



**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**

Rapport final

BRGM/RP-53838-FR

Avril 2005



Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, 2nd campagne 2004 (saison des pluies): résultats et comparaison avec la 1^{ère} campagne de basses eaux

Rapport final

BRGM/RP-53838-FR

Avril 2005

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2004 04EAUD21

Ph. Negrel, B. Vittecoq

Vérificateur :

Nom : E. PETELET-GIRAUD

Date : 12/04/2005

Original signé par E. PETELET-
GIRAUD

Approbateur :

Nom : JP. COMTE

Date : 15/04/2005

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 :

Ph. Negrel, B. Vittecoq (2005) – 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/RP-53838-FR. 63 pages, 4 tableaux, 27 figures, 6 cartes, 3 annexes.

© BRGM, 2005, 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 ont porté sur la chimie de base, ainsi que sur des métaux et cinq molécules phytopharmaceutiques (terme générique dorénavant utilisé pour désigner l'ensemble des produits phytosanitaires, pesticides, insecticides, fongicides...). Aucune pollution importante en produits azotés et phosphorés n'a été décelée. Cependant, le bore, le fer et le manganèse sont parfois présents en quantités importantes et doivent être surveillés. De plus, un certain nombre de points se sont révélés contaminés par les phytopharmaceutiques. 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.

La présente étude avait pour objet une deuxième campagne de prélèvements et d'analyses, réalisée en période des pluies 2004 (octobre et novembre). Les mêmes 34 points d'eau souterraine ont été prélevés. Les objectifs étaient d'observer les évolutions chimiques dues à la pluviométrie et de vérifier la présence de molécules phytopharmaceutiques : le nombre de molécules analysées a été porté à 111 contre 5 pour la précédente campagne dans 10 points choisis en concertation avec la DIREN.

Globalement la qualité des eaux souterraines est 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.

D'une manière générale les paramètres chimiques des eaux souterraines varient très peu entre les hautes eaux et les basses eaux. Cette faible variation laisse envisager des ressources en eau de taille importante avec des réservoirs de volume élevé permettant de tamponner les entrants en période de pluies.

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). Quatre sites, identifiés lors de cette campagne et déjà identifiés lors de la dernière campagne, se révèlent fortement pollués par des produits phytopharmaceutiques (produits interdits et autorisés). Le suivi de ces produits doit être pérennisé afin d'identifier les tendances et évolutions temporelles de leurs concentrations.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Campagne de prélèvements de la saison des pluies 2004.....	11
2.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS.....	11
2.2. LES ANALYSES REALISÉES	12
2.3. CONDITIONS DE PRÉLÈVEMENT ET DE CONDITIONNEMENT	14
3. Résultats et interprétations.....	15
3.1. LES PARAMETRES NON CONSERVÉS DE L'EAU	15
3.1.1. Le pH.....	15
3.1.2. La salinité	16
3.1.3. Relation pH - salinité.....	19
3.2. LES METAUX.....	20
3.2.1. L'aluminium (Al)	20
3.2.2. L'arsenic (As)	20
3.2.3. Le Bore (B)	21
3.2.4. Le Nickel (Ni).....	21
3.2.5. Le Fer (Fe)	22
3.2.6. Le Manganèse (Mn).....	22
3.2.7. Corrélation Fer – Manganèse	22
3.3. LES PRODUITS AZOTÉS ET PHOSPHORÉS.....	25
3.3.1. L'ammonium (NH ₄)	25

3.3.2. Les nitrates (NO ₃)	26
3.3.3. Les nitrites (NO ₂)	26
3.3.4. Les orthophosphates (PO ₄)	27
3.4. LES ELEMENTS MAJEURS.....	28
3.4.1. Caractère chimique des eaux.....	28
1.1.2. Les relations inter-éléments.....	30
1.5. COMPARATIF BASSES EAUX – HAUTES EAUX.....	38
1.6. PLUVIOMETRIE ET QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES	43
1.7. LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES.....	46
1.7.1. Le 2,4,D (2,4-dichlorophenoxy acide acétique)	47
1.7.2. L’Atrazine.....	47
1.7.3. Le Bromacil	47
1.7.4. Le Chlordécone.....	48
1.7.5. La Dieldrine	49
1.7.6. Le Diuron.....	49
1.7.7. Heptachlore époxyde	50
1.7.8. Hexazinon.....	50
1.7.9. Propiconazole	50
1.7.10. Les hexachlorocyclohexanes (HCH)	51
1.7.11. Les sites pollués par les produits phytopharmaceutiques	52
4. Etat de référence.....	57
4.1. FACIÈS HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES	57
4.2. CARTOGRAPHIE DE L’ÉTAT DE RÉFÉRENCE DES POINTS D’EAU PRELEVÉS.....	58

5. Conclusion.....	61
5.1. PHYSICO-CHIMIE	61
5.2. LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES	62
6. Bibliographie	63

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ouvrages prélevés en octobre et novembre 2004	11
Tableau 2 : Éléments analysés sur les 34 ouvrages pendant la saison des pluies 2004.....	12
Tableau 3 : Liste des produits phytopharmaceutiques analysés pendant la saison des pluies 2004 sur 10 ouvrages.....	12
Tableau 4 : Liste des ouvrages ayant fait l'objet de recherche de produits phytopharmaceutiques	13

Liste des figures

Figure 1 : Représentation du pH des eaux souterraines des deux campagnes basses et hautes eaux	15
Figure 2 : Diagramme de la conductivité électrique en fonction des campagnes hautes et basses eaux, vue globale et vue agrandie.	17
Figure 3 : Diagramme de la conductivité en fonction du TDS pour les échantillons des campagnes hautes et basses eaux ainsi que des AEP, vue globale et vue agrandie.....	18
Figure 4 : Diagramme de la conductivité en fonction du pH pour les échantillons de la campagne	19
Figure 5 : 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, vue globale et vue agrandie.	24
Figure 6 : Diagramme somme des anions Σ^- en fonction des cations Σ^+ pour les points des campagnes 2003 et 2004.....	28
Figure 7 : Balance ionique des analyses des points des campagnes 2003 et 2004	30
Figure 8 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en sodium	31
Figure 9 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en calcium.....	32
Figure 10 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en bore	33

Figure 11 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en magnésium.....	34
Figure 12 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en potassium	35
Figure 13 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en sulfates	36
Figure 14 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en nitrates.....	37
Figure 15 : Variation des éléments NO ₃ , Cl, SO ₄ , HCO ₃ entre les campagnes basses eaux et hautes eaux.....	38
Figure 16 : Variation des éléments Na, K, Mg, Ca entre les campagnes basses eaux et hautes eaux	39
Figure 17 : amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlore.....	41
Figure 18 : amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en sodium.....	42
Figure 19 : amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlore.....	42
Figure 20 : comparaison des concentrations en Chlorures et sodium, pour les hautes eaux et les basses eaux.....	43
Figure 21 : comparaison des concentrations en Chlorures et sodium, pour les hautes eaux et les basses eaux, vue agrandie.....	44
Figure 22 : Produits phytopharmaceutiques détectés à Vert Pré (Le Robert – Directoire) le 25 novembre 2004, en µg.l ⁻¹	52
Figure 23 : Comparaison des produits phytopharmaceutiques détectés à Vert Pré (Le Robert – Directoire) le 21 janvier 2004 et le 25 novembre 2004, en µg.l ⁻¹	53
Figure 24 : Produits phytopharmaceutiques détectés le 20 octobre 2004 au Lamentin – Habitation Ressource, en µg.l ⁻¹	54
Figure 25 : Produits phytopharmaceutiques détectés à Basse Pointe – Piézomètre à proximité de la Rivière Falaise, concentration en µg.l ⁻¹	55
Figure 26 : Produits phytopharmaceutiques détectés dans le forage de Marigot – Anse Charpentier, concentration en µg.l ⁻¹	56
Figure 27 : diagramme de Piper	57

Liste des annexes

Annexe 1 Tableau des résultats des analyses	65
Annexe 2 Fiches e-phy pour différentes cultures	67

1. Introduction

Jusqu'en 2004 il n'existait pas, en Martinique, de réseau patrimonial de surveillance 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.

Extrait de la DCE du 23 octobre 2000 :

« Le réseau de surveillance doit être conçu de manière à fournir une image cohérente et globale de l'état chimique des eaux souterraines de chaque district hydrographique et à permettre de détecter la présence de tendances à la hausse à long terme de la pollution induite par l'activité anthropogénique. »

« les sites de contrôle doivent être choisis en nombre suffisant »

« objectif :

- Etablir l'état chimique de toutes les masses d'eau ou tous les groupes de masses d'eau souterraine recensés comme courant un risque*
- Etablir la présence de toute tendance à la hausse à long terme de la concentration d'un quelconque polluant suite à l'activité anthropogénique. »*

« la sélection des sites de contrôles doit refléter une évaluation de la représentativité des données de contrôle provenant de ce site quant à la qualité de la masse ou des masses d'eau souterraine en cause »

« les contrôles opérationnels sont effectués (...) à une fréquence suffisante pour détecter les effets des pressions en question, mais au minimum une fois par an »

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).

Un total de 34 points d'eau souterraine a été prélevé. Les analyses ont porté sur la chimie des ions majeurs, ainsi que sur des métaux traces et cinq molécules phytopharmaceutiques.

Aucune pollution importante en produits azotés et phosphorés n'a été décelée. Cependant, le bore, le fer et le manganèse sont parfois présent en quantité importante et doivent être surveillés.

De plus, un certain nombre de points se sont révélés contaminés par des produits phytopharmaceutiques.

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.

La présente étude a pour objet une seconde campagne de prélèvements et d'analyses, réalisée en période des pluies 2004 (octobre et novembre).

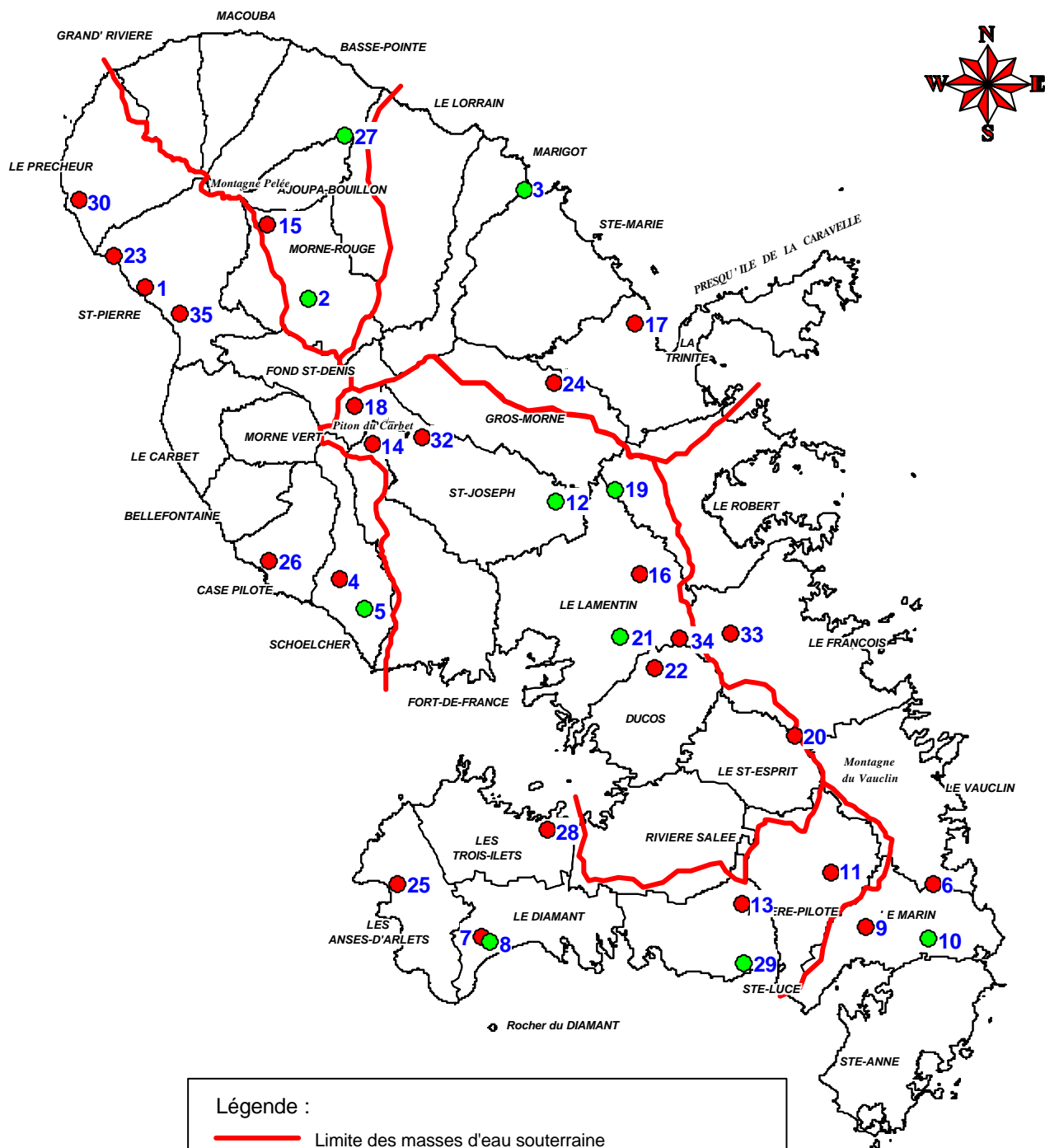
Elle a été menée en trois étapes :

- Campagne de prélèvements sur le terrain dans 34 ouvrages (piézomètres, forages exploités, sources), les mêmes que ceux déjà prélevés en début d'année 2004.
- 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 prélèvement pendant la saison des pluies 2004 avait pour objectif :

- Observer les évolutions chimiques dues à l'augmentation de la pluviométrie,
- Vérifier la présence de molécules phytopharmaceutiques (111 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,

Carte n°1 : Suivi qualité eaux souterraines Campagne 2004 - Types d'analyses réalisées et localisation des points de prélèvements



Légende :

— Limite des masses d'eau souterraine

types d'analyses réalisées

- Eléments majeurs et en traces (24)
- Eléments majeurs, traces et produits phytopharmaceutiques (10)



2. Campagne de prélèvements de la saison des pluies 2004

2.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS

34 ouvrages ont été suivis dans le cadre de cette campagne de prélèvements et leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 1 :

Numéro	date du prélèvement	n°BSS	type	localisation
1	25 octobre 2004	1167ZZ0023	Piézomètre	Saint Pierre - Rivière Blanche
2	22 octobre 2004	1168ZZ0037	Piézomètre	Morne rouge - Desgrottes
3	22 octobre 2004	1169ZZ0006	Piézomètre	Marigot - Anse charpentier
4	25 octobre 2004	1177ZZ0161	Piézomètre	Schoelcher - Fond Lahaye
5	25 octobre 2004	1177ZZ0165	Piézomètre	Schoelcher - Case Navire
6	19 octobre 2004	1183ZZ0026	Piézomètre	Vauclin - Puyferrat
7	26 octobre 2004	1184ZZ0001	Piézomètre	Diamant - habitation Dizac
8	26 octobre 2004	1184ZZ0016	Forage d'exploitation	Diamant - habitation Dizac
9	26 octobre 2004	1186ZZ0118	Piézomètre	Marin - Grand Fond
10	19 octobre 2004	1186ZZ0119	Piézomètre	Marin - Cap Macré
11	26 octobre 2004	1183ZZ0052	Piézomètre	Rivière Pilote - Fougainville
12	20 octobre 2004	1174ZZ0087	Piézomètre	Saint Joseph - La charmille
13	26 octobre 2004	1185ZZ0121	Source	Sainte Luce - Source du Riz
14	22 octobre 2004	1173ZZ0072	Piézomètre	Fort de France - La Medaille
15	22 octobre 2004	1168ZZ0055	Source	Morne Rouge - Habitation citron
16	20 octobre 2004	1179ZZ0158	Piézomètre	Lamentin - Sarrault
17	27 octobre 2004	1175ZZ0153	Source	Trinité - Morne Figue
18	22 octobre 2004	1173ZZ0076	Source	Fond Saint Denis - Source de l'Alma
19	25 novembre 2004	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	Le Robert - Vert Pré
20	26 octobre 2004	1183ZZ0053	Source	Saint Esprit - Source Caraïbe
21	20 octobre 2004	1179ZZ0070	Piézomètre	Lamentin - Habitation ressource
22	25 novembre 2004	1179ZZ0157	Piézomètre	Ducos - Bois Rouge
23	25 octobre 2004	1167ZZ0037	Piézomètre	Saint Pierre - Fond Canonville
24	22 octobre 2004	1174ZZ0088	Piézomètre	Gros Morne - La Borelli
25	26 octobre 2004	1181ZZ0131	Piézomètre	Anses d'Arlet - Grande Anse
26	25 octobre 2004	1177ZZ0173	Piézomètre	Case Pilote - Maniba
27	22 octobre 2004	1168ZZ0054	Piézomètre	Basse Pointe - rivière Falaise
28	19 octobre 2004	1181ZZ0132	Piézomètre	Trois Ilets - Vatable 3
29	26 octobre 2004	1185ZZ0120	Piézomètre	Ste Luce - stade communal
30	25 octobre 2004	1167ZZ0024	Piézomètre	Prêcheur - rivière du pêcheur
32	25 novembre 2004	1174ZZ0089	Source	Saint Joseph - Coeur Bouliki
33	25 novembre 2004	1179ZZ0228	Forage d'exploitation	François - La Victoire
34	25 novembre 2004	1179ZZ0282	Source	Lamentin - Morne Pitault La Frédée
35	27 octobre 2004	1167ZZ0029	Piézomètre	Saint Pierre - Depaz

Tableau 1 : Ouvrages prélevés en octobre et novembre 2004

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

2.2. LES ANALYSES REALISÉES

Les analyses étaient réparties en deux types. Les éléments majeurs et traces ont été analysés sur les 34 ouvrages. Les produits phytopharmaceutiques n'ont été analysés que sur 10 ouvrages. Les éléments analysés, présentés dans les tableaux ci-dessous, ont été choisis en concertation avec la DIREN (sur la base des usages connus en Martinique et des produits retrouvés dans les rivières).

Eléments majeurs	Ph, conductivité, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , SO ₄ , Cl, F, HCO ₃ , Ca, K, Na, Mg, SiO ₂ , Fe, PO ₄ , CO ₃
Eléments en traces	Al, Mn, Ni, As, B

Tableau 2 : Éléments analysés sur les 34 ouvrages pendant la saison des pluies 2004

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

Tableau 3 : Liste des produits phytopharmaceutiques analysés pendant la saison des pluies 2004 sur 10 ouvrages

Numéro	date du prélèvement	n°BSS	type	localisation
2	22 oct 2004	1168ZZ0037	Piézomètre	Morne Rouge - Desgrottes
3	22 oct 2004	1169ZZ0006	Piézomètre	Marigot - Anse Charpentier
5	25 oct 2004	1177ZZ0079	Piézomètre	Schoelcher - Case Navire
8	24 nov 2004	1184ZZ0016	Forage d'exploitation	Diamant - H. Dizac
10	19 oct 2004	1186ZZ0119	Piézomètre	Marin - Cap Macré
12	20 oct 2004	1174ZZ0087	Piézomètre	Saint Joseph - La Charmille
19	25 nov 2004	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	Robert - Vert Pré
21	20 oct 2004	1179ZZ0070	Piézomètre	Lamentin - H. Ressource
27	22 oct 2004	1168ZZ0054	Piézomètre	Basse Pointe - Chez Lélène
29	26 oct 2004	1185ZZ0120	Piézomètre	Sainte Luce - Stade

Tableau 4 : Liste des ouvrages ayant fait l'objet de recherche de produits phytopharmaceutiques

2.3. CONDITIONS DE PRÉLÈVEMENT 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 préleveur.

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).

- ◆ Piézomètre profond au préleveur polyéthylène.

Pour 4 piézomètres, le prélèvement a été contraint par les caractéristiques techniques de la pompe utilisée. Il n'a pas été possible de pomper l'eau, car la hauteur de refoulement était trop importante pour la pompe utilisée, le prélèvement s'est donc fait directement avec le préleveur en polyéthylène, sans pompage préalable.

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

- Flacons en polyéthylène de 100 ml, eau brute, pour pH et conductivité.
- Flacons en polyéthylène de 100 ml, eau filtrée, pour les anions et NH₄.
- Flacons en polyéthylène de 50 ml, eau filtrée et acidifiée (acide nitrique pour obtenir un pH = 2) pour les cations majeurs, traces et métaux.
- 4 Flacons en verre de 1 000 ml, pour les produits phytopharmaceutiques, dont un acidifié avec du H₂SO₄ pour obtenir un pH = 2.

L'ensemble des flacons est transporté en glacière, conservé à basse température (2 à 8°C), à l'abri de la lumière. Les glacières ont été envoyés par transport express au service Métrologie Monitoring Analyse, laboratoire BRGM agréé COFRAC, basé à Orléans.

Pour chaque échantillon, une bouteille en verre a été conservée au BRGM Martinique, pour témoin en cas de nécessité d'analyse de contrôle, ou de casse pendant le transport (ce qui ne fut pas le cas).

3. Résultats et interprétations

3.1. LES PARAMETRES NON CONSERVÉS DE L'EAU

Globalement la température des eaux souterraines est légèrement plus chaude (0.5°C en moyenne) pendant la saison des pluies que pendant la saison sèche.

3.1.1. Le pH

Le pH évolue dans les limites de potabilité avec des valeurs s'échelonnant entre 6,6 et 9, quasiment identique à la première campagne comme l'indique la Figure 1.

Seul quelques points montrent un décalage important entre les deux valeurs des pH : 15 (Morne Rouge – source habitation citron) avec un pH plus important en hautes eaux ; 19 (Le robert – Vert Pré), 27 (Basse pointe – Rivière Falaise), 30 (Prêcheur), 32 (Saint Joseph source cœur Bouliki) avec des pH plus élevés en basses eaux.

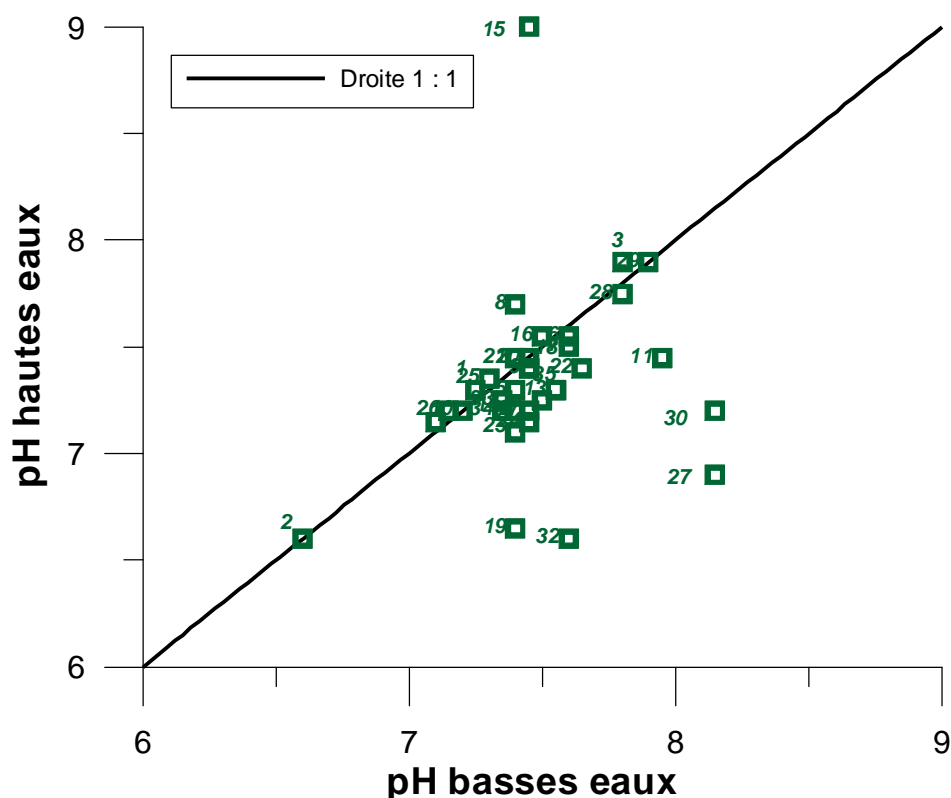


Figure 1 : Représentation du pH des eaux souterraines des deux campagnes basses et hautes eaux

3.1.2. La salinité

La salinité des eaux provient de leur capacité à dissoudre les sels minéraux contenus dans les roches, elle peut être représentée par la conductivité électrique (exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$). La Figure 2 illustre les variations de ce paramètre, mesuré in situ, lors des deux campagnes de prélèvement basses eaux et hautes eaux.

La conductivité électrique est très dispersée et varie de 104 à 10300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sur le premier diagramme englobant l'ensemble des données, on observe toujours un point à forte conductivité électrique (10 : piézomètre Marin - Cap Macré).

Sur la vue agrandie, les points de prélèvements des deux campagnes 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 salinité des eaux laisse à penser que les réservoirs sont importants et ne subissent pas de dilution par les pluies.

La salinité des eaux peut également être représentée par le TDS (pour Total Dissolved Solids) qui correspond à la somme des concentrations des éléments chimiques (Ca, Na, Mg, K, Cl, SO_4 , NO_3 , HCO_3) issues des mesures faites en laboratoire.

La Figure 3 illustre les variations de ces paramètres pour les deux campagnes de prélèvement et les AEP (voir BRGM/RP-52997-FR).

On constate une parfaite relation entre conductivité électrique et TDS avec une dispersion moindre des points de la campagne réalisée en hautes eaux 2004 en saison des pluies.

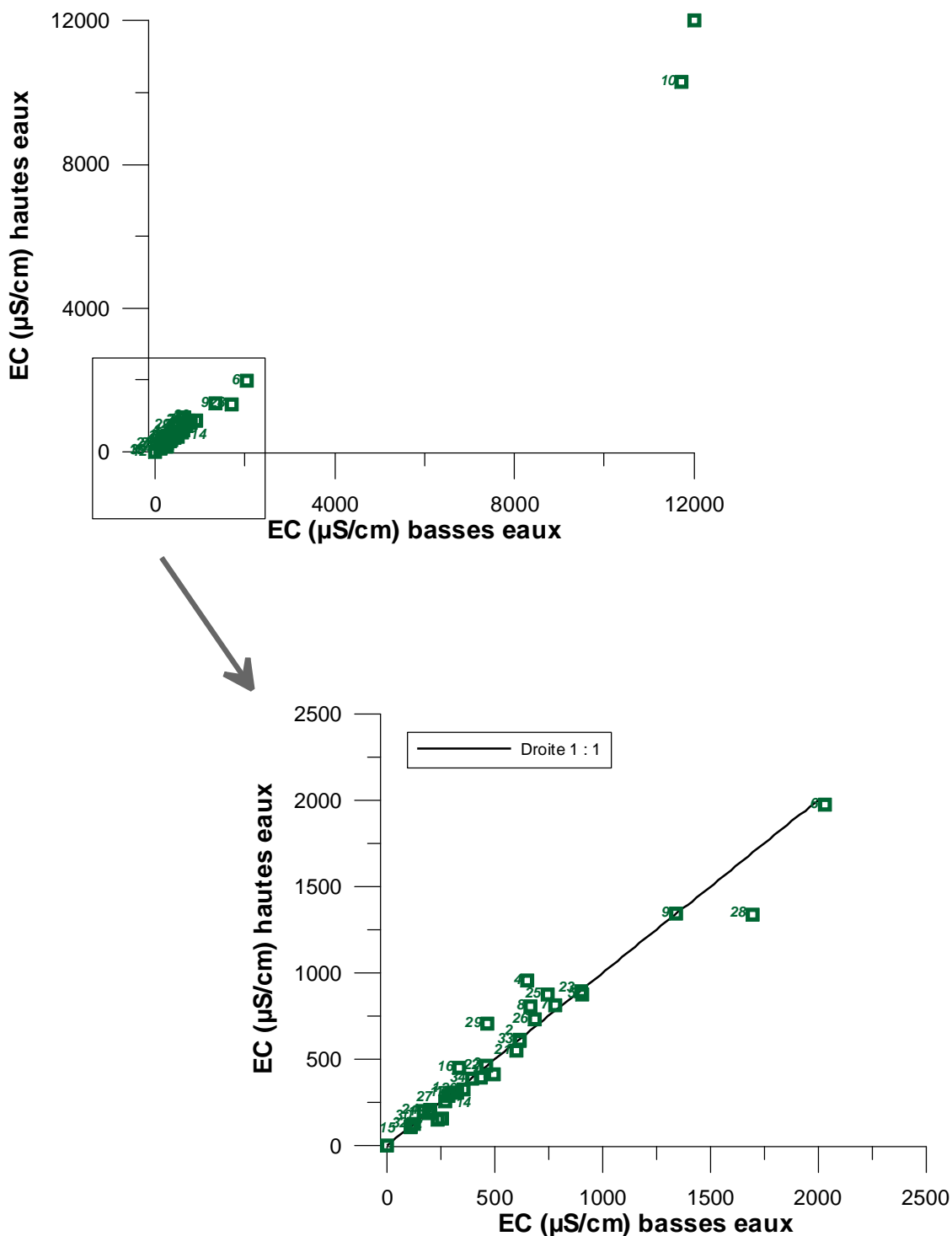


Figure 2 : Diagramme de la conductivité électrique en fonction des campagnes hautes et basses eaux, vue globale et vue agrandie.

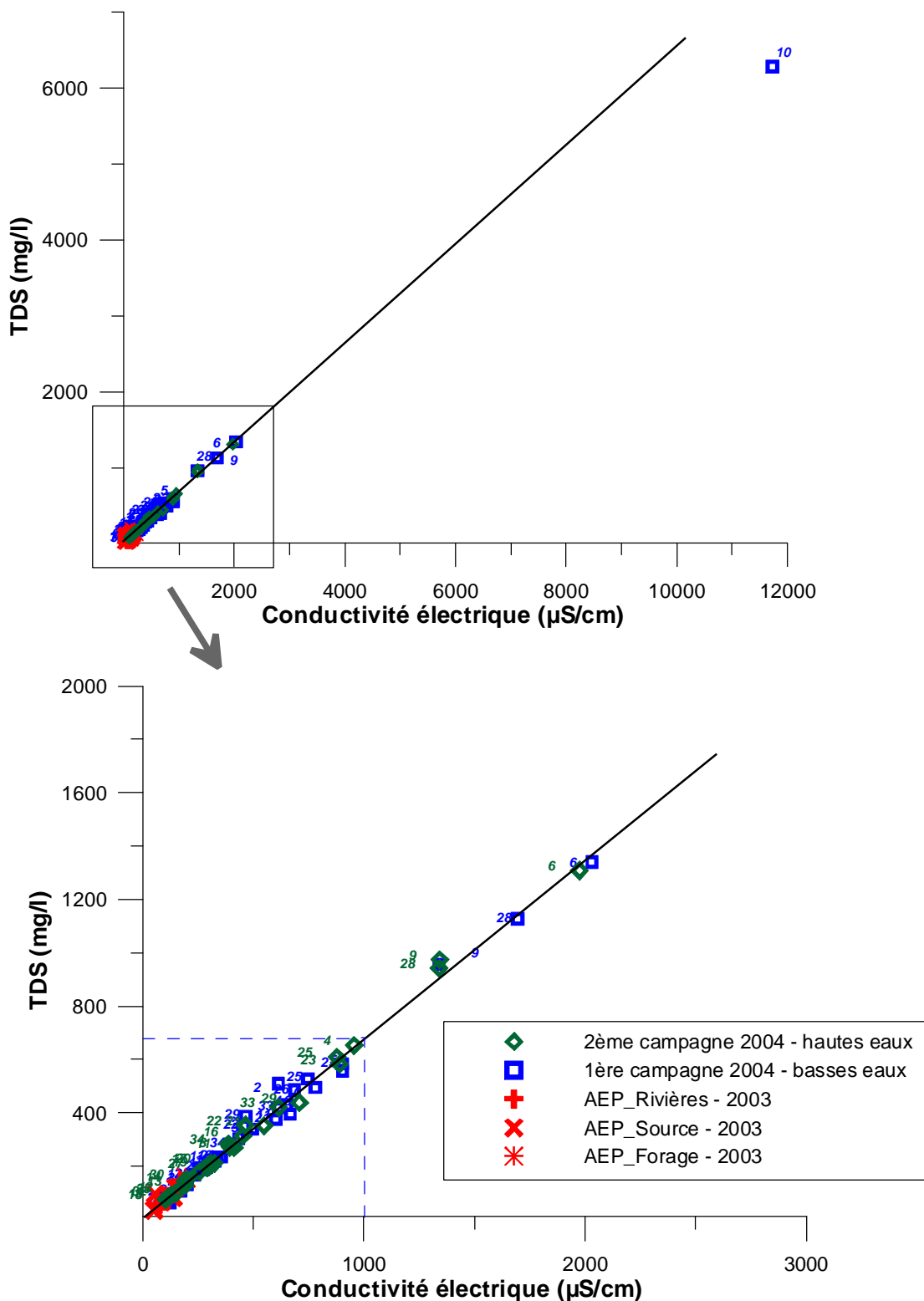


Figure 3 : Diagramme de la conductivité en fonction du TDS pour les échantillons des campagnes hautes et basses eaux ainsi que des AEP, vue globale et vue agrandie

3.1.3. Relation pH - salinité

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

On n'observe aucun lien avec le pH, mais certains points sont décalés (surtout en pH) entre les deux campagnes.

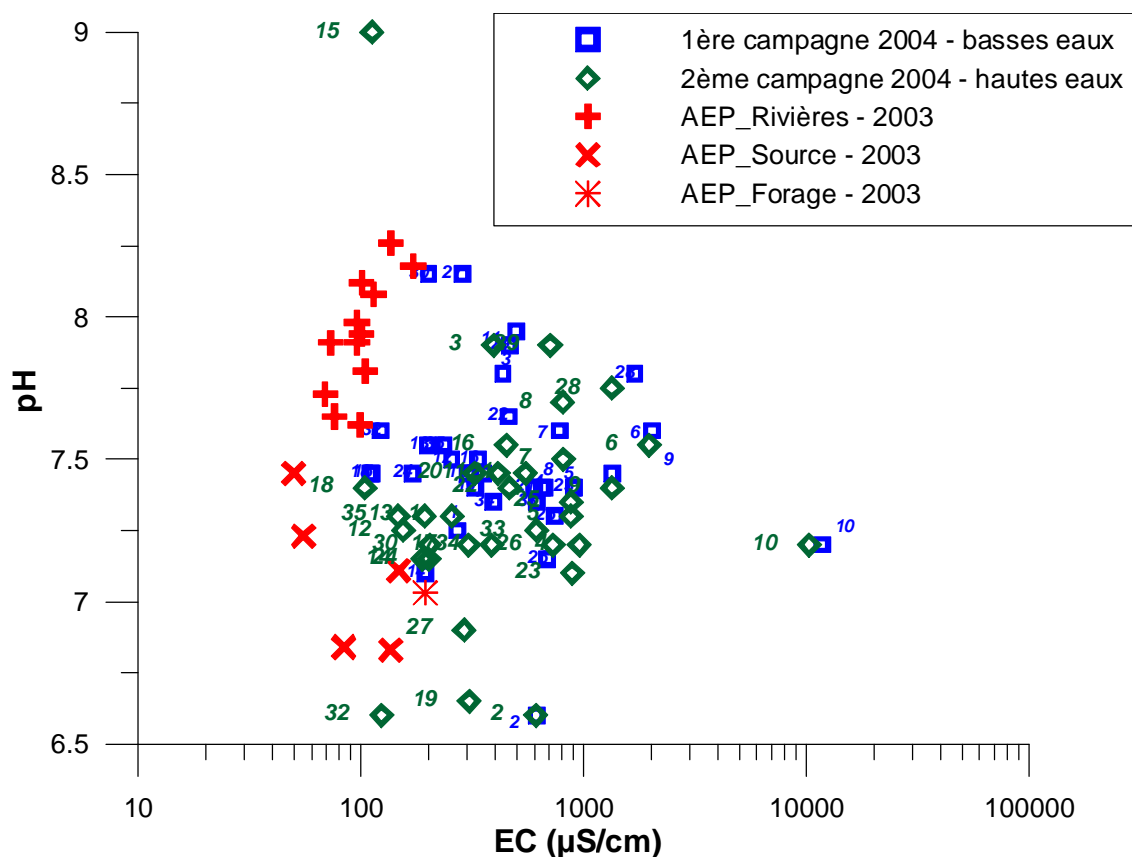


Figure 4 : Diagramme de la conductivité en fonction du pH pour les échantillons de la campagne

3.2. LES METAUX

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.

3.2.1. L'aluminium (Al)

L'aluminium a été retrouvé sur un site en février 2004 (Gros Morne – La Borelli : 0.266 mg/l), et sur 2 sites en octobre 2004 (Saint Joseph – La Charmille : 0.14 mg/l et Ducos – Bois Rouge 0.10 mg/l). L'aluminium n'a pas été retrouvé en octobre 2004 dans les eaux du piézomètre de Gros Morne – La Borelli.

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation humaine (après traitement) est de 0.2 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).

Si la teneur en aluminium est liée à la turbidité (elle-même liée à la pluviométrie dans les eaux superficielles, l'aluminium étant lié aux colloïdes) on pourrait en déduire une augmentation des teneurs en aluminium pendant la saison des pluies. C'est la tendance qui semble se dégager sur les deux points où l'on retrouve de l'aluminium en octobre 2004 alors qu'il n'y en avait pas en février 2004. Néanmoins la question reste entière car l'effet inverse est observé à Gros Morne – la Borelli.

3.2.2. L'arsenic (As)

L'arsenic a été retrouvé sur 2 sites, un piézomètre à Marigot – Anse Charpentier, en janvier 2004, avec une valeur de 30 µg/l et à Trois-îlets – Vatable (piézomètre situé en amont de la RN, entre le golf et le village de la poterie), en Mars 2004, avec une valeur de 13 µg/l. L'arsenic n'a pas été détecté sur ces points en octobre 2004.

Norme : La directive cadre eau potable impose une valeur maximale de 10 µg/l, la limite pour les eaux brutes est de 100 µg/l et le traitement, bien connu et bien maîtrisé, permet de garantir ensuite les 10 µg/l, pour les eaux destinées à la consommation humaine.

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 fréquemment présent dans l'eau de mer à environ 20 µg/l. L'arsenic est lié à l'état d'oxydoréduction de l'eau souterraine, paramètre que nous ne connaissons pas en Martinique, et qui sera analysé lors des prochaines campagnes.

3.2.3. Le Bore (B)

Le Bore a été retrouvé sur les 34 ouvrages prélevés, avec des valeurs généralement comprises entre 20 et 200 µg/l.

Norme : Seul un point dépasse la norme de 1 mg/l (Saint Pierre – Fond Canonville) fixée par la directive cadre européenne.

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 B 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 doit amener de plus amples informations sur l'origine et la variabilité de cet élément.

3.2.4. Le Nickel (Ni)

Le Nickel a été détecté sur 2 ouvrages en janvier 2004 avec des teneurs voisines de la limite de quantification (Vauclin et Diamant, 6 µg/l chacun, avec un seuil de quantification de 5 µg/l). Il n'a pas été retrouvé en octobre 2004.

Norme : la directive cadre européenne fixe une valeur de 20 µg/l à ne pas dépasser.

3.2.5. Le Fer (Fe)

Le Fer n'est pas détecté dans 12 piézomètres sur 34. Dans les autres, les valeurs varient entre 10 et 13 600 µg/l (Morne Rouge – Desgrottes). 7 sites ont des valeurs supérieures à la norme.

Norme : la concentration en Fer, pour une eau destinée à la consommation humaine, ne doit pas dépasser 200 µg/l. Une valeur d'expert (cf. SEQ eau souterraine) fixe à 10 000 µg/l la concentration maximale au delà de laquelle on ne peut plus utiliser les procédés usuels de traitement de déferrisation. Ainsi, le piézomètre de Morne Rouge – Desgrottes se retrouve hors norme à cause de sa trop forte teneur en fer.

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.

Pour information, les besoins journaliers en fer de notre organisme sont de 9 mg pour l'homme et de 16 mg pour la femme.

Pour les sites dépassant la norme, des méthodes de filtration du fer ou d'élimination du fer existent (principalement oxydation chimique ou biologique).

3.2.6. Le Manganèse (Mn)

Le Manganèse est associé au fer dans les eaux souterraines de Martinique. On le retrouve dans les mêmes piézomètres que ceux où l'on a trouvé du fer. 14 piézomètres présentent des valeurs en manganèse supérieures à la Norme.

Norme : la concentration en Manganèse ne doit pas dépasser les 50 µg/l. Une valeur d'expert (cf. 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. C'est le cas pour au moins deux piézomètres, celui de Schoelcher – Case Navire (1210 µg/l en octobre 2004) et celui du Vauclin – Puyferrat (1260 µg/l en janvier 2004).

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.

3.2.7. Corrélation Fer – Manganèse

Le Fer et le Manganèse ont un comportement assez proche ; l'un est majeur, le fer, avec des concentrations en mg/l et l'autre mineur, le manganèse, avec des concentrations en µg/l.

Cependant, les mesures effectuées lors des deux campagnes de prélèvements (basses eaux et hautes eaux) ne permettent pas de voir un lien entre les concentrations en fer et en manganèse comme montré sur la Figure 5. La concentration en fer la plus élevée n'est pas supportée par une forte concentration en Mn, et inversement. Il en est de même pour les échantillons présentés dans la vue agrandie.

Les points des deux campagnes montrent soit des concentrations en Fe-Mn identiques (2, 3) soit très différentes (10, 24). De plus, ces deux éléments sont sensibles à l'état d'oxydo-réduction des eaux et, sans détermination du potentiel redox (Eh) et des concentrations en oxygène dissous, il est difficile d'interpréter plus précisément ces données.

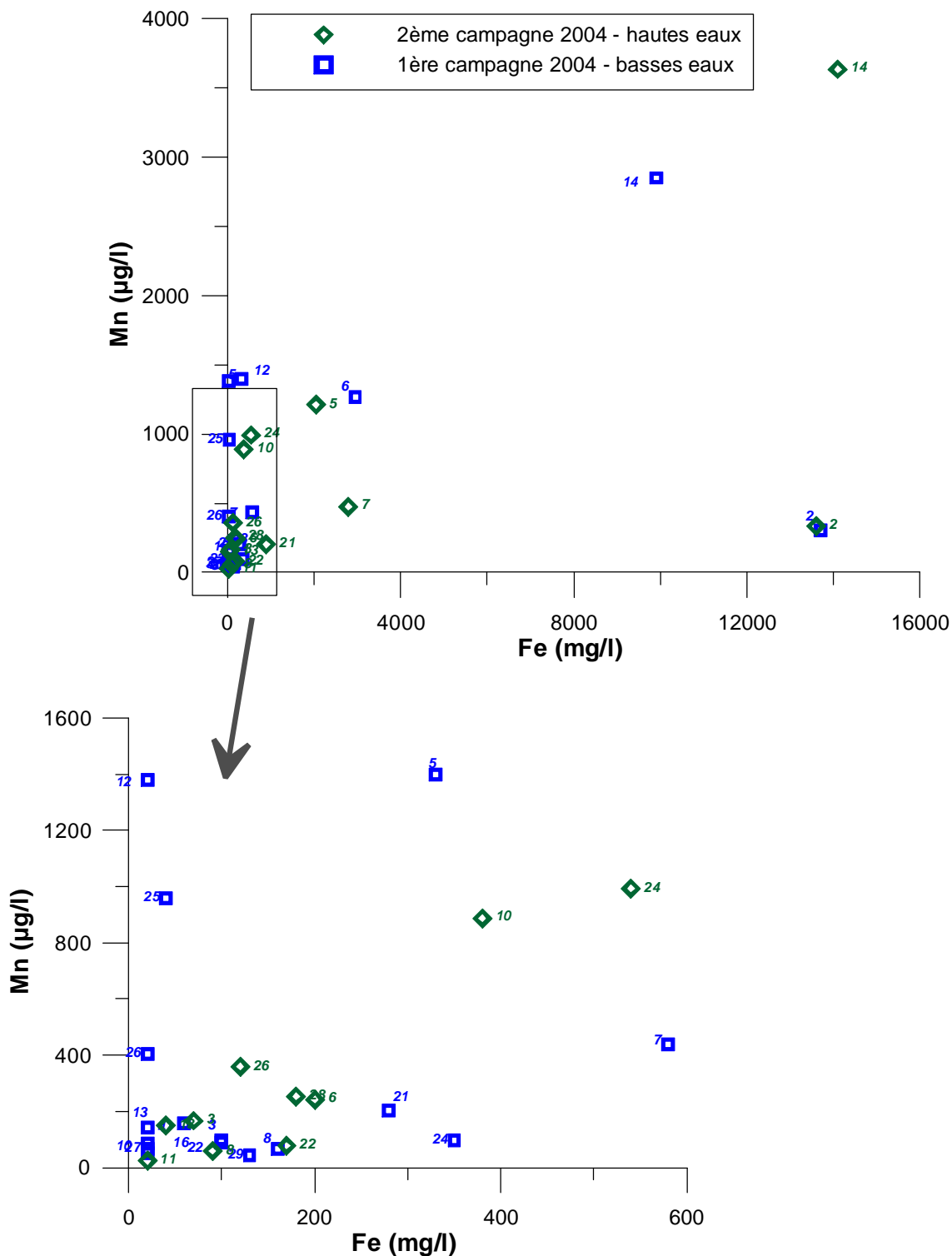


Figure 5 : Diagramme de la concentration en fer (en mg/l) en fonction de la concentration en manganèse (en µg/l) pour les échantillons des campagnes 2004, vue globale et vue agrandie.

3.3. LES PRODUITS AZOTÉS ET PHOSPHORÉS

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 13 piézomètres en janvier 2004 et sur 9 piézomètres en octobre 2004. Les valeurs varient entre 0.1 et 7 mg/l. 4 piézomètres dépassent la norme : Basse Pointe – Rivière Falaise, Vauclin Puyferrat, Diamant Dizac. Le piézomètre de Morne Rouge est Hors Norme avec une valeur de 7 mg/l.

La concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de 0.5 mg/l. La valeur de 4 mg/l ne doit pas être dépassée comme concentration avant traitement.

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.

Les concentrations en ammonium semblent diminuer pendant la saison des pluies (Basse Pointe, Vauclin, Diamant), mais des incertitudes demeurent pour certains piézomètres (Morne Rouge, Lamentin).

3.3.2. Les nitrates (NO₃)

Les nitrates sont retrouvés dans quasiment tous les piézomètres de Martinique, avec des teneurs globalement inférieures à 23 mg/l. Seul un piézomètre (Basse Pointe – Rivière Falaise) à une valeur plus forte : 47 mg/l.

La concentration maximale admissible, dans la réglementation française pour des eaux destinées à la consommation est de 50 mg/l. La valeur de 25 mg/l est donnée comme valeur guide par la directive cadre européenne.

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 (cf 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 teneurs les plus importantes sont observées dans les régions de grandes cultures, ce qui confirme l'origine agricole de la pollution. La teneur en nitrates des eaux souterraines métropolitaines augmente en moyenne de 1 mg/l par an, et le 'bruit de fond' en nitrates, en Picardie, est voisin de 25 mg/l.

Aucune tendance ne se dégage de l'étude des variations de concentration entre hautes eaux et basses eaux. Néanmoins, les variations restent généralement faibles (2 mg/l en moyenne).

3.3.3. Les nitrites (NO₂)

Les nitrites sont détectés dans 11 piézomètres entre janvier et mars 2004, et dans seulement 4 en octobre 2004. En début d'année, 3 piézomètres ont des valeurs supérieures à la norme : Anses d'Arlets – grande Anse (0.18 mg/l), Sainte Luce – Stade (1.16 mg/l) et Basse Pointe – rivière falaise (3.86 mg/l).

La concentration maximale admissible (réglementation française) des eaux destinées à la consommation est de 0.5 mg/l, et de 0.1 mg/l en sortie des installations.

Les nitrites sont très 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 hautes eaux, les nitrites sont beaucoup moins présents qu'en basses eaux. 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 sont détectés dans 16 piézomètres en janvier 2004 et dans 22 en octobre 2004

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

Les orthophosphates sont connus pour venir des lessives.

Aucune tendance ne se dégage de l'étude des variations de concentration entre hautes eaux et basses eaux. Néanmoins, les variations restent généralement faibles (0.1 mg/l en moyenne).

3.4. LES ELEMENTS MAJEURS

3.4.1. Caractère chimique des eaux

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 6), la plupart des échantillons présente un équilibre des charges en se positionnant sur la droite 1 : 1.

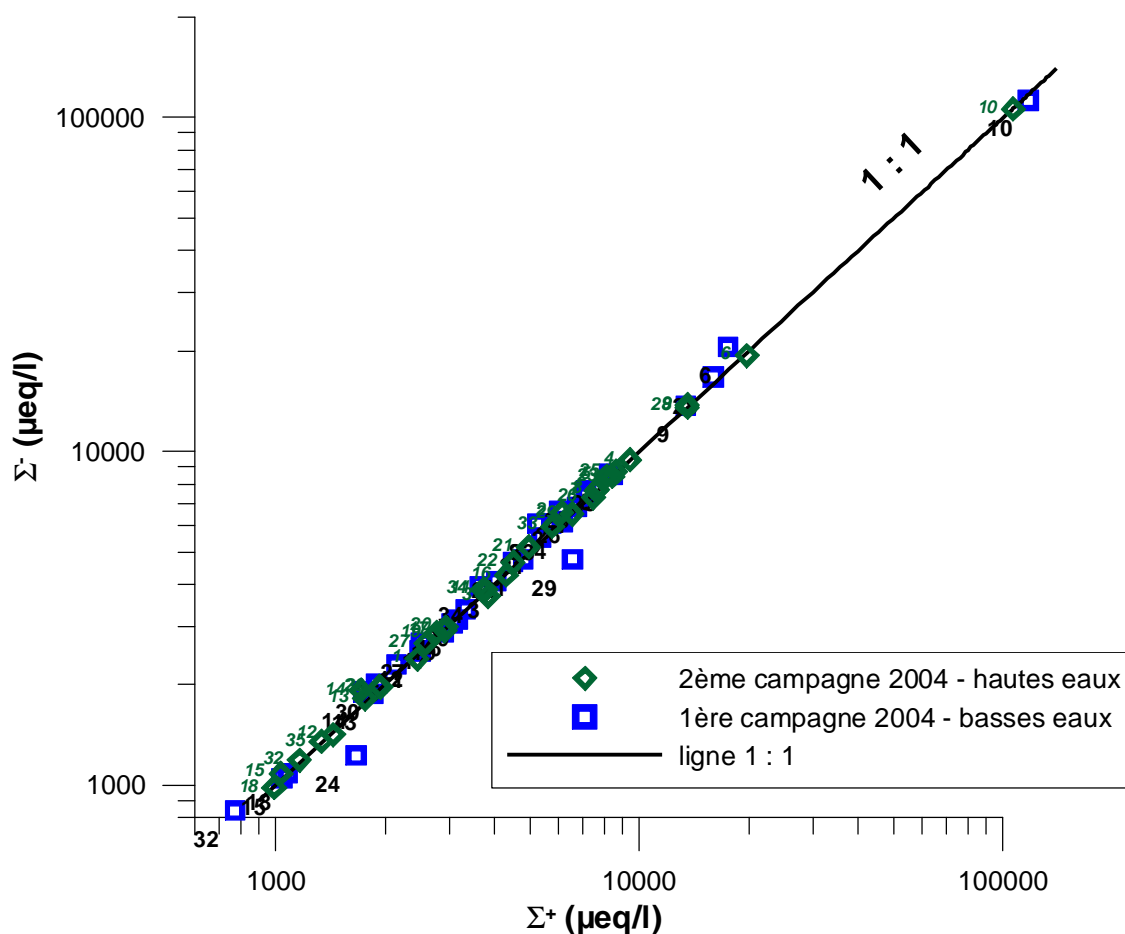


Figure 6 : Diagramme somme des anions Σ^- en fonction des cations Σ^+ pour les points des campagnes 2003 et 2004.

Un déséquilibre, qui est relativement important compte tenu de l'échelle logarithmique employée, se marque en faveur des anions pour les seuls échantillons 24 (piézomètre Gros Morne – La Borelli) et 29 (piézomètre Ste Luce - Stade) pour la campagne basses eaux.

Un tel décalage en faveur des anions est généralement expliqué par la présence d'anions organiques dosés lors de la mesure de l'alcalinité (Meybeck, 1986). Les anions sont alors sur-représentés. Des déséquilibres identiques ont été mis en évidence sur le bassin du Congo (Négreil et al., 1993) et de l'Amazonie (Gaillardet et al., 1997). On note toutefois que ces déséquilibres n'apparaissent pas dans la campagne de 2004.

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 ± 5 % qui sera retenue. La balance ionique sert à contrôler la qualité des analyses en éléments majeurs uniquement.

La Figure 7 entre la balance ionique NICB et les sommes des cations Σ^+ et anions Σ^- met en évidence :

- (i) la plupart des points se situe entre 0 et -5%,
- (ii) les points 24 (piézomètre Gros Morne) et 29 (piézomètre Ste Luce) ont clairement un NICB de +15% lors de la campagne de basses eaux (janvier à mars 2004), non retrouvé en hautes eaux 2004,
- (iii) Le point 6 (Vauclin – Puyferrat) et le point 8 (piézomètre Diamant) ont un NICB inférieur à -7% lors de la campagne de basses eaux (janvier à mars 2004), également non retrouvé en hautes eaux 2004.

Ainsi, 4 analyses chimiques étaient douteuses lors de la campagne basses eaux, et aucune pendant la campagne hautes eaux.

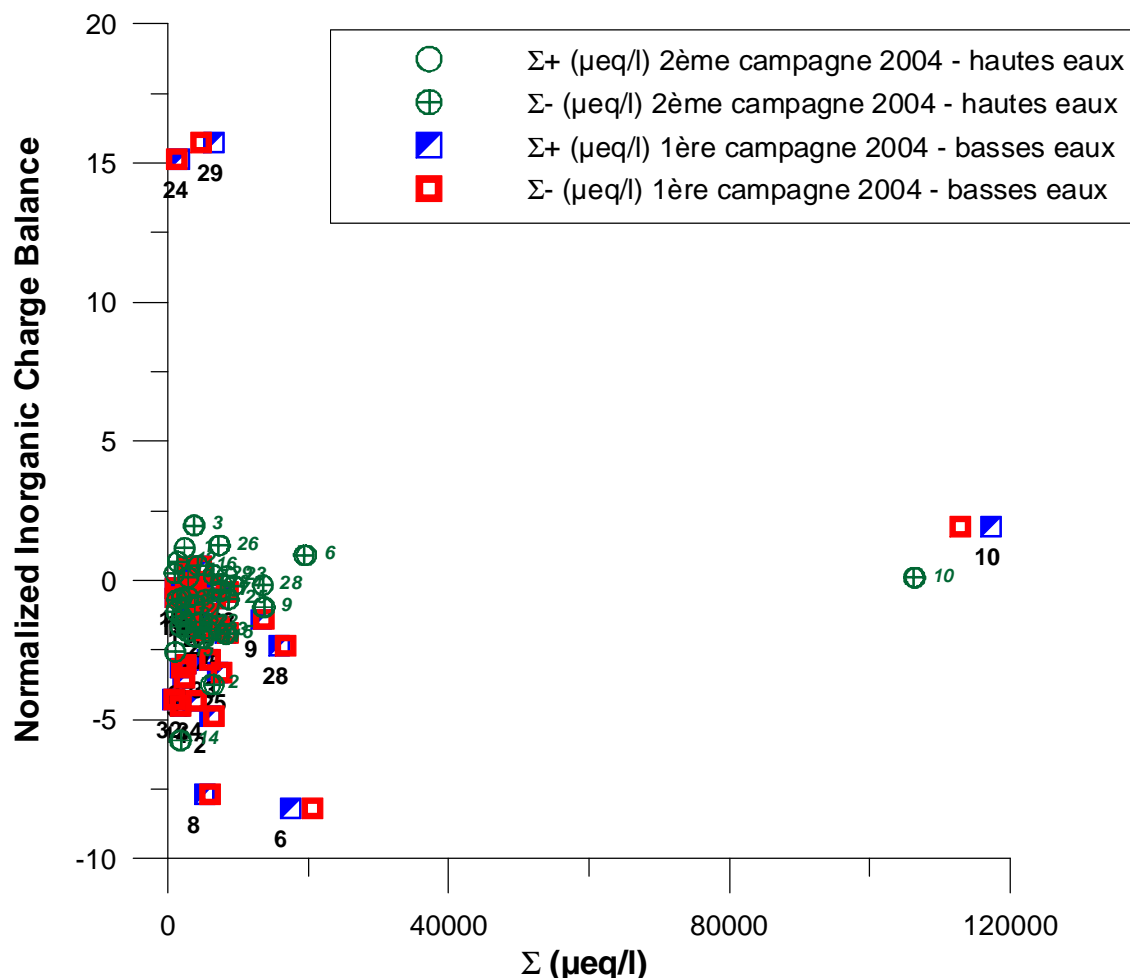


Figure 7 : Balance ionique des analyses des points des campagnes 2003 et 2004

3.4.2. Les relations inter-éléments

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

Le chlorure des eaux de pluie est d'origine marine exclusivement (Meybeck, 1986, Berner & Berner, 1987) dans la mesure où aucun affleurement de roches salines de type évaporitique ne peut produire des aérosols continentaux susceptibles d'apporter une contribution en Cl à la pluie.

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

Diagramme Chlorure - Sodium

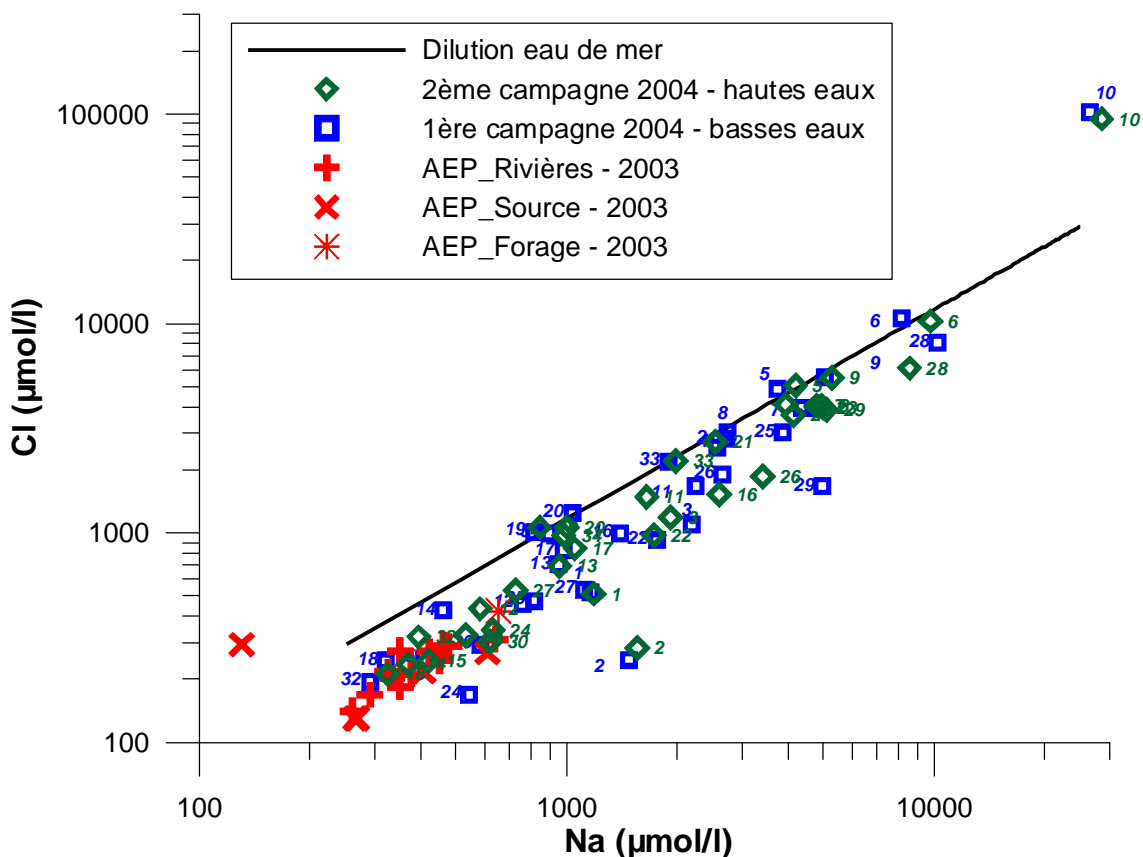


Figure 8 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en sodium

La Figure 8 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 (sites BRGM : 5, 6, 8, 19, 20, 33...),
- ⇒ un net enrichissement en Na pour d'autres (sites BRGM : 2, 24, 27, 29 ; quasi tout l'échantillonnage AEP),
- ⇒ un enrichissement en Cl pour un site BRGM : le n°10, piézomètre Marin - Cap Macré.
- ⇒ Peu de variations sont visibles entre Cl et Na des deux campagnes. 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 sur le littoral.

Le piézomètre 28 (Trois Ilets - Vatable) avec le faciès chloruré-sodique le plus marqué montre de fortes concentrations en Cl et Na, légèrement en faveur du sodium. L'influence d'un biseau salé est possible mais les interactions eau-roche libérant du Na doivent également être envisagées pour expliquer le décalage en faveur du sodium (Figure 8).

Par contre, le piézomètre 10 (Marin – Cap Macré), de faciès sulfaté-calcique, est également le plus riche en Na et Cl mais cette fois le décalage est en faveur du chlorure. L'origine de l'eau et de la chimie associée de cet échantillon ne peut être expliquée à ce stade. Ces observations issues de la campagne basses eaux sont confirmées dans celle réalisée en hautes eaux.

Diagramme Chlorure - Calcium

D'une manière identique, la Figure 9 illustre les relations entre Cl et Ca. On observe cette fois un enrichissement en Ca de toutes les eaux.

Pour expliquer ces concentrations en calcium supérieures à la moyenne marine, un apport d'origine continentale doit donc être envisagé. Ce calcium peut être lié soit à des apports de poussières continentales par les pluies (issues de source(s) locale(s)), soit à une circulation de particules carbonatées plus générale à l'échelle de l'atmosphère comme l'ont envisagé Négrel et al. (1997), soit à un apport de Ca par l'altération des roches.

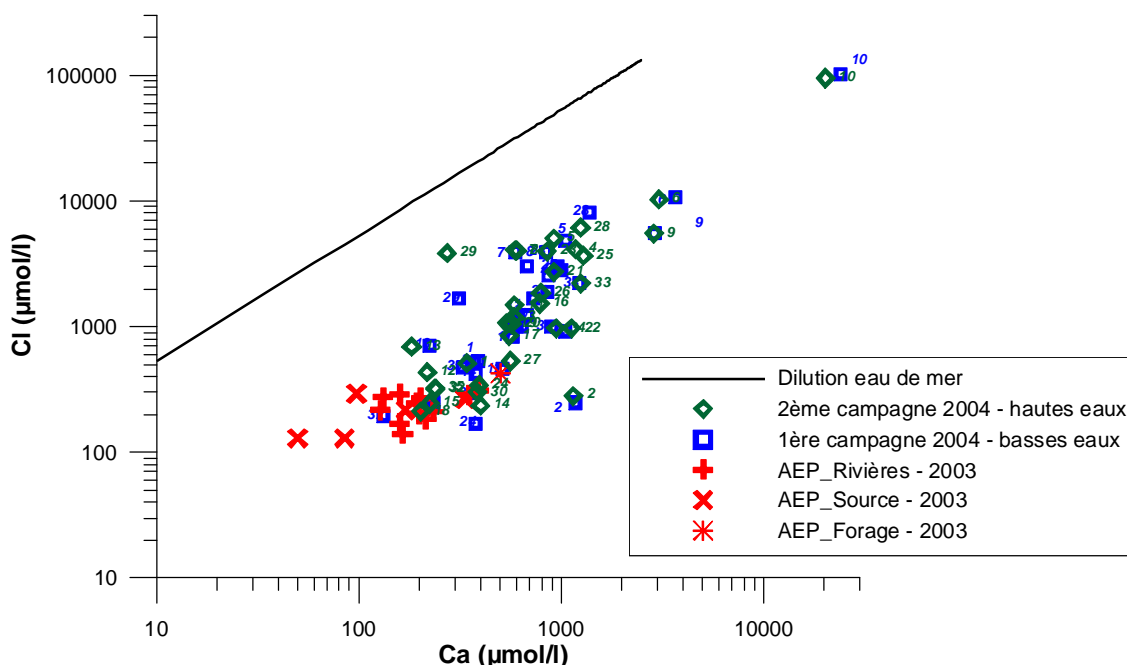


Figure 9 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en calcium

La présence de rares formations calcaires ne suffit pas à expliquer ces apports supplémentaires en calcium. Seuls les eaux des points 6, 9 et 10 traversent des formations calcaires qui peuvent expliquer leurs concentrations qui sont les plus élevées.

Toutefois, l'altération de formations calcaires par les eaux, si elle peut être en faveur des concentrations en Ca, ne peut expliquer les fortes concentrations en Cl relevées pour ces trois points. Une étude plus fine, notamment via les codes de calcul géochimique doit être menée pour mieux comprendre la chimie des eaux.

Pour les autres points, l'excès de calcium provient au moins en partie de l'altération des roches volcaniques contenant une forte proportion de Ca. Le point 2 (Morne rouge – Desgrottes) présente un apport en calcium plus important que les autres. Il semblerait que les circuits hydrothermaux du secteur lui ait permis de s'enrichir encore plus en calcium.

Sur ce diagramme quelques différences des teneurs en Ca et Cl apparaissent sur certains points (24, 27, 29) tandis que d'autres sont complètement identiques (2, 5, 6, 9, 33).

Diagramme Chlorure - Bore

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

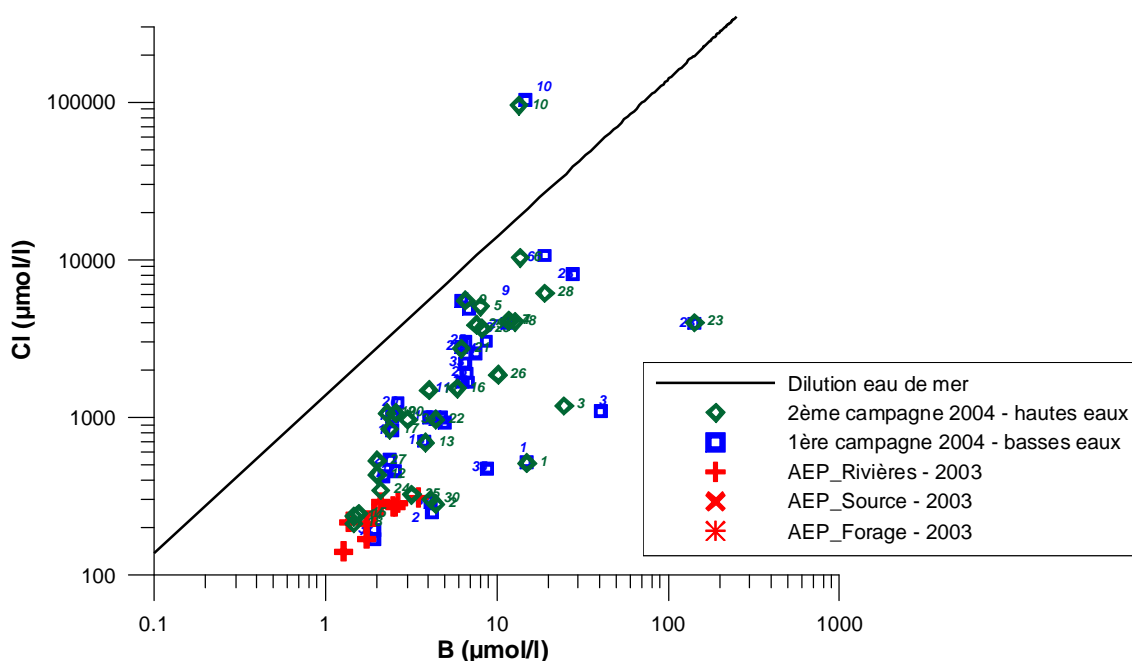


Figure 10 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en bore

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

On note également peu de variation entre les deux campagnes.

Diagramme Chlorure - Magnésium

Contrairement aux éléments chimiques précédents, la comparaison entre Cl et Mg (Figure 11) montre un enrichissement en Cl par rapport à Mg. Ce dernier est peu amené par les pluies et aérosols marins et semble peu lié avec les interactions eau - roche.

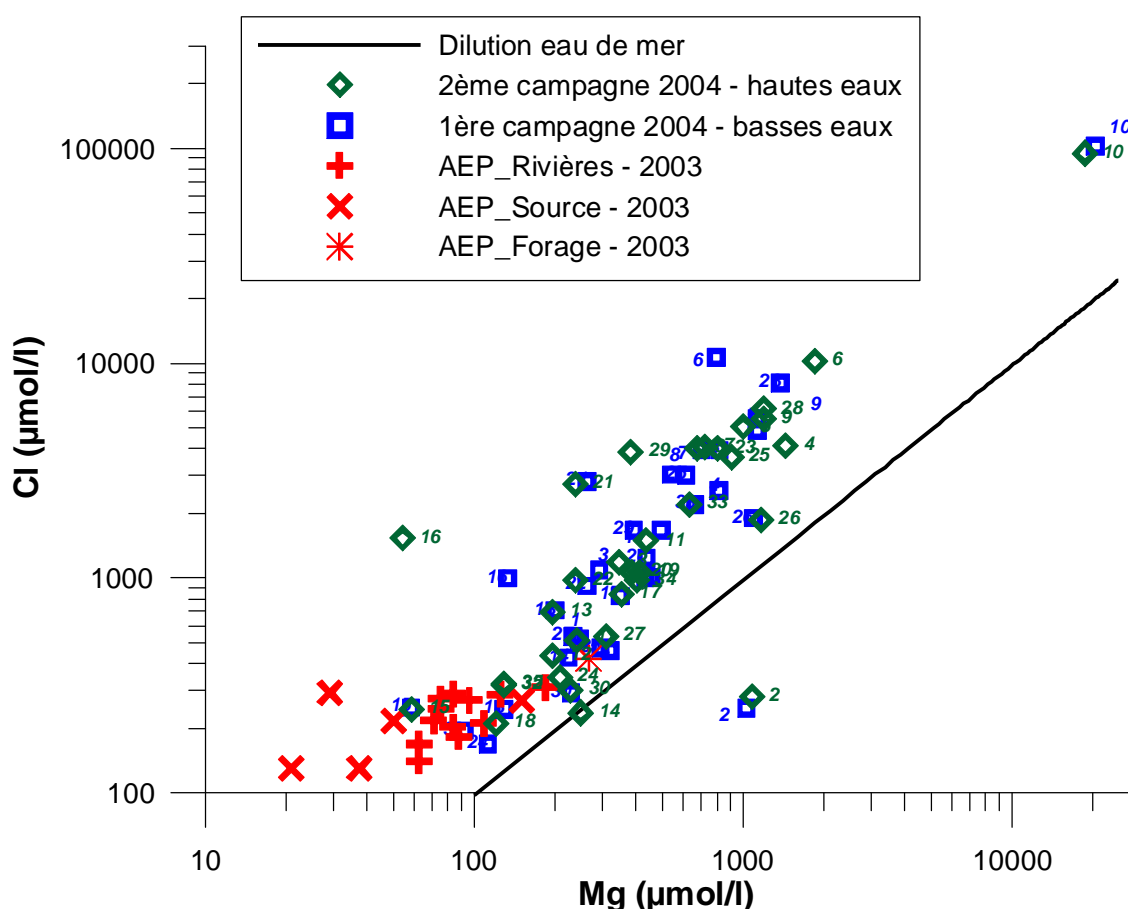


Figure 11 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en magnésium

Seul le point 2 (piézomètre Morne rouge) est enrichi en magnésium. Cette différence peut s'expliquer par des circuits hydrothermaux plus profonds et plus longs, permettant aux eaux de se charger en minéraux. Le site 10 (piézomètre du Marin – Cap Macré) enregistre des concentrations en chlore et en magnésium supérieures aux autres points, liées à un contexte hydrogéologique et hydrodynamique très particulier.

A l'exception des points 6 (Vauclin – Puyferrat) et 16 (Lamentin – Sarrault), clairement différents entre les deux campagnes, les autres points ne se dispersent pas entre les campagnes basses eaux et hautes eaux 2004.

Diagramme Chlorure - Potassium

La relation entre Cl et K est également en faveur de l'enrichissement en Cl (Figure 12). Le potassium est un élément très contraint par la végétation et sa concentration peut être diminuée dans les eaux par le « pompage » de la végétation.

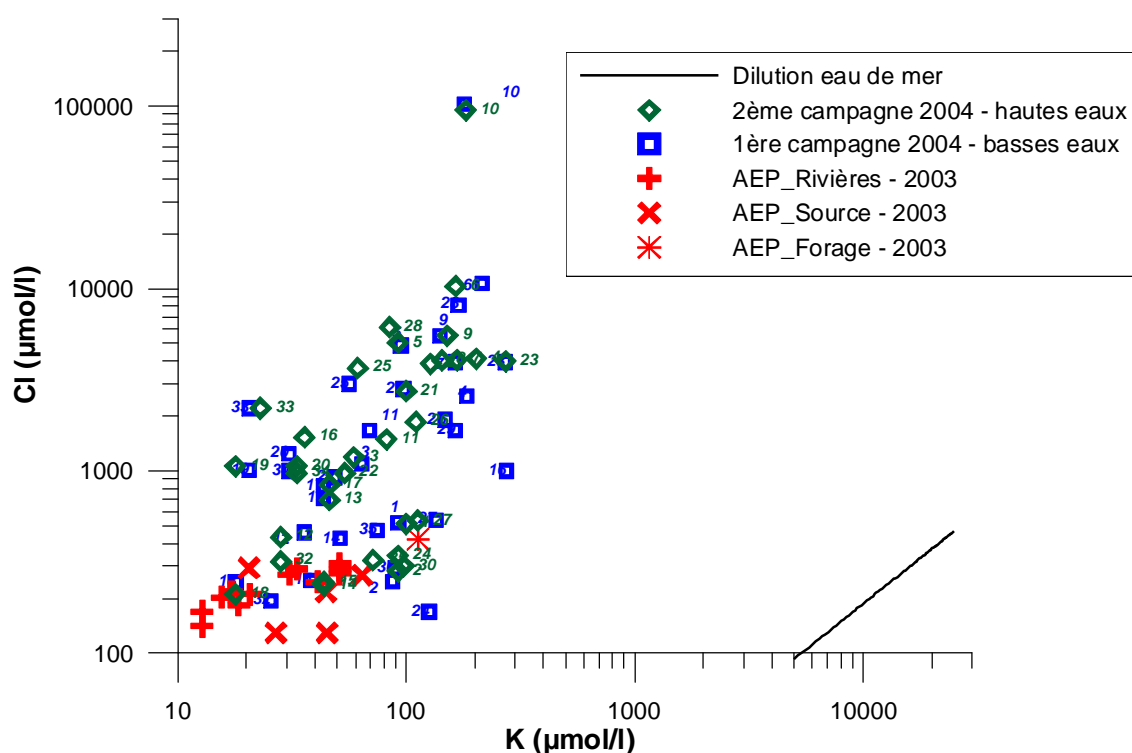


Figure 12 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en potassium

A nouveau, on constate peu de variation entre les deux campagnes.

Diagramme Chlorure - Sulfates

La relation avec SO₄ est similaire à celle constatée pour magnésium et potassium. Elle est illustrée dans la figure 13.

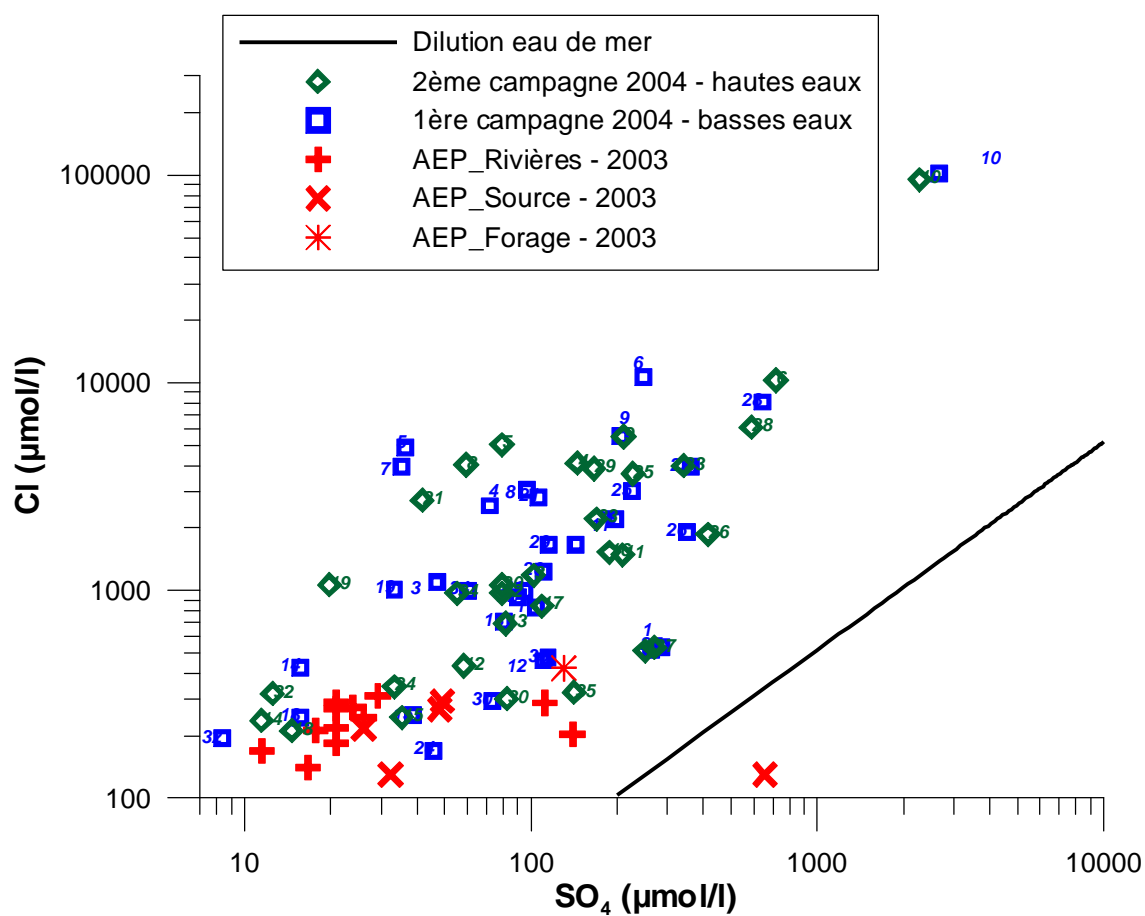


Figure 13 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en sulfates

Diagramme Chlorure - Nitrates

Le comparaisn des concentrations en Cl et NO₃ ne montre pas de relation particulière (Figure 14). 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. On note une plus forte dispersion des points entre les campagnes de basses eaux et hautes eaux 2004.

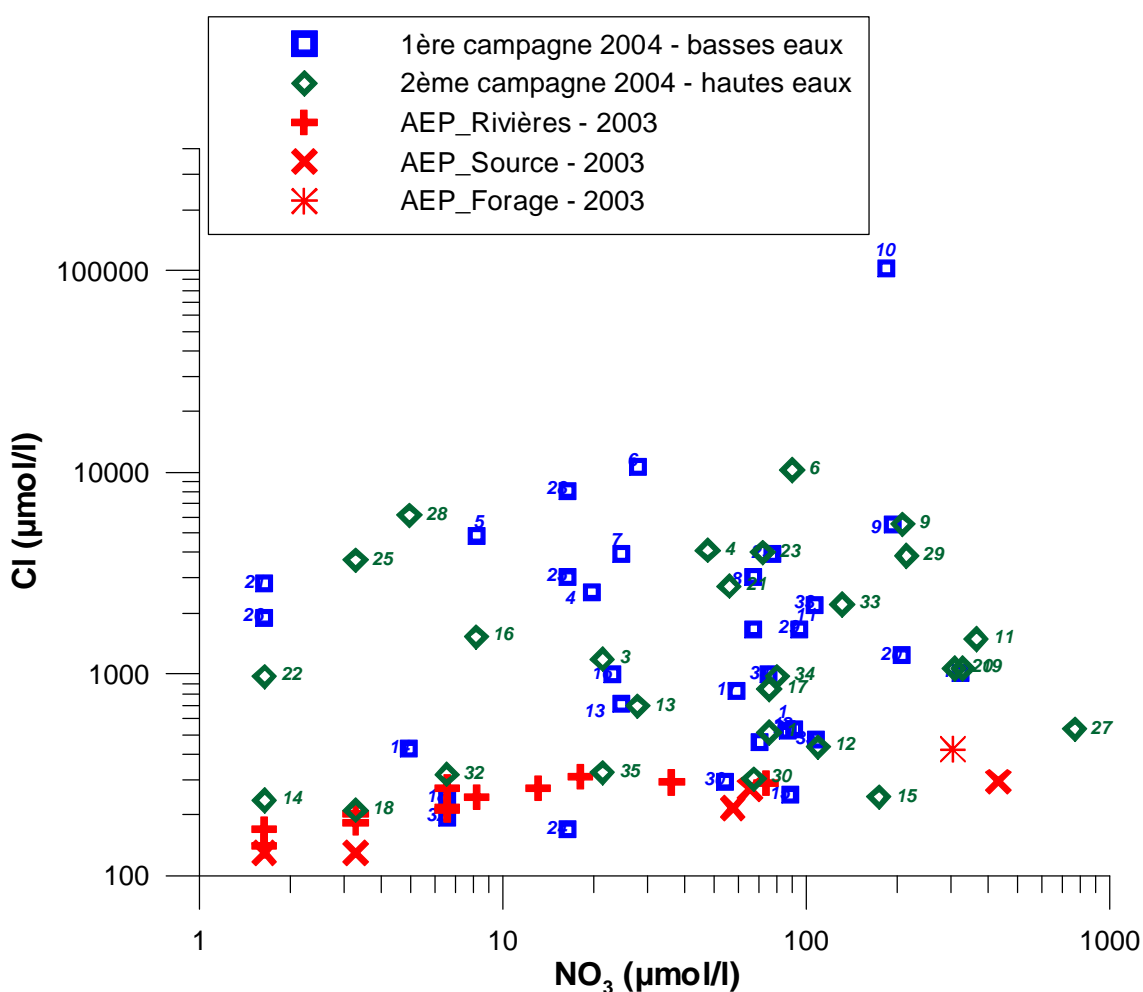


Figure 14 : Diagramme de la concentration en chlorure en fonction de celle en nitrates

Le point 10 est à part en raison de sa concentration élevée en ions chlorures ; il n'apparaît pas en octobre 2004 car les nitrates sont inférieurs à la limite de quantification.

3.5. COMPARATIF BASSES EAUX – HAUTES EAUX

Deux jeux de données sont disponibles sur les mêmes ouvrages entre les mesures faites sur la période de la saison sèche 2004 et celle de la saison des pluies 2004.

Les diagrammes des Figure 15 et Figure 16 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.

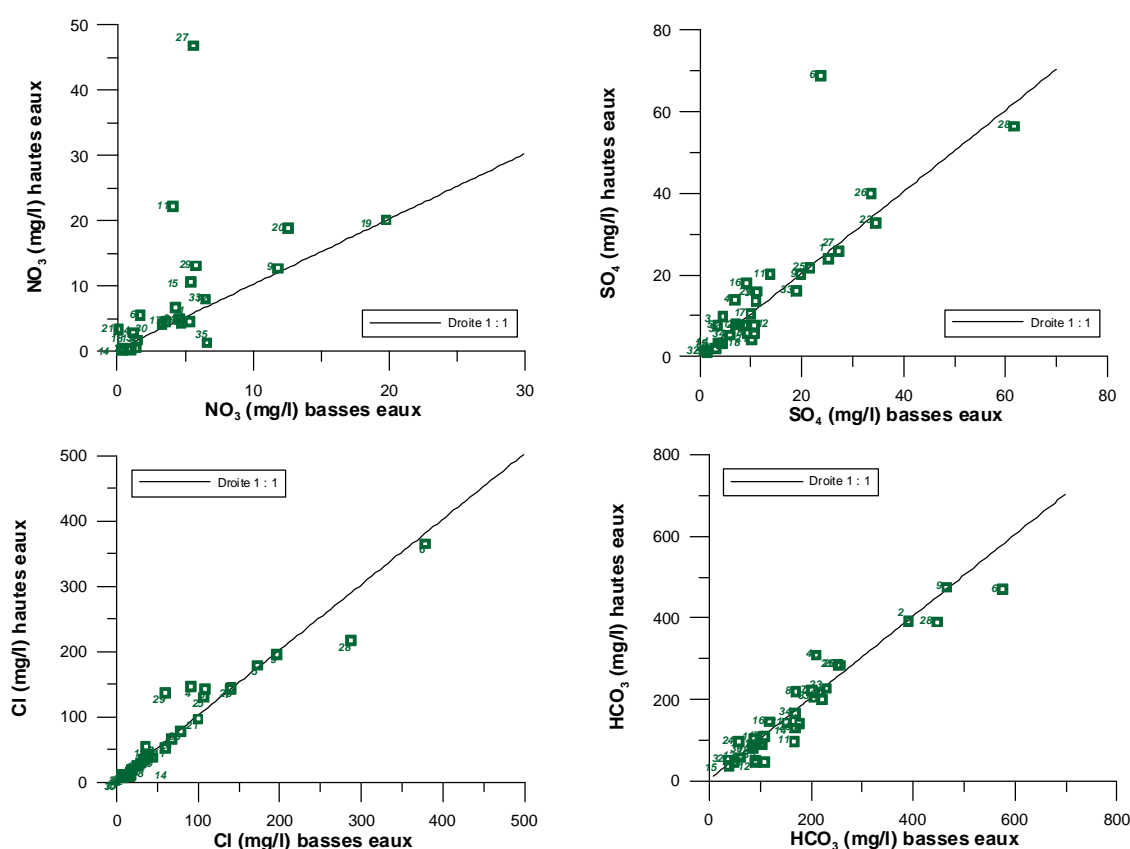


Figure 15 : Variation des éléments NO_3 , Cl , SO_4 , HCO_3 entre les campagnes basses eaux et hautes eaux

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.

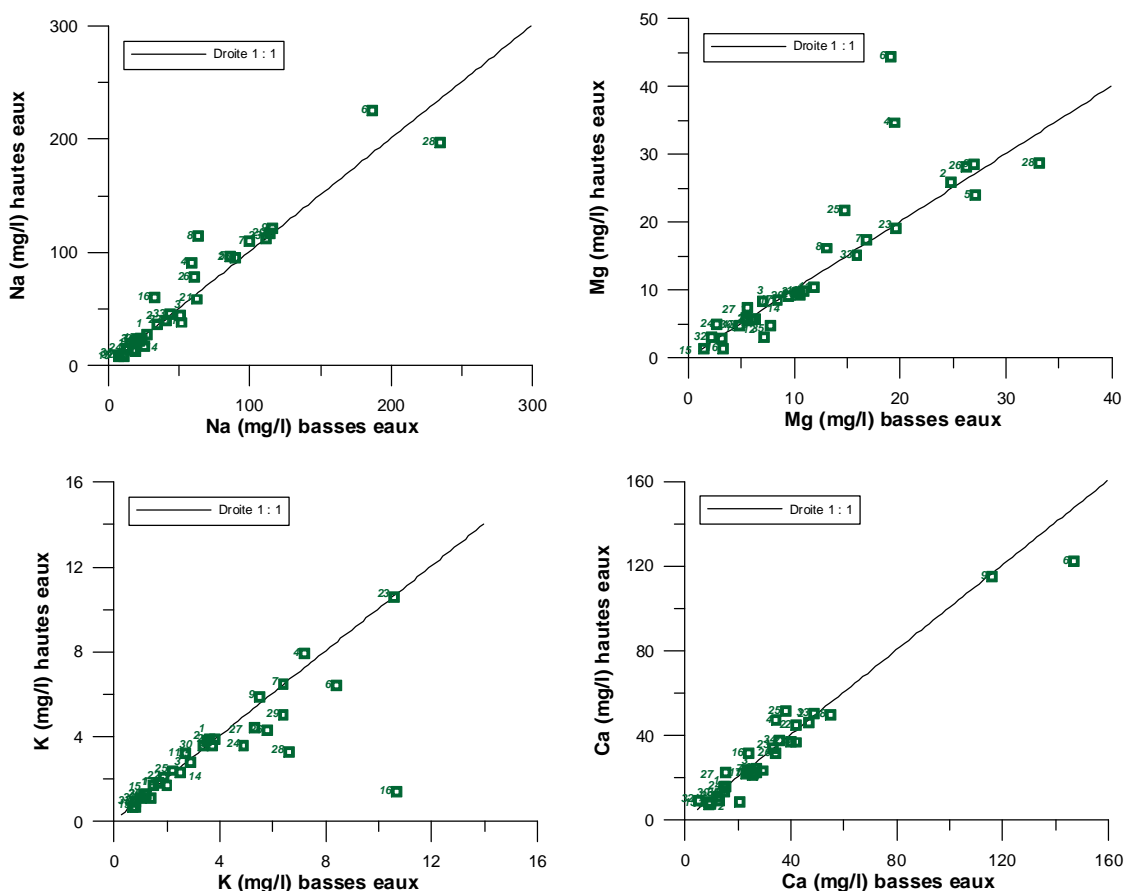


Figure 16 : Variation des éléments Na, K, Mg, Ca entre les campagnes basses eaux et hautes eaux

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

- ⇒ peu de variation pour le Cl, à l'exception de trois points (4, 24, 29), entre les deux périodes de mesure ; de même pour Na mais la dispersion est plus marquée pour d'autres points (6, 8, 16, 26)
- ⇒ une dispersion visible en SO_4 et HCO_3 , sans lien apparent avec la teneur, de même pour Mg. Pour ce dernier, les points 4, 6 et 25 s'éloignent beaucoup de la droite 1 : 1.
- ⇒ une variation en NO_3 importante, soit à droite soit à gauche de la droite 1 : 1, par exemple le point 27 (Basse Pointe – Piézomètre Rivière Falaise) passe de 5.6 mg/l en basses eaux à 46.8 mg/l en hautes eaux.
- ⇒ hormis quelques points situés soit à droite, soit à gauche de la droite 1 : 1 pour les basses teneurs en Ca, on observe une très faible dispersion à teneur plus élevées.

Le fait de retrouver pour certains éléments (Na, Cl) des concentrations proches entre les hautes et basses eaux permet de penser que les analyses sont robustes (ce qui avait d'ailleurs été montré dans l'étude précédente) mais surtout **que la qualité chimique des ressources en eau souterraine n'a pas variée en dépit des états hydrologiques différents.**

La mise en œuvre d'un réseau de suivi périodique 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 pertinent.

La mise en œuvre de deux suivis sur deux périodes hydrologiques (cf. Figure 15 et Figure 16) a permis de montrer la très faible variation des paramètres chimiques dans les eaux souterraines qui résulterait de l'**existence de ressources en eau de taille importante permettant de tamponner les entrants en période de pluies.**

L'utilisation du chlorure (exprimé en unité $\Delta = Cl_{BE} - Cl_{HE}$) 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 : 14 (Fort de France – La médaille, contexte hydrogéologique particulier lié au glissement de terrain) et 5 (Schœlcher – Case Navire, contexte hydrogéologique influencé par les relations nappes - rivières).
- ⇒ des points où la teneur en Cl varie entre les deux campagnes mais où la hauteur d'eau ne varie presque pas. Ceci est illustré par le point 29 (Ste Luce – Stade communal, nappe captive à proximité de la mer et très probablement influencé par la proximité du biseau salé), le point 4 (Schœlcher – Fond Lahaye) et le point 28 (Trois îlets – Vatable, nappe influencée par le biseau salé). Pour le 29 (Ste Luce), la teneur en hautes eaux est très supérieure à celle en basses eaux et un comportement opposé pour le 28 (Trois îlets – Vatable). Dans l'état actuel des connaissances nous ne pouvons pas dissocier les phénomènes naturels des effets, ou pollutions, anthropiques.
- ⇒ 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 16 (Lamentin Sarrault).

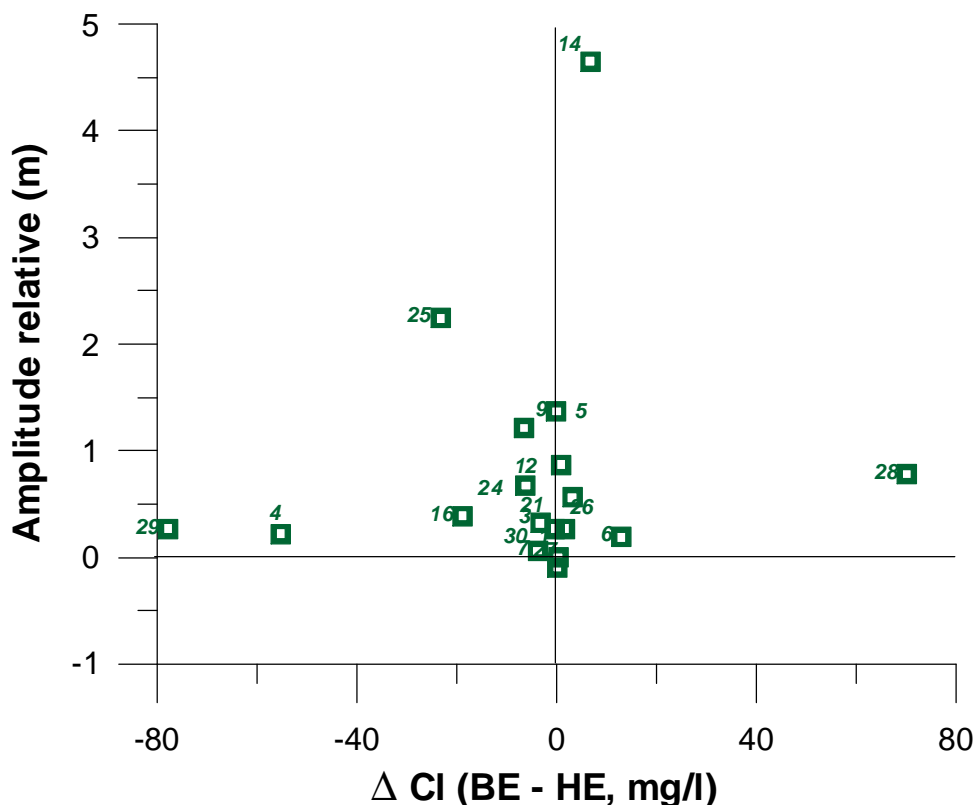


Figure 17 : amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlore

Ce type de schéma est observé pour Na (cf. Figure 18) et d'autres éléments. Le plus marqué est celui mettant en jeu le bore (cf. Figure 19), les échantillons montrent des teneurs en basses eaux très supérieures à celles en hautes eaux : pour les 3 points suivant les teneurs en bore en basses eaux sont très supérieures à celles en hautes eaux : le point 3 (Marigot – Anse Charpentier), 6 (Vauclin – Puyferrat) et 28 (Trois îlets – Vatable).

Comme déjà cité ci-dessus dans le chapitre 3.2.3, la plupart des anomalies en B 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 doit amener de plus amples informations sur l'origine et la variabilité de cet élément.

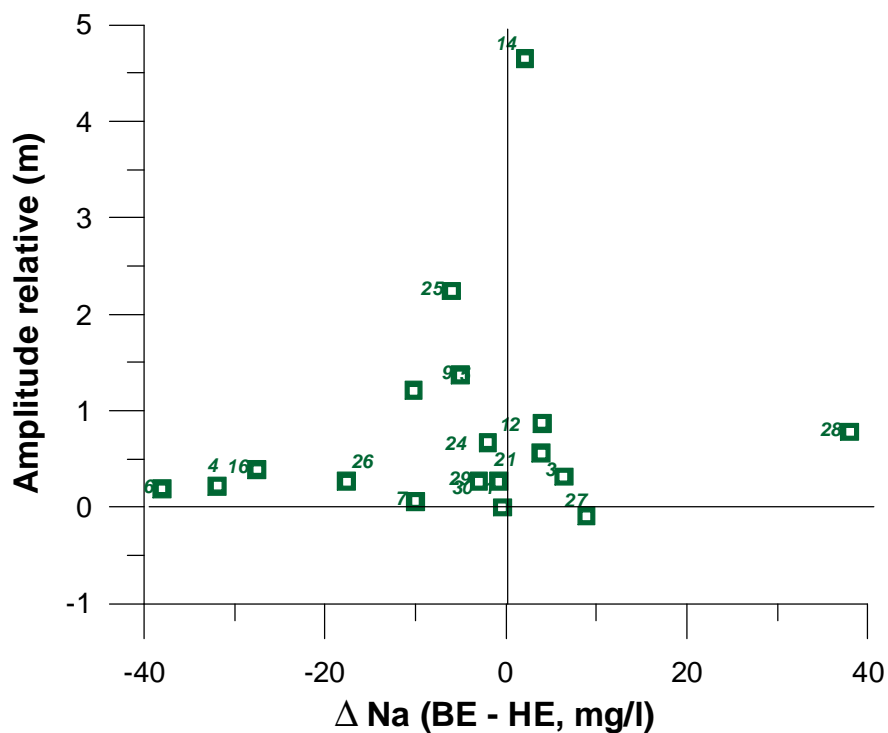


Figure 18 : amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en sodium

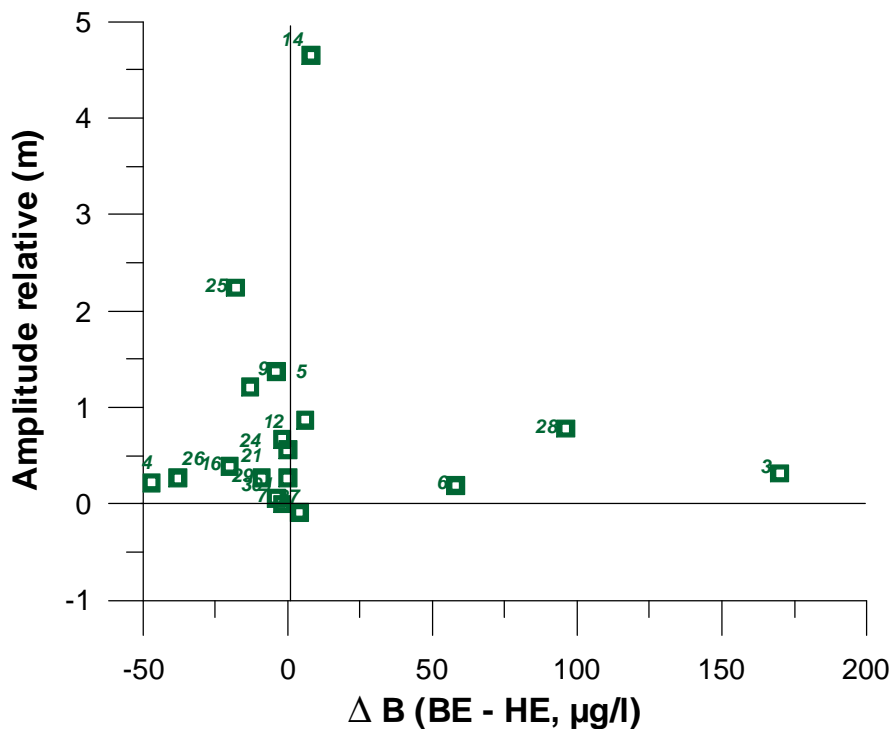
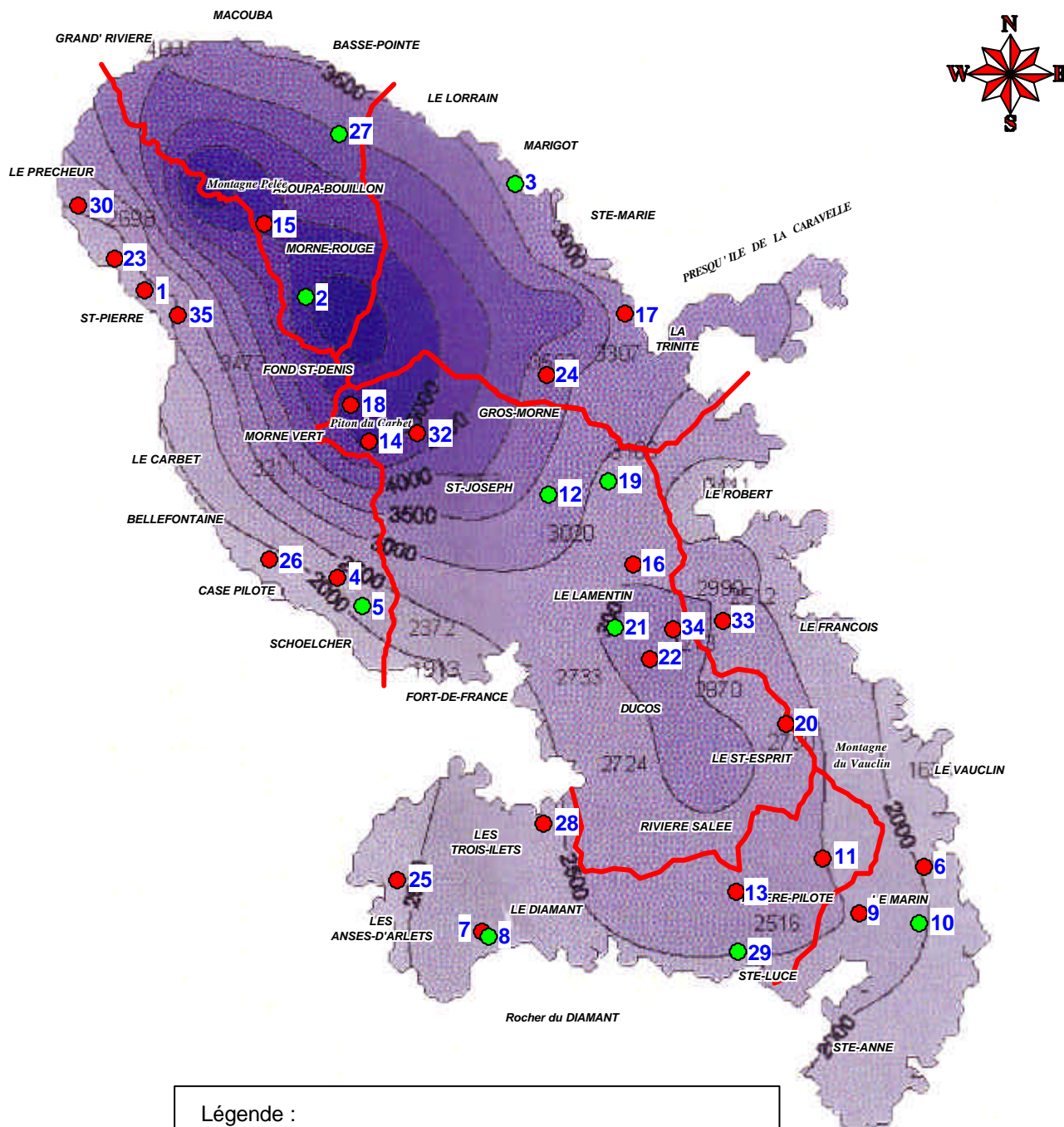


Figure 19 : amplitude piézométrique relative en fonction de la variation en chlore



Carte n°2 : Suivi qualité eaux souterraines Localisation des points de prélèvements et pluviométrie annuelle année 2004, en mm



Légende :

 Limite des masses d'eau souterraine

types d'analyses réalisées

-  Eléments majeurs et en traces (24)
-  Eléments majeurs, traces et produits phytopharmaceutiques (10)



3.6. PLUVIOMETRIE ET QUALITÉ 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 chlorure, 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 le long d'une droite reliant Morne Rouge (15) au Vauclin (6), recoupant ainsi des conditions pluviométriques complètement différentes, est représenté dans la Figure 20 (points 15, 2, 32, 12, 16, 34, 20, 11, 9, 6).

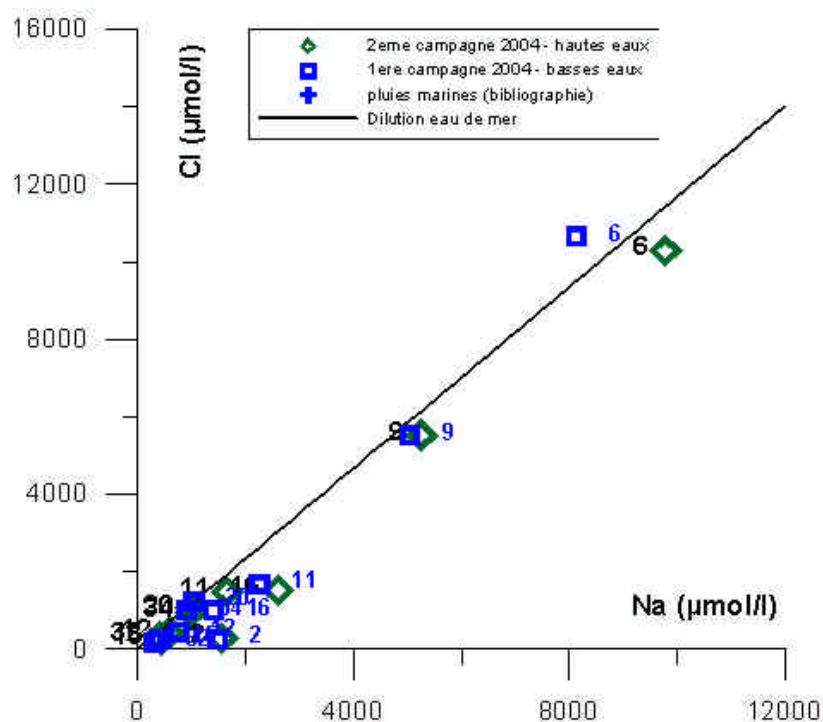


Figure 20 : comparaison des concentrations en Chlorures et sodium, pour les hautes eaux et les basses eaux.

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

Les points 6 (Vauclin – Puyferrat) et 9 (Marin Grand Fond) sont très riches en Cl et Na et sont sur cette droite. L'origine des chlorures et sodium pour ces points 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 anthropiques. On observe aussi un 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, ou de la pluie. Concernant le site du Vauclin, les connaissances hydrogéologiques laissent supposer que les fortes concentrations proviendraient d'une remontée du biseau salé, par contre la question reste entière pour le site de Grand Fond.

L'ensemble des autres points est groupé avec des teneurs beaucoup plus faibles et sont illustrés sur la vue agrandie (Figure 21).

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) et les points 15, 2, 32, 12, 16, 34, 20, 11.

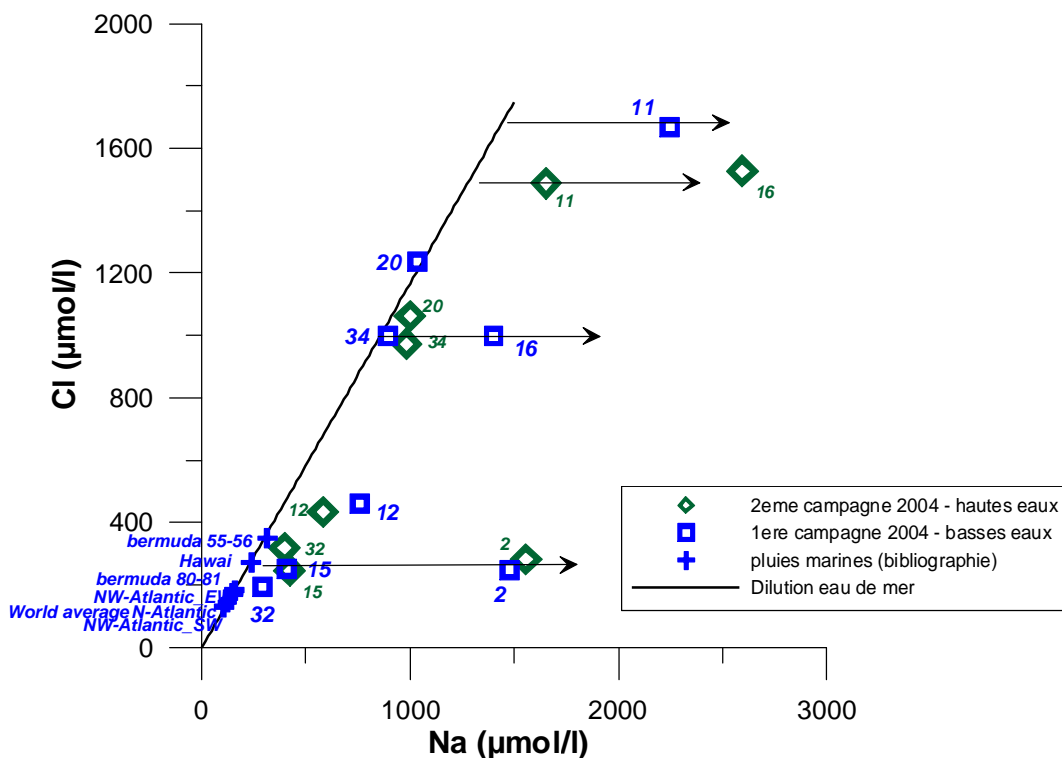


Figure 21 : comparaison des concentrations en Chlorures et sodium, pour les hautes eaux et les basses eaux, vue agrandie.

Plusieurs remarques découlent de ce schéma :

- en terme de concentration, les points 32 (4700mm), 15 (5000mm) et 2 (5500mm) ont des valeurs de Cl en accord avec celles observées dans les pluies, seules les concentrations en Na sont plus importantes et reflètent des interactions avec les roches avec libération de Na.
- les points 12 (3200mm), 34 (3500mm) et 20 (2700mm) 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.
- Le point 2, 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 fiable 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.
- Les points 11 (2500mm) et 16 (2700mm) 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.

3.7. LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES

Dans cette seconde campagne de mesure réalisée en octobre et novembre 2004, 111 produits phytopharmaceutiques ont été analysés sur 10 ouvrages (cf. chapitre 2.2).

6 sites sont exempt de ces 111 produits phytopharmaceutiques :

- ⇒ Diamant – Dizac
- ⇒ Morne rouge – Desgrottes
- ⇒ Saint Joseph – La charmille
- ⇒ Schœlcher – Case Navire
- ⇒ Sainte Luce – Stade
- ⇒ Marin – Cap Macré

4 sites révèlent la présence de certains de ces produits :

- ⇒ Le Robert - Vert Pré
- ⇒ Basse Pointe – Rivière Falaise
- ⇒ Marigot – Anse Charpentier
- ⇒ Lamentin – Habitation Ressource

Les résultats détaillés sont présentés dans les paragraphes ci-dessous et dans un tableau récapitulatif en annexe 1.

Les valeurs utilisées comme norme sont celles données par la DCE (Directive Cadre Européenne) pour les eaux distribuées destinées à la consommation humaine.

La DCE indique que la concentration en produits phytopharmaceutiques (somme de tous les produits phytopharmaceutiques) ne doit pas dépasser 0.5 µg.l⁻¹.

Les seuils, normes et usages sont donnés dans les paragraphes ci-dessous, pour chaque produit phytopharmaceutique.

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

Il a été retrouvé sur un seul piézomètre, celui du Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur importante de $0.81 \mu\text{g.l}^{-1}$ (seuil de quantification : $0.05 \mu\text{g.l}^{-1}$), soit 8 fois plus que la norme.

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 est un herbicide généralement utilisé dans les champs de canne à sucre et de bananes.

3.7.2. L'Atrazine

L'atrazine a été retrouvée à Basse Pointe – Rivière Falaise avec une faible teneur de $0.05 \mu\text{g.l}^{-1}$ (seuil de quantification : $0.025 \mu\text{g.l}^{-1}$).

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 dans les champs de maïs en Métropole, et dans les champs de canne en Martinique, il est interdit depuis le 1^{er} octobre 2003. Sa demi vie dans le sol est de 60 jours. Néanmoins, la plupart des expériences sont généralement faites sur des sols caractéristiques de métropole, or les teneurs en eau et la température influe fortement sur la dégradation de ces produits. Il est ainsi probable que ces valeurs soient différentes dans le contexte pédologique, hydrologique, hydrogéologique et climatique de Martinique. Aucune donnée de ce type n'existe à l'heure actuelle dans le contexte Martiniquais. Ces dernières remarques sont valables pour quasiment tous les produits phytopharmaceutiques utilisés en Martinique .

3.7.3. Le Bromacil

Le Bromacil a été retrouvée à Basse Pointe – Rivière Falaise avec une forte teneur de $8.13 \mu\text{g.l}^{-1}$ (seuil de quantification : $0.025 \mu\text{g.l}^{-1}$).

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.

3.7.4. Le Chlordécone

Le chlordécone a été retrouvé sur 4 piézomètres parmi 34 en janvier 2004, et sur 1 piézomètre parmi 10 en octobre 2004.

Les valeurs varient entre 0.2 et 6.7 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Des incertitudes demeuraient sur deux analyses dans la précédente campagne. Le seuil de quantification est de 0.2 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

La seconde campagne n'a détecté du chlordécone que dans un forage d'exploitation : celui du Robert – Vert Pré : 1.45 $\mu\text{g.l}^{-1}$, soit 14.5 fois plus que la concentration maximale admissible. Pour les piézomètres de Basse Pointe – rivière Falaise, Lamentin – H. Ressource et Marigot Anses Charpentier du chlordécone avait été détecté en basses eaux et n'a pas été détecté en hautes eaux.

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....

Hautes eaux / basses eaux, effets de la pluviométrie : pour les piézomètres du Lamentin – H. Ressource (0.2 $\mu\text{g.l}^{-1}$) et Marigot – Anse Charpentier (0.38 $\mu\text{g.l}^{-1}$) du chlordécone avait été détecté en basses eaux et n'a pas été détecté en hautes eaux. Il est possible que cette non détection soit liée à un éventuel effet de dilution lié à la pluviométrie. Néanmoins de nouvelles analyses doivent être réalisées afin de mieux appréhender la rémanence de ce produit dans les eaux souterraines.

3.7.5. La Dieldrine

La dieldrine a été retrouvée à Basse Pointe – Rivière Falaise avec une forte teneur de $0.41 \mu\text{g.l}^{-1}$, presque 14 fois plus que la norme (seuil de quantification : $0.01 \mu\text{g.l}^{-1}$).

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. La dieldrine 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 cancérigène pour l'homme (foie, seins).

3.7.6. Le Diuron

Le diuron a été retrouvé à Basse Pointe – Rivière Falaise avec une teneur de $0.15 \mu\text{g.l}^{-1}$, en octobre 2004. Il avait été mesuré à la même teneur aux Anses d'Arlets – Grande Anse en Mars 2004. Il a aussi été retrouvé, en octobre 2004, au Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur de $1.73 \mu\text{g.l}^{-1}$, soit 17.3 fois plus que la concentration maximale admissible (seuil de quantification : $0.05 \mu\text{g.l}^{-1}$).

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 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. En Bretagne, son utilisation est interdite à moins de 15 m des cours d'eau. Il a été observé une utilisation du diuron pour lutter contre la végétation dans les fossés d'irrigation et de drainage.

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.

3.7.7. Heptachlore époxyde

L'heptachlore époxyde a été mesuré à une teneur de 0.02 µg.l⁻¹ dans le piézomètre Basse Pointe – Chez Lélène (seuil de quantification : 0.005 µg.l⁻¹).

Norme : la concentration maximale admissible des eaux destinées à la consommation est de 0.03 µg.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.

Effets sur la santé : L'heptachlore époxyde a des effets cancérigène démontré 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.

3.7.8. Hexazinon

L'hexazinon a été retrouvé en mars 2004 dans le piézomètre Basse Pointe – Chez Lélène avec une teneur de 0.3 µg.l⁻¹. Il a été à nouveau détecté avec une teneur de 0.45 µg.l⁻¹ en octobre 2004. Il a aussi été retrouvé , au Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur de 0.78 µg.l⁻¹ (seuil de quantification : 0.035 µg.l⁻¹).

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.

3.7.9. Propiconazole

Le propiconazole a été retrouvé au Lamentin – Habitation Ressource avec une teneur de 0.09 µg.l⁻¹ (seuil de quantification : 0.075 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 des bananiers.

3.7.10. Les hexachlorocyclohexanes (HCH)

On retrouve les hexachlorocyclohexanes sous 4 formes:

- ◆ L'Alpha HCH a été détecté au Marigot – Anse Charpentier avec une teneur de 0.044 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en octobre 2004 (seuil de quantification : 0.005 $\mu\text{g.l}^{-1}$).
- ◆ Le β -HCH a été détecté :
 - ⇒ au Marigot – Anse Charpentier, en janvier 2004 avec une teneur de 0.26 $\mu\text{g.l}^{-1}$, et avec une teneur de 0.8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en octobre 2004.
 - ⇒ Au Gros Morne – Vert Pré, en mars 2004 avec une teneur de 2.05 $\mu\text{g.l}^{-1}$, et avec une teneur de 0.37 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en octobre 2004.
 - ⇒ A Basse Pointe – Chez Lélène, en octobre 2004, avec une teneur de 0.072 $\mu\text{g.l}^{-1}$, il n'avait pas été détecté en mars 2004.
- ◆ Le delta HCH a été détecté au Marigot – Anse Charpentier avec une teneur de 0.009 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en octobre 2004.
- ◆ Le gamma HCH (plus connu sous le nom de Lindane) a été détecté au Marigot – Anse Charpentier avec une teneur de 0.008 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en octobre 2004.

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.

Hautes eaux / basses eaux, effets de la pluviométrie : pour un piézomètre (Vert Pré) la concentration en β -HCH a diminué, et pour un autre site (Marigot) celle-ci a augmenté. Dans l'état actuel des données acquises, il n'est pas possible de déterminer l'effet de la pluviométrie sur les concentrations.

3.7.11. Les sites pollués par les produits phytopharmaceutiques

Ce paragraphe reprend les données des paragraphes ci-dessus, en regroupant les produits analysés selon les sites sur lesquels ils ont été détectés.

◆ Forage 1175ZZ0106 – Vert Pré

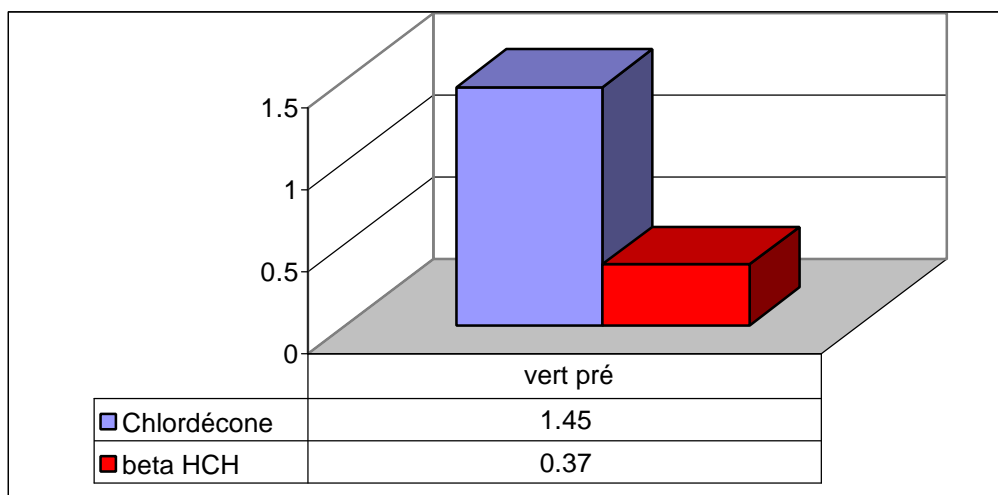


Figure 22 : Produits phytopharmaceutiques détectés à Vert Pré (Le Robert – Directoire) le 25 novembre 2004, en mg.l⁻¹

La somme des produits phytopharmaceutiques pour ce site de Vert Pré (prélèvement du 25/11/2004), est de 1.82 $\mu\text{g.l}^{-1}$, soit plus de 3.5 fois la norme (0.5 $\mu\text{g.l}^{-1}$).

Le chlordécone et le β -HCH, retrouvés dans ce forage de Vert Pré (prélèvement du 25/11/2004), dépassent chacun la norme de 0.1 $\mu\text{g.l}^{-1}$ par produit.

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 analyse), la nappe souterraine est polluée.

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 et le stockage 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.

Les données de la précédente campagne sont comparées dans le tableau ci-dessous :

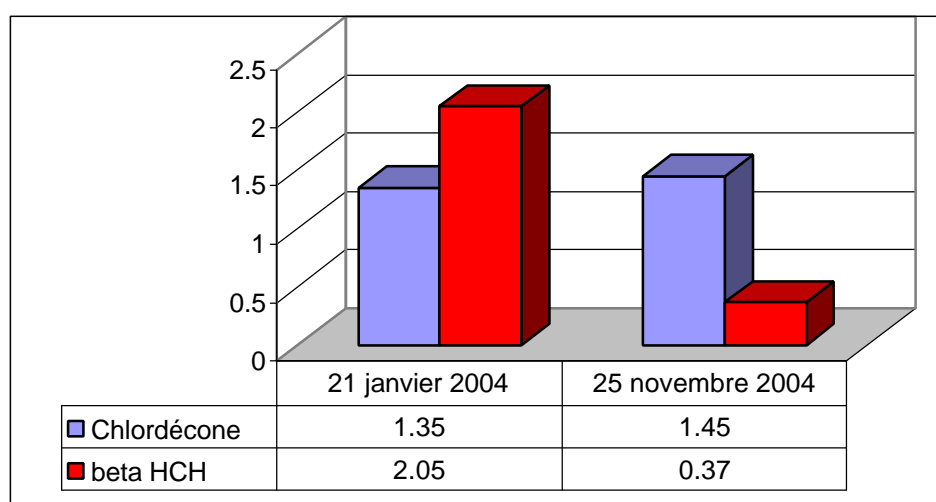


Figure 23 : Comparaison des produits phytopharmaceutiques détectés à Vert Pré (Le Robert – Directoire) le 21 janvier 2004 et le 25 novembre 2004, en $\mu\text{g.l}^{-1}$

Pour rappel, la somme de ces deux produits phytopharmaceutiques pour ce site de Vert Pré (prélèvement du 21/01/2004), était de $3.4 \mu\text{g.l}^{-1}$ soit presque 7 fois la norme ($0.5 \mu\text{g.l}^{-1}$). Le chlordécone et le β -HCH, retrouvés dans ce forage de Vert Pré (prélèvement du 21/01/2004), dépassaient chacun la norme de $0.1 \mu\text{g.l}^{-1}$ par produit.

La concentration en chlordécone, entre janvier et novembre 2004, augmente légèrement, et celle en β -HCH diminue de façon importante. Néanmoins, avec uniquement deux mesures, il est présomptueux, sans une chronique de données suffisante, acquise grâce à un suivi régulier, de conclure quand à l'évolution des concentrations de ces insecticides.

◆ **Forage 1179ZZ0070 – Lamentin Habitation Ressource**

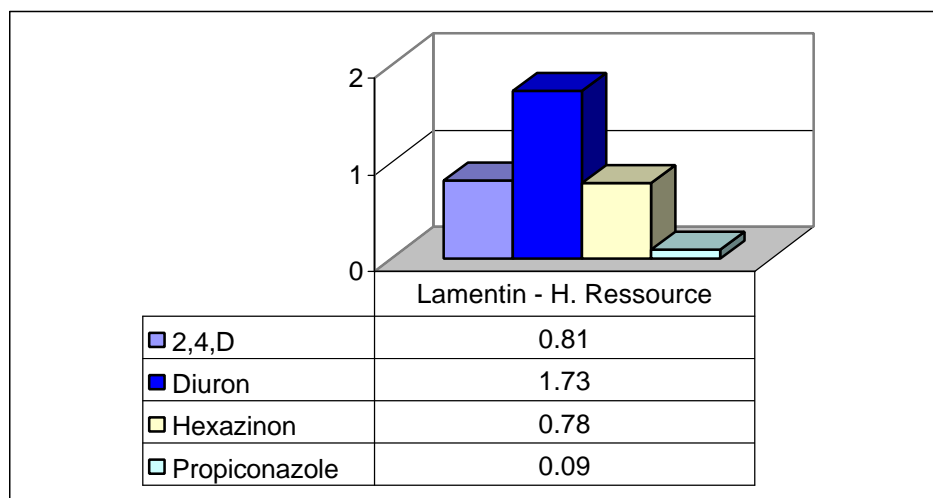


Figure 24 : Produits phytopharmaceutiques détectés le 20 octobre 2004 au Lamentin – Habitation Ressource, en mg.l^{-1}

La somme des produits phytopharmaceutiques pour ce site est de $3.41 \mu\text{g.l}^{-1}$, soit presque 7 fois la norme ($0.5 \mu\text{g.l}^{-1}$).

L'usage des produits phytopharmaceutiques retrouvés dans ce forage est autorisé, dont certains avec des restrictions d'usage. Ce sont des herbicides et fongicides généralement utilisés dans les champs de canne à sucre et les champs de banane.

Pour rappel, du chlordécone avait été retrouvé en février 2004, avec une concentration de $0.2 \mu\text{g.l}^{-1}$. Il n'a pas été détecté en octobre 2004.

L'ensemble des produits détectés étant autorisé, il serait nécessaire de mettre en place et d'appliquer des restrictions d'usage, voire des interdictions, pour limiter la pollution des nappes souterraines du secteur. Il est aussi absolument nécessaire de connaître le contexte hydrogéologique pour gérer au mieux la pollution de cet aquifère.

◆ Forage 1168ZZ0054 – Basse Pointe – Rivière Falaise

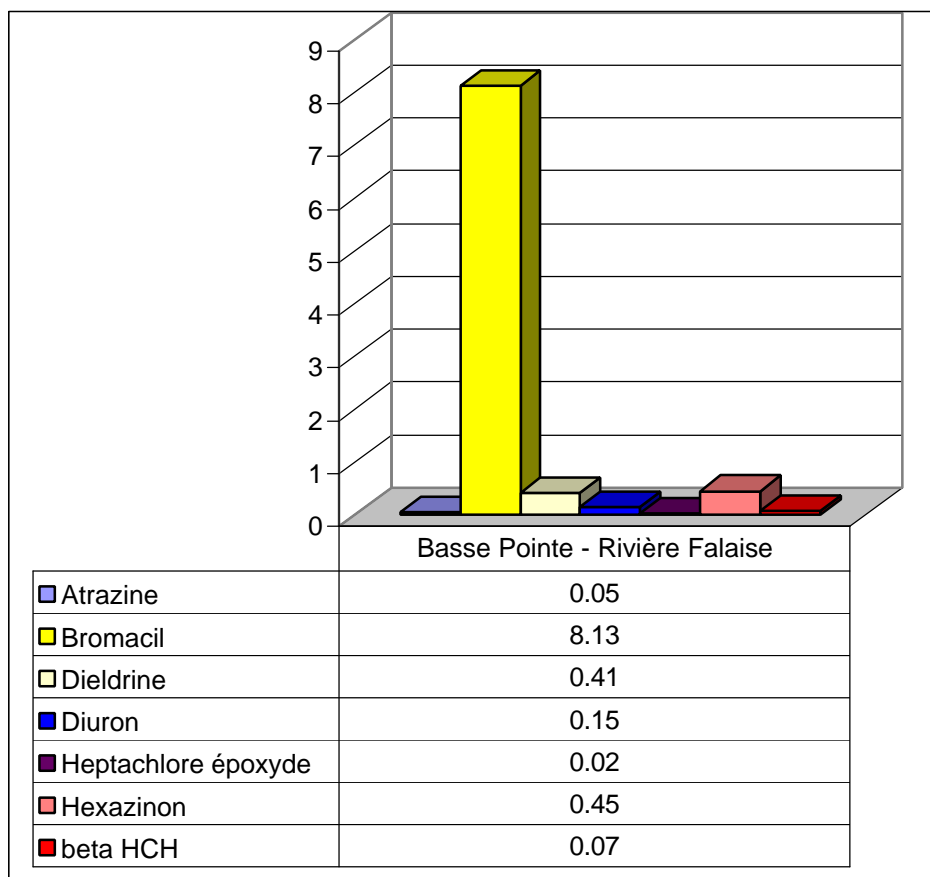


Figure 25 : Produits phytopharmaceutiques détectés à Basse Pointe – Piézomètre à proximité de la Rivière Falaise, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$

La somme des produits phytopharmaceutiques pour ce site est de $9.28 \mu\text{g.l}^{-1}$, soit presque 19 fois la norme ($0.5 \mu\text{g.l}^{-1}$).

Ce forage est marqué par une très importante concentration en bromacil, produit utilisé dans les champs d'ananas et interdit depuis 2003.

La dieldrine est aussi retrouvée dans ce forage avec une concentration importante, d'autant plus que ce produit est officiellement interdit d'usage depuis 1972. On retrouve ainsi dans les eaux souterraines un produit toxique interdit depuis 32 ans.

L'hypothèse la plus probable pour expliquer la présence de ces deux produits interdits avec une telle concentration est une pollution dite ponctuelle. Ces produits sont soit encore utilisés, soit stockés à proximité du piézomètre et s'infiltrent lentement dans la nappe souterraine.

L'hexazinon, herbicide utilisé dans les champs de canne et d'ananas, est également retrouvé avec une concentration non négligeable de 0.45 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Ce produit bénéficie d'une dérogation d'usage jusqu'en 2007.

Le diuron, herbicide utilisé dans les champs de bananes, cannes à sucre et ananas est retrouvé avec une concentration relativement faible (0.15 $\mu\text{g.l}^{-1}$) par rapport aux autres produits phytopharmaceutiques retrouvés dans ce piézomètre, mais cette concentration reste 3 fois supérieure à la norme.

Il serait nécessaire de mettre en place et d'appliquer des restrictions d'usage pour ces produits, afin de limiter la contamination des nappes souterraines.

◆ **Forage 1169ZZ0006 – Marigot – Anse Charpentier**

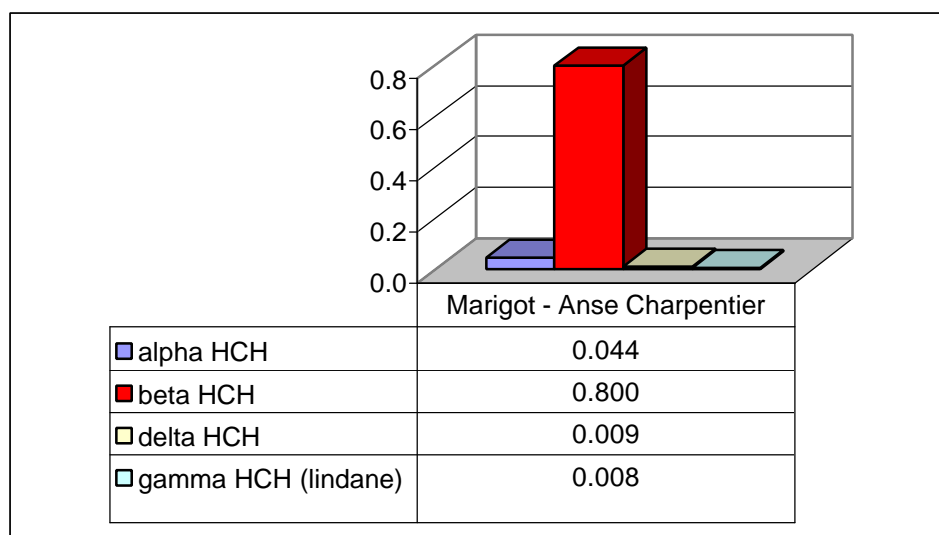


Figure 26 : Produits phytopharmaceutiques détectés dans le forage de Marigot – Anse Charpentier, concentration en $\mu\text{g.l}^{-1}$

La somme des produits phytopharmaceutiques pour ce site est de 0.861 $\mu\text{g.l}^{-1}$, soit presque 2 fois la norme (0.5 $\mu\text{g.l}^{-1}$).

Ce forage est marqué par la présence des isomères de l'hexachlorocyclohexane (HCH) avec une concentration supérieure à la norme pour le β -HCH.

Il est à noter que ce secteur est situé en zone rouge de la cartographie statistique du risque de pollution des sols par le β -HCH (> à 0.1 mg/kg de β -HCH). Les sols en amont de ce forage sont donc très certainement pollués, et le β -HCH a ensuite probablement contaminé la nappe souterraine sous-jacente.

Ces isomères étaient utilisés pour lutter contre le charançon du bananier. Ces produits étant interdits, on peut s'attendre à une diminution régulière de leur concentration au cours des années à venir.

4. Etat de référence

4.1. FACIÈS 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).

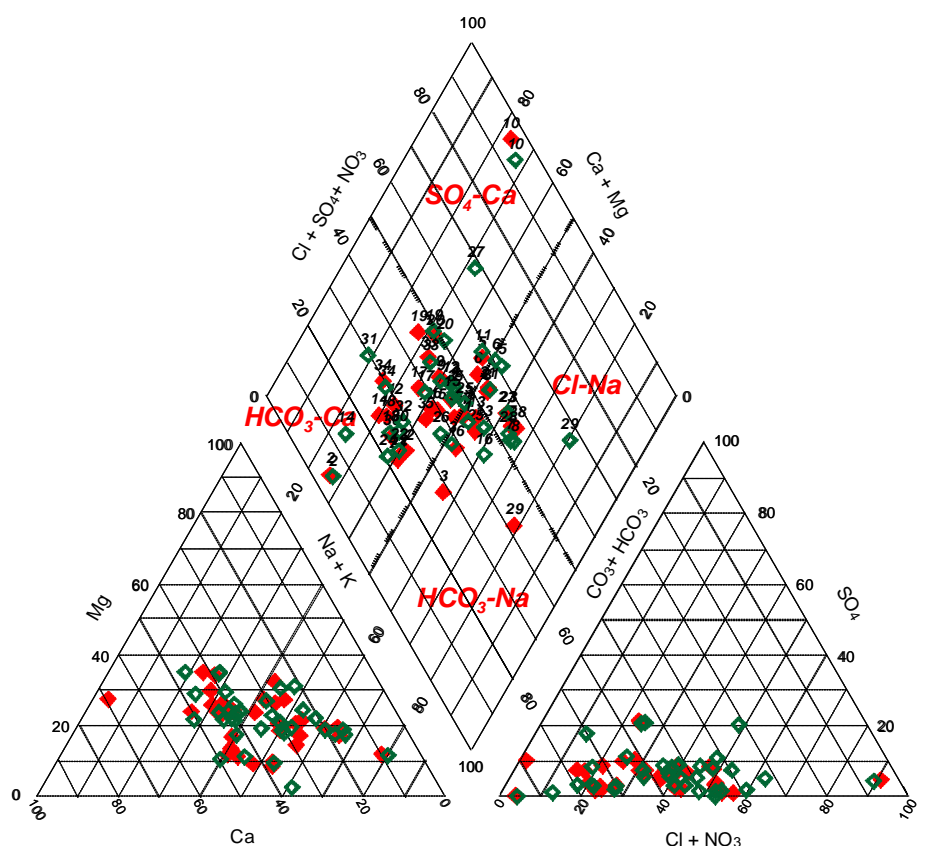


Figure 27 : diagramme de Piper

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'ÉTAT DE RÉFÉRENCE DES POINTS D'EAU PRELEVÉS

Les 4 cartes « état de référence, saison sèche et saison des pluies, physico-chimie et produits phytopharmaceutiques » synthétisent les analyses des campagnes de hautes eaux et basse eaux. Elle permet 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.

En bleu sont représentés les points de bonne qualité, les concentrations des différents éléments mesurés sont inférieures aux limites des eaux distribuées ou des eaux brutes.

En vert sont représentés les points dont les concentrations en fer et manganèse sont supérieures aux normes pour une eau destinée à la consommation humaine. Ces éléments devront donc 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.

En jaune sont représentés 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 orange sont représentés les points dont les concentrations sont telles que les eaux sont inaptes pour l'alimentation en eau potable.

En rouge sont représentés 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.

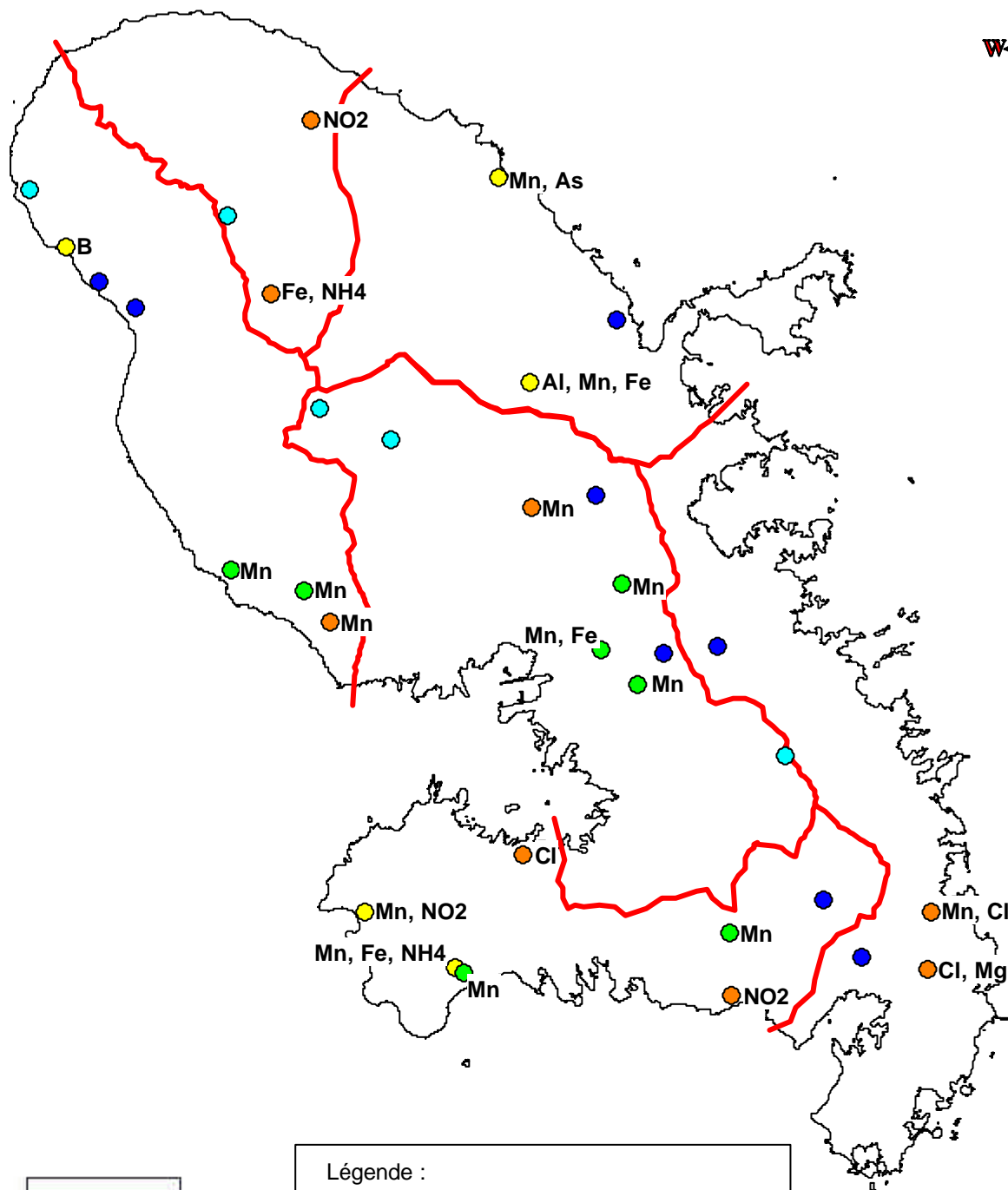
Ces cartes dressent ainsi un état de référence de la qualité des eaux souterraines de Martinique.

On peut distinguer les éléments limitant naturels comme le fer et le manganèse qui correspondent au fond géochimique de Martinique. Le chlorure, magnésium, aluminium et arsenic sont retrouvés chacun une à deux fois, avec des valeurs juste supérieures aux normes, et 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...

Carte n°3 : suivi qualité des eaux souterraines de Martinique - Etat de référence - saison sèche 2004 analyses physico-chimiques



Légende :

— Limite des masses d'eau souterraine

Critères de qualité pour l'AEP

- Bonne qualité < norme eau distribuée (5)
- Bonne qualité < norme eau brute (8)
- > norme pour Mn et Fe (7)
- > norme (5)
- Eau inapte pour l'AEP (8)



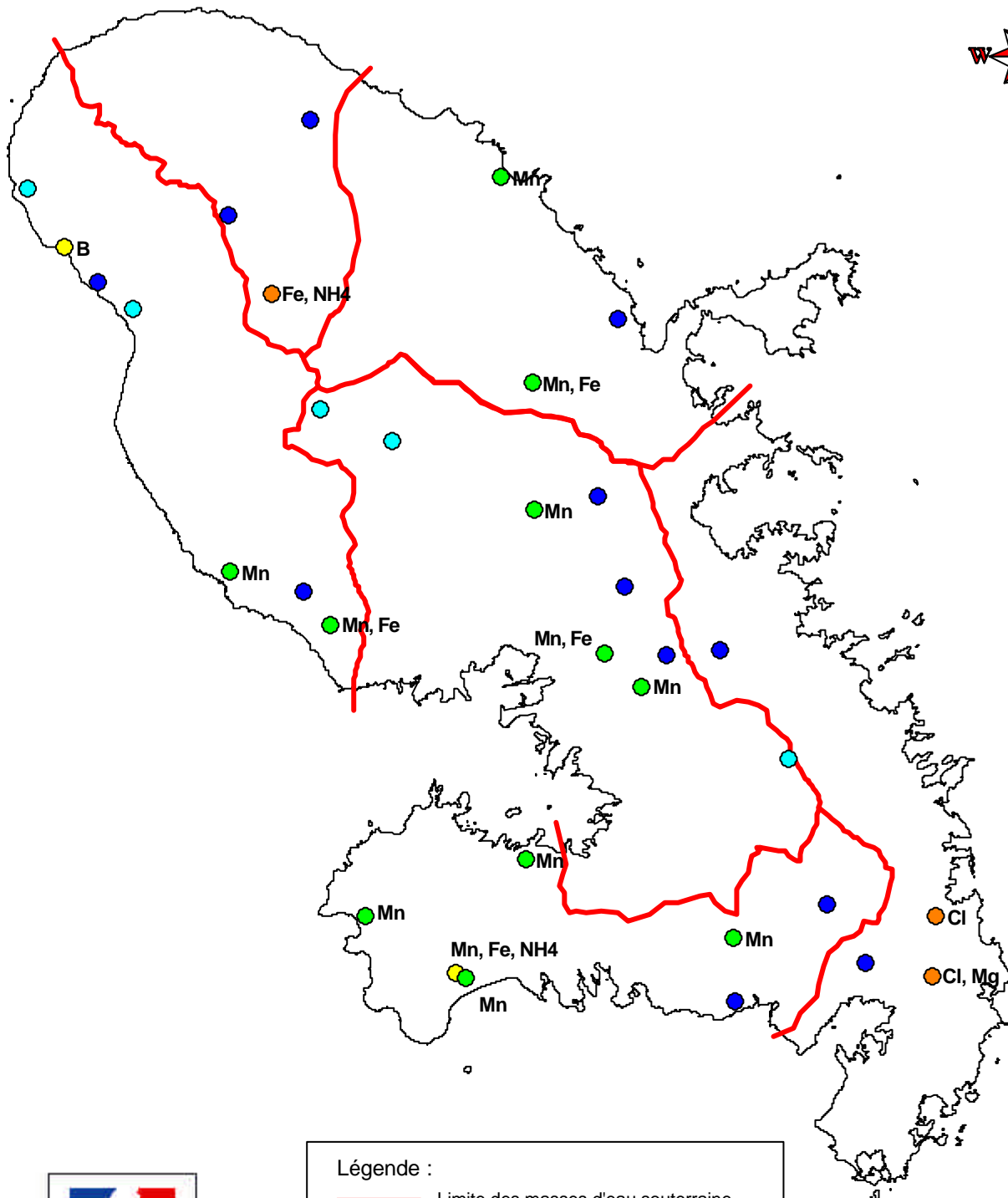
Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE



Sciences pour une Terre durable

brgm

Carte n°4 : suivi qualité des eaux souterraines de Martinique - Etat de référence - saison des pluies 2004 analyses physico-chimiques



Légende :

— Limite des masses d'eau souterraine

Critères de qualité pour l'AEP

- Bonne qualité < norme eau distribuée (5)
- Bonne qualité < norme eau brute (12)
- > norme pour Mn et Fe (11)
- > norme (2)
- eau inapte pour l'AEP (3)



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE



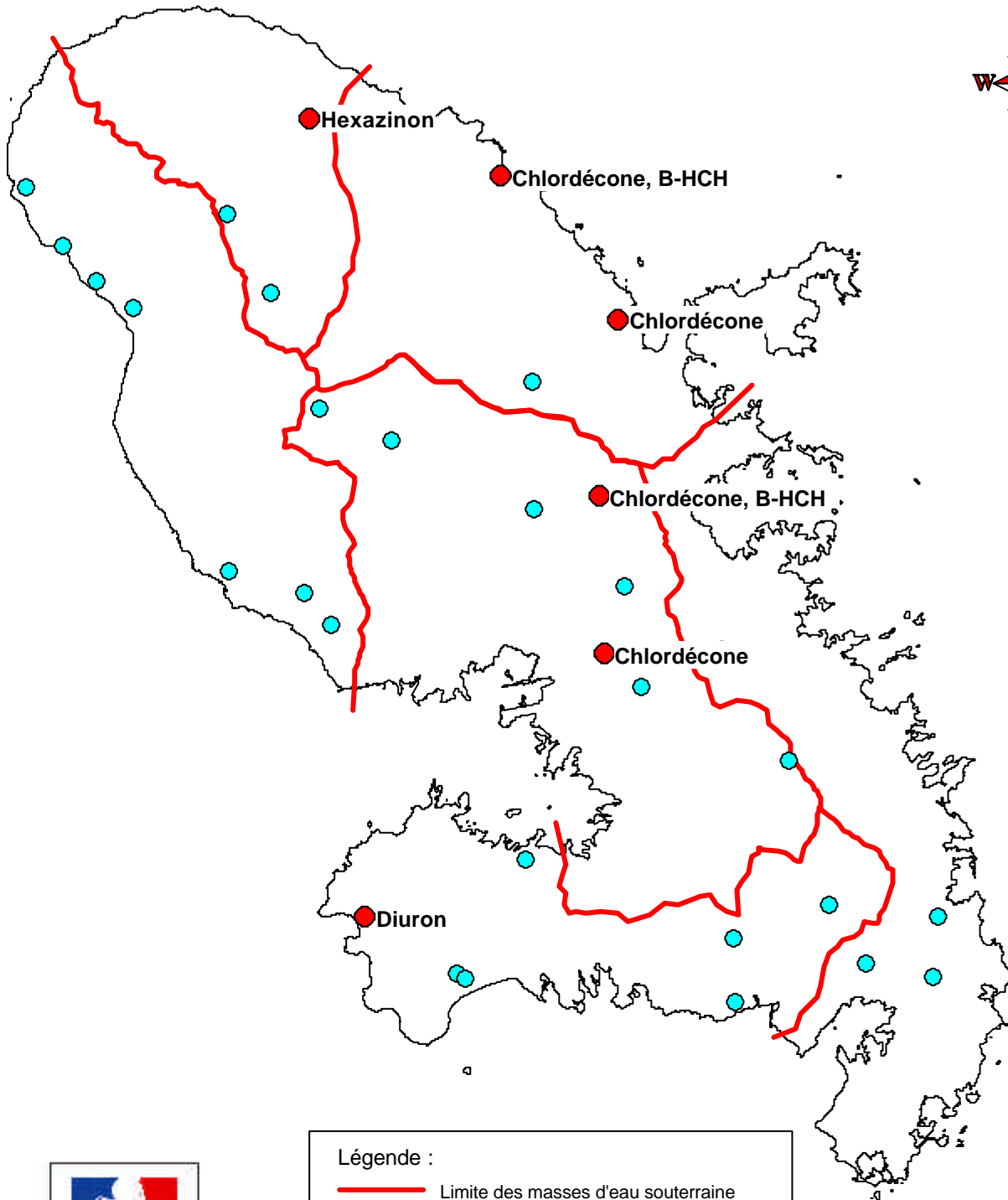
Sciences pour une Terre durable

brgm

Carte n° 5 : suivi qualité des eaux souterraines de Martinique

Etat de référence - saison sèche 2004

analyses des produits phytopharmaceutiques



Légende :

— Limite des masses d'eau souterraine

Analyses de 5 produits phytopharmaceutiques

● aucun produit détecté (27)

● au moins 1 produit détecté (6)



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE



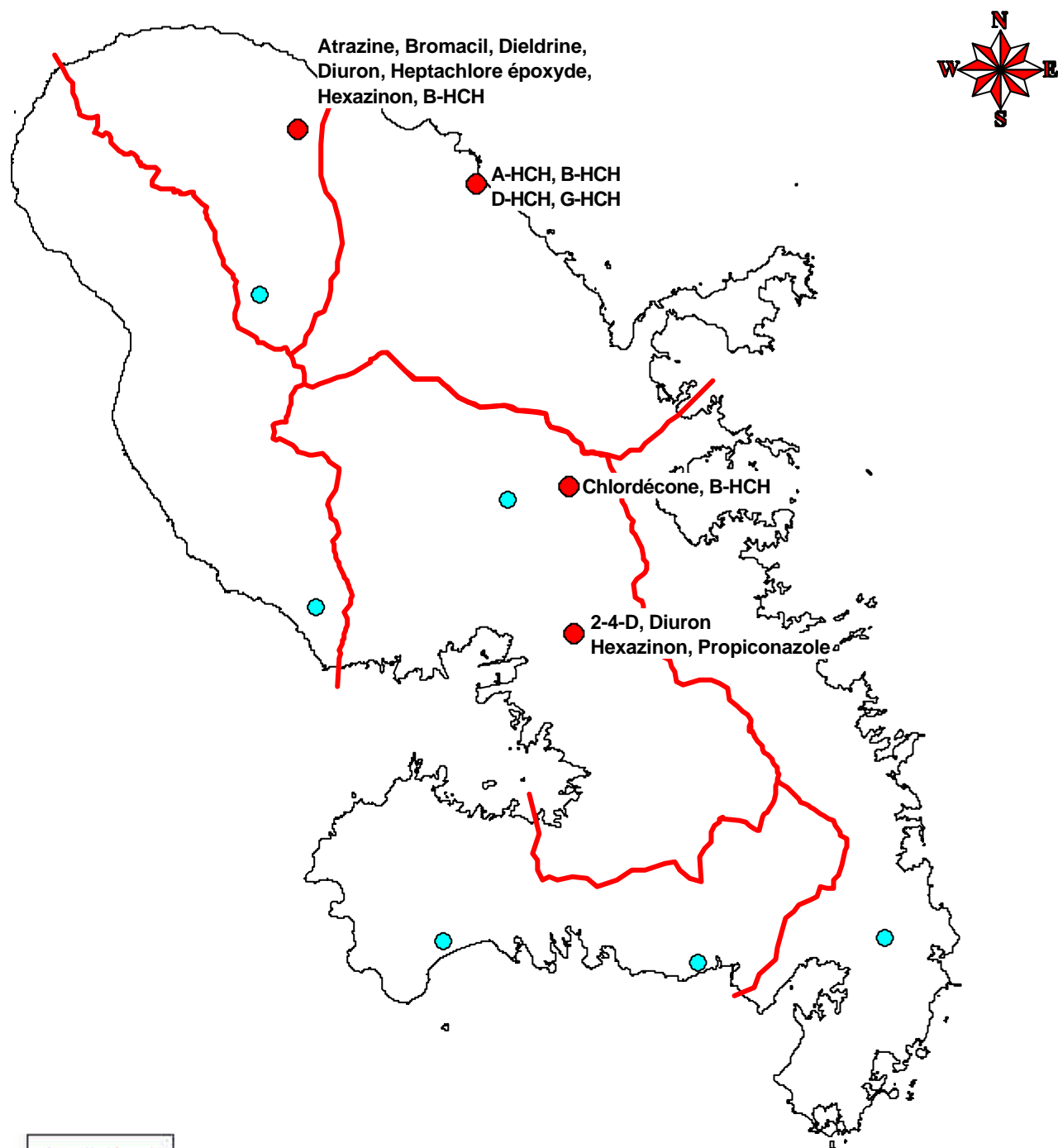
Sciences pour une Terre durable

brgm

Les analyses ont été réalisées sur 33 points
Les produits analysés étaient l'atrazine, le chlordécone,
le B-HCH, l'hexazinon et le diuron

Carte n° 6 : suivi qualité des eaux souterraines de Martinique

Etat de référence - saison des pluies 2004 analyses des produits phytopharmaceutiques



Direction Régionale de l'Environnement
MARTINIQUE

Légende :

— Limite des masses d'eau souterraine

Analyses de 111 produits phytopharmaceutiques

● aucun produit détecté (6)

● au moins un produit détecté (4)



Sciences pour une Terre durable

brgm

Les analyses ont été réalisées sur uniquement 10 points
Les 111 produits analysés sont présentés dans le tableau 3

5. Conclusion

5.1. PHYSICO-CHIMIE

En Martinique, la qualité physico-chimique des eaux souterraines est plutôt bonne : 35 % des sites montrent une bonne qualité physico-chimique, avec des concentrations inférieures aux normes des eau brutes destinées à l'alimentation en eau potable.

Néanmoins le fer et le manganèse sont souvent présents (50% des piézomètres) en quantité importante.

Les chlorures sont aussi présents, sur certains sites (8%), avec des concentrations supérieures aux normes de potabilité, mettant en évidence l'importance de la connaissance et du suivi du biseau salé.

Enfin, certains sites montrent des concentrations importantes en certains éléments (aluminium, magnésium, ammonium, nitrites, bore) correspondant à des pollutions anthropiques et/ou à des spécificités hydrogéologiques et géochimiques localisées.

Le fait de retrouver pour certains éléments des concentrations proches entre les hautes et basses eaux permet de penser que les analyses sont robustes mais surtout que les ressources en eau souterraine n'ont pas varié en dépit des états hydrologiques différents.

La mise en œuvre d'un réseau de suivi périodique 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 pertinent.

La mise en œuvre de deux suivis sur deux périodes hydrologiques contrastées (basses eaux et hautes eaux 2004) a déjà permis de montrer la très faible variation des paramètres chimiques dans les eaux souterraines et de pouvoir envisager l'existence de ressources en eau de taille importante permettant de tamponner les entrants en période de pluie.

Certains points pourraient nécessiter un suivi plus fin, notamment ceux ayant de fortes augmentations de leurs concentrations en certains éléments, et notamment en nitrates (Basse Pointe – Rivière Falaise, 10 fois plus de nitrates en octobre qu'en janvier 2004).

5.2. LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES

111 produits phytopharmaceutiques ont été analysés sur 10 sites.

4 sites se révèlent fortement pollués par ces produits, et notamment par certains dont l'usage est interdit depuis de nombreuses années. D'autres produits, dont l'usage est actuellement autorisé, sont retrouvés en quantité importante.

Il est difficile, uniquement sur deux campagnes, d'évaluer l'impact de la pluviométrie sur la concentration en produits phytopharmaceutiques dans les eaux souterraines, et de dissocier l'évolution, la résorption, ou les variations des concentrations en ces produits. En l'état actuel des connaissances, aucune tendance ne semble se dégager. Ainsi, il est nécessaire de continuer l'acquisition de données régulières afin de connaître l'évolution temporelle de la concentration des produits phytopharmaceutiques détectés.

De nombreuses interrogations subsistent quant au mode de transfert des produits phytopharmaceutiques du sol vers les nappes souterraines (manque de connaissance locale des processus de transferts des polluants vers et au sein des aquifères). De même, le vecteur de transport des produits phytopharmaceutiques n'est pas connu (matière organique, argile, fraction minérale...), et conditionne le mode de transfert à travers la zone non saturée, ainsi que la dépollution éventuelle.

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

Deux campagnes spécifiques aux produits phytopharmaceutiques devraient être mises en place : une pendant la saison sèche (de préférence en fin de saison sèche), et une autre pendant la saison des pluies. Les sites qui devront être prélevés seront a minima ceux où l'on a déjà détecté ces produits. Pour une connaissance patrimoniale il faudrait aussi réaliser ces analyses sur des sites non encore « pollués » pour détecter l'éventuelle apparition d'une pollution des nappes d'eau souterraine.

Il serait aussi nécessaire d'envisager la réalisation de nouveaux points de prélèvements dédiés exclusivement à l'analyse de la qualité des eaux souterraines, dans des zones spécifiques, d'un point de vue stratégique, patrimonial et environnemental.

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., Charguéron C., Négrel Ph. (2004) –. Qualité des eaux souterraines de Martinique : état de référence pour un réseau de surveillance. BRGM/RP52997-FR, 59p., 12 tableaux, 21 figures, 4 annexes.

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.

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.

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

Tableau des résultats des analyses

Annexe 1 : Tableau 1 des résultats des deux campagnes réalisées en 2004 : basses eaux (BE) / saison sèche et hautes eaux (HTE) / saison des pluies

Numéro	date du prélèvement BE	date du prélèvement HTE	n°BSS	type	localisation	mg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l	
						AI		As		B		Ni		Fe		Mn		F	
						BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE
1	6 janvier 2004	25 octobre 2004	1167 ZZ 023	Piézomètre	Saint Pierre - Rivière Blanche	<L D	<L Q	<L D	<L Q	162	164	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	200	300
30	6 avril 2004	25 octobre 2004	1167ZZ0024	Piézomètre	Prêcheur - rivière du pêcheur	<L D	<L Q	<L D	<L Q	45	45	<L D	<L Q	<L D	<L Q	5	<L Q	100	200
35	6 avril 2004	27 octobre 2004	1167ZZ0031	Forage d'exploitation	Saint Pierre - Pécoul	<L D	<L Q	<L D	<L Q	96	35	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	100
23	17 février 2004	25 octobre 2004	1167ZZ0037	Piézomètre	Saint Pierre - Fond Canonville	<L D	<L Q	<L D	<L Q	1550	1560	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	8	200	400
2	6 janvier 2004	22 octobre 2004	1168 ZZ 0037	Piézomètre	Morne rouge - Desgrottes	<L D	<L Q	<L D	<L Q	46	48	<L D	<L Q	13690	13600	304	334	<L D	100
27	29 mars 2004	22 octobre 2004	1168ZZ0054	Piézomètre	Basse Pointe - rivière Falaise	<L D	<L Q	<L D	<L Q	26	22	<L D	<L Q	20	<L Q	66	8	200	<L Q
15	20 janvier 2004	22 octobre 2004	1168ZZ0055	Source	Morne Rouge - Habitation citron	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	17	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q
3	6 janvier 2004	22 octobre 2004	1169 ZZ 0006	Piézomètre	Marigot - Anse charpentier	<L D	<L Q	30	<L Q	440	270	<L D	<L Q	100	70	99	167	<L D	<L Q
14	13 janvier 2004	22 octobre 2004	1173ZZ0072	Piézomètre	FdF - La Medaille	<L D	<L Q	<L D	<L Q	24	16	<L D	<L Q	9910	14100	2849	3634	<L D	<L Q
18	20 janvier 2004	22 octobre 2004	1173ZZ0076	Source	Fond Saint Denis - Source de l'Alma	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	16	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q
12	15 janvier 2004	20 octobre 2004	1174ZZ0087	Piézomètre	Saint Joseph - La charmille	<L D	0.14	<L D	<L Q	28	22	<L D	<L Q	20	<L Q	1379	175	<L D	<L Q
24	6 février 2004	22 octobre 2004	1174ZZ0088	Piézomètre	Gros Morne - La Borelli	0.266	<L Q	<L D	<L Q	21	23	<L D	<L Q	350	540	96	993	<L D	<L Q
32	6 avril 2004	25 novembre 2004	1174ZZ0089	Source	Saint Joseph - Coeur Bouliki	<L D	<L Q	<L D	<L Q	21	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q
19	21 janvier 2004	25 novembre 2004	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	Gros Morne - Vert Pré	<L D	<L Q	<L D	<L Q	27	25	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q
17	21 janvier 2004	27 octobre 2004	1175ZZ0153	Source	Trinité - Morne Figue	<L D	<L Q	<L D	<L Q	27	26	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	100	<L Q
4	7 janvier 2004	25 octobre 2004	1177 ZZ 0161	Piézomètre	Schoelcher - Fond Lahaye	<L D	<L Q	<L D	<L Q	82	129	<L D	<L Q	60	<L Q	159	7	<L D	<L Q
5	13 janvier 2004	25 octobre 2004	1177 ZZ 0165	Piézomètre	Schoelcher - Case Navire	<L D	<L Q	<L D	<L Q	75	88	<L D	<L Q	330	2040	1399	1210	<L D	<L Q
26	29 mars 2004	25 octobre 2004	1177ZZ0173	Piézomètre	Case Pilote - Maniba	<L D	<L Q	<L D	<L Q	73	111	<L D	<L Q	20	120	404	359	200	200
21	6 février 2004	20 octobre 2004	1179ZZ0070	Piézomètre	Lamentin - Habitation ressource	<L D	<L Q	<L D	<L Q	68	68	<L D	<L Q	280	900	204	203	<L D	<L Q
22	4 février 2004	25 novembre 2004	1179ZZ0157	Piézomètre	Ducos - Bois Rouge	<L D	0.1	<L D	<L Q	54	48	<L D	<L Q	100	170	88	78	<L D	<L Q
16	23 janvier 2004	20 octobre 2004	1179ZZ0158	Piézomètre	Lamentin - Sarrault	<L D	<L Q	<L D	<L Q	44	64	<L D	<L Q	20	<L Q	51	13	100	<L Q
33	5 avril 2004	25 novembre 2004	1179ZZ0228	Forage d'exploitation	François - La Victoire	<L D	<L Q	<L D	<L Q	71	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	47	900	100
34	5 avril 2004	25 novembre 2004	1179ZZ0282	Source	Lamentin - Morne Pitault La Frédée	<L D	<L Q	<L D	<L Q	52	33	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	8	<L D	<L Q
25	25 mars 2004	26 octobre 2004	1181ZZ0131	Piézomètre	Anses d'Arlet - Grande Anse	<L D	<L Q	<L D	<L Q	72	90	<L D	<L Q	40	<L Q	957	680	100	<L Q
28	25 mars 2004	19 octobre 2004	1181ZZ0132	Piézomètre	Trois Ilets - Vatable 3	<L D	<L Q	13	<L Q	305	209	<L D	<L Q	<L D	180	242	253	<L D	100
6	9 janvier 2004	19 octobre 2004	1183 ZZ 0026	Piézomètre	Vauclin - Puyferrat	<L D	<L Q	<L D	<L Q	208	150	6	<L Q	2950	200	1264	242	400	400
11	30 janvier 2004	26 octobre 2004	1183ZZ0052	Forage d'exploitation	Rivière Pilote - Fougainville	<L D	<L Q	<L D	<L Q	69	44	<L D	<L Q	<L D	20	13	24	200	100
20	20 janvier 2004	26 octobre 2004	1183ZZ0053	Source	Saint Esprit - Source Caraïbe	<L D	<L Q	<L D	<L Q	29	28	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q
7	8 janvier 2004	26 octobre 2004	1184ZZ0001	Piézomètre	Diamant - habitation Dizac	<L D	<L Q	<L D	<L Q	125	129	6	<L Q	580	2790	438	476	<L D	<L Q
8	8 janvier 2004	26 octobre 2004	1184ZZ0016	Piézomètre	Diamant - habitation Dizac	<L D	<L Q	<L D	<L Q	95	140	<L D	<L Q	160	90	66	59	<L D	100
29	25 mars 2004	26 octobre 2004	1185ZZ0120	Piézomètre	Ste Luce - stade communal	<L D	<L Q	<L D	<L Q	74	83	<L D	<L Q	130	<L Q	44	<L Q	200	300
13	20 janvier 2004	26 octobre 2004	1185ZZ0121	Source	Sainte Luce - Source du Riz	<L D	<L Q	<L D	<L Q	41	42	<L D	<L Q	20	40	144	149	100	100
9	11 janvier 2004	26 octobre 2004	1186 ZZ 0118	Piézomètre	Marin - Grand Fond	<L D	<L Q	<L D	<L Q	68	72	<L D	<L Q	<L D	<L Q	<L D	<L Q	300	300
10	8 janvier 2004	19 octobre 2004	1186 ZZ 0119	Piézomètre	Marin - Cap Macré	<L D	<L Q	<L D	<L Q	161	147	<L D	<L Q	20	380	84	887	<L D	100
Blanc - max eau distribuée						0.05		5		50		10		50		20		>700 et <1500	
bleu - max eau brute						0.2		10		1000		20		200		50		<500	
jaune - max pour traitement physico chimique								100		1000		40		10000		1000		>1500 et <10000	
rouge - eau inapte à la production d'eau potable																		>10000	

Annexe 1 : Tableau 2 des résultats des deux campagnes réalisées en 2004 : basses eaux (BE) / saison sèche et hautes eaux (HTE) / saison des pluies

unité de mesure :		µS/cm		pH		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l	
Numéro	localisation	Cond		pH		Ca		Cl		Na		K		Mg		SO4		SiO2	
		BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE	BE	HTE
1	Saint Pierre - Rivière Blanche	271	256	7.25	7.30	14.8	13.7	18.5	18.2	26.8	27.2	3.6	3.9	5.9	5.8	25.3	24.0	92.4	94.0
30	Prêcheur - rivière du pêcheur	201	203	8.15	7.20	14.9	15.4	10.4	10.7	13.4	14.2	3.5	3.8	5.5	5.5	7	7.9	72.9	74.9
35	Saint Pierre - Pécol	235	147	7.55	7.30	13	9.5	16.8	11.5	18.7	12.2	2.9	2.8	7.1	3.1	11	13.6	83.4	75.1
23	Saint Pierre - Fond Canonville	900	890	7.4	7.10	33.5	34	140	142	111	112	10.6	10.6	19.6	19.2	34.6	32.7	116	116
2	Morne rouge - Desgrottes	614	608	6.6	6.60	47	46.1	8.8	10.0	34	35.8	3.4	3.6	24.8	25.9	< LQ	< LQ	116	117
27	Basse Pointe - rivière Falaise	285	290	8.15	6.90	15.6	22.5	19	18.9	25.6	16.7	5.3	4.4	5.6	7.4	27.3	25.9	32.9	87.8
15	Morne Rouge - Habitation citron	112	112	7.45	9.00	9.3	9.0	8.9	8.7	9.4	9.7	1.5	1.7	1.4	1.4	3.7	3.4	52.6	52.3
3	Marigot - Anse charpentier	433	394	7.8	7.90	23.4	23.4	38.8	42.1	50.4	44.0	2.5	2.3	7	8.3	4.5	9.8	30.8	44.2
14	FdF - La Medaille	194	189	7.1	7.15	15.2	16.0	15.1	8.4	10.6	8.5	2	1.7	5.4	6.0	1.5	1.1	27.8	31.5
18	Fond Saint Denis - Source de l'Alma	110	104	7.45	7.40	9.4	8.1	8.7	7.5	7.4	7.5	0.7	0.7	3.1	2.9	1.5	1.4	33.4	33.4
12	Saint Joseph - La charmille	255	155	7.5	7.25	20.5	8.7	16.3	15.4	17.4	13.4	1.4	1.1	7.7	4.7	10.6	5.6	35.1	35.7
24	Gros Morne - La Borelli	170	202	7.45	7.15	15.1	15.7	6	12.2	12.5	14.5	4.9	3.6	2.7	5.0	4.4	3.2	22.7	43.5
32	Saint Joseph - Coeur Bouliki	123	124	7.6	6.60	5.3	9.6	6.9	11.3	6.7	9.1	1	1.1	2.2	3.1	0.8	1.2	37.1	43.6
19	Gros Morne - Vert Pré	325	306	7.4	6.65	25.6	21.6	35.9	37.8	18.7	19.4	0.8	0.7	10.9	9.9	3.2	1.9	59.8	52.4
17	Trinité - Morne Figue	301	304	7.45	7.20	23	22.2	29.3	29.9	22.6	24.2	1.7	1.8	8.4	8.5	10	10.5	64.5	67.1
4	Schoelcher - Fond Lahaye	651	955	7.4	7.20	34.5	47.1	90.7	146	58.9	90.8	7.2	7.9	19.5	34.7	6.9	13.9	56.8	96.2
5	Schoelcher - Case Navire	904	876	7.4	7.30	42.2	36.8	172.5	179	86.2	96.4	3.7	3.6	27.1	24.0	3.5	7.6	71.5	75.4
26	Case Pilote - Maniba	685	728	7.15	7.20	34.2	31.8	67.7	66.1	61	78.6	5.8	4.3	26.2	28.1	33.6	39.9	96.5	99.1
21	Lamentin - Habitation ressource	600	548	7.4	7.45	39.9	36.9	99.8	96.7	62.3	58.4	3.8	3.9	6.3	5.7	10.2	4.0	50.2	41.3
22	Ducos - Bois Rouge	460	464	7.65	7.40	42.2	45.0	32.7	34.5	40.4	39.8	1.9	2.1	6.3	5.7	8.6	7.6	53.1	53.6
16	Lamentin - Sarrault	337	451	7.5	7.55	24	31.4	35.4	54.2	32.2	59.7	10.7	1.4	3.2	1.3	9.1	18.0	27.2	39.6
33	François - La Victoire	614	614	7.35	7.25	48.9	50.1	78.2	78.3	43.4	45.5	0.8	0.9	15.9	15.1	19	16.2	65.9	65.2
34	Lamentin - Morne Pitault La Frédée	394	387	7.35	7.20	35.9	37.6	35.4	34.5	20.6	22.6	1.2	1.3	10.4	9.7	5.8	5.3	75.6	75.3
25	Anses d'Arlet - Grande Anse	745	877	7.3	7.35	38.3	51.7	106.8	130	89.3	95.3	2.2	2.4	14.8	21.7	21.6	21.8	58.8	71.1
28	Trois llets - Vatable 3	1695	1340	7.8	7.75	54.9	49.9	287.2	217	235	197	6.6	3.3	33.1	28.7	61.7	56.4	35.2	44.5
6	Vauclin - Puyferrat	2030	1975	7.6	7.55	147	122	378	365	187	225	8.4	6.4	19.1	44.5	23.7	68.8	43.4	41.4
11	Rivière Pilote - Fougainville	496	413	7.95	7.45	29.2	23.5	59.2	52.8	51.7	38.0	2.7	3.2	11.9	10.5	13.8	20.1	60.3	65.7
20	Saint Esprit - Source Caraïbe	353	324	7.45	7.45	27.2	22.7	43.9	37.7	23.8	23.0	1.2	1.3	10.5	9.3	10.6	7.6	64.9	62.7
7	Diamant - habitation Dizac	780	809	7.6	7.50	23.6	23.7	140.2	144	100	110	6.4	6.5	16.8	17.4	3.4	< LQ	74.1	75.4
8	Diamant - habitation Dizac	667	808	7.4	7.70	27.2	24.2	108	143	63	114	<L D	5.6	13	16.2	9.3	5.7	122	95.6
29	Ste Luce - stade communal	465	708	7.9	7.90	12.5	10.9	59.2	137	114	117	6.4	5.0	9.4	9.2	11.1	15.9	93.6	93.6
13	Sainte Luce - Source du Riz	200	193	7.55	7.30	9	7.3	25.1	24.6	21.8	22.0	1.7	1.8	4.8	4.7	7.7	7.8	49.5	51.5
9	Marin - Grand Fond	1340	1343	7.45	7.40	116	115	196	196	116	121	5.5	5.9	27	28.6	19.8	20.2	49.3	51.4
10	Marin - Cap Macré	11730	10300	7.2	7.20	967	809	3640	3375	611	656	7	7.1	492	448	255	219	66.7	76.2
	Blanc - max eau distribuée			6.5 à 8.5		>32, <160		25		20		10		30		25			
	bleu - max eau brute			8.5 à 9				250		200		12		50		250			
	jaune - max pour traitement physico chimique					<32, >160						70		400					
	rouge - eau inapte à la production d'eau potable							>250								>250			

Annexe 2

Fiches e-phy pour différentes cultures

Les fiches suivantes sont extraites (le 18 mars 2005) du catalogue officiel des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France disponible sur Internet à l'adresse suivante :

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr>

BANANIER**DESHERBAGE**

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
FUEGO	SOPRA	Sulfosate 320 G/L	3,000	L/HA
FUSILADE M	SOPRA	Fluazifop-p-butyl 125 G/L	2,000	L/HA
FUSILADE MAX	SYNGENTA AGRO S.A.S	Fluazifop-p-butyl 125 G/L		
FUSILADE X2	SYNGENTA AGRO S.A.S	Fluazifop-p-butyl 250 G/L		VOIR PARTICULARITES D'EMPLOI
KARMEK	DU PONT DE NEMOURS (FRANCE) S.A.S.	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
OURAGAN	SYNGENTA AGRO S.A.S	Sulfosate 480 G/L	2,000	L/HA
R BIX	SYNGENTA AGRO S.A.S	Paraquat 100 G/L	8,000	L/HA
REGLONE 2	SYNGENTA AGRO S.A.S	Diquat 200 G/L	4,000	L/HA
REGULAR+	PHYTO SERVICE	Diquat 200 G/L	4,000	L/HA
SULFORCE	SOPRA	Sulfosate 240 G/L	4,000	L/HA
SURFLAN	DOW AGROSCIENCES S.A.S	Oryzalin 480 G/L	2,000	L/HA
TEMPRA 80 PM	CALLIOPE S.A.	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
TOUCHDOWN 480	SOPRA	Sulfosate 480 G/L	2,000	L/HA
TOUCHDOWN PLUS	SOPRA	Sulfosate 240 G/L	4,000	L/HA
TOUCHDOWN SYSTEME 4	SYNGENTA AGRO S.A.S	N-phosphonomethylglycine 360 G/L		VOIR ETIQUETAGE FABRICANT
TRADURON FLO 80	TRADI AGRICULTURE	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA

TRAIT. DES PLANTS * NEMATODES

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
NEMACUR 5	MAKHTESHIM AGAN FRANCE	Phenamiphos 5 %	60,000	G/PIED

TRAIT. DU SOL * CHARANCON

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
NEMATHORIN	ISK BIOSCIENCES EUROPE S.A.	Fosthiazate 10 %	20,000	G/PIED
NEMATHORIN 10 G	ISK EUROPE HEADQUARTERS - BIOSCIENCES DIV.	Fosthiazate 10 %	20,000	G/PLANT
RUGBY 10 G	FMC CHEMICAL, SPRL	Cadusafofos 10 %	30,000	G/PIED

TRAIT. DU SOL * NEMATODES

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
DORLONE 2000	DOW AGROSCIENCES S.A.S	1,3-dichloropropène 1179 G/L	475,000	L/HA
MOCAP 10 G RP	AVENTIS CROPS SCIENCE FRANCE	Ethoprophos 10 %	45,000	G/PIED
NEMATHORIN	ISK BIOSCIENCES EUROPE S.A.	Fosthiazate 10 %	20,000	G/PIED
NEMATHORIN 10 G	ISK EUROPE HEADQUARTERS - BIOSCIENCES DIV.	Fosthiazate 10 %	20,000	G/PLANT
RUGBY 10 G	FMC CHEMICAL, SPRL	Cadusafofos 10 %	30,000	G/PIED
TELONE 2000	DOW AGROSCIENCES S.A.S	1,3-dichloropropène 1179 G/L	475,000	L/HA
VYDATE L	DU PONT DE NEMOURS (FRANCE) S.A.S.	Oxamyl 240 G/L	0,008	L/PIED

BANANIER**TRAIT. PARTIES AERIENNES * CERCOSPORIOSE**

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
ANVIL MS	SOPRA	Hexaconazole 250 G/L	0,500	L/HA
NUSTAR 40 EC	DU PONT DE NEMOURS (FRANCE) S.A.S.	Flusilazole 400 G/L	0,250	L/HA
PUNCH B 40 EC	DU PONT DE NEMOURS (FRANCE) S.A.S.	Flusilazole 400 G/L	0,250	L/HA
SICO	NOVARTIS AGRO SA	Difénoconazole 250 G/L	0,400	L/HA
SPRAYBAN 3	CEREXAGRI	Huile de petrole 830 G/L	15,000	L/HA
SPRAYTEX CT	ANTILLAISE DES PETROLES TEXACO	Huile minerale paraffinique 100 %	15,000	L/HA
SPRAYTEX M	ANTILLAISE DES PETROLES TEXACO	Huile minerale paraffinique 100 %	15,000	L/HA
TILT 250	SYNGENTA AGRO S.A.S	Propiconazole 250 G/L	0,400	L/HA
VECTRA BN	AVENTIS CROPS SCIENCE FRANCE	Bromuconazole 200 G/L	0,625	L/HA

TRAIT. PRODUITS RECOLTES * MALADIES D'ENTREPOSAGE

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
BAYCOR 300 B	BAYER S.A.	Bitertanol 300 G/L	0,070	L/HL
FUNGAFLOR 75 C	JANSSSEN-CILAG	Imazalil 75 %	0,050	KG/HL
MERTECT-20-S	SYNGENTA AGRO S.A.S	Thiabendazole 220 G/L	0,200	L/HL
TECTO 20 S	SYNGENTA AGRO S.A.S	Thiabendazole 220 G/L	0,200	L/HL

CANNE A SUCRE

DESHERBAGE

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
AGROTECH-ASULAME 400	AGROTECH	Asulame (sel de sodium) 400 G/L	9,000	L/HA
AMINUGEC CONCENTRE	SIPCAM PHYTEUROP	2,4-d (sel d'amine) 720 G/L	2,000	L/HA
ARIONEX	CMPA	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
ASUL-IT	INTER-TRADE AGRO APS	Asulame (sel de sodium) 400 G/L	9,000	L/HA
ASULOX	PHILAGRO	Asulame (sel de sodium) 400 G/L	9,000	L/HA
CALLIHERBE	CALLIOPE S.A.	2,4-d (sel de diméthylamine) 720 G/L	2,000	L/HA
CALLISTO	SYNGENTA AGRO S.A.S	Mesotrione 100 G/L	1,500	L/HA
CERTROL DS	NUFARM S.A	2,4-d (ester isooclylique) 600 G/L+loxynil (ester octanoïque) 100 G/L	1,500	L/HA
CHARDOL 600 CANNE	NUFARM S.A	2,4-d (sel d'amine) 600 G/L	2,400	L/HA
DARVOR	STEFES FRANCE	2,4-d (sel d'amine) 720 G/L	2,100	L/HA
DESORMONE LIQUIDE CONCENTRE	CFPI NUFARM	2,4-d (sel de diméthylamine) 720 G/L	2,000	L/HA
DICO PUR C L	NUFARM GMBH & CO KG	2,4-d (sel de diméthylamine) 867 G/L	2,000	L/HA
ERRANCA D 720	SOCIETE PARISIENNE DE PRODUITS CHIMIQUES	2,4-d (sel d'amine) 720 G/L	2,000	L/HA
HERBASUL	HERMOO BELGIUM N.V.	Asulame (sel de sodium) 438 G/L	9,000	L/HA
HEXAPODE+	PHYTO SERVICE	Hexazinone 90 %	1,000	KG/HA
JSB D720	JOHN ET STEPHEN B.	2,4-d (sel d'amine) 720 G/L	2,000	L/HA
KARMEX	DU PONT DE NEMOURS (FRANCE) S.A.S.	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
KARMEX FLO	SCEP BOTANICA	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA
LAVERBE	EUROFYTO	Hexazinone 90 %	1,000	KG/HA
LIRON FLO	SCEP BOTANICA	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA
LUMEN+	PHYTO SERVICE	Asulame (sel de sodium) 400 G/L	9,000	L/HA
MERCANTOR GOLD	SYNGENTA AGRO S.A.S	S-metolachlore 960 G/L	2,000	L/HA
MEXTROL DS	NUFARM S.A	2,4-d (ester isooclylique) 600 G/L+loxynil (ester octanoïque) 100 G/L	1,500	L/HA
NOVEX FLO 80	BOTANICA	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA
ORMONEB 720	CMPA	2,4-d (sel de diméthylamine) 720 G/L	2,000	L/HA
ROCHES	PHYTHERON 2000	Hexazinone 90 %	1,000	KG/HA
RUMEXOR	PHILAGRO	Asulame (sel de sodium) 400 G/L	9,000	L/HA
TEMPRA 80 PM	CALLIOPE S.A.	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
TERVEL	SARL POUR LA TERRE	Hexazinone 90 %	1,000	KG/HA
TRADURON FLO 80	TRADI AGRIC	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA
USTINEX D	BAYER FRANCE PHYTOCHIM	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
VELLUZ	TOP S.A.	Hexazinone 90 %	1,000	KG/HA
VELPAR S	DU PONT DE NEMOURS (FRANCE) S.A.S.	Hexazinone 90 %	1,000	KG/HA
VELTAGE	SARL STIGLIANI & FILS	Hexazinone 90 %	1,000	KG/HA
WEEDAR 600	CFPI AGRO	2,4-d (sel d'amine) 600 G/L	2,400	L/HA
WEEDONE L.V.4	CFPI AGRO	2,4-d (ester de butyl glycol) 480 G/L	3,000	L/HA
WEEDONE L.V.6	CFPI AGRO	2,4-d (ester de butyl glycol) 720 G/L	2,000	L/HA

SUBSTANCES DE CROISSANCE * AMELIORATION DU PROCESSUS DE MATURATION

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
FUSILADE M	SOPRA	Fluazifop-p-butyl 125 G/L	0,300	L/HA

TRAITEMENT DU SOL * NEMATODES

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
DORLONE 2000	DOW AGROSCIENCES S.A.S	1,3-dichloropropène 1179 G/L	475,000	L/HA
TELONE 2000	DOW AGROSCIENCES S.A.S	1,3-dichloropropène 1179 G/L	475,000	L/HA

ANANAS

DESHERBAGE

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
ARIONEX	CMPA	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
FUSILADE M	SOPRA	Fluazifop-p-butyl 125 G/L	2,000	L/HA
KARMEX	DU PONT DE NEMOURS (FRANCE) S.A.S.	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
LIRON FLO	SCEP BOTANICA	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA
NOVEX FLO 80	BOTANICA	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA
TEMPRA 80 PM	CALLIOPE S.A.	Diuron 80 %	2,250	KG/HA
TRADURON FLO 80	TRADI AGRI	Diuron 800 G/L	2,250	L/HA

SUBSTANCE DE CROISSANCE * ACTION SUR LE PROCESSUS DE FLORAISON

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
ETHREL CONCENTRE SPECIAL ANANAS	BAYER CROPSCIENCE FRANCE	Ethéphon 480 G/L		VOIR ETIQUETAGE FABRICANT

SUBSTANCE DE CROISSANCE * REGULATION DE LA MATURATION DES FRUITS

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
ETHREL CONCENTRE SPECIAL ANANAS	BAYER CROPSCIENCE FRANCE	Ethéphon 480 G/L		VOIR ETIQUETAGE FABRICANT

TRAIT. DES PLANTS : PHYTOPHTORA

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
ALLETTE	AVENTIS CROPSCIENCE FRANCE	Phosétyl-aluminium 80 %	0,250	KG/HL
ALLETTE EV	AVENTIS CROPSCIENCE FRANCE	Phosétyl-aluminium 80 %	0,250	KG/HL
ALLETTE FLASH	BAYER CROPSCIENCE FRANCE	Phosétyl-aluminium 80 %	0,250	KG/HL
ANTIDEPERISSEMENT ET MALADIES CLAUSE JARDIN	OXADIS	Phosétyl-aluminium 80 %	0,250	KG/HL
FIRENZE	DELACROIX	Phosétyl-aluminium 80 %	0,250	KG/HL
FOSETYL-IT	INTER-TRADE AGRO APS	Phosétyl-aluminium 80 %	0,250	KG/HL

TRAIT. DU SOL * NEMATODES

Spécialité	Société	Substance	Dose d'emploi	Unité
DORLONE 2000	DOW AGROSCIENCES S.A.S	1,3-dichloropropène 1179 G/L	475,000	L/HA
MOCAP 10 G RP	AVENTIS CROPSCIENCE FRANCE	Ethoprophos 10 %	200,000	KG/HA
TELONE 2000	DOW AGROSCIENCES S.A.S	1,3-dichloropropène 1179 G/L	475,000	L/HA



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
Tél. : 05 96 71 17 67