005 analyses physico-chimiques



Légende :

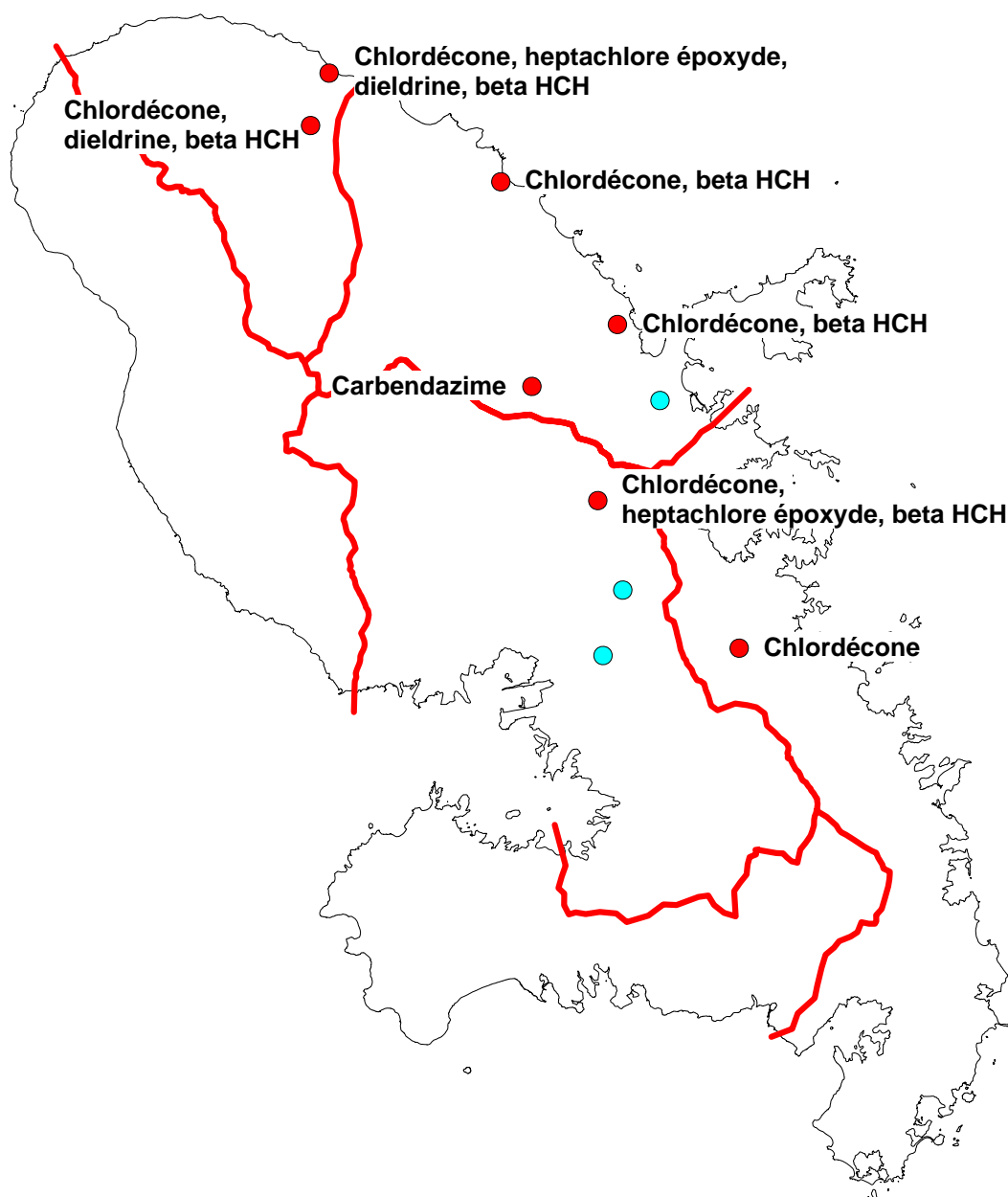
- Limite des masses d'eau souterraine
- Critères de qualité pour l'AEP**
- Bonne qualité : < norme eau brute
- Concentration maximale pour un traitement physico-chimique
- Eau inapte pour l'AEP
- Concentration > norme pour Mn et/ou Fe



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE



Carte n° 4 : Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique - Saison des pluies 2005 - Analyses des produits phytosanitaires



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE

Légende :

— Limite des masses d'eau souterraine

Analyse de 120 produits phytosanitaires

- aucun produit détecté (3)
- au moins un produit détecté (7)



Les analyses ont été réalisées sur 10 points
Les 120 produits analysés sont présentés dans le tableau 2 (annexe 1)



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

BRGM MARTINIQUE

Service géologique régional
4 lot. Miramar, Route Pointe des Nègres
97200 Fort De France - Martinique
Tél. : 05 96 71 17 67