

Document public



Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation

Rapport final

BRGM/RP-55499-FR

Novembre 2007



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT
ET DE L'AMÉNAGEMENT
DURABLES



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation

Rapport final

BRGM/RP-55499-FR

Novembre 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 EAUD10

S. Ollagnier, B. Vittecoq

Vérificateur :

Nom : A. Blum, N. Baran

Date : 12/11/2007

Original signé par A. Blum & N.
Baran

Approbateur :

Nom : JP. Comte

Date : 19/11/2007

Original signé par JP. Comte

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

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT
ET DE L'AMÉNAGEMENT
DURABLES



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : Qualité, eaux souterraines, réseau de surveillance, physico-chimie, éléments majeurs, éléments traces, métaux, produits phytosanitaires.

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

Ollagnier. S., Vittecoq. B. (2007) – Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation. BRGM/RP-55499-FR. 77 p., 47 ill., 2 ann.

© BRGM, 2007, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Depuis 2004, le BRGM est chargé par la DIREN Martinique du suivi de la qualité des eaux souterraines. Ce suivi a pour objectifs **d'améliorer la connaissance de la qualité naturelle des eaux souterraines et d'évaluer leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions anthropiques.**

Le réseau de suivi comprend **35 sites constitués de forages, piézomètres et sources.** Les analyses sont effectuées **deux fois par an**, en saison sèche (avril-mai) et en saison des pluies (octobre-novembre). Les analyses effectuées portent sur plusieurs **paramètres physico-chimiques** (T°, pH, conductivité, Oxygène dissous, etc), sur les **teneurs en éléments majeurs**, en **éléments traces** et sur **132 molécules phytosanitaires.**

Les analyses et interprétations effectuées chaque année permettent d'affiner la connaissance du fond géochimique des eaux souterraines de Martinique. Le fond géochimique montre la **prédominance des faciès chlorurés et bicarbonatés calciques** ainsi que des **teneurs naturellement importantes en chlorures, sodium, et magnésium.** Une synthèse statistique a été effectuée afin de récapituler les tendances moyennes d'évolution des teneurs des éléments analysés. Ce travail permet ainsi de mieux cerner la variabilité naturelle des éléments analysés. Il permettra, in fine, de caractériser de manière plus efficace les pollutions diffuses.

Plusieurs substances telles que le **Fer, le Manganèse et le Bore présentent des concentrations importantes** sur l'intégralité du réseau. Ces teneurs naturellement importantes en Martinique caractérisent le fond géochimique local. **Aucune pollution en éléments traces (toxiques et indésirables) n'est à signaler sur le réseau** de suivi qualitatif.

Par ailleurs, sur les 35 sites du réseau de suivi, 15 ont fait l'objet de recherches en produits phytosanitaires. Ce réseau d'observation est **un réseau ciblé sur les sites les plus susceptibles de présenter une pollution par les pesticides.** Les résultats indiquent une importante contamination en **produits phytosanitaires.** Sur les 15 sites ayant fait l'objet de recherches, 11 présentent des teneurs caractéristiques d'une **dégradation importante à très importante du milieu naturel suivant l'approche SEQ.**

La détection systématique **de plusieurs produits phytosanitaires depuis 2004** semble confirmer le **comportement rémanent de certaines molécules dans les nappes de Martinique.** La poursuite du suivi permettra de cerner encore davantage l'évolution de ces teneurs à moyen et long terme.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Contexte méthodologique de la campagne saison des pluies 2006	11
2.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENTS	11
2.2. DESCRIPTIF DES ANALYSES EFFECTUEES.....	13
2.3. PROTOCOLE.....	15
2.3.1. Les prélèvements.....	15
2.3.2. Méthode d'échantillonnage.....	16
2.4. METHODES D'ANALYSES.....	16
2.4.1. Méthodes d'analyse in situ	16
2.4.2. Méthodes d'analyses en laboratoire	17
3. Analyse et interprétation des résultats.....	19
3.1. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	19
3.1.1. Température.....	19
3.1.2. Le pH	19
3.1.3. La conductivité	19
3.1.4. Oxygène dissous : O ₂	20
3.2. ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS.....	21
3.2.1. Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats.....	21
3.2.2. Les chlorures (Cl ⁻)	23
3.2.3. Le Calcium (Ca ²⁺).....	27
3.2.4. Le Potassium (K ⁺)	28
3.2.5. Le Magnésium (Mg ²⁺).....	30
3.2.6. Le Sodium (Na ⁺).....	32
3.2.7. Les sulfates (SO ₄ ²⁻)	34
3.2.8. La silice (SiO ₂).....	36
3.2.9. Les bicarbonates (HCO ₃)	37
3.2.10. Produits azotés et phosphorés (NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ et PO ₄).....	38
3.2.11. Synthèse des concentrations en éléments majeurs rencontrées	43
3.2.12. Synthèse des faciès hydrochimiques rencontrés	46
3.3. ANALYSE DES ELEMENTS TRACES - METAUX	49

3.4. RECHERCHE DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	50
3.4.1. Historique	50
3.4.2. Résultats	51
3.4.3. Bilan	62
4. Application des résultats à la méthode d’appréciation du SEQ eaux souterraines – Etat patrimonial de la ressource	63
4.1. LE SEQ EAUX SOUTERRAINES.....	63
4.2. L’ETAT PATRIMONIAL	63
4.2.1. Les paramètres de l’état patrimonial : Altérations	64
4.2.2. Les niveaux de dégradations de l’état patrimonial	64
4.2.3. Altération nitrates	65
4.2.4. Altération pesticides	67
5. Conclusion.....	69
6. Bibliographie	71

Liste des illustrations

Illustration 1: Récapitulatif des campagnes de prélèvements réalisées antérieurement	9
Illustration 2: Récapitulatif des ouvrages prélevés lors de la saison des pluies 2006.....	11
Illustration 3 : Carte de localisation des ouvrages prélevés en saison des pluies 2006	12
Illustration 4: Analyses physico-chimiques in-situ et éléments analysés sur les 35 points pendant la saison sèche 2006.....	13
Illustration 5 : Synthèse des molécules phytosanitaires analysées sur les prélèvements effectués	14
Illustration 6 : Schéma des modes de prélèvements effectués en fonction du type de contexte	15
Illustration 7 : Modes opératoires des analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire du BRGM pour les 35 prélèvements effectués pendant la saison humide 2006	17
Illustration 8 : Histogrammes des concentrations en oxygène dissous.....	20
Illustration 9: Représentation des balances ioniques calculées	22
Illustration 10 : Histogramme des concentrations en chlorures. SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche	24
Illustration 11 : Concentrations en chlorures en fonction de la distance à la côte	25
Illustration 12 : Répartition des teneurs en chlorures dans les eaux analysées	26

Illustration 13 : Histogramme des concentrations en calcium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche.....	27
Illustration 14 : Diagramme binaire Cl versus Ca.....	28
Illustration 15 :Histogramme des concentrations en potassium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche.....	29
Illustration 16 : Diagramme binaire Cl versus K.....	30
Illustration 17 : Histogramme des concentrations en magnésium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche	31
Illustration 18 : Diagramme binaire Cl versus Mg	32
Illustration 19 : Histogramme des concentrations en sodium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche.....	33
Illustration 20 : Diagramme binaire Cl versus Na.....	34
Illustration 21 : Histogramme des concentrations en sulfates - SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche.....	35
Illustration 22 : Diagramme binaire Cl versus SO ₄	36
Illustration 23 : Histogramme des concentrations en silice.....	37
Illustration 24 : Histogramme des concentrations en bicarbonates	38
Illustration 25 : Histogramme des concentrations en nitrates SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche.....	39
Illustration 26 : Diagramme NO ₃ versus Cl et schéma d'interprétation.....	40
Illustration 27 : Diagramme des concentrations en ammonium en fonction de la concentration en oxygène dissous.....	42
Illustration 28 : Tableau de synthèse des concentrations rencontrées pour chaque élément.....	43
Illustration 29 : Comparatif saison sèche 2006 – saison des pluies 2006 (anions)	44
Illustration 30 : Comparaison saison sèche – saison des pluies 2006 (cations)	45
Illustration 31 : Diagramme de Piper des analyses effectuées en saison des pluies 2006.....	46
Illustration 32 : Synthèse des faciès chimiques des eaux souterraines analysées	47
Illustration 33 : proportion relative des faciès chimiques rencontrés dans les eaux analysées	48
Illustration 34 : Synthèse sur les éléments traces retrouvées lors de la campagne d'analyses	49
Illustration 35 : Tableau récapitulatif des recherches de produits phytosanitaires réalisées sur le réseau de suivi qualitatif des eaux souterraines de Martinique.....	50
Illustration 36 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Basse Pointe – Rivière Falaise.....	52
Illustration 37 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Basse Pointe – Chalvet	53
Illustration 38 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Marigot – Anse Charpentier.....	54

Illustration 39 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Trinité – Morne Figue	55
Illustration 40 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Gros Morne – La Borelli	56
Illustration 41 : Produits phytosanitaires détectés sur le site François – Grand Fond	57
Illustration 42 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Gros Morne – Vert Pré	58
Illustration 43 : Produits phytosanitaires détectés sur le site du Lorrain – Fond Brûlé	59
Illustration 44 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Saint-Pierre – CDST	60
Illustration 45 : Produits phytosanitaires détectés sur le site du Lamentin – Habitation Ressource.....	61
Illustration 46 : Les différents états de l'état patrimonial	64
Illustration 47 : seuils caractéristiques de l'altération « nitrates »	65
Illustration 48 : SEQ eaux souterraines- altérations nitrates	66
Illustration 49 : Seuils caractéristiques de l'altération pesticides	67
Illustration 50 : SEQ eaux souterraines – altération pesticides – saison des pluies 2006	68

Liste des annexes

Annexe 1 Tableaux récapitulatifs des résultats d'analyses.....	73
Annexe 2 Informations générales sur les principales molécules phytosanitaires détectées	77

1. Introduction

La campagne de prélèvements effectuée en saison des pluies 2006 (nov-déc) s'est inscrite dans la continuité des précédentes campagnes réalisées depuis janvier 2004.

Dates de prélèvements	Nombre total de points prélevés	Nombre de molécules phytosanitaires recherchées	N° de rapports correspondant
Saison sèche 2004 (janv-mars 04)	34	5	Rapport BRGM/RP-52997-FR
Saison des pluies 2004 (oct-nov 04)	34	111	Rapport BRGM/RP-52997-FR
Saison des pluies 2005 (nov-janv 06)	35	120	Rapport BRGM/RP-54717-FR
Saison sèche 2006 (avr-mai 06)	34	120	Rapport BRGM/RP-54909-FR
Saison des pluies 2006 (nov-déc 06)	35	132	Présent rapport

Illustration 1: Récapitulatif des campagnes de prélèvements réalisées antérieurement

Les prélèvements ont concerné aussi bien des sources que des forages et les analyses ont porté sur des paramètres physico-chimiques principaux, des teneurs en éléments majeurs, en éléments traces (métaux lourds) et en produits phytosanitaires.

Comme les précédentes, cette 5^{ème} campagne de prélèvements présente les objectifs suivants :

- dresser l'état des lieux de la situation qualitative des eaux souterraines,
- mettre en évidence les évolutions notables des paramètres.

L'interprétation ne vise pas à établir un descriptif détaillé du fonctionnement hydrochimique des aquifères mais à fournir les éléments permettant d'exploiter les résultats d'analyses.

Ce rapport présente donc dans un premier temps :

- la configuration du réseau de suivi,
- les méthodes de prélèvements,
- les analyses effectuées (ainsi que les méthodes d'analyses en laboratoire).

Dans un second temps, les résultats sont interprétés. L'état des lieux qualitatif des eaux souterraines de Martinique et l'état patrimonial ont été caractérisés, à la demande de la DIREN, selon la méthodologie du SEQ eaux souterraines.

2. Contexte méthodologique de la campagne saison des pluies 2006

2.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENTS

Les Illustration 2 et Illustration 3 ci-dessous indiquent les sites prélevés et leur localisation géographique.

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

Illustration 2: Récapitulatif des ouvrages prélevés lors de la saison des pluies 2006

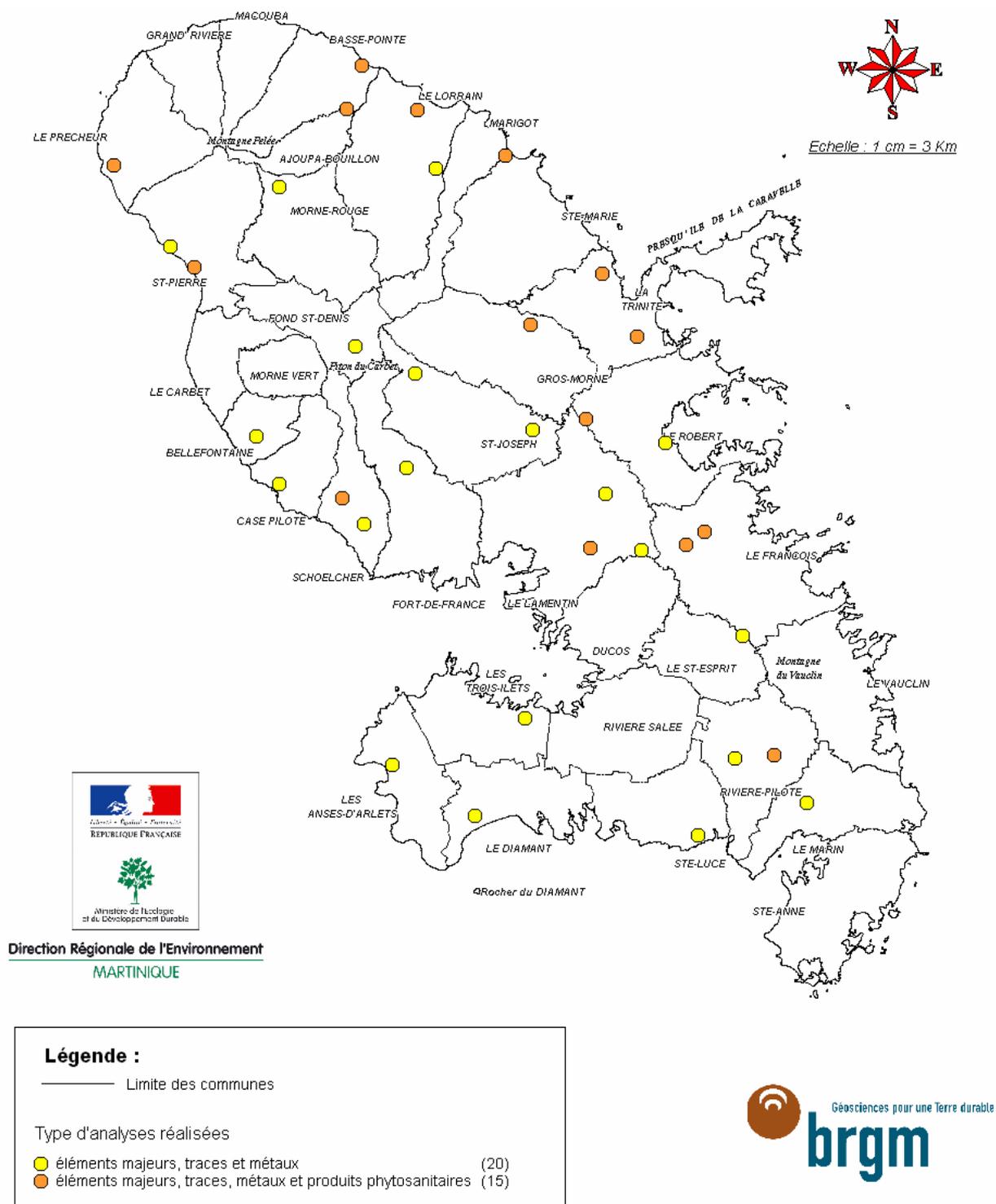


Illustration 3 : Carte de localisation des ouvrages prélevés en saison des pluies 2006

2.2. DESCRIPTIF DES ANALYSES EFFECTUEES

Les analyses effectuées sur chaque site de prélèvement comprennent :

- des mesures in situ de certains paramètres physico-chimiques non conservatifs,
- des analyses en laboratoire des éléments majeurs et éléments traces,
- des recherches en laboratoire de 132 produits phytosanitaires (soit 12 molécules de plus que lors de la campagne de saison sèche 2006).

L'illustration 4 ci-dessous récapitule l'ensemble des éléments et produits analysés.

Éléments non conservatifs analysés in situ		pH, Conductivité, Température, Potentiel d'oxydoréduction, Oxygène dissous
Éléments majeurs	Anions	Cl, SO ₄ , HCO ₃ , CO ₃ , NO ₃ , SiO ₂ , NO ₂ , PO ₄
	Cations	Ca, Mg, K, Na, NH ₄
Éléments traces		Al, Mn, Fe, Ni, As, B, F, Ag, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Pb, Sr, Zn

Illustration 4: Analyses physico-chimiques in-situ et éléments analysés sur les 35 points pendant la saison sèche 2006

L'illustration 5 ci après fournit par ailleurs la liste des molécules phytosanitaires recherchées lors des analyses.

Molécules recherchées		
2,4 DDD	Dicofol	Méthomyl
2,4 DDE	Disulfoton	Méthoxychlore
2,4 DDT	Dieldrine	Métobromuron
2,4,5-T	Difenoconazole	Métolachlor
2,4,D	Diméthénamide	Métoxuron
4,4' DDD	Dichlorvos	Métribuzine
4,4' DDE	Diméthoat	Métsulfuron Méthyle
4,4' DDT	Dinoterb	Monuron
Acétochlore	Diuron	Méthyl parathion
Alachlore	Désisopropylatrazine	Napropamide
Aldicarbe	Déséthylatrazine	Nicosulfuron
Aldrine	Endosulfan I	Néburon
Alphametrine	Endosulfan II	Oxadiazon
Amétryne	Endosulfan sulfate	Oxamyl
AMPA	Endrine	Parathion-méthyl
Atrazine	Fenpropimorphe	Parathion-éthyl
Bentazone	Fenthion	Penconazole
Bifenox	Flufenoxuron	Pendiméthaline
Biphényl	Flurochloridone	Pentachlorophénol
Bitertanol	Fluzilazole	Phosalone
Bromacil	Folpel	Phostiasate
Bromopropylate	Fénamiphos	Piperonyl butoxyde
Bromoxynil	Fénitrothion	Prochloraze
Cadusafos	Glyphosate	Prométryne
Captan	Heptachlore	Propanil
Carbendazime	Heptachlore époxyde cis+trans	Propazine
Carbofuran	Hexachlorobenzène	Propiconazole
Carbophenothion	Hexaconazole	Propoxur
Chlordécone	Hexazinone	Simazine
Chlorfenvinphos	Imazalil	Sébutylazine
Chlorpyriphos éthyl	Imazaméthabenz	S-metolachlore
Chlorpyriphos	loxynil	Tebuconazole
Chlortoluron	Isoproturon	Tebutame
Congénère 101	Isoproturon-1CH3	Terbutylazine
Congénère 118	Isoproturon-2CH3	Terbutryne
Congénère 138	Linuron	Thiabendazole
Congénère 153	MCPA	Trifluraline
Congénère 180	Malathion	Triclopyr
Congénère 194	Monolinuron	Tétraconazole
Congénère 28	Monuron	alpha HCH
Congénère 52	Mécoprop	beta HCH
Cyanazine	Métamitrone	delta HCH
Desmétryne	Métazachlore	epsilon HCH
Diazinon	Méthabenzthiazuron	gamma HCH (lindane)

Illustration 5 : Synthèse des molécules phytosanitaires analysées sur les prélèvements effectués

2.3. PROTOCOLE

2.3.1. Les prélèvements

Les prélèvements ont été effectués entre le 20 et le 30 novembre 2006. Parmi les prélèvements effectués, on distingue :

- les sources,
- les piézomètres,
- les forages d'exploitation.

Chaque type de contexte a fait l'objet d'un mode de prélèvement adapté. La figure ci dessous synthétise les modes de prélèvements mis en œuvre pour chacun de ces types de contextes.

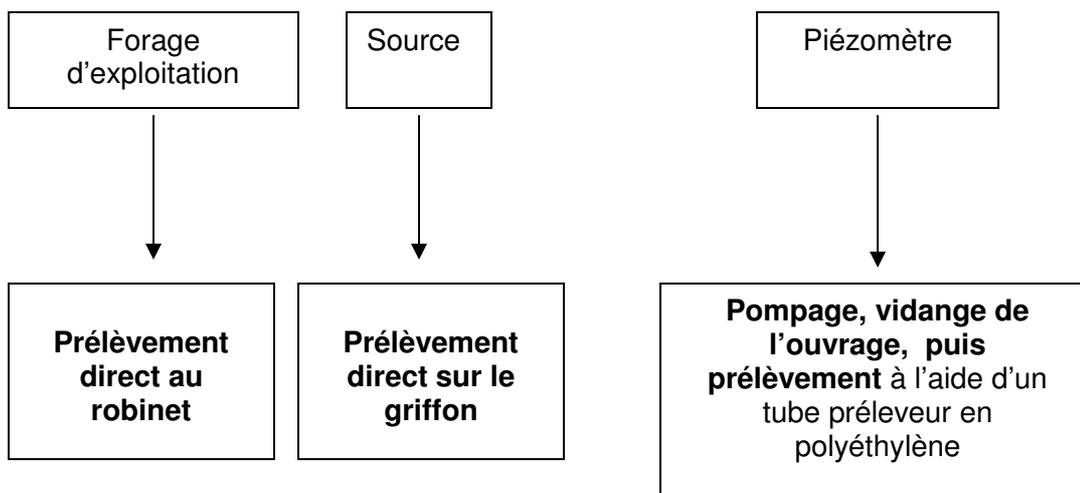


Illustration 6 : Schéma des modes de prélèvements effectués en fonction du type de contexte

Les piézomètres ont fait l'objet de pompages préalables aux prélèvements. Ce protocole est nécessaire afin de prélever un échantillon représentatif de l'eau souterraine.

La pompe utilisée est une pompe de dimension 2 pouces. Elle fonctionne sur groupe électrogène. **Les temps de pompages ont été déterminés de façon à permettre la vidange équivalente de 3 fois le volume de l'ouvrage.** Ils ont été évalués et ajustés

à partir des dimensions de chaque ouvrage. Suite aux pompages, les prélèvements et échantillonnages ont été effectués à l'aide de préleveurs à bille en polyéthylène.

Nota : Les piézomètres ne permettant pas la mise en place d'une pompe (tubage trop petit) ont fait l'objet d'une vidange manuelle de l'eau de surface à l'aide des tubes préleveurs en polyéthylène. Cette méthode ne concerne qu'un nombre très restreint de sites. Cas du piézomètre du Prêcheur – Rivière du Prêcheur.

Les forages d'exploitation, soumis à des usages réguliers n'ont pas fait l'objet de pompages préalables. Des prélèvements directs ont ainsi été effectués aux robinets disponibles chez les exploitants (deux sites concernés : Gros Morne – Vert Pré ; François – La Victoire).

2.3.2. Méthode d'échantillonnage

L'eau prélevée a été répartie dans différents flacons adaptés aux types d'analyses à effectuer.

- Flacons en polyéthylène de 100 ml pour les anions et NH₄, remplis avec l'eau filtrée sans réactif.
- Flacons en polyéthylène de 50 ml pour les cations majeurs, traces et métaux, remplis avec l'eau filtrée et acidifiée à l'acide nitrique (conservation pH < 2).
- 4 flacons en verre ambré de 1000 ml, pour les produits phytosanitaires, remplis avec de l'eau brute, non filtrée, sans réactif.

Le pH des eaux acidifiées est contrôlé à partir de papier pH. Les flacons ainsi préparés sont conservés dans des glacières à basse température (2°C < T < 8°C). Les glacières sont alors expédiées par transport express au service « Métrologie Monitoring Analyse », laboratoire BRGM, agréé COFRAC, basé à Orléans. Pour chaque site, un échantillon bouteille en verre ambré a été conservé au BRGM Martinique, pour témoin, en cas de nécessité d'analyse de contrôle ou pour palier à une éventuelle perte d'échantillon pendant le transport.

2.4. METHODES D'ANALYSES

2.4.1. Méthodes d'analyse in situ

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

- Bandelette indicatrice de pH : CARLO ERBA REAGENTI, pH 1 – 12
- Multi-paramètres WTW 340i :

2.4.2. Méthodes d'analyses en laboratoire

Le tableau ci-dessous illustre les différents modes opératoires mis en œuvre dans le cadre des différentes analyses effectuées.

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

Illustration 7 : Modes opératoires des analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire du BRGM pour les 35 prélèvements effectués pendant la saison humide 2006

3. Analyse et interprétation des résultats

Les résultats bruts des analyses sont disponibles en annexe 1. La présentation des résultats est ici effectuée dans l'objectif de faciliter leur exploitation ultérieure. L'interprétation ne consiste donc pas en une étude hydrochimique détaillée, mais en une synthèse globale des tendances physico-chimiques qualitatives observées. Des pistes d'interprétation sont fournies afin de guider la détermination de l'origine des éléments retrouvés (origine naturelle ou anthropique).

3.1. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

3.1.1. Température

Les températures des eaux analysées en saison humide 2006 varient de 22 à 29.2°C.

Les sources analysées présentent les températures les plus faibles (comprises entre 22 et 26.2°C). Ces températures apparaissent d'une manière générale plus faibles que les températures relevées sur les eaux souterraines prélevées en forage.

Les températures relevées sont très dépendantes du mode de prélèvement, des conditions climatiques, de l'altitude et de l'heure du prélèvement. Ainsi, les nuances mises ici en évidence sont à prendre avec précaution.

3.1.2. Le pH

Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Une eau de pH égal à 7 est dite neutre. Une eau de pH inférieur à 7 est dite acide, et, inversement une eau de pH supérieur à 7 est dite basique.

Les eaux analysées montrent des valeurs de pH comprises entre 6.39 et 8.14. Ces valeurs sont ainsi très proches de la neutralité.

3.1.3. La conductivité

La conductivité électrique de l'eau représente sa capacité à laisser les charges électriques se déplacer librement. Cette caractéristique dépend de la quantité d'ions présents en solution. **La conductivité électrique, ici exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ est donc une expression de la minéralisation d'une eau.** Une conductivité élevée est signe d'une importante minéralisation (également appelée salinité). La minéralisation est fortement dépendante du temps de transit et des roches mises en contact avec l'eau mais aussi des éventuels impacts anthropiques.

Parmi les eaux analysées, les conductivités mesurées s'échelonnent entre 111 et 2140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les sources présentent les conductivités les plus faibles. Les valeurs de conductivité les plus élevées ont été relevées sur les ouvrages situés sur la presqu'île des Trois Ilets (« Anse d'Arlets – Grande Anse » et « Trois-Ilets – Vatable »).

3.1.4. Oxygène dissous : O_2

L'oxygène dissous correspond à la quantité d'oxygène dissous dans l'eau analysée. Dans les tableaux de résultats (Cf. Annexe 1), ce paramètre est exprimé en mg/l et en % du seuil de saturation. Ce seuil de saturation dépend de la température, de la pression et de la minéralisation de l'eau.

Les nappes libres présentent généralement des teneurs en oxygène dissous de l'ordre de 5 à 10 mg/l d'oxygène dissous, à l'exception des zones humides (Chery, 2006).

Les nappes captives présentent un déficit en oxygène dissous, celui-ci pouvant être consommé par l'oxydation de la matière organique (activité bactérienne) ou des sulfures présents dans l'aquifère. Les teneurs en oxygène dissous y sont souvent inférieures au seuil des 5 mg/l. Au dessous de 2 mg/l, le milieu est qualifié de réducteur. Ces conditions favorisent alors la précipitation de certains éléments.

Les valeurs mesurées sur les 35 prélèvements effectués s'échelonnent entre 1.29 et 8.93 mg/l. Les eaux de sources présentent les valeurs les plus élevées.

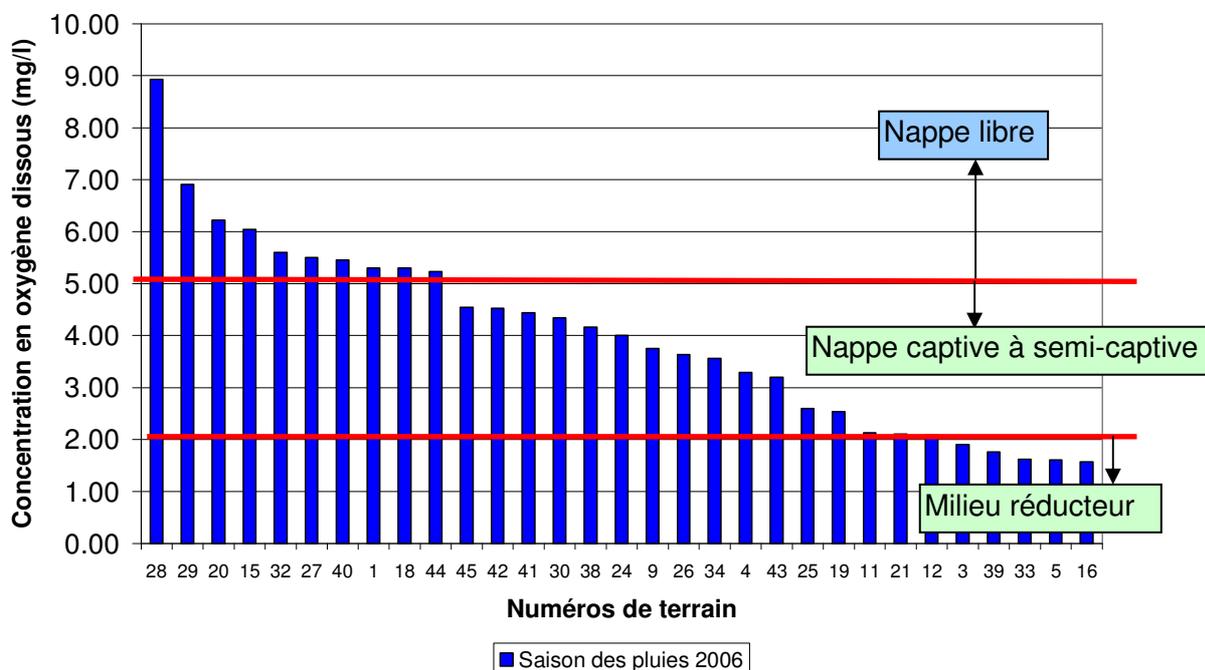


Illustration 8 : Histogrammes des concentrations en oxygène dissous

Nota : Il est important d'attirer une attention particulière à la sensibilité des mesures d'oxygène dissous. En effet, pour des eaux très peu aérées, la seule introduction de l'électrode aère la solution et modifie ainsi la teneur en oxygène dissous. La fiabilité de la mesure est meilleure pour les eaux peu anoxiques (pauvres en oxygène). L'interprétation des mesures effectuées doit ainsi être effectuée avec prudence.

3.2. ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS

Les éléments majeurs analysés ont été présentés dans l'illustration 4 (Cf. § 2.2).

3.2.1. Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats

La méthode des balances ioniques permet de contrôler la qualité des analyses effectuées sur les éléments majeurs. Cette démarche de validation est un préalable indispensable à la présentation des résultats d'analyse et à leur interprétation.

Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$\text{NICB} = 100 * \frac{[\sum \text{Cations} - \sum \text{anions}]}{[\sum \text{cations} + \sum \text{anions}]}$$

où :

NICB (Normalized Inorganic Charge Balance) : La balance ionique exprimée en pourcentage,

\sum Cations : La somme des cations (unités en meq/l),

\sum Anions : La somme des anions (unités en meq/l).

La balance ionique est l'expression d'une différence entre les charges positives (cations) et les charges négatives (anions). La théorie physique suppose la neutralité des charges au sein des échantillons d'eau, c'est-à-dire une égalité entre la somme des charges positives (cations) et la somme des charges négatives (anions).

Autrement dit, au sein d'un échantillon d'eau, la somme des charges négatives équilibre la somme des charges positives. La balance ionique de tout échantillon d'eau doit donc nécessairement être proche de 0%.

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante.

- $-1\% < \text{NICB} < 1\%$: Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- $-5\% < \text{NICB} < 5\%$: Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.

- $-10\% < \text{NICB} < 10\%$: Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- $\text{NICB} < 10\%$ ou $\text{NICB} > 10\%$: Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Le graphique suivant représente les balances ioniques calculées sur chacun des échantillons d'eau analysés. Les valeurs des balances ioniques calculées sont représentées en ordonnée (unité : %). Les échantillons analysés sont identifiés par leur numéro de terrain (Cf. § 2.1).

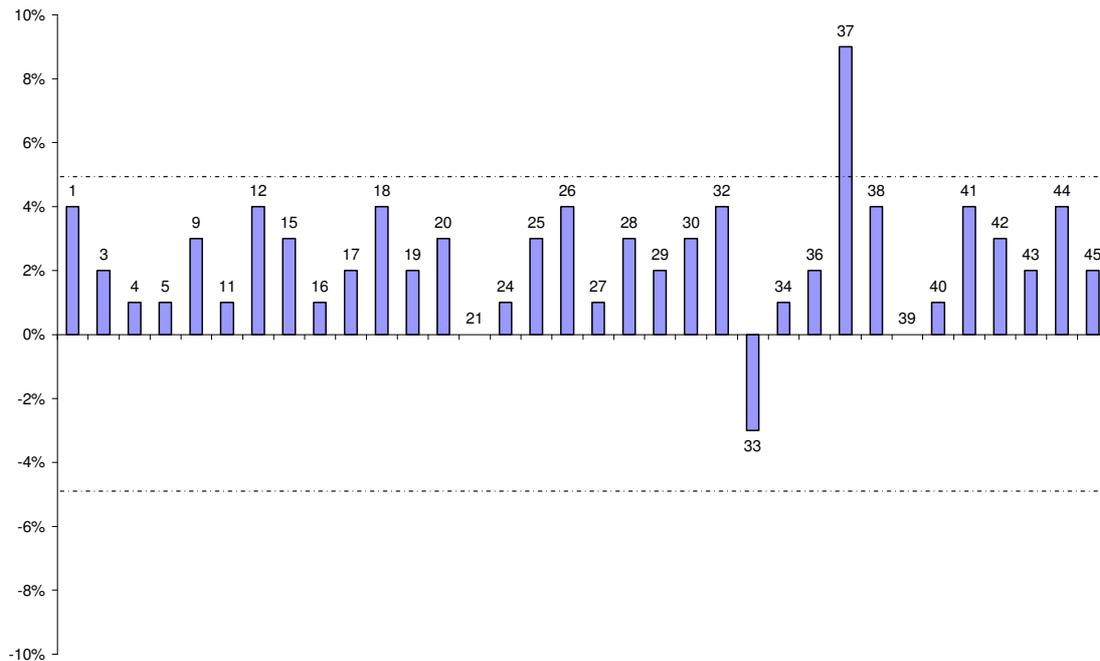


Illustration 9: Représentation des balances ioniques calculées

Hormis pour l'échantillon N°37, les balances ioniques calculées sont toutes comprises dans l'intervalle $-5\% < \text{NICB} < 5\%$.

L'échantillon N°37, correspondant à l'eau de pluie présente une balance ionique de 9%. Cette balance ionique plus élevée reste cependant dans une fourchette de valeurs tolérable.

Les résultats obtenus sur les calculs des balances ioniques constituent donc un argument en faveur de la fiabilité des données d'analyses sur les éléments majeurs.

3.2.2. Les chlorures (Cl⁻)

• Origines des chlorures dans les eaux

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

- ⇒ **Une origine atmosphérique** (aérosols contenus dans l'eau de pluie). Il a été démontré une relation forte entre la distance à la mer et les concentrations en chlorures mesurées dans l'eau de pluie,
- ⇒ **Les interactions eau/roche**. De nombreuses roches ignées et volcaniques contiennent des minéraux riches en chlore (ex : la sodalite de formule $[\text{Na}_8[\text{Cl}_2(\text{AlSiO}_4)_6]]$). Il est également admis de possibles apports de chlorures par les inclusions fluides de certains minéraux rencontrés en contexte volcanique.
- ⇒ **Une origine marine (Le biseau salé).**
- ⇒ **Une origine anthropique (engrais)**

Le fond géochimique présent en Martinique n'est pas connu pour cet élément. Le fond géochimique estimé en France métropolitaine dans les aquifères de socle et volcaniques montre cependant des teneurs pouvant atteindre 100 mg/l (Chery, 2006).

• Résultats et interprétation des analyses

Une carte de la répartition des teneurs en chlorures est présentée dans l'illustration 122.

L'eau de pluie analysée (prélevée en novembre 2006) révèle une teneur en chlorures de 2.5 mg/l. Les analyses effectuées dans les eaux souterraines révèlent des teneurs bien plus élevées, comprises alors entre 6.1 et 384.3 mg/l. Les teneurs mesurées durant la campagne de saison des pluies 2006 ne se différencient pas de celles mesurées lors de la campagne de saison sèche 2006.

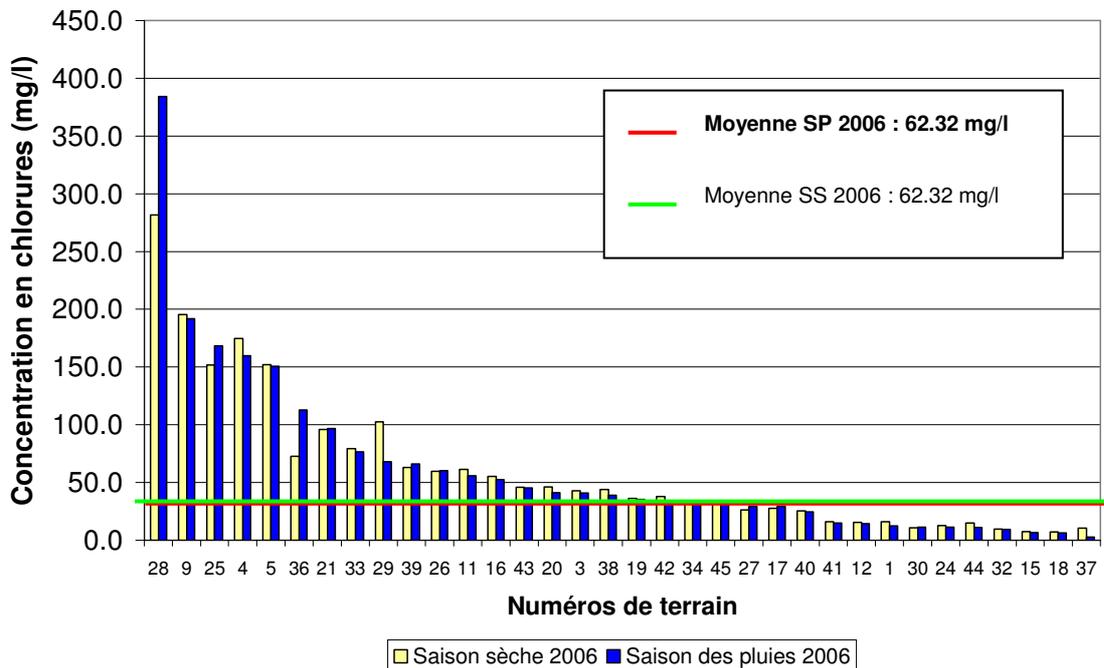


Illustration 10 : Histogramme des concentrations en chlorures. SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche

L'eau de pluie analysée présente une teneur en chlorures relativement faible compte tenu de la proximité à la mer du site de prélèvement. Le site d'échantillonnage de l'eau de pluie analysée est situé sur la commune de Fort de France (quartier Pointe des Nègres), commune située sous le vent de l'île. Il a été démontré qu'en milieu insulaire les teneurs en sels des eaux de pluies étaient plus faibles sous le vent de l'île. La configuration géographique du site de prélèvement pourrait donc être à l'origine de la faible teneur en chlorures mesurée dans l'eau de pluie. L'eau de pluie prélevée ne serait ainsi pas nécessairement représentative du signal d'entrée pluviométrique moyen des eaux souterraines de Martinique. Une certaine prudence est par conséquent nécessaire quant à l'interprétation de cette donnée.

L'illustration 11 ci après montre la répartition des concentrations en chlorures en fonction de la distance des stations à la côte. D'une manière générale, les concentrations en chlorures sont plus faibles sur les stations éloignées de la côte. Cependant, les stations situées à proximité des côtes montrent tantôt de fortes concentrations, tantôt de faibles concentrations ; la corrélation est ainsi difficile à établir.

La masse d'eau sud-Caraïbes est la seule masse d'eau à présenter une corrélation entre la distance à la côte et l'augmentation des teneurs en chlorures. L'influence du biseau salé est une hypothèse pouvant expliquer cet état de fait. Des apports anthropiques ne peuvent toutefois pas être exclus. Le manque de données ne permet cependant pas de caractériser l'origine de ces fortes teneurs en chlorures.

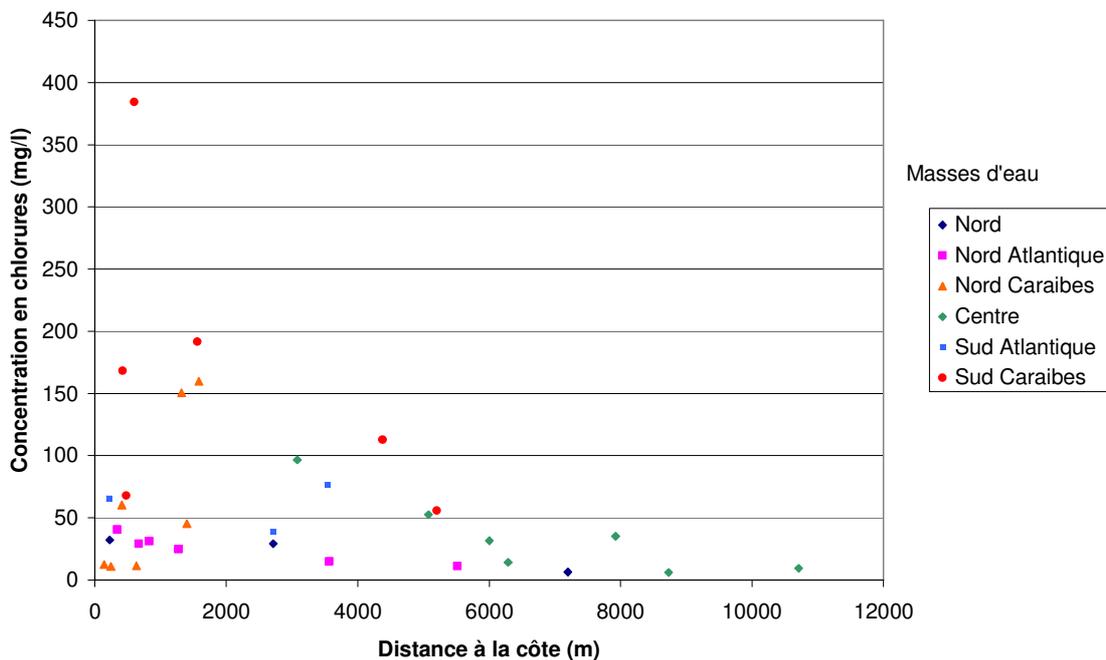


Illustration 11 : Concentrations en chlorures en fonction de la distance à la côte

L'enrichissement des eaux souterraines en chlorures est marqué. Certains sites de mesures montrent des valeurs supérieures à 100 mg/l de chlorures.

La carte met en évidence l'importante hétérogénéité des répartitions des teneurs en chlorures. Les plus fortes concentrations sont rencontrées dans le sud de l'île. Les stations de la moitié Nord de l'île présentent des teneurs très faibles, quelle que soit la distance des stations à la côte.

Les analyses isotopiques qui seront réalisées dans le cadre du volet qualitatif du projet « Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines » pourront se révéler utiles pour caractériser l'origine des fortes teneurs en chlorures (biseau salé, anthropique, géothermal, interaction eau/roche).

Une connaissance de la répartition spatiale des concentrations en chlorures des eaux de pluie permettrait également d'améliorer la compréhension des concentrations retrouvées dans les eaux souterraines. Par ailleurs, des mesures effectuées sur le brome (Br) pourraient se révéler utiles pour caractériser l'origine des chlorures.

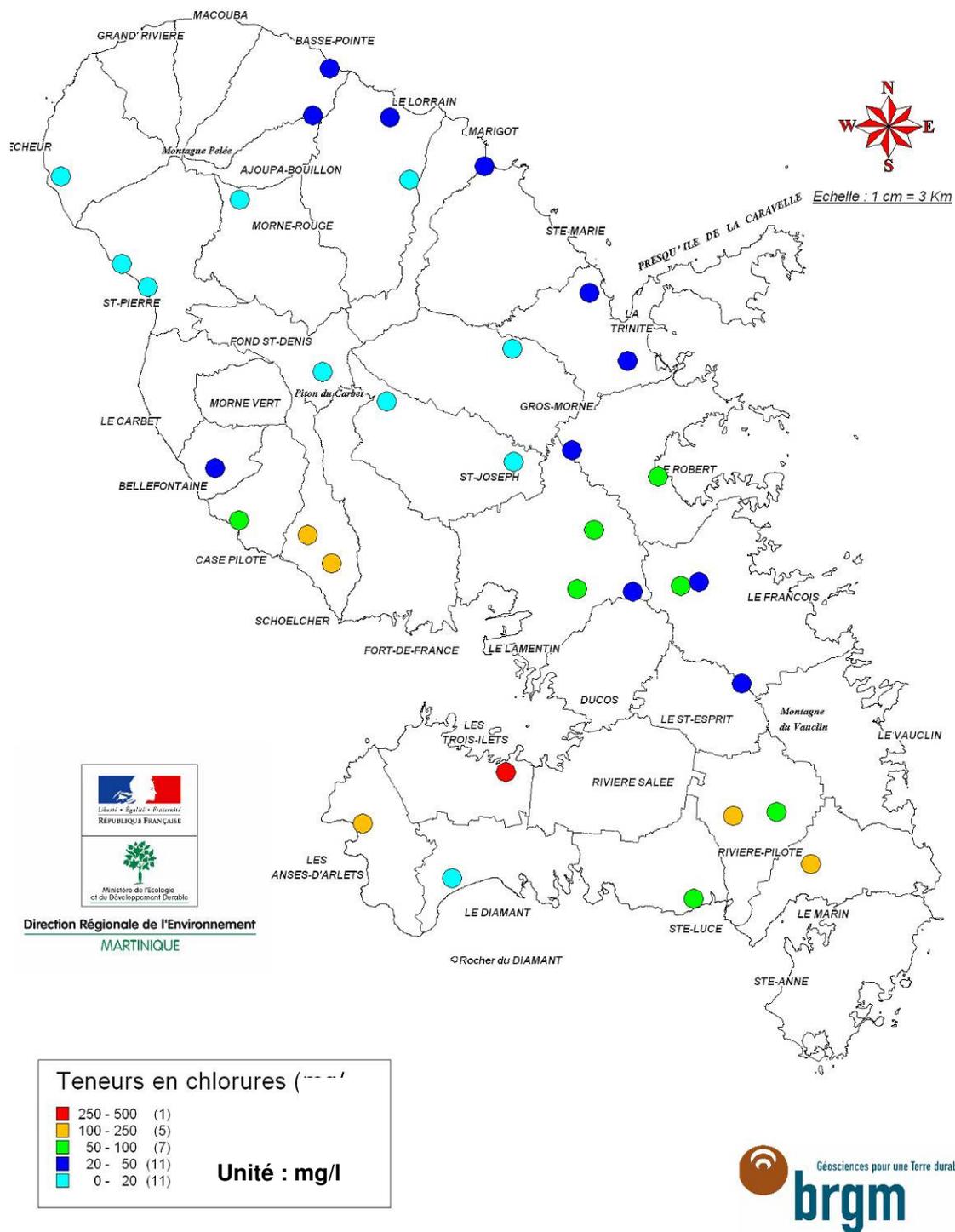


Illustration 12 : Répartition des teneurs en chlorures dans les eaux analysées

3.2.3. Le Calcium (Ca^{2+})

• Origines du calcium dans les eaux

Le calcium est présent principalement dans les roches carbonatées mais il se rencontre également dans un grand nombre de minéraux constitutifs de roches volcaniques. Il est possible de citer parmi ces minéraux les clinopyroxènes calciques (Ca, Fe, Mg) $(\text{SiO}_3)_2$ mais également l'ensemble des minéraux constitutifs de la série isomorphe Albite-Anorthite ($\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8] \Rightarrow \text{Ca}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$). Le fond géochimique présent en Martinique n'est cependant pas connu pour cet élément.

• Résultats et interprétation des analyses

La concentration en calcium mesurée dans l'eau de pluie atteint 0.5 mg/l. Les teneurs en calcium mesurées dans les eaux souterraines sont plus élevées. Celles-ci s'échelonnent en effet entre 3.8 et 160 mg/l pour une moyenne de 28.52 mg/l (moyenne arithmétique calculée sur la base des données recueillies en saison des pluies 2006). Les résultats ne montrent aucune variation saisonnière significative.

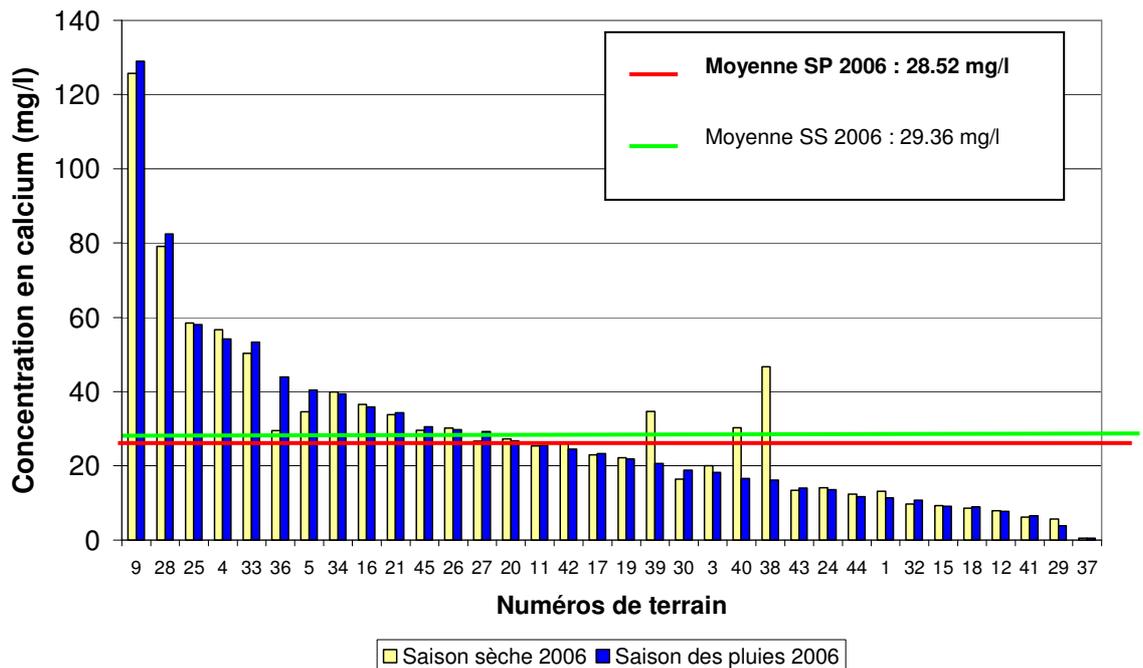


Illustration 13 : Histogramme des concentrations en calcium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche

L'illustration 14 ci-dessous présente un graphique des concentrations en calcium versus chlorures (avec présentation de la droite de dilution théorique de l'eau de mer – les étiquettes correspondent aux numéros de terrains Cf § 2.1).

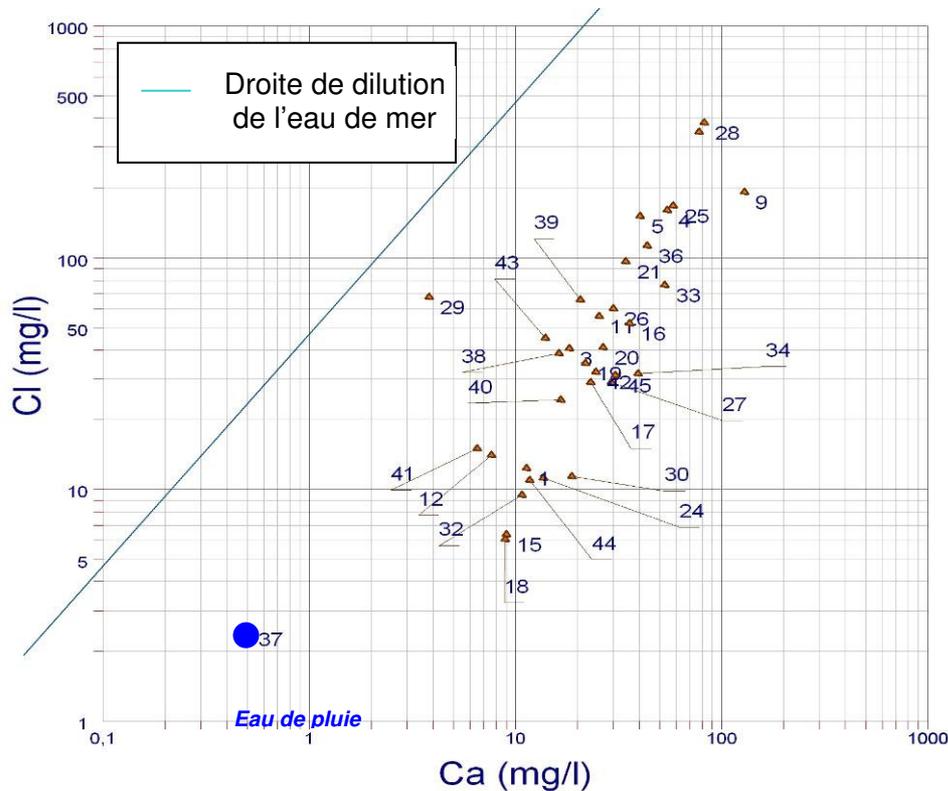


Illustration 14 : Diagramme binaire Cl versus Ca

Ce graphique permet de montrer que les eaux souterraines sont enrichies en calcium par rapport aux eaux de pluies qui représentent l'intrant.

L'enrichissement en calcium des eaux souterraines observé peut s'expliquer par l'apport d'aérosols d'origine continentaux d'une part, et par les importantes interactions eau/roche d'autre part.

3.2.4. Le Potassium (K⁺)

• Origines du potassium dans les eaux

Le potassium est un élément principalement présent dans les roches ignées (dont les roches volcaniques) et les argiles. Dans les roches silicatées, on le trouve essentiellement sous forme d'orthose [KAlSi₃O₈], de micas et de feldspathoïdes (ex : la leucite [KAlSi₂O₆]). D'une manière générale, les eaux souterraines présentent rarement des teneurs en potassium supérieures à 10mg/l (Chery, 2006).

Des apports anthropiques (liés à l'utilisation d'engrais) peuvent être à l'origine de concentrations plus importantes dans les eaux.

• **Résultats et interprétation des analyses**

Les analyses mettent en évidence des teneurs comprises entre 0.9 et 16.8 mg/l et une moyenne de 4.39 mg/l (moyenne arithmétique calculée sur la base des données recueillies en saison des pluies 2006).

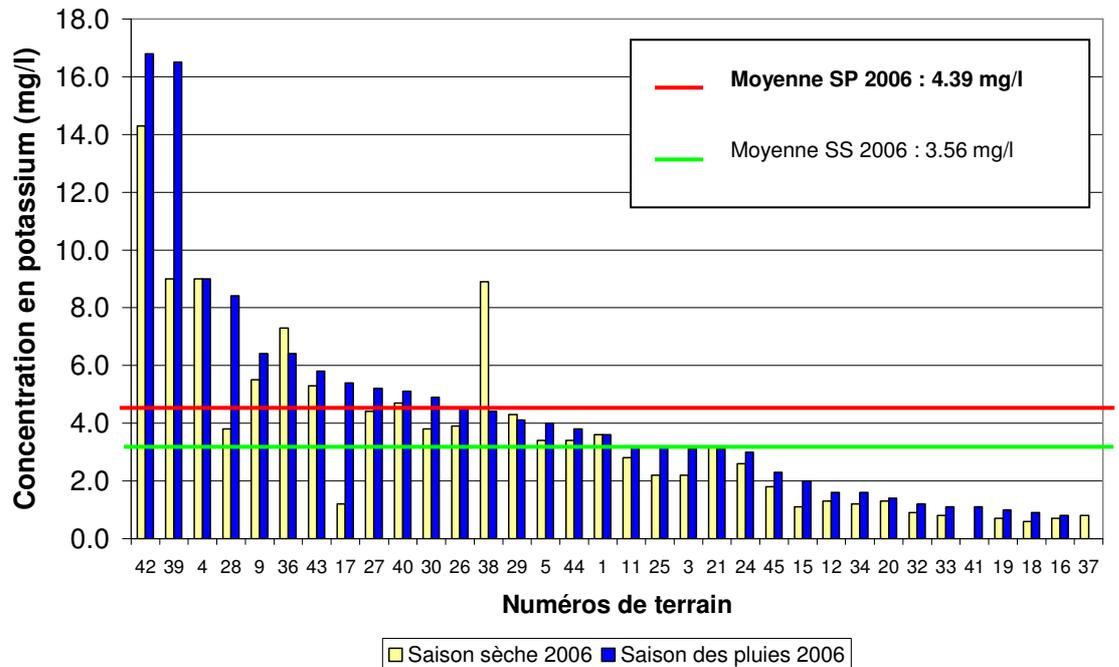


Illustration 15 : Histogramme des concentrations en potassium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche

L'absence de régionalisation notable des teneurs en potassium ne permet pas de préciser l'origine du potassium mesuré (interactions eau – roche, engrais).

L'illustration 16 ci-dessous présente un graphique des concentrations en chlorures versus potassium. La totalité des échantillons se situent à droite de la droite de dilution de l'eau de mer. L'enrichissement en potassium est donc bien marqué. Par ailleurs, l'eau de pluie ne se situe pas sur la droite de dilution mais présente également un enrichissement en potassium. Il est ainsi possible d'évoquer une légère contribution par les aérosols atmosphériques riches en potassium.

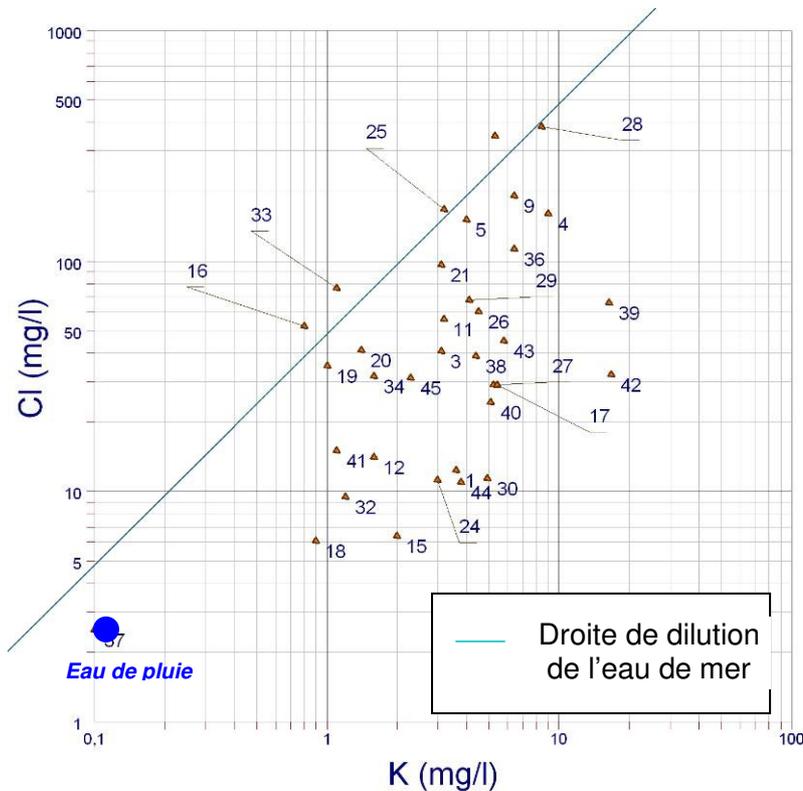


Illustration 16 : Diagramme binaire Cl versus K

3.2.5. Le Magnésium (Mg^{2+})

• Origines naturelles du magnésium dans les eaux

Le magnésium est présent dans de nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. On distingue en particulier l'olivine $(Fe, Mg)_2 [SiO_4]$, les clinopyroxènes et les orthopyroxènes $(Mg, Fe)_2 (SiO_3)_2$, l'amphibole $(Mg, Fe)_7 [Si_8O_{22}] (OH, F)_2$ et les biotites $K (Mg, Fe)_3 [Si_3AlO_{10} (OH, F)_2]$. Dans les eaux souterraines, la forme dissoute Mg^{2+} est prédominante. Les équilibres naturels qui contrôlent les teneurs en magnésium dans les eaux souterraines sont complexes. De nombreuses réactions d'échanges cationiques, d'adsorption et de désorption (sur des minéraux argileux) influencent la mise en solution du magnésium dans le milieu souterrain. Dans les roches ignées, les roches volcaniques et les roches d'altération contenant de l'argile, la mise en solution du magnésium est plus difficile que dans les roches carbonatées. Ainsi les teneurs types du fond géochimique de Martinique pourraient davantage être comprises entre quelques mg/l et quelques dizaines de mg/l.

• **Résultats et interprétation des analyses**

Les analyses effectuées sur les eaux souterraines révèlent en effet des teneurs comprises entre 1.4 et 54.7 mg/l pour une moyenne de 12.05 mg/l (moyenne arithmétique calculée sur la base des données recueillies en saison des pluies 2006). Ces teneurs relativement faibles sont donc tout à fait cohérentes avec le contexte géologique Martiniquais.

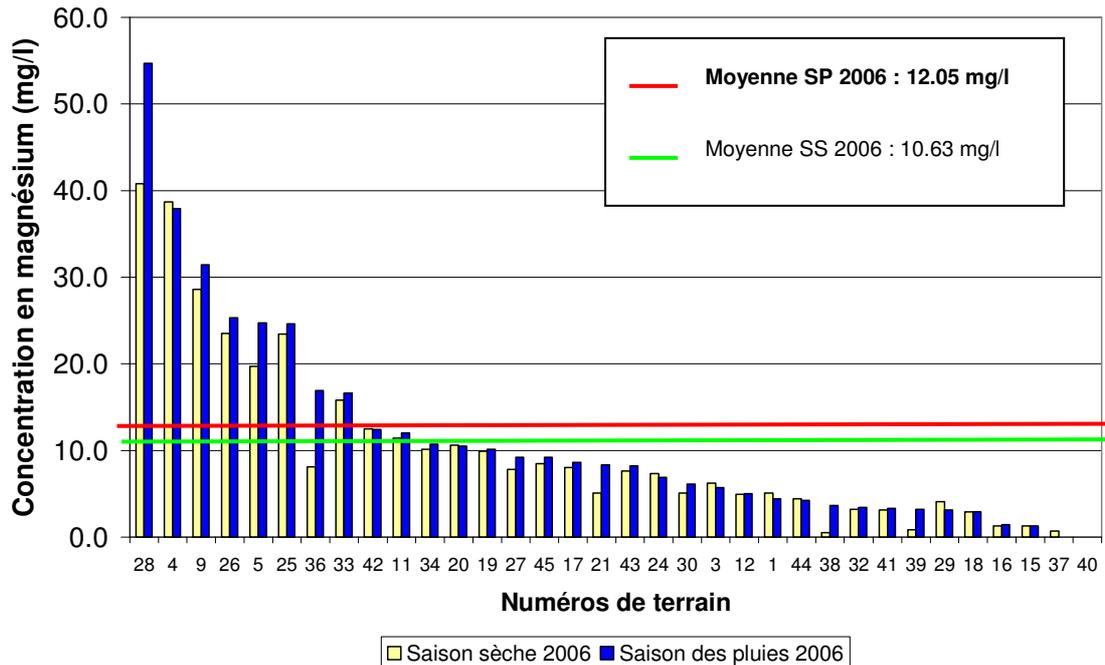


Illustration 17 : Histogramme des concentrations en magnésium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche

L'illustration 18 ci-après présente un diagramme binaire Cl versus Mg. La majorité des échantillons montrent un enrichissement en magnésium par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer. La teneur en magnésium analysée dans l'eau de pluie s'est révélée inférieure à la limite de quantification.

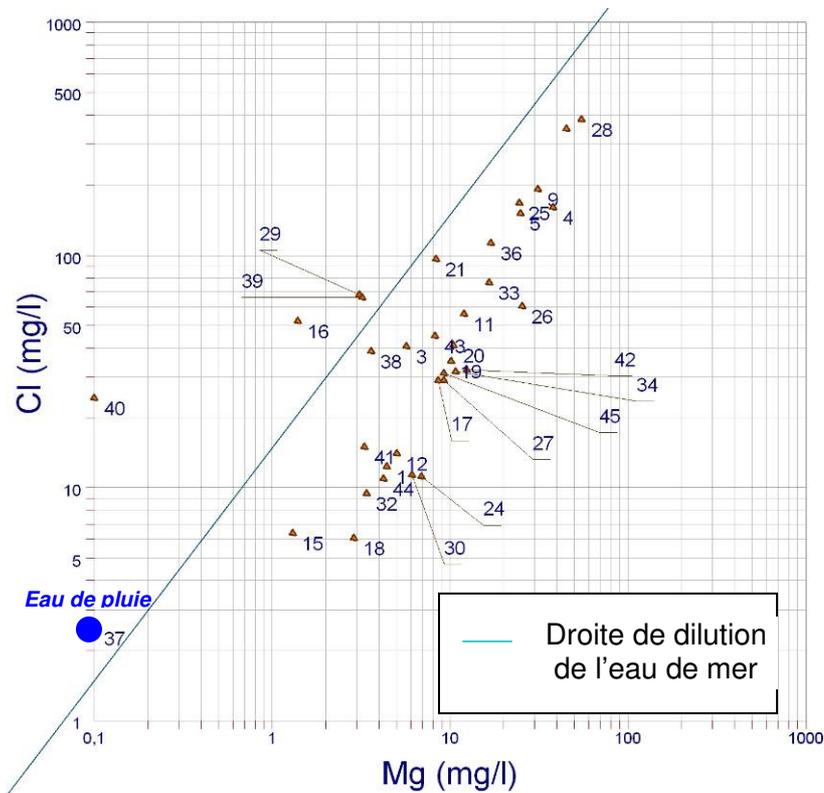


Illustration 18 : Diagramme binaire Cl versus Mg

3.2.6. Le Sodium (Na^+)

• Origines naturelles du sodium dans les eaux

Le sodium est présent dans de nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. Les feldspaths sodiques sont parmi les plus abondants (formule de base $\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$). Dans les eaux souterraines, le sodium est présent sous la forme ionique Na^+ . Il est soumis aux mêmes types de phénomènes d'adsorption/désorption que le calcium et le magnésium. Sa mise en solution présente donc une complexité comparable. En l'absence d'affleurement de roches évaporitiques, les fonds géochimiques couramment rencontrés en contexte volcanique et de socle en métropole montrent des teneurs comprises entre quelques mg/l et quelques dizaines de mg/l.

• Résultats et interprétation des analyses

Les eaux souterraines analysées présentent des teneurs comprises entre 8.1 à 303.2 mg/l pour une moyenne de 51.65 mg/l (moyenne arithmétique calculée sur la base des données recueillies en saison des pluies 2006). Le sodium est un traceur des interactions eau/roche, son abondance pourrait donc traduire un temps de transit important dans le milieu souterrain.

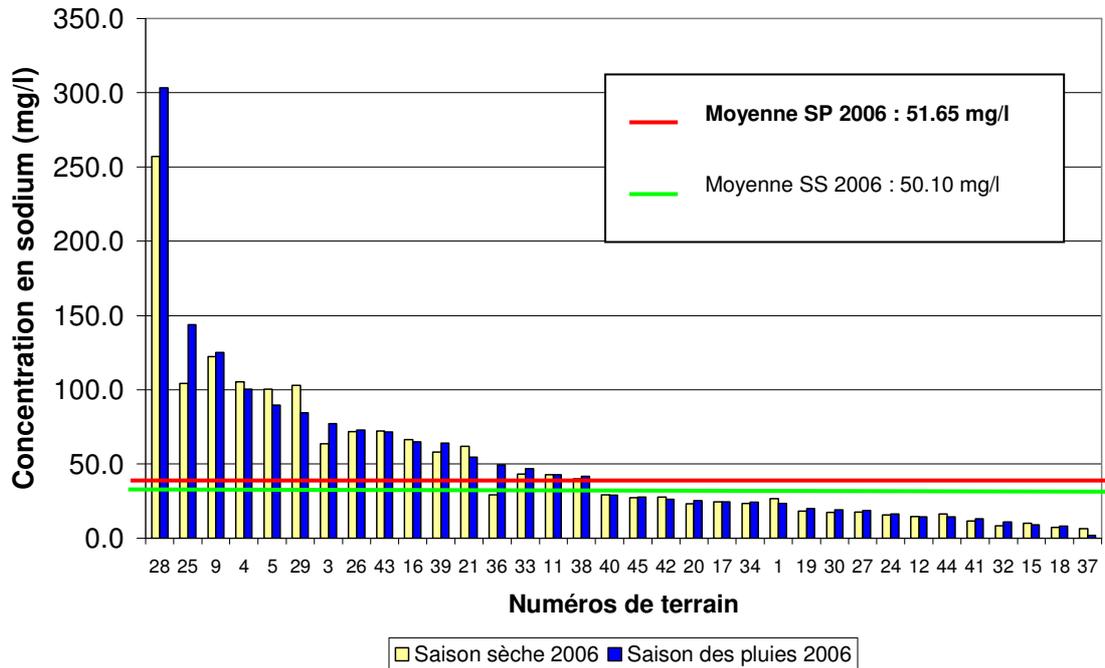


Illustration 19 : Histogramme des concentrations en sodium SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche

L'illustration 20 ci après montre également que la plupart des eaux souterraines sont enrichies par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer. Cet enrichissement pourrait provenir des interactions eau/roche car le sodium est abondant dans les roches volcaniques.

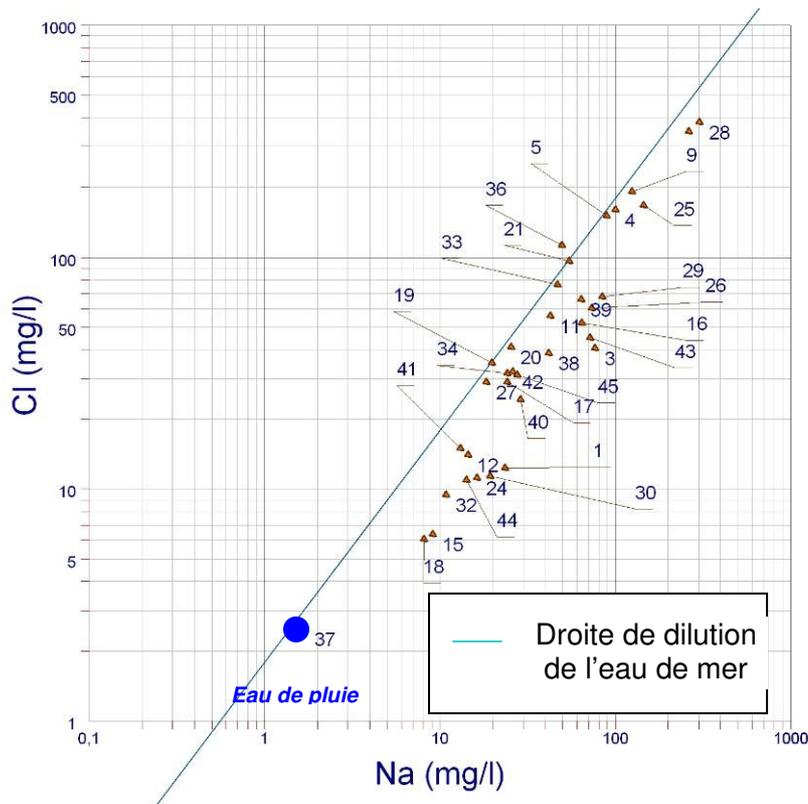


Illustration 20 : Diagramme binaire Cl versus Na

3.2.7. Les sulfates (SO_4^{2-})

• Origine naturelle des sulfates dans les eaux

L'ion sulfate SO_4^{2-} est la forme prédominante des sulfates dans les eaux souterraines. Sa présence peut avoir plusieurs origines.

- ⇒ L'oxydation des minéraux riches en soufre (ex : La pyrite (FeS_2)). Les teneurs mesurées dans les eaux souterraines s'échelonnent alors de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l.
- ⇒ Le lessivage de formations évaporitiques (ex : Le gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)). Les teneurs en sulfates des eaux souterraines peuvent alors atteindre quelques centaines, voire quelques milliers de mg/l.
- ⇒ L'oxydation de sulfures dans les précipitations atmosphériques (phénomène des pluies acides).
- ⇒ Une origine anthropique (engrais).

• Résultats et interprétation des analyses

Les teneurs en sulfates mesurées dans les eaux souterraines s'échelonnent entre 1.3 et 64.2 mg/l pour une moyenne de 16.03 mg/l (moyenne arithmétique calculée sur la base des données recueillies en saison des pluies 2006).

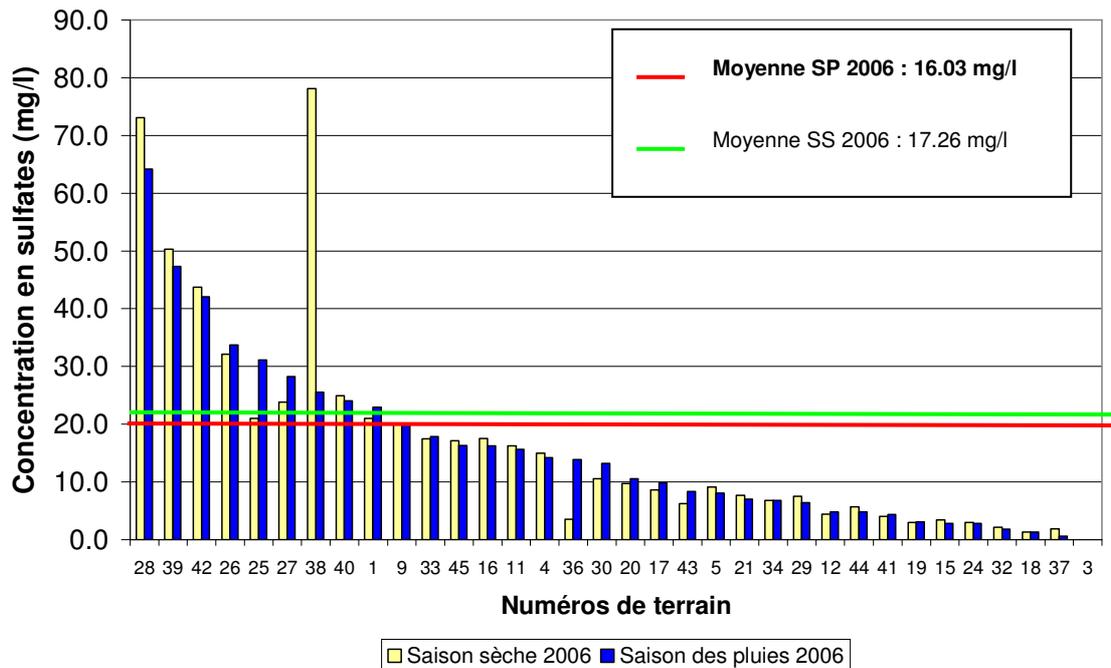


Illustration 21 : Histogramme des concentrations en sulfates - SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche

L'illustration 22 ci-après montre un enrichissement en SO_4 par rapport à l'eau de mer.

Les teneurs en sulfates sont très dépendantes du potentiel d'oxydoréduction du milieu. Un milieu privé d'oxygène (cas de certaines nappes captives) ne sera pas favorable à l'oxydation de minéraux sulfurés et limitera la formation en solution de l'ion SO_4^{2-} . Or, 2/3 des stations analysées montrent des concentrations en oxygène dissous très faibles, caractéristiques de nappes captives, et de milieux réducteurs. Le phénomène d'oxydation des minéraux sulfurés devrait ainsi rester limité.

Il n'existe pas, par ailleurs de formation évaporitiques en Martinique, ce qui limite également la mise en solution de sulfates dans les eaux souterraines.

Les concentrations en sulfates mesurées sont donc très variables, mais ne présentent pas de problématique au sein des eaux souterraines. Pour comparaison, le seuil de potabilité s'élève à 25 mg/l, et celui de potabilisation (avec traitement) à 250 mg/l. Une origine anthropique des sulfates n'est cependant pas exclue pour les stations présentant les plus fortes concentrations.

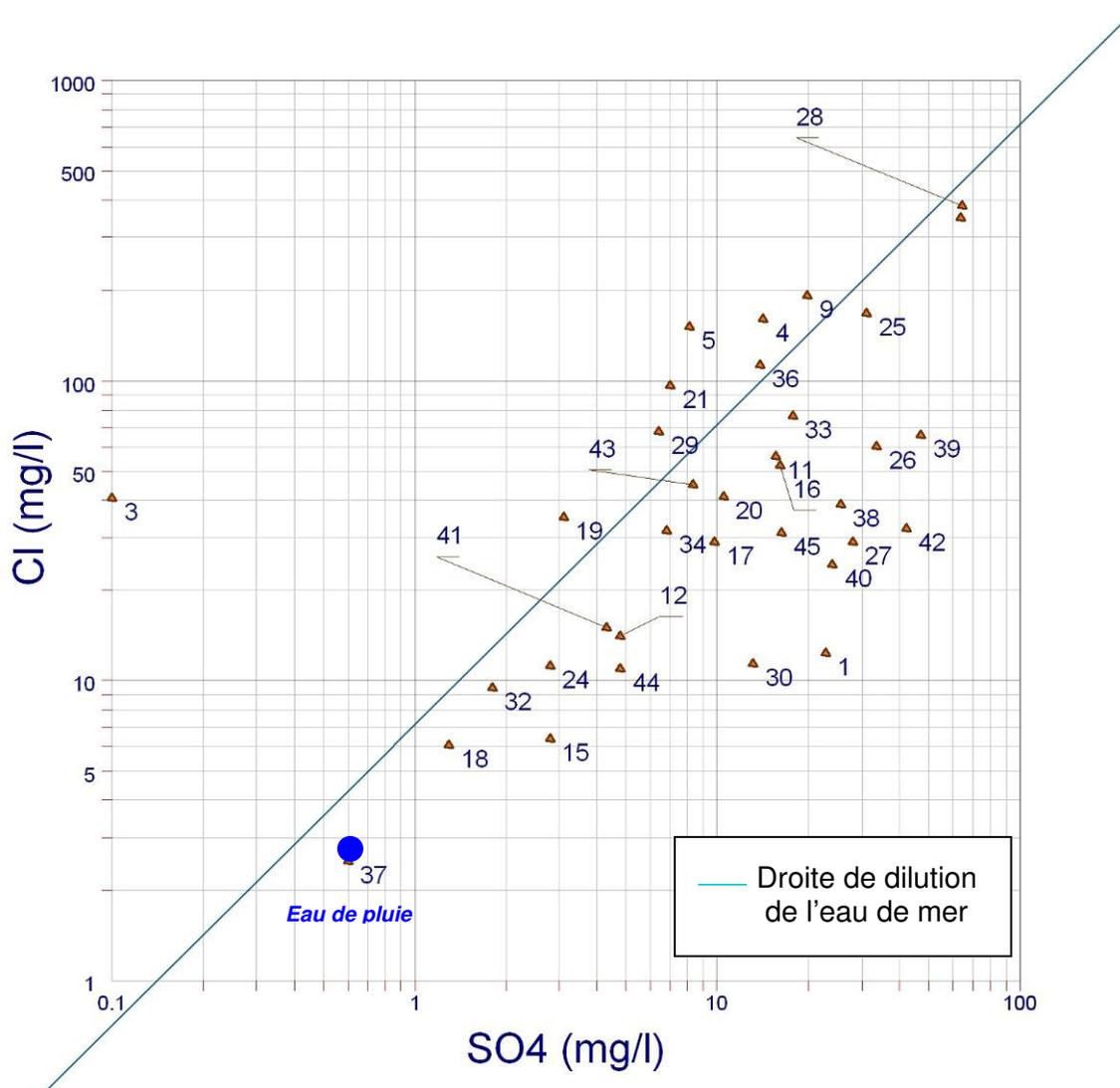


Illustration 22 : Diagramme binaire Cl versus SO4

3.2.8. La silice (SiO₂)

• Origine naturelle de la silice dans les eaux

Le silicium est, après l'oxygène, l'élément le plus abondant de la croûte terrestre. Il constitue en outre un élément essentiel de nombreux minéraux en particulier dans les roches ignées, les grès et les argiles (silicates, silicates d'alumines).

D'une manière générale, les minéraux silicatés sont peu altérables si bien que les teneurs mesurées dans les eaux sont souvent faibles (quelques dizaines de mg).

• **Résultats et interprétation des analyses**

Les teneurs mesurées durant la campagne d'analyse de saison des pluies 2006 sont comprises entre 16.3 et 110.2 mg/l pour une moyenne de 63.43 mg/l (moyenne arithmétique calculée sur la base des données recueillies en saison des pluies 2006). Ces teneurs sont relativement plus élevées que les moyennes observées dans des contextes géologiques similaires en France métropolitaine (dont les valeurs sont plus couramment comprises entre 10 et 20 mg/l).

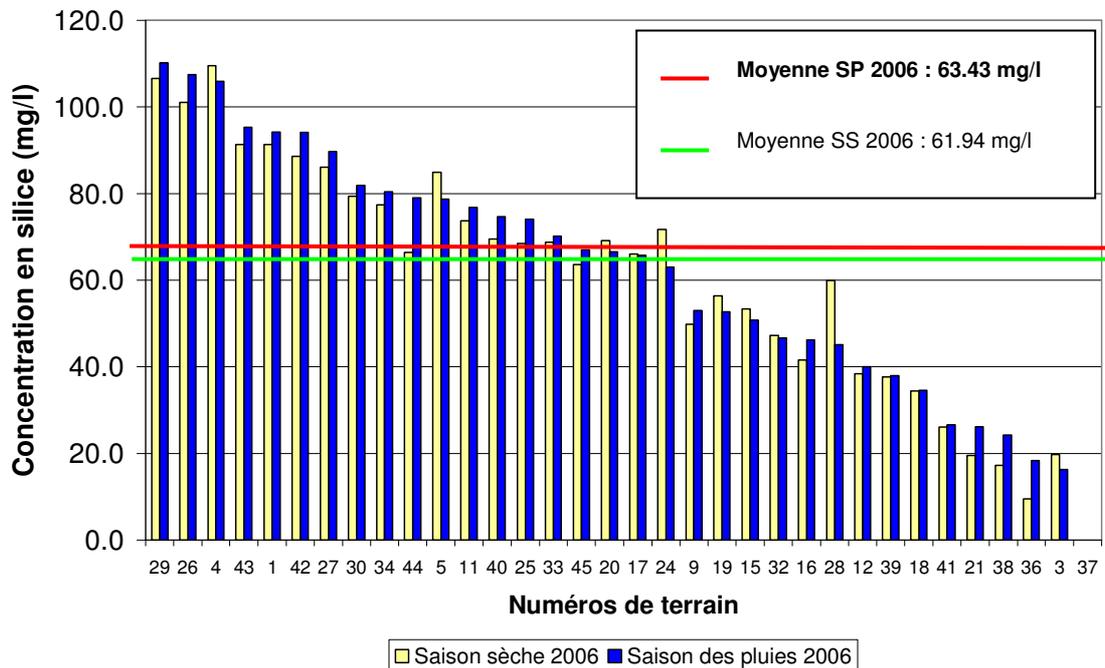


Illustration 23 : Histogramme des concentrations en silice

Le climat de la Martinique (climat tropical) présente une humidité importante. Il est ainsi probable que sous l'action du climat, l'altération des minéraux silicatés soit plus importante ce qui pourrait expliquer les concentrations observées.

3.2.9. Les bicarbonates (HCO₃)

• **Origine naturelle des carbonates dans les eaux**

La dissolution des minéraux carbonatés et l'action combinée du CO₂ des eaux météoriques et du sol sont, d'une manière générale les principales origines des bicarbonates. Les fonds géochimiques en HCO₃ couramment rencontrés dans les contextes de socle et milieu volcanique en métropole sont compris entre 50 et 200 mg/l.

• Résultats et interprétation des analyses

Les échantillons analysés montrent des teneurs comprises entre 23 et 531 mg/l de HCO_3^- pour une moyenne de 140,38 mg/l (moyenne arithmétique calculée sur la base des données recueillies en saison des pluies 2006).

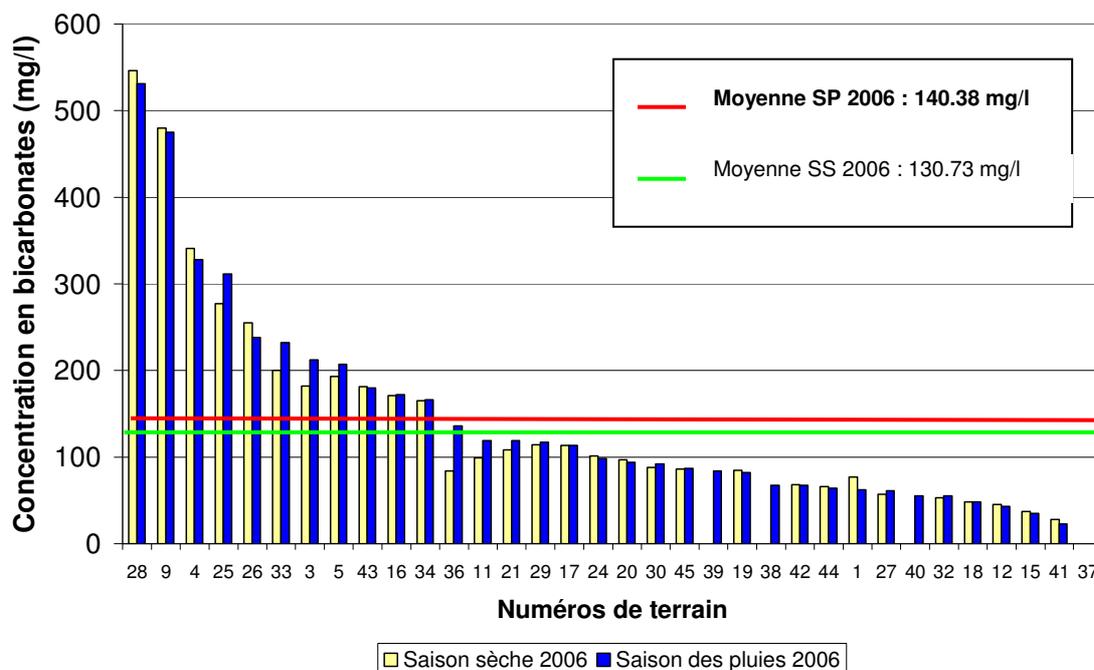


Illustration 24 : Histogramme des concentrations en bicarbonates

3.2.10. Produits azotés et phosphorés (NO_3 , NO_2 , NH_4 et PO_4)

Les nitrates (NO_3^-)

• Origine des nitrates dans les eaux

L'ion nitrate est la forme la plus oxydée de l'azote. Les sources naturelles principales de nitrate sont les pluies et les interactions du sol avec la végétation. Les sources anthropiques sont par ailleurs nombreuses, le plus souvent liées au lessivage d'engrais, à l'élevage et aux rejets domestiques et industriels.

Les teneurs en nitrate des eaux souterraines dépendent également beaucoup des processus biogéochimiques qui régissent le cycle de l'azote. D'une manière générale, une teneur supérieure à 10 mg/l traduit un apport anthropique.

• Résultats et interprétation des analyses

Les analyses de la campagne de saison des pluies 2006 révèlent des teneurs en nitrates comprises entre 1 et 10 mg/l. On distingue cependant 9 points dont les valeurs dépassent les 10 mg/l, la valeur maximale atteinte étant de 45.6 mg/l (ouvrage du Lorrain, lieu dit « Fond Brûlé »).

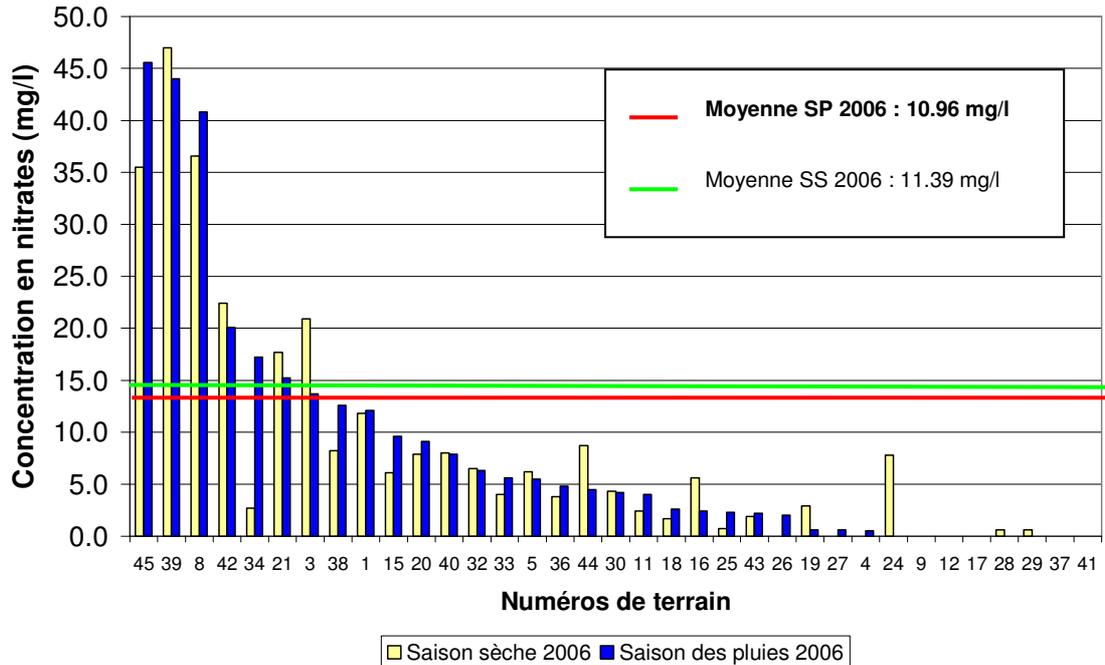


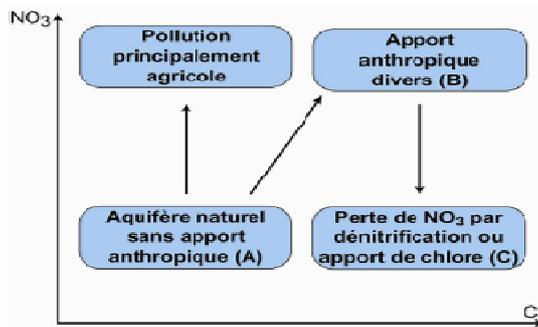
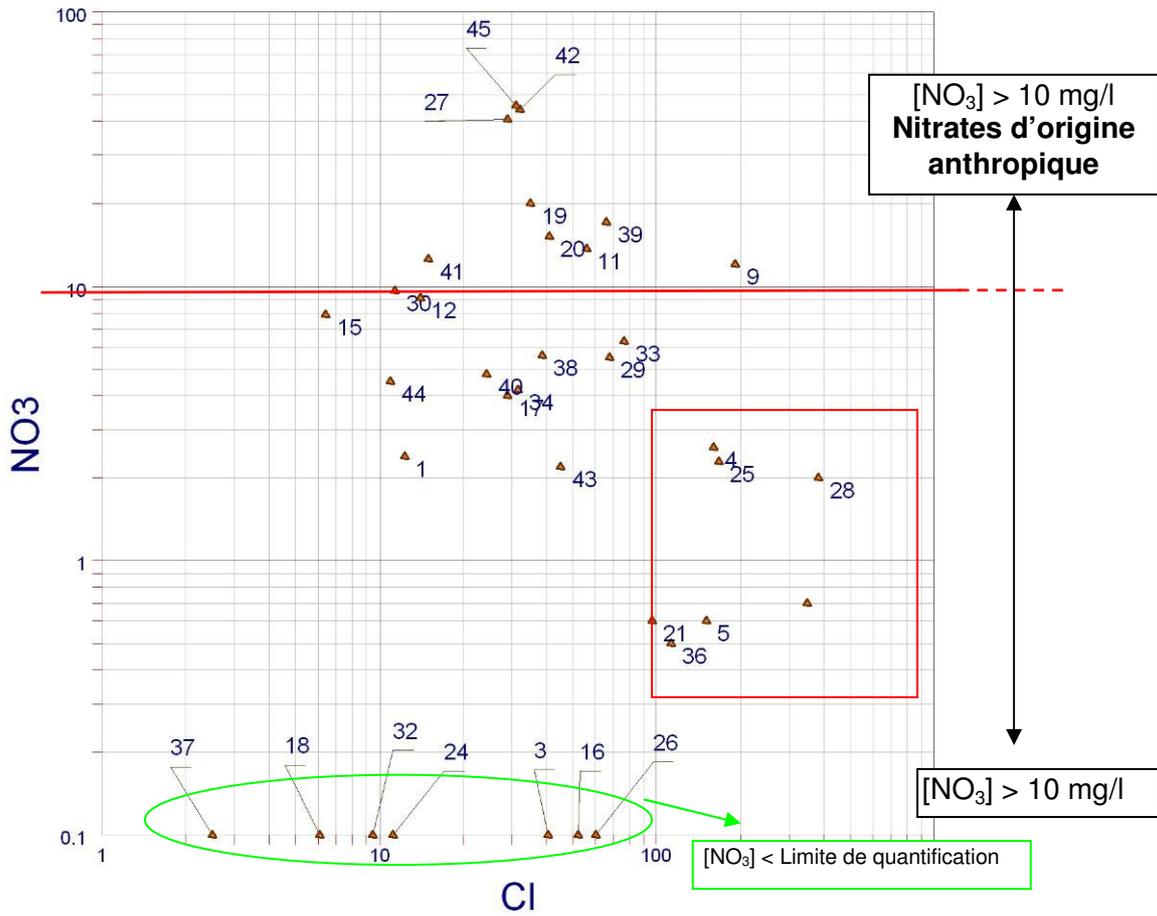
Illustration 25 : Histogramme des concentrations en nitrates SP = Saison des pluies. SS= Saison sèche

L'illustration 26 ci-après présente un diagramme binaire nitrates versus chlorures. Elle permet de montrer les différentes relations entre les ions Cl^- et NO_3^- .

On peut constater sur le graphique qu'au moins 1/3 des eaux sont influencées par des apports anthropiques (agricoles ou autres). Un échantillon de sites (encadré rouge) présente de fortes teneurs en chlorures combiné à de faibles teneurs en nitrates.

Les fortes teneurs en chlorures ne sont donc pas toujours corrélées avec de fortes teneurs en nitrates. Ceci pourrait être du :

- au phénomène de dénitrification,
- à un apport naturel en chlorures (biseau salé).



- (A) Teneurs en nitrates inférieures à 10 mg.L⁻¹
- (B) Pollutions agricoles, urbaines, domestiques
- (C) Exemples de sources de chlorure (sans nitrate) : lessivages de saumures ou d'évaporites, salage des routes

Illustration 26 : Diagramme NO₃ versus Cl et schéma d'interprétation

Le diagramme binaire fournit ici des éléments pour déterminer l'origine possible des nitrates mesurés.

Les nitrites (NO_2^-)

• Les nitrites dans le milieu naturel

Les nitrites sont traités dans le chapitre « éléments majeurs » car leur formation est liée à la présence de nitrates. Les nitrites ne sont cependant pas considérés comme des éléments majeurs.

La présence de nitrites est reliée à celle des nitrates par l'équation suivante :



En milieu pauvre en oxygène (cas des nappes captives), la dégradation des nitrates par les bactéries ou par des minéraux peut conduire à la formation de nitrites. La présence de nitrites est un bon indice de contamination organique et bactériologique ou d'un milieu très pauvre en oxygène. Il est considéré d'une manière générale que des teneurs supérieures à 1 mg/l sont signes de pollution.

• Résultats et interprétation des analyses

Les analyses effectuées en saison des pluies 2006 ont révélées la présence de nitrites sur 10 échantillons. Les valeurs s'échelonnent entre 0.01 et 0.34 mg/l. Les analyses effectuées en saison sèche 2006 avaient montré la présence de nitrites au sein de 15 échantillons. La fréquence et le nombre de campagnes d'analyses effectuées jusqu'à présent ne permettent pas d'interpréter une telle évolution. Les teneurs en nitrites peuvent toutefois être considérées comme faibles.

L'ammonium (NH_4^+)

• L'ammonium dans le milieu naturel

L'ion ammonium est la forme la plus réduite de l'azote dans les eaux naturelles. Il a la propriété d'être fortement adsorbé sur les surfaces minérales. Les sources d'azote ammoniacal sont principalement les eaux météoriques (concentrations communes de 0.1 à 2 mg/l), la réduction des nitrates par des bactéries autotrophes ou par des éléments métalliques et encore la dégradation de la matière organique. La concentration en ammonium est généralement très limitée dans les eaux souterraines (le plus souvent inférieure à 0.2 mg/l), principalement à cause de sa complexation avec des éléments du sol et son oxydation rapide en milieu oxygéné. De plus fortes concentrations sont possibles en milieu anoxique (teneurs pouvant atteindre 3mg/l). La présence de l'ion ammonium est ainsi caractéristique des nappes captives et peut être un indice d'une activité biogéochimique importante (pollution bactérienne).

• Résultats et interprétation des analyses

Des traces d'ammonium ont été détectées au sein de 6 échantillons analysés. Les teneurs mesurées s'échelonnent entre 0.1 et 0.4 mg/l. En saison sèche 2006, la campagne d'analyse avait révélée la présence d'ammonium au sein de 9 échantillons,

et ce, pour des teneurs assez similaires (comprises entre 0.1 et 0.5 mg/l). Les concentrations mesurées sont ainsi très faibles.

L'illustration 27 ci-dessous montre que les teneurs les plus importantes en ammonium (supérieures à 0.3 mg/l) sont mesurées sur les eaux les plus appauvries en oxygène (concentrations en oxygène dissous inférieures ou égales à 2 mg/l). La présence d'ammonium est donc ici un indice d'activité biochimique, toutefois modérée compte tenu des faibles concentrations en ammonium mesurées. Les concentrations observées ne montrent donc pas de pollution bactérienne.

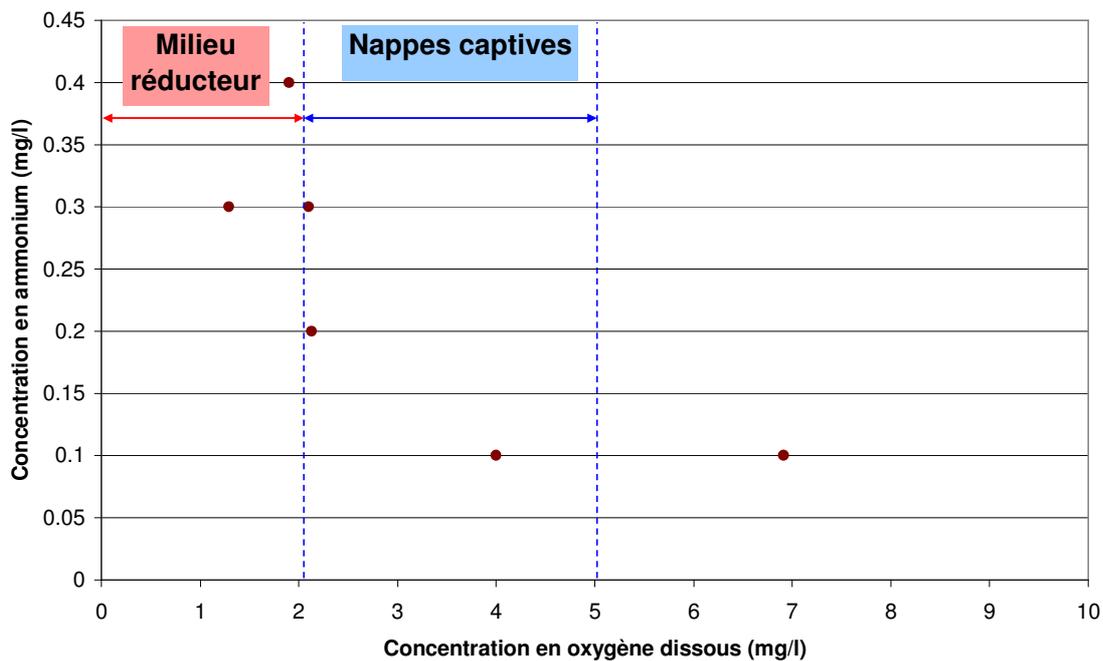


Illustration 27 : Diagramme des concentrations en ammonium en fonction de la concentration en oxygène dissous

Les concentrations en ammonium restent toutefois dans des limites très faibles.

3.2.11. Synthèse des concentrations en éléments majeurs rencontrées

L'illustration 28 ci-dessous synthétise, pour les campagnes d'analyses effectuées en saison sèche et en saison des pluies 2006, les moyennes de l'ensemble des analyses ainsi que les concentrations minimales et maximales détectées pour chaque élément. Une comparaison est également effectuée avec les concentrations relevées dans l'eau de pluie.

Élément	Concentrations moyennes (mg/l)		Concentrations (minimales et maximales) mesurées en saison des pluies 2006 (mg/l)		Concentration mesurée dans l'eau de pluie - analyse saison des pluies 2006 (mg/l)
	Saison sèche 2006	Saison des pluies 2006	Minimums	Maximums	
Chlorure	62.32	62.32	6.1	384.3	2.5
Calcium	29.36	28.52	3.8	160	0.5
Potassium	3.56	4.39	0.9	16.8	< LQ (0.5 mg/l)
Magnésium	10.63	12.05	1.4	54.7	0
Sodium	50.1	51.65	8.1	303.2	1.7
Sulfate	17.26	16.03	1.3	64.2	0.6
Silice	61.94	63.43	16.3	110.2	< LQ (0.5 mg/l)
Bicarbonate	130.73	140.38	23	531	< LQ (5 mg/l)
Nitrate	11.39	10.96	1	10	< LQ (0.5 mg/l)
Nitrite	-	-	0.01	0.34	< LQ (0.01 mg/l)
Ammonium	-	-	0.1	0.3	< LQ (0.1 mg/l)

Illustration 28 : Tableau de synthèse des concentrations rencontrées pour chaque élément

Les concentrations mesurées en saison des pluies 2006 sont très proches des concentrations mesurées en saison sèche 2006.

L'illustration 29 et l'illustration 30 ci après confirment cet état de fait. Les graphiques présentent en effet les concentrations mesurées en saison des pluies 2006 en fonction des concentrations mesurées en saison sèche 2006. Les points s'alignent quasiment tous sur les droites de représentation 1 :1 pour chaque élément, ce qui justifie la bonne corrélation saison sèche 2006 – saison des pluies 2006. Les numéros indiqués font référence aux numéros de terrain des sites qui ne présentent pas de réelle corrélation entre saison sèche 2006 et saison des pluies 2006. Le nombre de point désaxés de la droite est très faible.

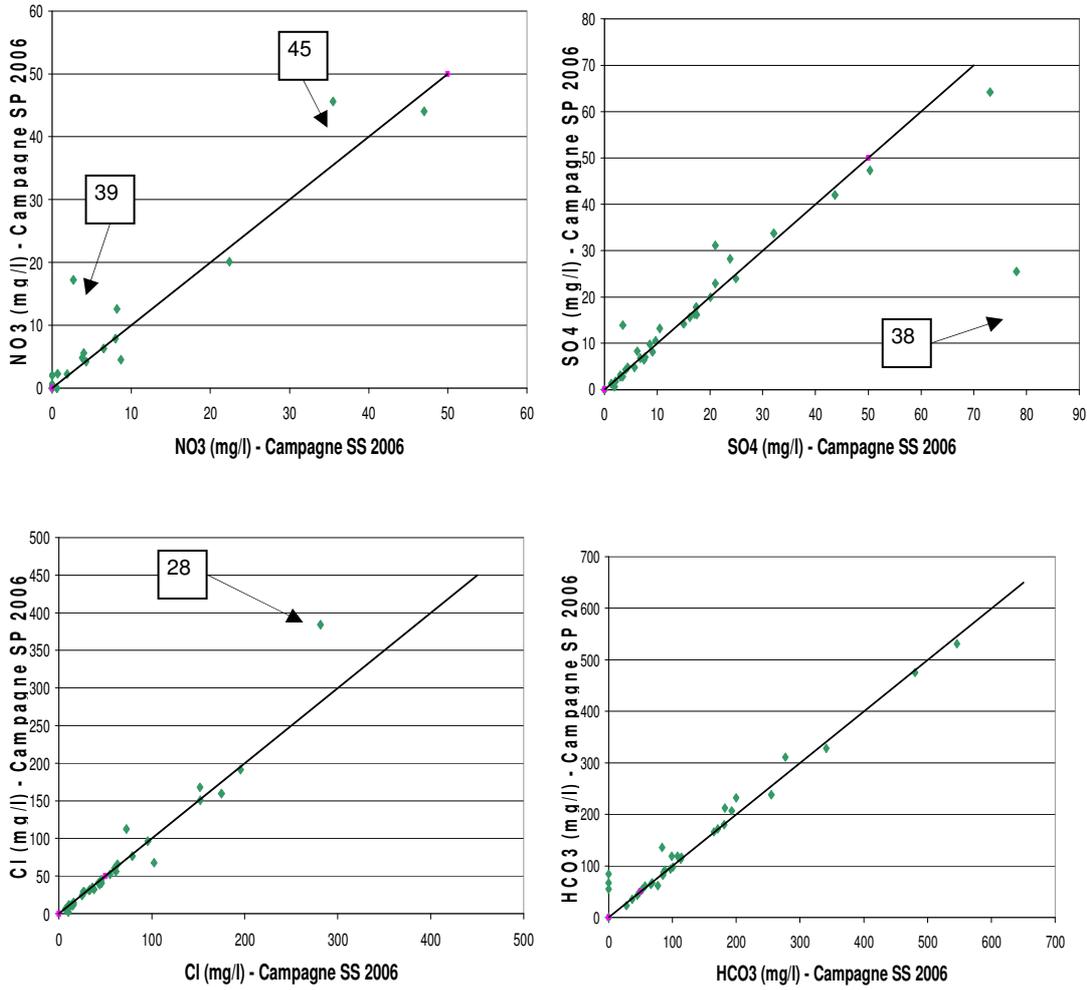


Illustration 29 : Comparatif saison sèche 2006 – saison des pluies 2006 (anions)

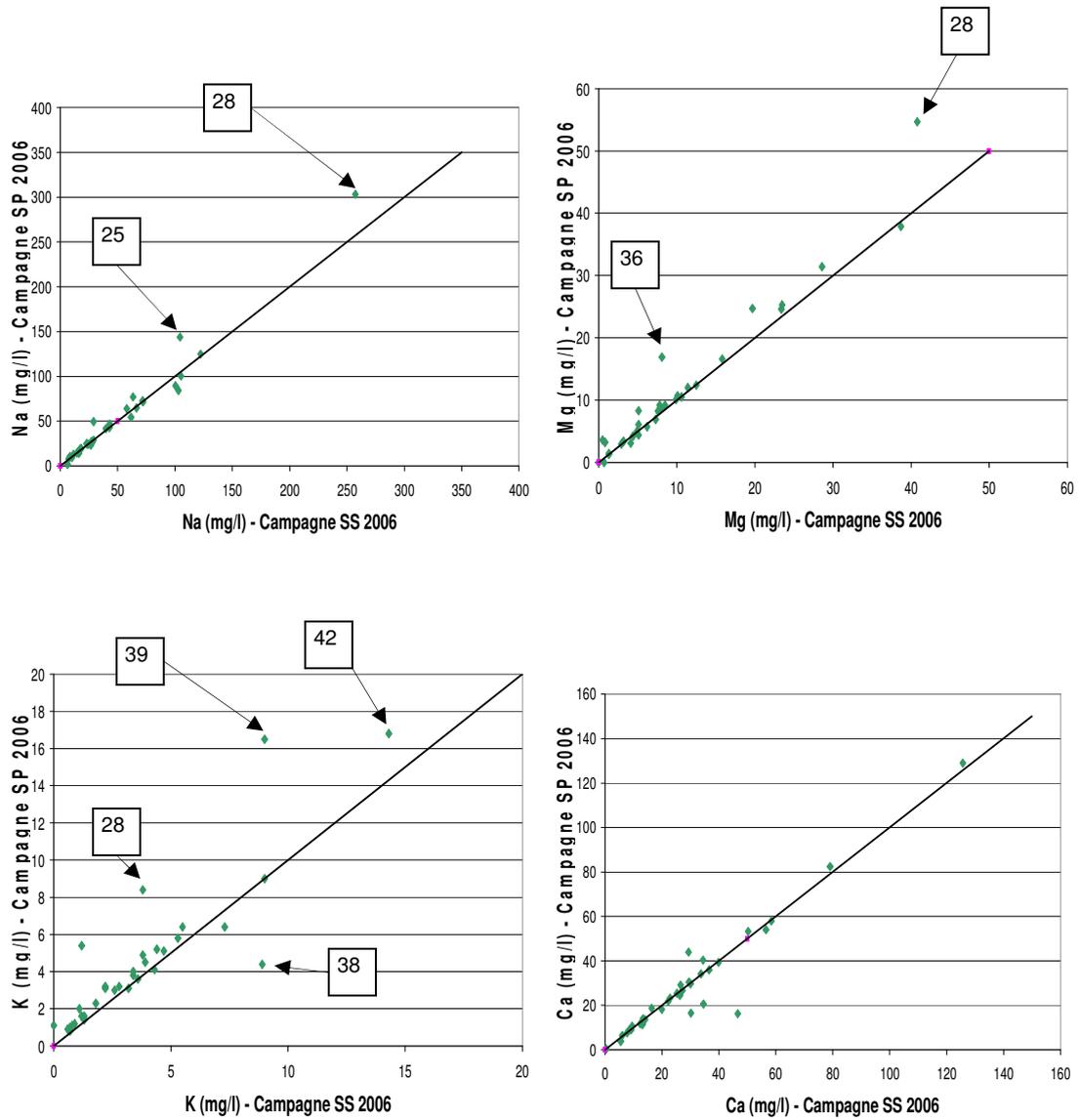


Illustration 30 : Comparaison saison sèche – saison des pluies 2006 (cations)

3.2.12. Synthèse des faciès hydrochimiques rencontrés

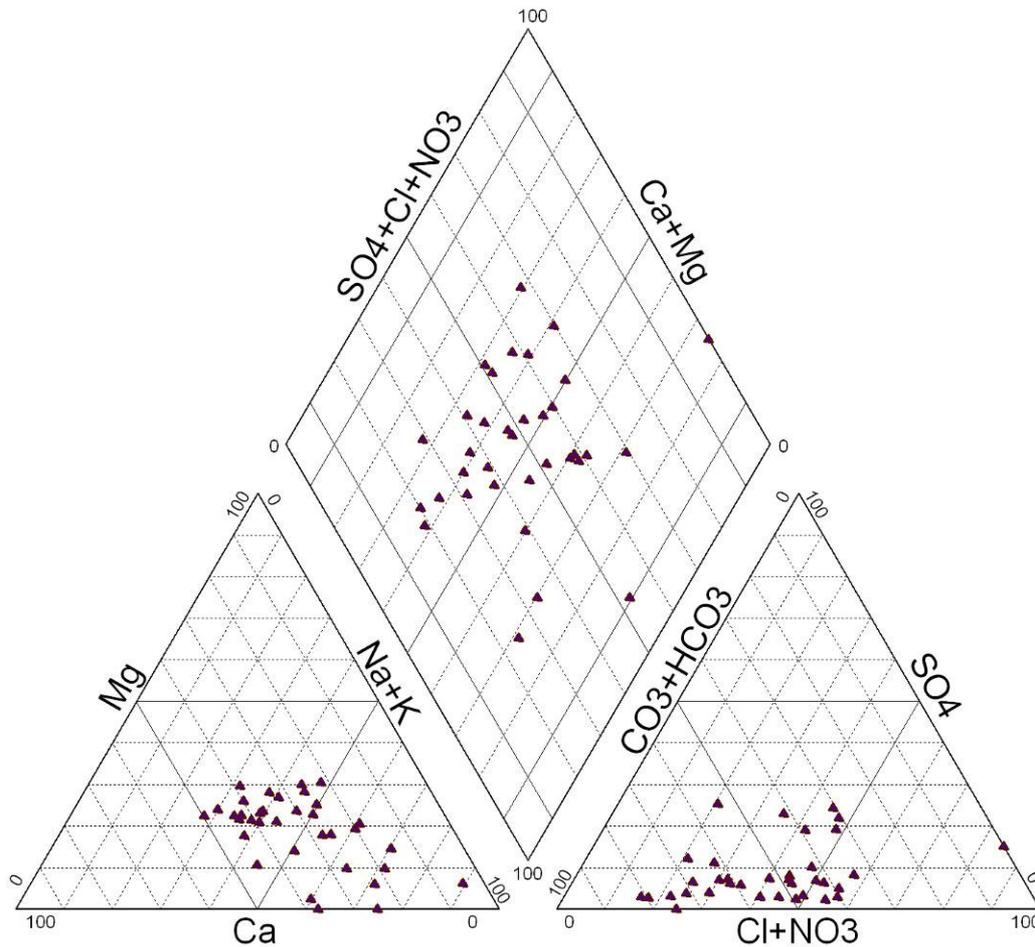


Illustration 31 : Diagramme de Piper des analyses effectuées en saison des pluies 2006

Les analyses effectuées sur les éléments majeurs ont permis de réaliser un diagramme de Piper (Illustration 31). Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les cotés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions éléments majeurs par rapport au total des ions.

Le triangle inférieur droit sert à la représentation des anions (-), le triangle inférieur gauche à la représentation des cations (+).

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. Le point d'intersection alors figuré représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position relative permet de caractériser le faciès chimique de l'élément.

Les faciès ainsi caractérisés ont été repérés. Une synthèse a été effectuée dans l'illustration 32 ci-dessous afin de repérer les faciès chimiques caractéristiques de chacune des eaux souterraines analysées. Les numéros d'identifiants correspondent aux numéros de terrains (Cf. § 2.1).

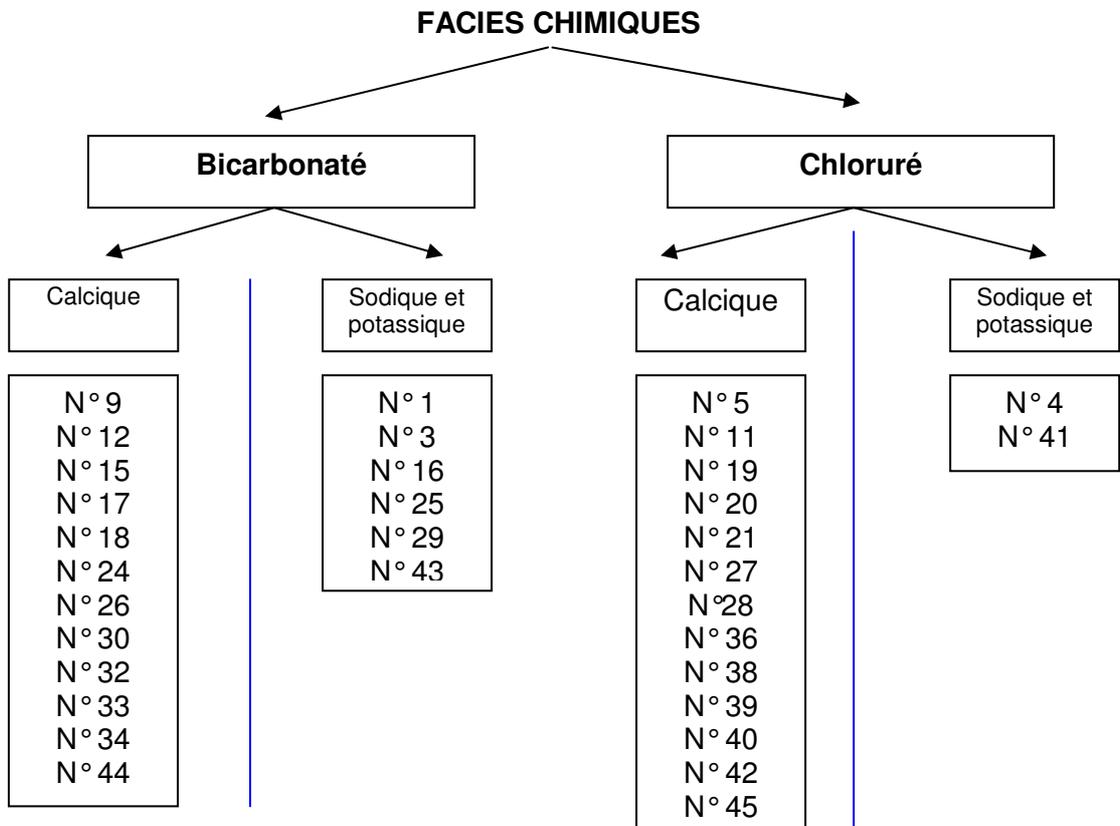


Illustration 32 : Synthèse des faciès chimiques des eaux souterraines analysées

La représentation effectuée sur le diagramme de Piper a permis de distinguer les faciès :

- bicarbonatés calciques.
- bicarbonatés sodiques et potassiques.
- chlorurés calciques.
- chlorurés sodiques et potassiques.

On constate ainsi l'importance des faciès chlorurés. Comme signalé précédemment, le contexte insulaire doit imposer le suivi régulier de l'évolution des teneurs en chlorures. Les analyses effectuées sur les cations ne montrent pas de prédominance cationique particulière (magnésium ou calcium), le nuage de point est en effet très centré sur le triangle inférieur droit. Il en résulte l'absence de faciès exclusivement magnésien ou calcique. Du point de vue des anions, on remarque dans un premier temps l'absence de faciès sulfaté. En effet, aucune eau ne présente de prédominance anionique en sulfate. Le contexte volcanique et l'absence de roches évaporitiques semble être le meilleur argument pour justifier ce comportement. On distingue également l'importance des bicarbonates (HCO_3^-) au sein des analyses. La prédominance des faciès bicarbonatés est mise en évidence sur l'illustration 33 ci-dessous.

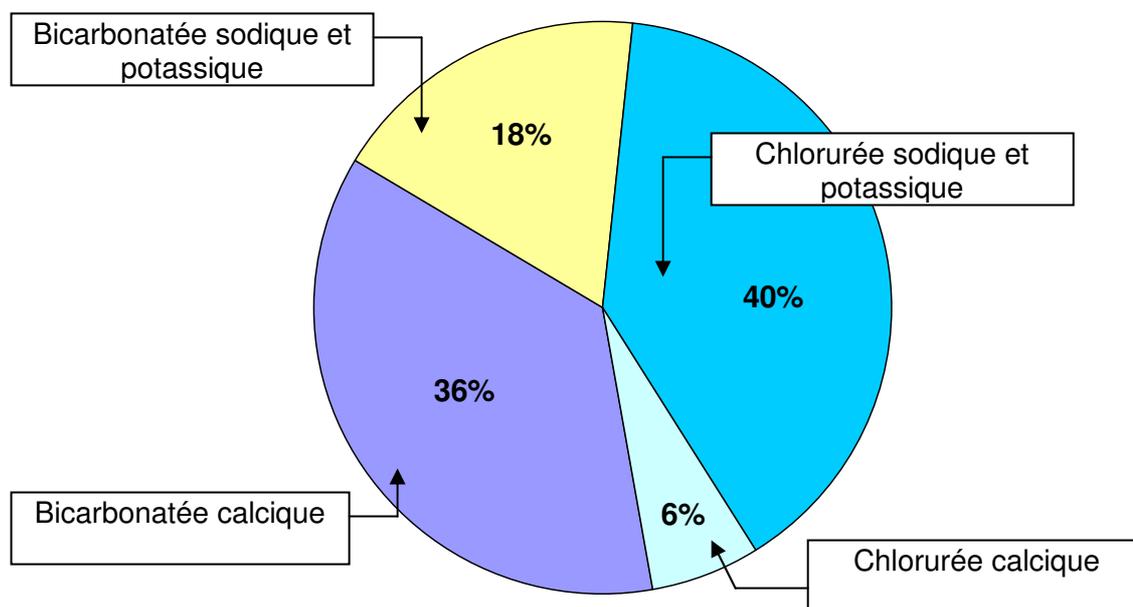


Illustration 33 : proportion relative des faciès chimiques rencontrés dans les eaux analysées

On retiendra donc la prédominance des éléments Cl, Ca, Na et HCO_3 au sein des échantillons analysés.

3.3. ANALYSE DES ELEMENTS TRACES - METAUX

Parmi les éléments traces recherchés, plusieurs éléments peuvent être présents à l'état naturel (fond géochimique) et être également induits par l'activité anthropique. Les analyses effectuées ont pour but de mettre en évidence :

- les sites sur lesquels les éléments traces en question ont été quantifiés (analyses supérieures aux limites de quantification du laboratoire),
- les minimas, maximas, et moyennes observées pour chacun des éléments détectés.

Ces éléments sont présents à l'état naturel dans les nappes. Le fond géochimique n'est pas encore caractérisé. Les seuils de concentration au-delà desquels une pollution anthropique peut être suspectée ne sont donc pas connus. La présentation des résultats se veut donc uniquement descriptive.

L'ensemble de ces données est représenté dans l'illustration 34 ci-dessous.

Nom	Limite de quantification laboratoire	Nombre d'analyses supérieures à la limite de quantification	Teneur maximale mesurée (µg/l)	Teneur moyenne (µg/l)
Argent	5 µg/l	0	-	-
Aluminium	10 µg/l	6	23	14.83
Arsenic	10 µg/l	4	10	6.5
Bore	10 µg/l	34	718	76.08
Baryum	5 µg/l	17	97	18.52
Béryllium	5 µg/l	0	-	-
Cadmium	2 µg/l	0	-	-
Cobalt	2 µg/l	2	2	2
Chrome	5 µg/l	2	11	8
Cuivre	2 µg/l	16	20	4.93
Lithium	10 µg/l	9	55	25.88
Nickel	5 µg/l	2	7	6
Plomb	2 µg/l	3	5	3.66
Strontium	10 µg/l	32	855	142.21
Zinc	5 µg/l	23	168	38.6
Fer	100 µg/l	18	2200	570
Manganèse	5 µg/l	18	1152	245.66

Illustration 34 : Synthèse sur les éléments traces retrouvées lors de la campagne d'analyses

L'**argent**, le **béryllium** et le **cadmium** n'ont pas été détectés. Ces éléments semblent donc absents du fond géochimique de Martinique (absents à l'état naturel). Ces trois éléments n'avaient d'ailleurs pas été mis en évidence lors des précédentes campagnes d'analyses (effectuées depuis 2004). Plusieurs éléments tels que le **fer** et le **manganèse** ont été détectés. La présence de ces éléments peut être due d'une part à la nature géologique des roches dans lesquelles les eaux souterraines ont circulées et d'autre part au caractère anoxique des eaux souterraines en Martinique (précipitation du fer et manganèse favorisée dans les milieux réducteurs). Plusieurs explications sont ainsi possibles pour expliquer la présence accrue de ces deux éléments. Le **bore**, le **cuivre** et le **strontium** sont également détectés de même que le **plomb**, le **cobalt** et le **chrome**. De l'**arsenic** a également été détecté à des teneurs comprises entre 6 et 10 µg/l. Des concentrations dans les eaux souterraines de quelques µg/l à plusieurs dizaines de µg/l sont fréquentes (Chery, 2006). La profondeur est susceptible de jouer un rôle important sur les teneurs en arsenic, de même que les conditions d'oxydoréduction du milieu.

Une analyse plus prononcée devra donc être menée en vue de caractériser précisément le fond géochimique de ces éléments.

3.4. RECHERCHE DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES

3.4.1. Historique

Depuis le mois de janvier de l'année 2004, quatre campagnes d'analyses ont été effectuées. L'illustration 35 ci-dessous récapitule les campagnes réalisées, le nombre d'ouvrages suivis ainsi que le nombre de molécules recherchées à chaque campagne.

Date de prélèvements	Nombre d'ouvrages ayant fait l'objet d'une recherche de produits phytosanitaires	Nombre de molécules phytosanitaires recherchées
Saison sèche 2004 (janv-mars 04)	34	5
Saison des pluies 2004 (oct-nov 04)	10	111
Saison des pluies 2005 (nov-janv 06)	10	120
Saison sèche 2006 (avr-mai 06)	10	120
Saison des pluies 2006 (nov-dec 06)	15	132

Illustration 35 : Tableau récapitulatif des recherches de produits phytosanitaires réalisées sur le réseau de suivi qualitatif des eaux souterraines de Martinique

Sur l'ensemble du réseau de suivi qualitatif des eaux souterraines de Martinique, 15 sites ont fait l'objet de recherches de produits phytosanitaires durant la campagne réalisée en saison des pluies 2006.

Il est important de souligner que **les sites ont été choisis en fonction du risque de contamination par les produits phytosanitaires, il s'agit donc d'un réseau orienté**. De plus, on notera qu'à chaque campagne les points sélectionnés sont variables, les points contaminés étant conservés alors que les autres sont sortis du suivi.

3.4.2. Résultats

L'objectif de cette présentation est d'effectuer un état des lieux synthétique des produits retrouvés sur les sites ayant fait l'objet de recherches en produits phytosanitaires.

Convention de représentation sur les graphiques :

Sous les graphiques ont été apposés les tableaux de valeurs respectifs des données. Au sein de ces tableaux, plusieurs cas de figures sont possibles :

- ⇒ *aucune valeur n'est indiquée : molécule non recherchée*
- ⇒ *valeur négative : molécule non quantifiée, la valeur indiquée après le signe – correspond à la limite de quantification de la molécule en question*
- ⇒ *valeur 0 : molécule détectée à des teneurs non quantifiables.*
- ⇒ *Valeur : concentration effectivement mesurée*

Nota : Des informations concernant les molécules détectées et quantifiées sont présentées en annexe 2.

• **Basse Pointe – Rivière Falaise**

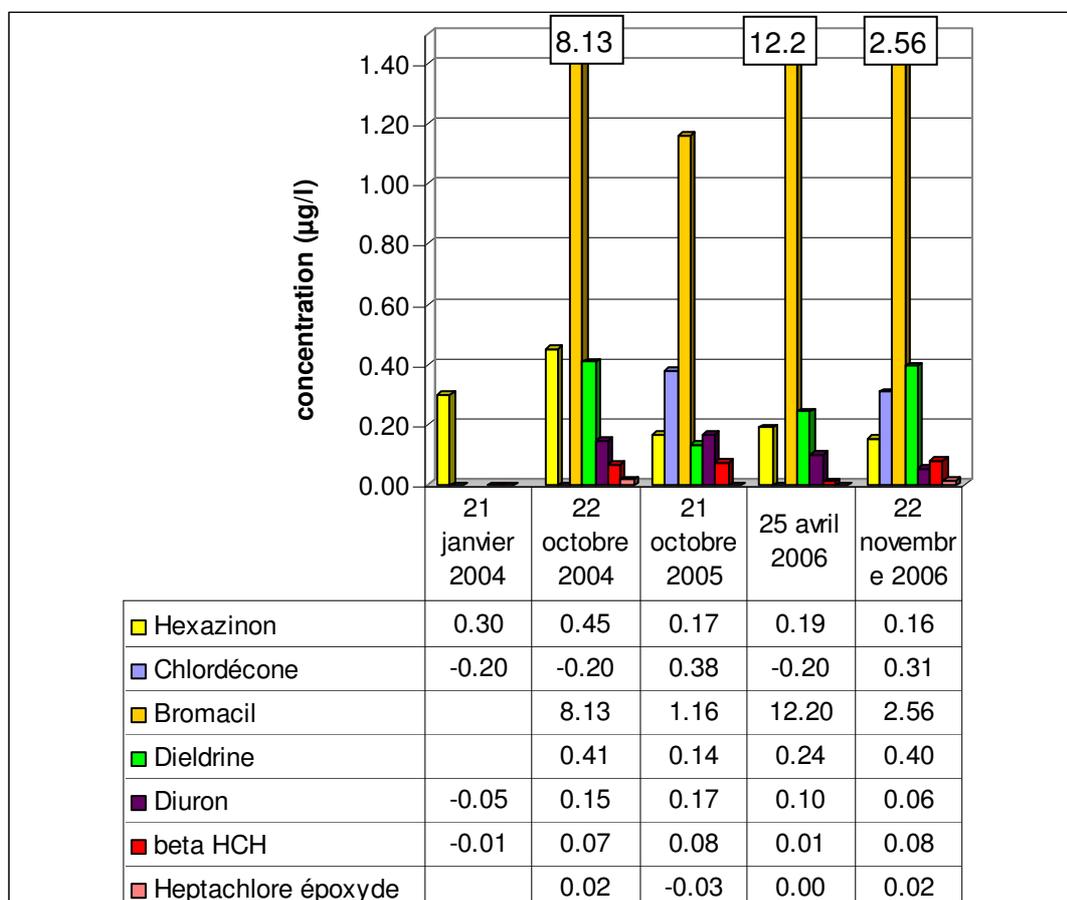


Illustration 36 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Basse Pointe – Rivière Falaise

Le site de Basse Pointe – Rivière Falaise est situé dans le secteur Nord Atlantique. Il fait l'objet de recherches en pesticides depuis la saison des pluies 2004. Ce site est le plus pollué, tant en nombre de molécules détectées qu'en concentration totale de produits présents.

Le bromacil, recherché depuis octobre 2004 est détecté à chaque campagne à des concentrations importantes. La concentration détectée en saison des pluies 2006 est cependant 5 fois plus faible qu'en saison sèche 2006.

Le chlordécone, recherché depuis le mois de janvier 2004, n'est pas retrouvé sur l'intégralité des campagnes. Sur les 5 campagnes effectuées, il n'a été retrouvé qu'en octobre 2005 et en novembre 2006 à des teneurs comprises entre 0.3 et 0.4 µg/l.

L'hexazinone a été détecté sur l'intégralité des campagnes à des concentrations comprises entre 0.15 et 0.45 µg/l, de même que la dieldrine, recherchée depuis octobre 2004.

Le diuron, recherché depuis octobre 2004 a été retrouvé lors des 4 dernières campagnes. Les concentrations détectées semblent toutefois diminuer pour cette molécule.

- **Basse Pointe – Chalvet**

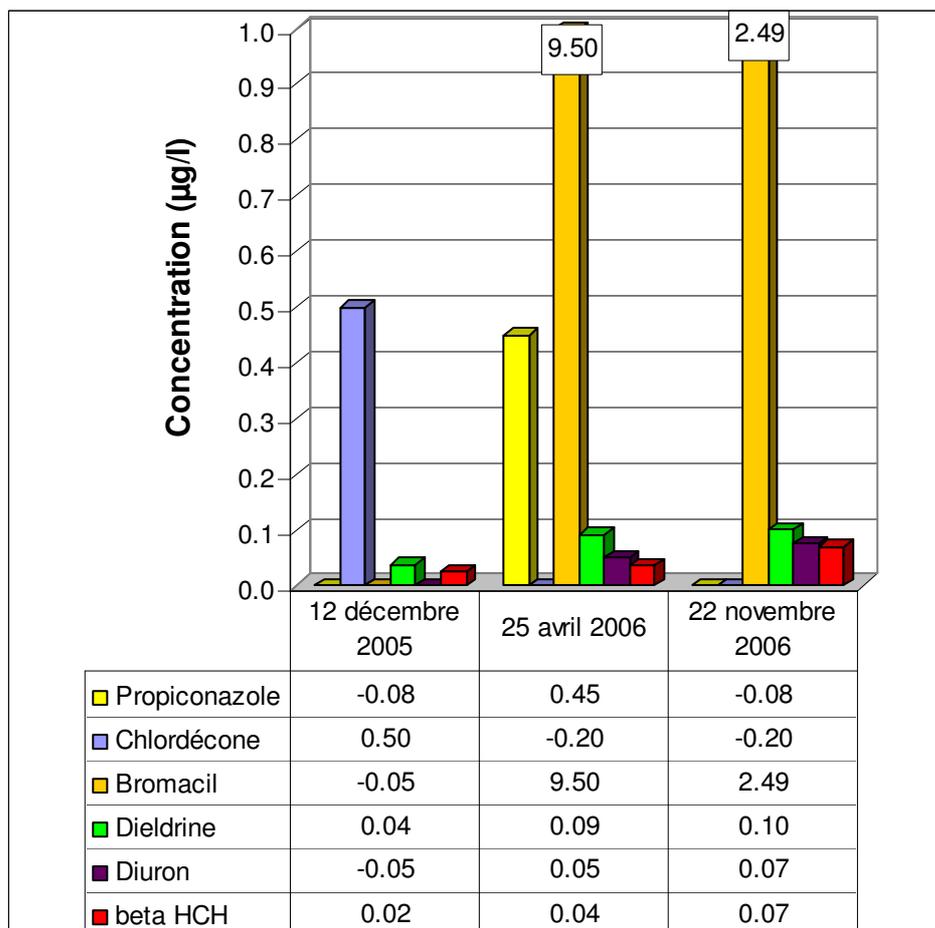


Illustration 37 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Basse Pointe – Chalvet

Le site de Basse Pointe – Chalvet est situé à environ 3 km en aval du site de Rivière Falaise évoqué précédemment.

Les mêmes molécules y sont détectées, à des concentrations également très similaires. C'est le cas notamment du Bromacil, détecté à une concentration de 2.49 µg/l (2.56 µg/l détecté sur le site de Rivière Falaise), du bêta HCH, détecté à 0.07 µg/l (0.08 µg/l détecté sur le site de Rivière Falaise).

Il est également possible de constater entre les sites de « Rivière Falaise » et « Chalvet » une évolution des concentrations rencontrées assez simultanée. Le Bromacil présente en effet, entre les campagnes de saison sèche et saison des pluies

2006 une nette tendance à la baisse sur les deux sites. Le béta HCH présente inversement une tendance à la hausse simultanée sur les deux sites évoqués.

• **Marigot – Anse Charpentier**

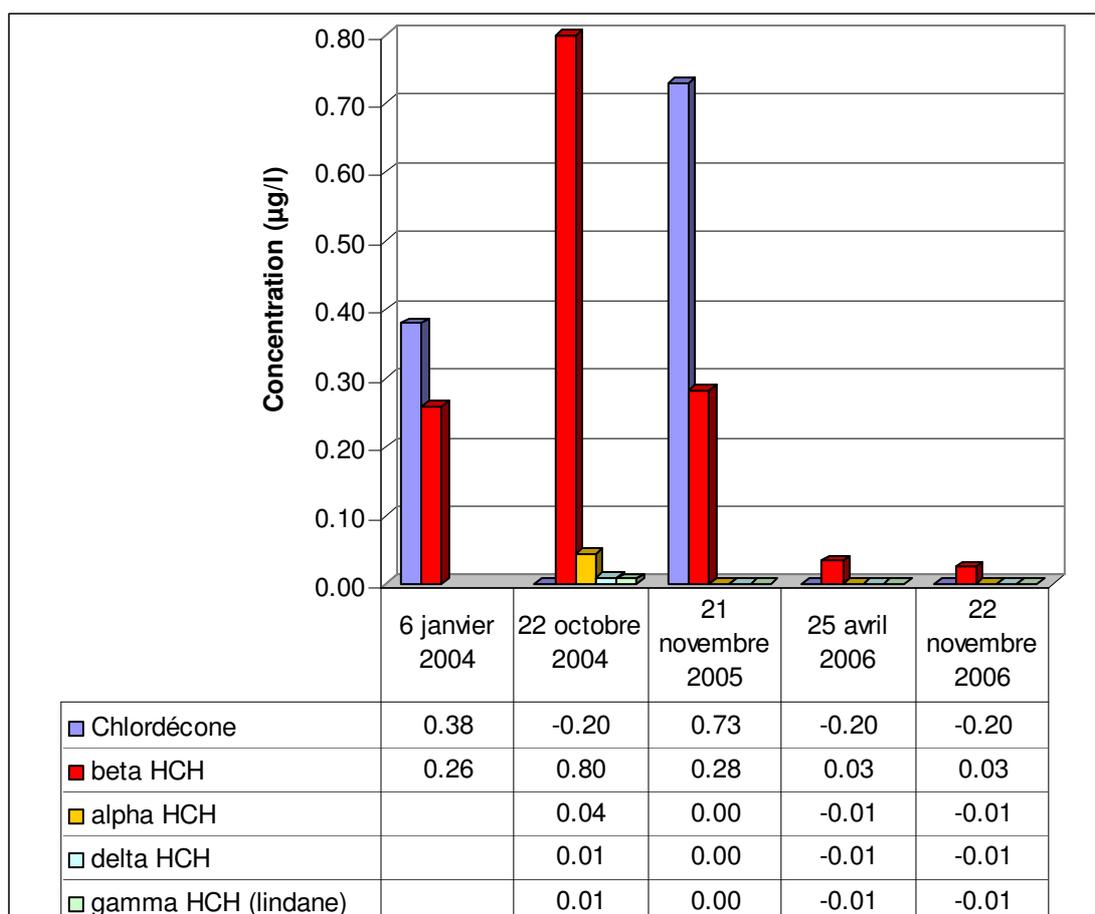


Illustration 38 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Marigot – Anse Charpentier

Le site de Marigot – Anse Charpentier est situé sur la côte Nord-Atlantique.

Au cours de la campagne de saison des pluies 2006, seule la molécule de béta HCH a été détectée et quantifiée. Sa concentration présente cependant une baisse progressive depuis le mois d'octobre 2004. Cette tendance sera à surveiller lors des prochaines analyses effectuées sur ce site.

Le chlordécone apparaît par ailleurs de manière ponctuelle lors des campagnes de janvier 2004 et novembre 2005 mais à des concentrations importantes.

• **Trinité – Source Morne Figue**

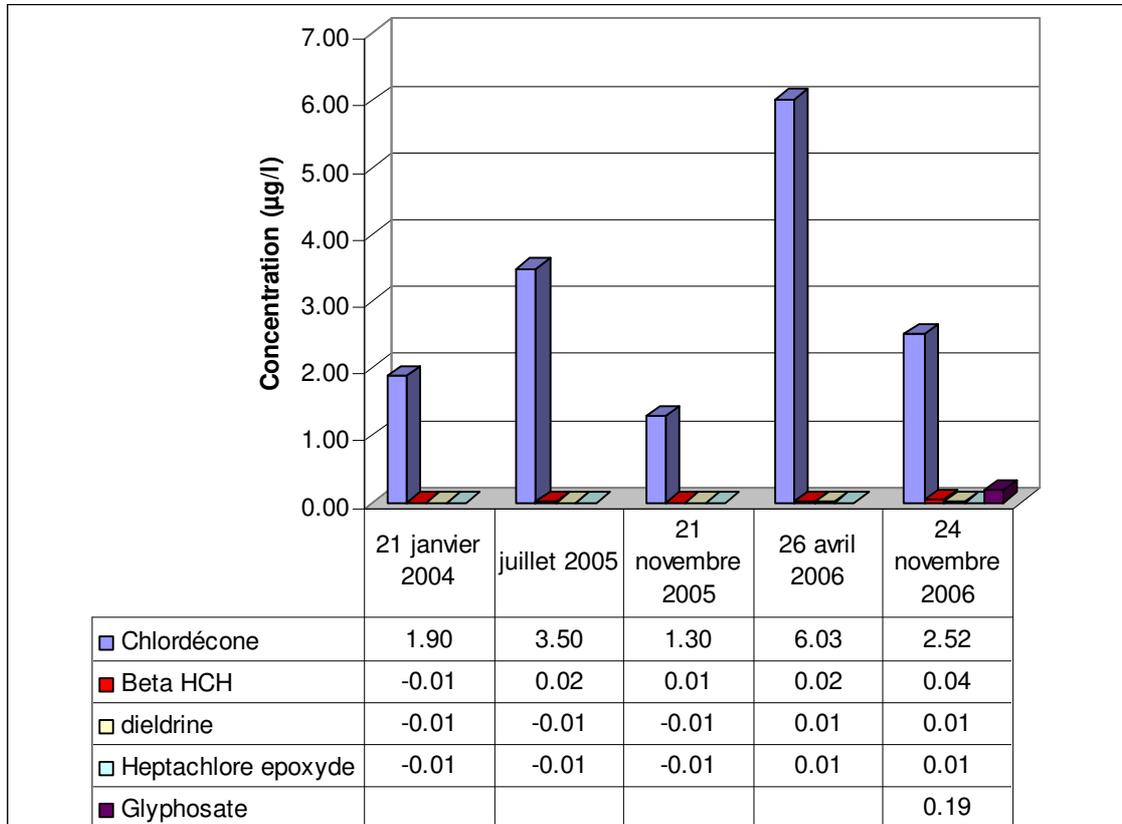


Illustration 39 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Trinité – Morne Figue

La source de Morne Figue est principalement contaminée par deux insecticides, le **chlordécone** et le **béta HCH**. Le chlordécone y est détecté à des concentrations très importantes.

La **dieldrine** et l'**heptachlore epoxyde** sont apparues depuis la campagne de saison sèche 2006, à des concentrations toutefois proches des limites de quantifications. Ces deux molécules devront faire l'objet d'une surveillance lors des prochaines analyses.

• **Gros Morne – La Borelli**

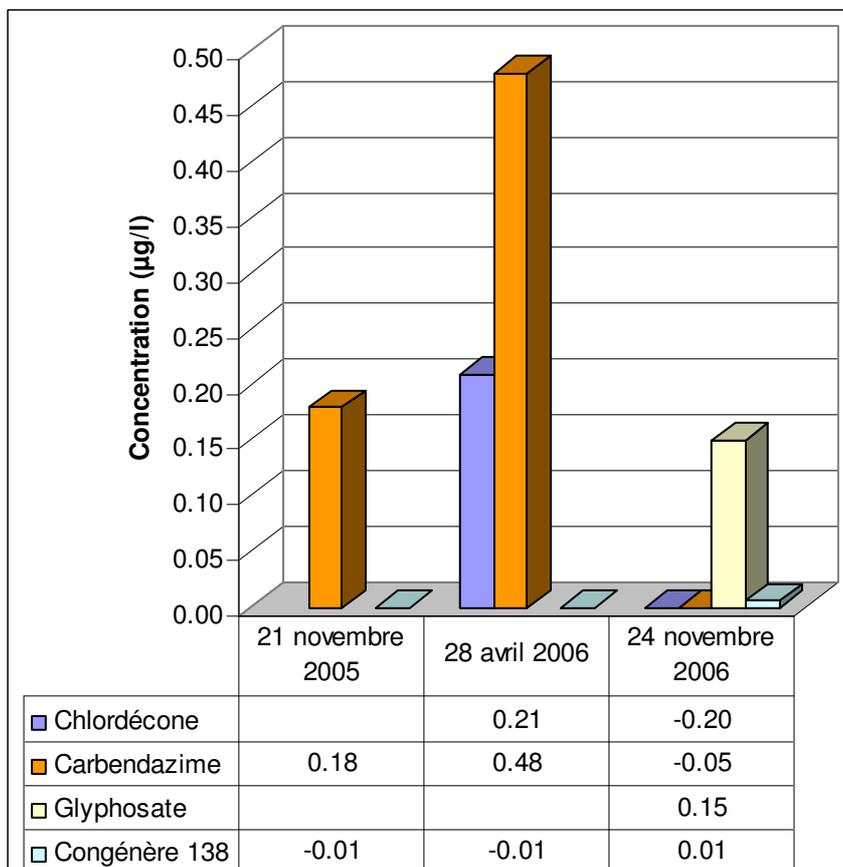


Illustration 40 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Gros Morne – La Borelli

Les seules molécules détectées et quantifiées lors de la campagne de saison des pluies 2006 sont le glyphosate, recherché pour la 1ere fois, et le congénère 138. Le chlordécone et le carbendazime avaient été détectés avec des concentrations importantes en avril 2006 mais n'ont pas été quantifiés en saison des pluies 2006.

• **François – Grand Fond**

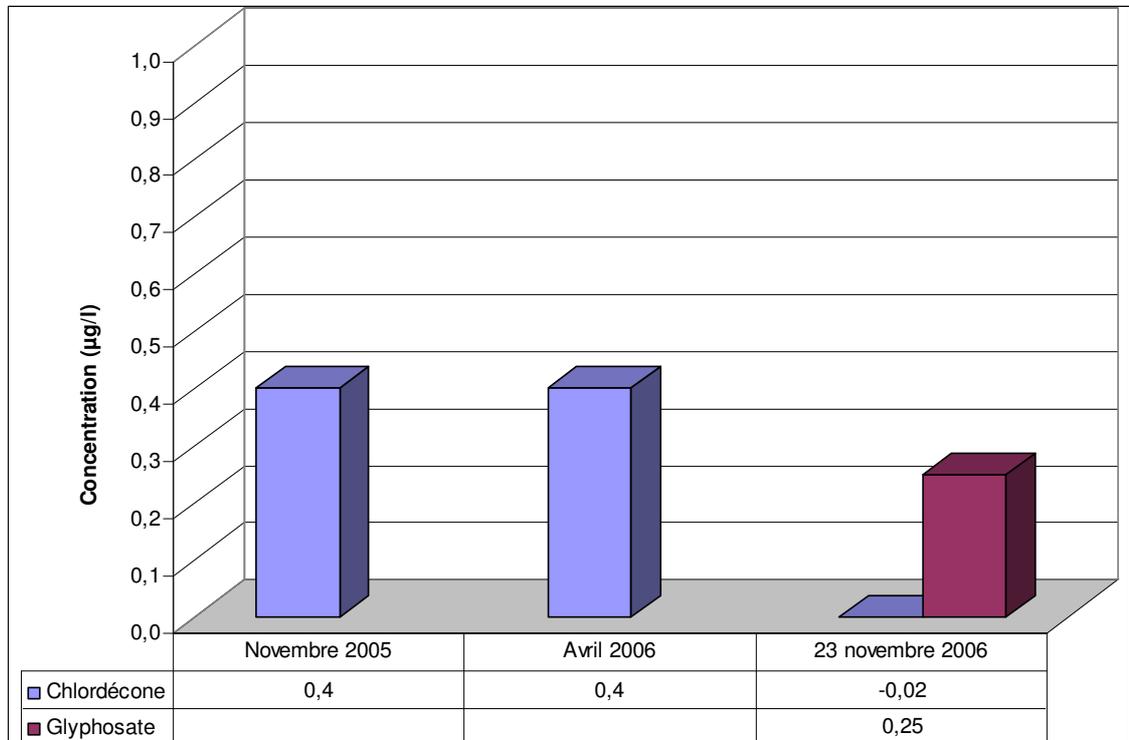


Illustration 41 : Produits phytosanitaires détectés sur le site François – Grand Fond

Le site de François – Grand Fond est situé dans le secteur centre de la Martinique.

La campagne de saison des pluies 2006 a permis d'identifier la présence du glyphosate qui n'avait pas été recherché lors des campagnes précédentes. Le chlordécone, détecté lors des deux dernières campagnes à des concentrations de 0.4 µg/l n'a toutefois pas été détecté.

• Gros Morne – Vert Pré

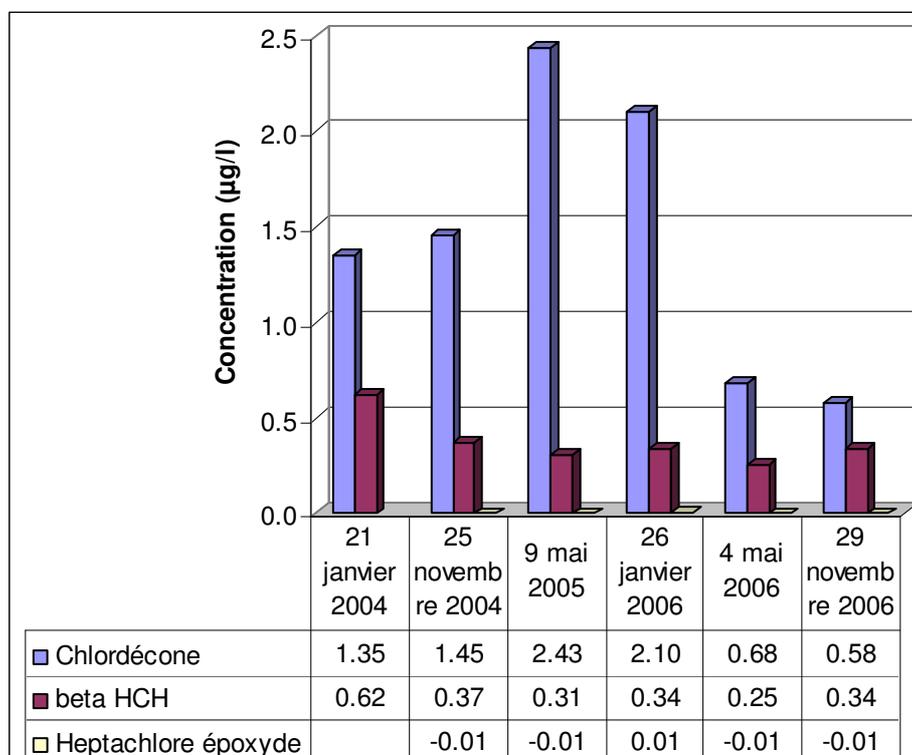


Illustration 42 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Gros Morne – Vert Pré

Le site de Gros Morne – Vert Pré (comme la source de Morne Figue) est marqué par la présence systématique de deux insecticides : le chlordécone et le bêta HCH. Les teneurs rencontrées ne montrent pas d'évolution significative depuis le début des campagnes effectuées en janvier 2004.

La concentration en chlordécone détectée lors de la saison des pluies 2006 est la plus faible concentration détectée depuis janvier 2004.

• **Lorrain – Fond Brûlé**

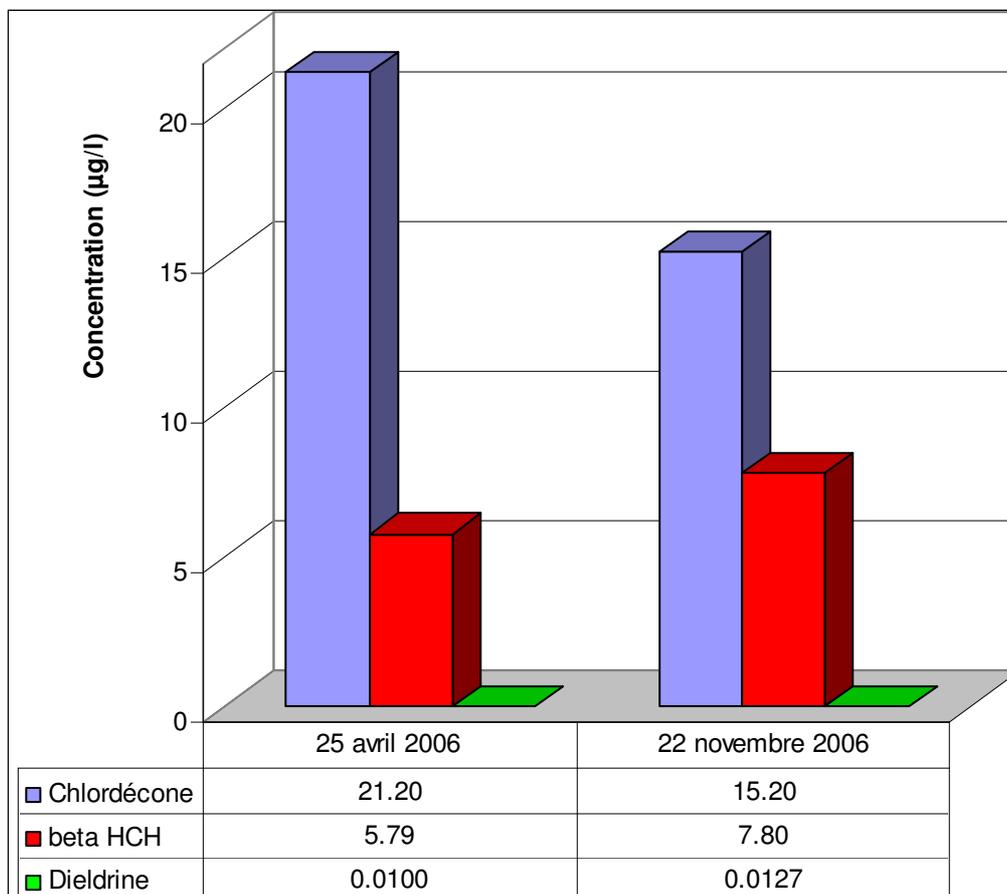


Illustration 43 : Produits phytosanitaires détectés sur le site du Lorrain – Fond Brûlé

Le site du Lorrain – Fond Brûlé est situé dans le secteur Nord Atlantique.

Les caractères les plus notables des analyses sont les fortes concentrations en chlordécone et bêta HCH, dépassant 5 µg/l pour le bêta HCH et 15 µg/l pour le chlordécone.

Ces concentrations exceptionnellement élevées imposeraient la réalisation d'une recherche spécifique sur l'environnement du forage (historique de la sole agricole), une pollution locale ne pouvant être exclue (on notera la présence d'un ancien site de stockage de produits phytosanitaires à moins de 500 mètres en amont).

• **Saint Pierre – CDST**

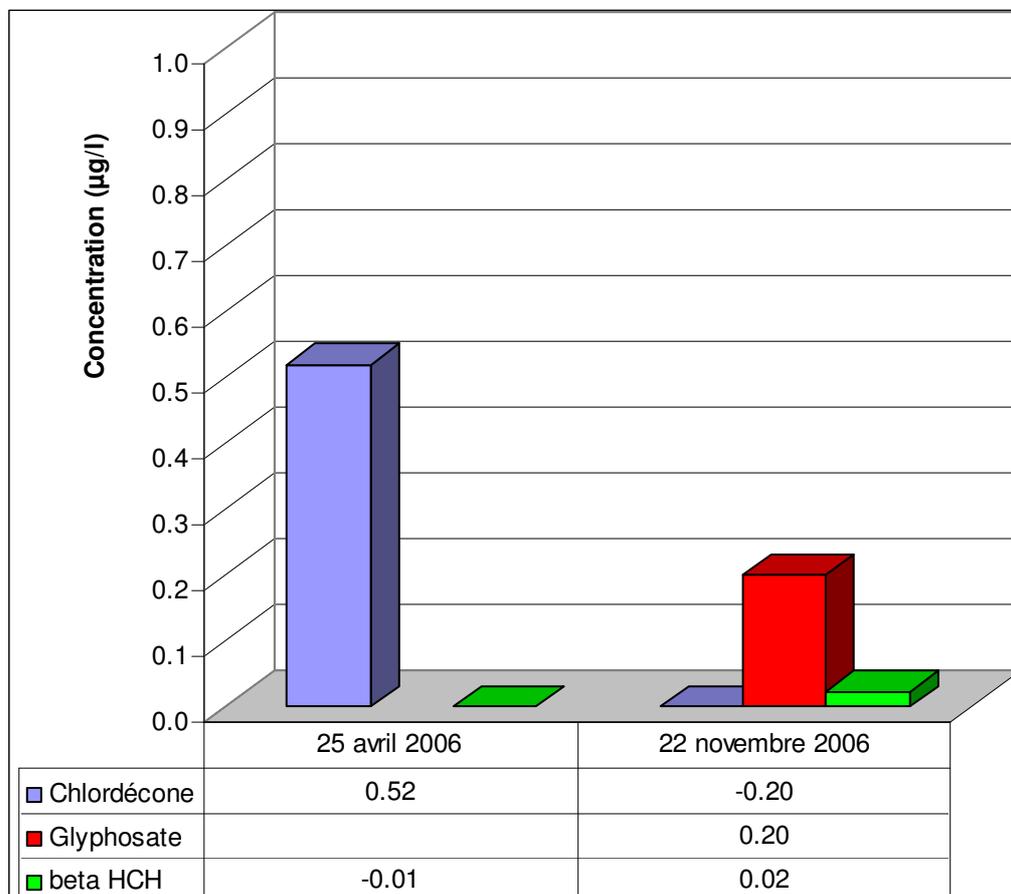


Illustration 44 : Produits phytosanitaires détectés sur le site de Saint-Pierre – CDST

Le site de St-Pierre – CDST est situé dans le secteur Nord Caraïbes. Les deux molécules détectées lors de la campagne de saison des pluies 2006 sont le glyphosate et le bêta HCH.

Bien que détecté lors de la campagne de saison sèche 2006 à une concentration de 0.52 µg/l, le chlordécone n'a pas été retrouvé lors de la campagne de saison des pluies 2006.

• **Lamentin – Habitation Ressource**

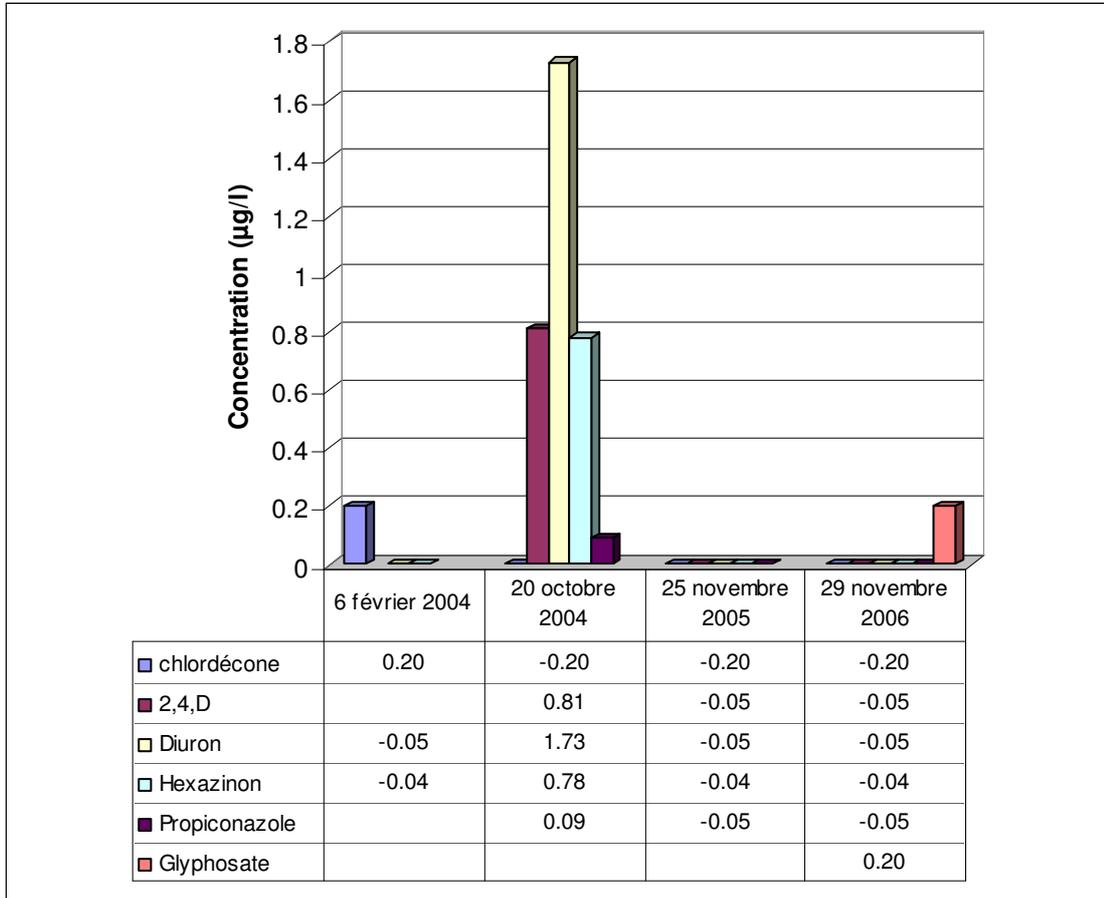


Illustration 45 : Produits phytosanitaires détectés sur le site du Lamentin – Habitation Ressource

Le site du Lamentin – Habitation Ressource est situé au sein d’une exploitation bananière au cœur de la plaine du Lamentin. Au cours de la campagne de saison des pluies 2006, seule la molécule de glyphosate a été détectée. L’analyse effectuée en octobre 2004 avait révélé la présence de Chloredécone, de 2.4D, de diuron, d’hexazinone et de propiconazole en quantité. Depuis la réhabilitation de l’ouvrage et son rééquipement effectué en 2005, ces produits ne sont plus détectés.

La présence de glyphosate, nouvellement recherchée, devra cependant faire l’objet d’un suivi particulier au cours des prochaines campagnes.

- **Prêcheur – Rivière du prêcheur**

Le site du prêcheur – Rivière du Prêcheur est situé sur la façade Nord Caraïbes. Les analyses effectuées en saison des pluies 2006 ont révélées la présence de glyphosate à une concentration de 0.16 µg/l.

- **Trinité – Le Galion**

Le site de Trinité – Le Galion est situé sur la façade Atlantique. Les analyses effectuées en saison des pluies 2006 ont révélées la présence de glyphosate à une concentration de 0.13 µg/l.

- **François – La Victoire**

Aucun produit phytosanitaire n'a été détecté sur le site de François – La Victoire.

- **Rivière Pilote – Fougainville**

Aucun produit phytosanitaire n'a été détecté sur le site de Rivière Pilote – Fougainville.

- **Schœlcher – Fond Lahaye**

Aucun produit phytosanitaire n'a été détecté sur le site de Schœlcher – Fond Lahaye.

3.4.3. Bilan

Sur les 15 sites ayant fait l'objet de recherches de produits phytosanitaires, 12 sites présentent des analyses positives. Les concentrations et le type de molécules détectées sont très variables d'un site à l'autre et d'une campagne sur l'autre. Le comportement de chacune des molécules détectées est en effet lié à de nombreux facteurs (le climat, les types de sols, les caractéristiques physico-chimiques des molécules). Certains produits apparaissent donc en saison des pluies 2006 à des concentrations supérieures à celles détectées en saison sèche 2006 et inversement.

Le glyphosate, molécule recherchée pour la première fois lors de cette campagne, a été détectée sur 7 sites. Le glyphosate est la matière active de nombreux désherbants vendus dans le commerce destinés à un usage domestique mais aussi agricole. L'origine de la contamination par cette substance reste donc indéterminée. Toutefois la fréquente détection lors de cette première campagne de mesures est notable et il semble indispensable de renouveler la recherche de cette molécule lors des prochaines campagnes.

4. Application des résultats à la méthode d'appréciation du SEQ eaux souterraines – Etat patrimonial de la ressource

4.1. LE SEQ EAUX SOUTERRAINES

Le « SEQ eaux souterraines (Système d'Evaluation de la Qualité des eaux) » est un outil permettant d'évaluer la qualité des eaux souterraines. La qualité de l'eau est une notion relative des usages et fonctions auxquels l'eau est destinée. Dans ce cadre, l'outil « SEQ » a été élaboré de manière à évaluer le plus simplement possible, mais de manière rigoureuse, le concept qualitatif de l'eau :

- La qualité de l'eau y est définie par rapport à un certain nombre d'usages (eau potable, eau industrielle, état patrimonial, etc.).
- Les paramètres utilisés pour appréhender la qualité de l'eau ont fait l'objet de regroupements appelés altérations.
- Un indice de qualité variant de 0 à 100 a été également conçu afin d'explicitier sur une échelle logique le caractère qualitatif de l'eau.

A la demande de la DIREN, l'état patrimonial des eaux souterraines de Martinique a été dressé à partir de la méthodologie du SEQ eau.

Nb : La présente analyse est effectuée dans le but de fournir les premiers éléments nécessaires à la caractérisation de l'état patrimonial.

4.2. L'ETAT PATRIMONIAL

L'état patrimonial du SEQ eaux souterraines fournit une échelle d'appréciation de l'atteinte des nappes par la pollution, en donnant une indication sur le niveau de pression anthropique.

4.2.1. Les paramètres de l'état patrimonial : Altérations

Les paramètres étudiés pour décrire l'état patrimonial sont des paramètres indicateurs susceptibles de ne pas être contenus à l'état naturel dans les eaux souterraines. Le SEQ regroupe ces paramètres au sein de 6 « altérations » :

- Altération « nitrates ».
- Altération Micro-polluants minéraux.
- Altération pesticides.
- Altération hydrocarbures aromatiques polycycliques.
- Altération poly-chloro-byphényles.
- Altération micro-polluants organiques.

Les éléments analysés au cours de la campagne permettent de caractériser les altérations « nitrates » ainsi que l'altération « pesticides ».

4.2.2. Les niveaux de dégradations de l'état patrimonial

Les paramètres étudiés au sein de chaque altération sont classés en fonction des seuils fixés par le « SEQ ». A chaque seuil correspond une classe de couleur caractérisant l'état de l'eau souterraine analysée.

	Eau dont la composition est naturelle ou sub-naturelle
	Eau de composition proche de l'état naturel mais détection d'une contamination anthropique
	Dégradation significative par rapport à l'état naturel
	Dégradation importante par rapport à l'état naturel
	Dégradation très importante par rapport à l'état naturel

Illustration 46 : Les différents états de l'état patrimonial

4.2.3. Altération nitrates

Les seuils définis par le « SEQ » pour caractériser l'altération « nitrates » au sein de l'état patrimonial sont les suivants :

Paramètre	Unité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Nitrates	mg/l	10	20	40	50	-

Illustration 47 : seuils caractéristiques de l'altération « nitrates »

Une carte de synthèse est présentée dans l'illustration 48 ci après.

L'origine anthropique des nitrates est très probable sur 9 échantillons analysés. Ces échantillons ont tous été prélevés sur la moitié est de l'île (secteur Atlantique). Les teneurs les plus élevées ayant été détectées dans le secteur nord-Atlantique.

SEQ eaux souterraines Etat patrimonial de la ressource Altération "nitrates"

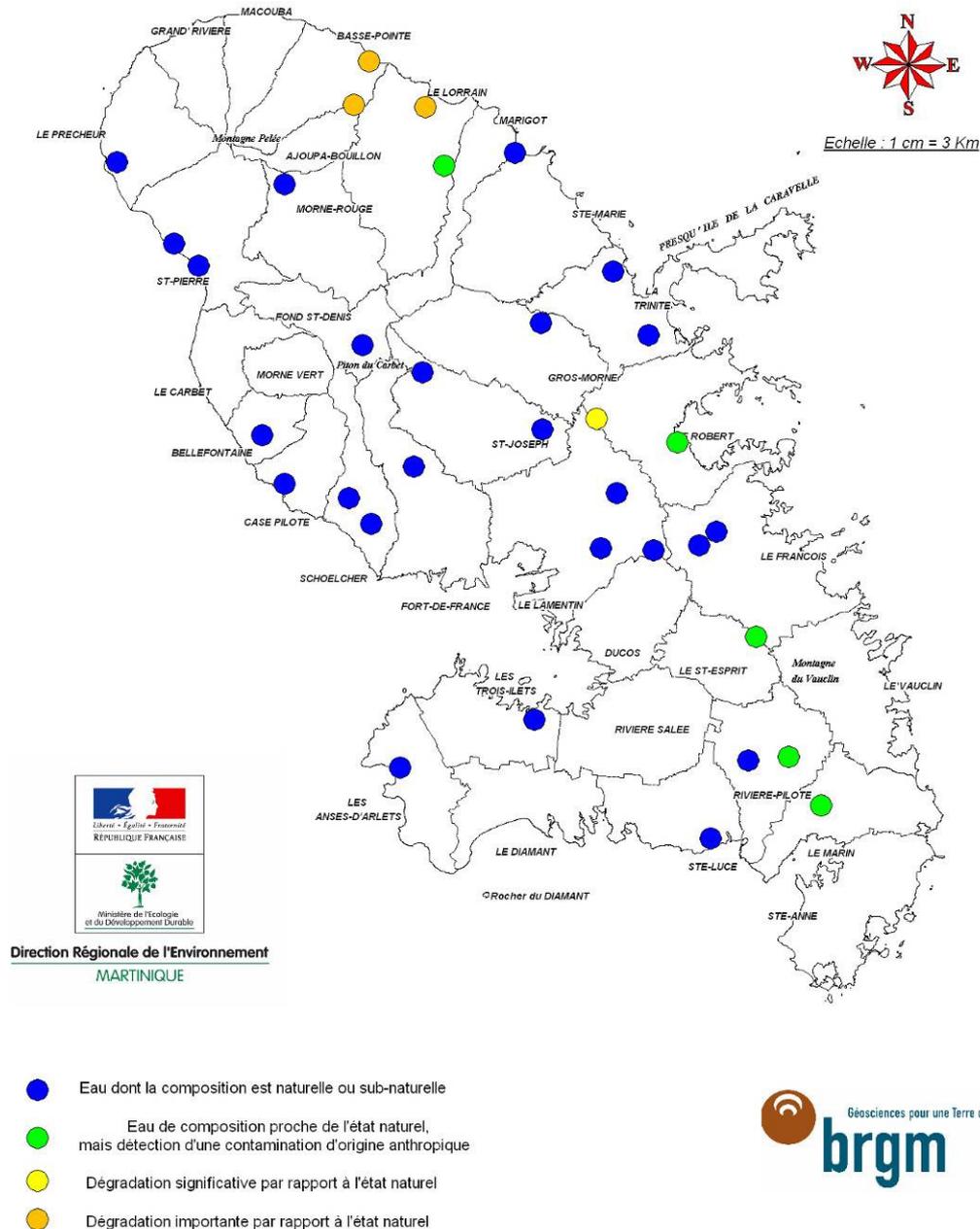


Illustration 48 : SEQ eaux souterraines- altérations nitrates

4.2.4. Altération pesticides

Les seuils définis par le « SEQ » pour caractériser l'altération « pesticides » au sein de l'état patrimonial sont les suivants :

Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Pesticides (somme)	µg/l	0.01	0.05	0.1	0.5	-

Illustration 49 : Seuils caractéristiques de l'altération pesticides

Les valeurs respectives employées pour chaque site correspondent à la somme de tous les pesticides détectés.

Parmi les 15 sites ayant fait l'objet de recherche de produits phytosanitaires, 3 présentent vis-à-vis de l'altération pesticides un état patrimonial naturel à sub-naturel. Ces sites sont ceux de Fond-Lahaye, du François (site « la Victoire ») et de Rivière Pilote (site « Fougainville »).

Les teneurs retrouvées sur le site de Marigot (lieu dit « Anse Charpentier ») restent assez limitées, le site reste en zone vert (c'est-à-dire présentant une eau de composition proche de l'état naturel mais avec une contamination avérée – Cf. §4.2.2).

Au total, ce sont donc 11 sites sur 15 qui présentent vis-à-vis de l'altération pesticides un état de dégradation patrimonial important à très important. Parmi ces sites, il peut être mentionné le cas du site du Lorrain (lieu dit « Fond brûlé ») qui présente une teneur totale en pesticides de 23 µg/l, ce qui le classe très largement en zone rouge.

Ce classement permet ainsi d'effectuer une comparaison de l'état de contamination des sites sur lesquels les recherches de produits phytosanitaires ont été effectuées. Il est important d'insister sur le caractère ciblé du réseau de suivi pesticides, les sites sélectionnés pour effectuer les analyses étant pour la plupart des sites sur lesquels la contamination a déjà été observée lors des campagnes précédentes.

La carte de synthèse est présentée dans l'illustration 50. Elle met en évidence les sites les plus problématiques. Le glyphosate, molécule analysée pour la première fois lors de cette campagne, a été détecté sur 7 sites à des concentrations comprises entre 0.15 et 0.25 µg/l. Cette molécule devra faire l'objet d'un suivi également attentif lors des futures campagnes.

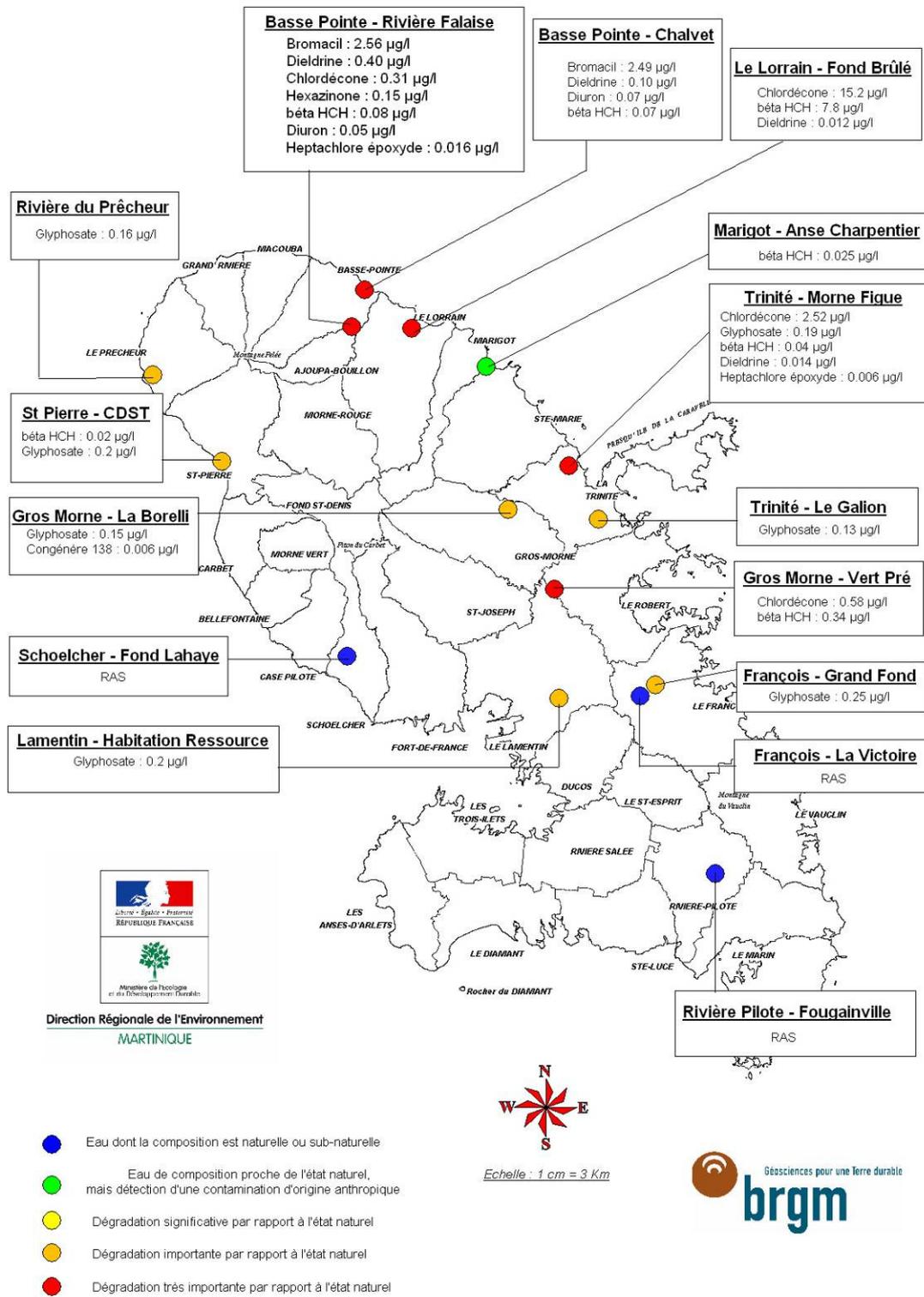


Illustration 50 : SEQ eaux souterraines – altération pesticides – saison des pluies 2006

5. Conclusion

La campagne de prélèvements de saison des pluies 2006 a été effectuée durant le mois de novembre 2006 sur 35 sites répartis de façon homogène sur l'île. Les analyses effectuées ont concerné :

- les paramètres physico-chimiques mesurés in situ (T, pH, O₂ dissous, Conductivité),
- les éléments majeurs dosés en laboratoire,
- les éléments traces (métaux lourds),
- les molécules phytosanitaires (135 molécules recherchées sur 15 sites).

L'état des lieux qualitatif des eaux souterraines de Martinique a été dressé. Une comparaison des résultats avec les campagnes d'analyses antérieures a été effectuée.

Ces analyses ont permis de montrer la **prédominance des faciès chlorurés et bicarbonatés calciques**. Les **teneurs en chlorures et sodium sont ainsi généralement élevées en Martinique**.

Quelques métaux lourds tels que le **Fer le Manganèse et le Bore présentent des teneurs importantes**. Aucune pollution aux métaux lourds n'est cependant à signaler.

Les **recherches de produits phytosanitaires effectuées ont montré une importante contamination des nappes**. Plusieurs molécules sont détectées de manière récurrente depuis 2004. C'est le cas en particulier du **chlordécone et du bêta HCH**. Ces molécules ont en effet pour caractéristique d'être très rémanentes. Les fluctuations de concentrations entre chaque campagne sont révélatrices du comportement complexe de ces molécules (phénomènes d'adsorption/désorption).

Le **bromacil** a été détecté en très forte concentrations sur les deux sites situés sur la commune de Basse Pointe. **Le glyphosate, molécule nouvellement analysée, a par ailleurs été détecté sur plus de la moitié des sites étudiés**.

6. Bibliographie

Berner-Kay E., Berner R.A. (1987) – The Global Water Cycle. Geochemistry and Environment. Prentice Hall, 396 p.

Chery L. (2006) – Qualité naturelle des eaux souterraines. Méthode de caractérisation des états de référence français.

Code de la Santé Publique, livre III, titre II, chapitre 1er 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., 33 ill., 4 ann.

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.

Desprats Jf, Comte Jp, Chabrier Ch (2004) – cartographie du risque de pollution des sols de Martinique par les organochlorés – phase 3. BRGM/RP-53262.

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

Gaillardet J., Dupre B., Allegre C.J., Négrel Ph. (1997) – Chemical and physical denudation in the Amazon river basin. Chem. Geol. 142: 141-173.

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

Index Phytosanitaire Acta (2005).

Malcuit E., Vittecoq B., Baran N., Négrel Ph. (2006) – Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2005 : résultats et comparaison avec la 1ère campagne de basses eaux (2004) et 1ère campagne de saison des pluies (2004). BRGM/RP-54717-FR. 110 p., 39 ill., 3 cartes., 5 ann.

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

Négrel Ph., Allegre 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.

Négre Ph., Lachassagne, P., Laporte P. (1997) – Caractérisation chimique et isotopique des pluies de Cayenne (Guyane Française). C.R. Académie des Sciences 324: 379-386.

Négre Ph., Millot R., Robert M., Cocherie A. (2006). Traçage isotopique du plomb dans les eaux : mesure directe par MC-ICP-MS et exemples d'application. SFIS - Société française des Isotopes stables - Nantes - France - 11-14/09/2006, pp 244.

Négre 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.

Agences de l'eau et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (2002), Le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ eau souterraines), Rapport de présentation, version 0, 66p.

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

Vittecoq B., Négre Ph. (2005) – Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, 2ème campagne 2004 (saison des pluies) : résultats et comparaison avec la 1ère campagne de basses eaux. BRGM/RP-53838-FR. 63 pages, 4 tableaux, 27 figures, 6 cartes, 3 annexes.

Annexe 1

Tableaux récapitulatifs des résultats d'analyses

N° terrain 2004	n° BSS	Type d'analyses SS 2006	Date du prélèvement SS 2004	Date du prélèvement SP 2004	Date du prélèvement SP 2005	Date du prélèvement SS 2006	Date du prélèvement SP 2006	Type	Commune	Lieu dit	X	Y
Unité												
Limite de quantification												
9	1186ZZ0118	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	11/01/04	26/10/04	18/11/05	20/04/06	28/11/06	Piézomètre	Marin	Grand Fond	729040,1	1602330,0
11	1183ZZ0052	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	30/01/04	26/10/04	18/11/05	20/04/06	28/11/06	Piézomètre	Rivière Pilote	Fougainville	727295,6	1604983,9
36	1183ZZ0024	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	X	X	18/11/05	20/04/06	28/11/06	Piézomètre	Rivière Pilote	La Mauny	725109,0	1604786,3
29	1185ZZ0120	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	25/03/04	26/10/04	18/11/05	27/04/06	28/11/06	Piézomètre	Ste Luce	Stade communal	723102,7	1600563,4
27	1168ZZ0054	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	29/03/04	22/10/04	21/11/05	25/04/06	22/11/06	Piézomètre	Basse Pointe	Rivière Falaise	703854,8	1640502,1
3	1169ZZ0006	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	06/01/04	22/10/04	21/11/05	25/04/06	22/11/06	Piézomètre	Marigot	Anse Charpentier	712530,7	1637909,3
17	1175ZZ0153	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	21/01/04	27/10/04	21/11/05	26/04/06	22/11/06	Source	Trinité	Morne Figue	717831,6	1631449,2
24	1174ZZ0088	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	06/02/04	22/10/04	21/11/05	28/04/06	24/11/06	Piézomètre	Gros Morne	La Borelli	713936,1	1628627,1
30	1167ZZ0024	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	06/04/04	25/10/04	22/11/05	21/04/06	27/11/06	Piézomètre	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	691089,5	1637393,7
1	1167ZZ0023	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	06/01/04	25/10/04	22/11/05	21/04/06	27/11/06	Piézomètre	Saint Pierre	Rivière Blanche	694182,4	1632933,9
26	1177ZZ0173	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	29/03/04	25/10/04	22/11/05	19/04/06	21/11/06	Piézomètre	Case Pilote	Maniba	700126,5	1619880,2
4	1177ZZ0161	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	07/01/04	25/10/04	24/11/05	18/04/06	21/11/06	Piézomètre	Schoelcher	Fond Lahaye	703597,4	1619099,7
5	1177ZZ0165	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	13/01/04	25/10/04	24/11/05	24/04/06	22/11/06	Piézomètre	Schoelcher	Case Navire	704803,6	1617676,2
12	1174ZZ0087	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	15/01/04	20/10/04	24/11/05	24/04/06	29/11/06	Piézomètre	Saint Joseph	La Charmille	714013,7	1622831,0
20	1183ZZ0053	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	20/01/04	26/10/04	24/11/05	05/05/06	23/11/06	Source	Saint Esprit	Source Caraïbe	725538,3	1611528,7
8	1184ZZ0016	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	08/01/04	26/10/04	25/11/05	05/05/06	23/11/06	Forage exploité	Diamant	Habitation Dizac	710881,8	1601610,8
25	1181ZZ0131	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	25/03/04	26/10/04	25/11/05	27/04/06	23/11/06	Piézomètre	Anses d'Arlet	Grande Anse	706369,6	1604409,9
28	1181ZZ0132	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	25/03/04	19/10/04	25/11/05	27/04/06	23/11/06	Piézomètre	Trois Ilets	Vatable	713619,5	1607019,4
21	1179ZZ0070	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	06/02/04	20/10/04	25/11/05	27/04/06	23/11/06	Piézomètre	Lamentin	Habitation Ressource	717200,5	1616358,7
16	1179ZZ0158	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	23/01/04	20/10/04	25/11/05	24/04/06	29/11/06	Piézomètre	Lamentin	Sarrault	718049,8	1619358,6
37	EP/RODATE	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	X	X	08/12/05	25/04/06	23/11/06	eau de pluie	Fort de France	Rodate	707109,0	1620790,0
34	1179ZZ0282	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	05/04/04	25/11/04	09/12/05	20/04/06	30/11/06	Source	Lamentin	Morne Pitault La Frédée	720019,0	1616242,0
33	1179ZZ0228	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	05/04/04	25/11/04	09/12/05	05/05/06	30/11/06	Forage d'exploitation	François	La Victoire	722462,0	1616514,0
38	1179ZZ0299	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	X	X	09/12/05	26/04/06	23/11/06	Piézomètre	François	Grand Fond	723380,0	1616705,0
39	1179ZZ0300	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	X	X	09/12/05	26/04/06	24/11/06	Piézomètre	Robert	Pontalery	721295,0	1622109,5
40	1175ZZ0154	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	X	X	09/12/05	26/04/06	24/11/06	Piézomètre	Trinité	Le Galion	719772,0	1627983,0
32	1174ZZ0089	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	06/04/04	25/11/04	12/12/05	04/05/06	30/11/06	Source	Saint Joseph	Coeur Bouliki	707578,8	1625925,8
41	1169ZZ0082	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	X	X	12/12/05	04/05/06	29/11/06	Source	Lorrain	Source Carabin	708738,0	1637216,0
42	1166ZZ0026	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	X	X	12/12/05	25/04/06	22/11/06	Piézomètre	Basse Pointe	Chalvet	704700,0	1642890,0
15	1168ZZ0055	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	20/01/04	22/10/04	12/12/05	21/04/06	30/11/06	Source	Morne Rouge	Habitation Citron	700137,3	1636204,0
18	1173ZZ0076	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	20/01/04	22/10/04	12/12/05	04/05/06	30/11/06	Source	Fond Saint Denis	Source de l'Alma	704330,5	1627423,4
19	1175ZZ0106	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	21/01/04	25/11/04	26/01/06	04/05/06	29/11/06	Forage d'exploitation	Gros Morne	Vert Pré	716936,6	1623425,4
43	1173ZZ0082	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr)	X	X	30/01/06	19/04/06	21/11/06	Piézomètre	Bellefontaine	Fond Laillet	698915,0	1622510,0
44	1167ZZ0045	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	X	X	30/01/06	24/04/06	26/11/06	Piézomètre	St Pierre	CDST	695500,0	1631760,0
45	1169ZZ0084	physico, métaux, isotopes (B, H2O, Sr), phyto	X	X	30/01/06	25/04/06	26/11/06	Piézomètre	Lorrain	Fond Brulé	707735,0	1640405,0
35	1167ZZ0031	physico	06/04/04	27/10/04	X	X		Piézomètre	Saint Pierre	Pécoul	696457,6	1631822,3
23	1167ZZ0037	physico	17/02/04	25/10/04	X	X		Piézomètre	Saint Pierre	Fond Canonville	692760,2	1634724,6
2	1168ZZ0037	physico	06/01/04	22/10/04	X	X		Piézomètre	Morne Rouge	Desgrottes	702106,0	1632646,8
14	1173ZZ0072	physico	13/01/04	22/10/04	X	X		Piézomètre	Fort de France	La Médaille	705248,7	1625654,7
22	1179ZZ0157	physico	04/02/04	25/11/04	X	X		Piézomètre	Ducos	Bois Rouge	718891,8	1614819,9
6	1183ZZ0026	physico	09/01/04	19/10/04	X	X		Piézomètre	Vauclin	Puyferrat	732205,3	1604411,4
7	1184ZZ0001	physico	08/01/04	26/10/04	X	X		Piézomètre	Diamant	Habitation Dizac	710708,0	1601762,2
13	1185ZZ0121	physico	20/01/04	26/10/04	X	X		Source	Sainte Luce	Source du Riz	723017,5	1603438,1
10	1186ZZ0119	physico	08/01/04	19/10/04	X	X		Piézomètre	Marin	Cap Macré	732151,8	1601814,4

n° BSS	Mn	Mn	Mn	Mn	Mn	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Na	Na	Na	Na	Na	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
	µg/l	mg/l																							
	5	5	5	5	5	20	20	20	20	20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006
1186ZZ0118	<L Q	0	<L Q	<L Q	116,0	121,0	112,9	122,3	125	196,0	196,0	172,8	195,4	191,7	116	115	119,50	125,7	129						
1183ZZ0052	13	24	<L Q	10	27	<L Q	20	<L Q	<L Q	<L Q	51,7	38,0	39,6	42,7	42,7	59,2	52,8	62,6	61,3	55,9	29,2	23,5	24,30	25,3	25,5
1183ZZ0024	X	X	2170	486	681	X	X	6600	1950	2200	X	X	73,9	29,0	49,4	X	X	220,8	72,7	112,7	X	X	106,40	29,4	43,9
1185ZZ0120	44	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	130	<L Q	40	<L Q	<L Q	114,0	117,0	132,8	103,0	84,4	59,2	137,0	163,9	102,4	67,7	12,5	10,9	7,20	5,6	3,8
1168ZZ0054	66	8	<L Q	<L Q	<L Q	20	<L Q	30	<L Q	<L Q	25,6	16,7	15,4	17,5	18,5	19,0	18,9	25,8	26,3	29,1	15,6	22,5	25,40	26,6	29,2
1169ZZ0006	99	167	207	274	199	100	70	170	2920	110	50,4	44,0	42,4	63,4	77	38,8	42,1	44,5	42,5	40,6	23,4	23,4	24,90	20	18,2
1175ZZ0153	<L Q	90	<L Q	<L Q	22,6	24,2	12,4	24,3	24,3	29,3	29,9	19,3	27,4	29	23	22,2	7,30	22,9	23,3						
1174ZZ0088	96	993	1216	1115	962	350	540	260	630	90	12,5	14,5	13,3	15,5	16,2	6,0	12,2	11,5	12,7	11,2	15,1	15,7	12,90	14,1	13,6
1167ZZ0024	5	<L Q	<L Q	<L Q	9	<L Q	13,4	14,2	14,4	17,4	19,2	10,4	10,7	11,6	10,7	11,4	14,9	15,4	16,70	16,4	18,8				
1167ZZ0023	<L Q	26,8	27,2	25,1	26,7	23,4	18,5	18,2	18,5	15,7	12,3	14,8	13,7	13,10	13,2	11,3									
1177ZZ0173	404	359	320	352	360	20	120	380	170	130	61,0	78,6	75,0	71,8	72,9	67,7	66,1	61,9	59,8	60,2	34,2	31,8	30,20	30,1	29,7
1177ZZ0161	159	7	<L Q	8	8	60	<L Q	60	0	<L Q	58,9	90,8	99,0	105,2	100,5	90,7	146,0	163,3	174,8	159,7	34,5	47,1	56,20	56,6	54,1
1177ZZ0165	1399	1210	944	7	1152	330	2040	240	70	50	86,2	96,4	80,3	100,4	89,6	172,5	179,0	144,2	152,2	150,4	42,2	36,8	38,50	34,5	40,4
1174ZZ0087	1379	175	315	7	21	20	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	17,4	13,4	12,3	14,6	14,4	16,3	15,4	16,4	15,5	14,1	20,5	8,7	8,20	7,8	7,7
1183ZZ0053	<L Q	23,8	23,0	20,7	23,1	25,3	43,9	37,7	41,0	46,1	41,1	27,2	22,7	21,60	27,2	26,7									
1184ZZ0016	66	59	22	<L Q	X	160	90	780	30	X	63,0	114,0	90,0	89,4	X	108,0	143,0	115,7	120,1	X	27,2	24,2	22,40	24,9	X
1181ZZ0131	957	680	74	245	85	40	<L Q	130	<L Q	<L Q	89,3	95,3	224,2	104,3	143,8	106,8	130,0	529,8	151,8	168,1	38,3	51,7	161,00	58,5	58
1181ZZ0132	242	253	97	55	78	<L Q	180	190	100	<L Q	235,0	197,0	262,7	257,2	303,2	287,2	217,0	349,6	281,4	384,3	54,9	49,9	77,50	79,1	82,5
1179ZZ0070	204	203	67	30	481	280	900	330	30	1840	62,3	58,4	60,5	61,7	54,4	99,8	96,7	102,2	95,8	96,4	39,9	36,9	43,50	33,7	34,2
1179ZZ0158	51	13	36	8	16	20	<L Q	50	<L Q	<L Q	32,2	59,7	62,1	66,4	64,7	35,4	54,2	58,8	55,1	52,4	24	31,4	36,70	36,6	35,9
EP/RODATE	X	X	<L Q	5	<L Q	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	6,9	6,2	1,7	X	X	12,9	10,2	2,5	X	X	1,10	0,5	0,5
1179ZZ0282	<L Q	8	6	<L Q	<L Q	<L Q	<L Q	20	<L Q	<L Q	20,6	22,6	21,5	23,4	24,2	35,4	34,5	34,8	33,2	31,6	35,9	37,6	37,60	39,9	39,4
1179ZZ0228	<L Q	47	<L Q	43,4	45,5	43,1	43,1	46,8	78,2	78,3	79,7	79,1	76,4	48,9	50,1	51,50	50,3	53,3							
1179ZZ0299	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	44,8	39,8	41,6	X	X	57,5	43,8	38,6	X	X	282,30	46,7	16,2
1179ZZ0300	X	X	<L Q	<L Q	15	X	X	20	<L Q	<L Q	X	X	51,8	57,9	63,9	X	X	63,9	63,0	65,8	X	X	152,20	34,6	20,6
1175ZZ0154	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	26,7	29,0	28,8	X	X	23,8	25,1	24,5	X	X	56,90	30,2	16,6
1174ZZ0089	<L Q	6,7	9,1	8,4	8,4	10,8	6,9	11,3	11,4	9,7	9,4	5,3	9,6	9,80	9,6	10,7									
1169ZZ0082	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	11,6	11,6	13,1	X	X	16,3	15,8	15	X	X	6,40	6,1	6,5
1166ZZ0026	X	X	<L Q	<L Q	5	X	X	<L Q	<L Q	<L Q	X	X	30,9	27,7	26,1	X	X	51,9	37,8	32,2	X	X	32,00	26,3	24,5
1168ZZ0055	<L Q	9,4	9,7	9,1	10,0	9,1	8,9	8,7	9,1	7,5	6,4	9,3	9,0	9,50	9,2	9									
1173ZZ0076	<L Q	7,4	7,5	6,9	7,2	8,1	8,7	7,5	7,3	7,2	6,1	9,4	8,1	8,30	8,5	8,9									
1175ZZ0106	<L Q	18,7	19,4	19,3	18,2	19,8	35,9	37,8	37,1	36,2	35,1	25,6	21,6	22,20	22,2	21,8									
1173ZZ0082	X	X	31	69	145	X	X	20	60	80	X	X	70,9	72,0	71,5	X	X	47,1	45,7	45,2	X	X	12,50	13,4	14
1167ZZ0045	X	X	<L Q	23	166	X	X	<L Q	<L Q	60	X	X	15,1	16,2	14,2	X	X	13,8	14,7	10,9	X	X	13,00	12,4	11,7
1169ZZ0084	X	X	62	26	12	X	X	200	<L Q	<L Q	X	X	25,6	27,2	27,5	X	X	32,7	32,8	31,1	X	X	28,70	29,5	30,5
1167ZZ0031	<L Q	<L Q	X	X		<L Q	<L Q	X	X		18,7	12,2	X	X		16,8	11,5	X	X		13	9,5	X	X	
1167ZZ0037	<L Q	8	X	X		<L Q	<L Q	X	X		111,0	112,0	X	X		140,0	142,0	X	X		33,5	34	X	X	
1168ZZ0037	304	334	X	X		13690	13600	X	X		34,0	35,8	X	X		8,8	10,0	X	X		47	46,1	X	X	
1173ZZ0072	2849	3634	X	X		9910	14100	X	X		10,6	8,5	X	X		15,1	8,4	X	X		15,2	16,0	X	X	
1179ZZ0157	88	78	X	X		100	170	X	X		40,4	39,8	X	X		32,7	34,5	X	X		42,2	45,0	X	X	
1183ZZ0026	1264	242	X	X		2950	200	X	X		187,0	225,0	X	X		378,0	365,0	X	X		147	122	X	X	
1184ZZ0001	438	476	X	X		580	2790	X	X		100,0	110,0	X	X		140,2	144,0	X	X		23,6	23,7	X	X	
1185ZZ0121	144	149	X	X		20	40	X	X		21,8	22,0	X	X		25,1	24,6	X	X		9	7,3	X	X	
1186ZZ0119	84	887	X	X		20	380	X	X		611,0	656,0	X	X		3640,0	3375,0	X	X		967	809	X	X	

n° BSS	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	K	K	K	K	K	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	CO3	CO3	CO3	CO3	SO4	SO4	SO4	SO4	SO4	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	
	mg/l	mg/l																											
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	5	5	5	5	5	5	5	5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	
1186ZZ0118	27,0	28,6	28,7	28,6	31,4	5,5	5,9	5,4	5,5	6,4	475	486	480	475	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	19,8	20,2	21,5	20,1	19,9	49,3	51,4	51,1	49,8	52,9	
1183ZZ0052	11,9	10,5	11,3	11,4	12	2,7	3,2	2,0	2,8	3,2	98	100	99	119	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	13,8	20,1	16,1	16,2	15,6	60,3	65,7	74,6	73,7	76,8	
1183ZZ0024	X	X	33,8	8,1	16,9	X	X	3,4	7,3	6,4	X	260	84	136	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	X	35,1	3,5	13,9	X	X	57,3	9,5	18,3	
1185ZZ0120	9,4	9,2	6,4	4,1	3,1	6,4	5,0	5,9	4,3	4,1	130	116	114	117	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	11,1	15,9	10,4	7,5	6,4	93,6	93,6	104,1	106,6	110,2	
1168ZZ0054	5,6	7,4	7,9	7,8	9,2	5,3	4,4	4,0	4,4	5,2	51	53	57	61	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	27,3	25,9	21,0	23,8	28,2	32,9	87,8	85,7	86,1	89,7	
1169ZZ0006	7,0	8,3	8,4	6,2	5,7	2,5	2,3	2,1	2,2	3,1	141	153	182	212	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	4,5	9,8	10,3	0,0	< LQ	30,8	44,2	43,7	19,7	16,3	
1175ZZ0153	8,4	8,5	4,8	8,0	8,6	1,7	1,8	3,5	1,2	5,4	110	45	113	113	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	10,0	10,5	7,3	8,6	9,8	64,5	67,1	27,0	66,0	65,8	
1174ZZ0088	2,7	5,0	6,5	7,3	6,9	4,9	3,6	2,2	2,6	3	97	93	101	98	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	4,4	3,2	3,7	3,0	2,8	22,7	43,5	82,9	71,7	63	
1167ZZ0024	5,5	5,5	5,5	5,1	6,1	3,5	3,8	3,7	3,8	4,9	89	91	88	92	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	7,0	7,9	9,6	10,5	13,2	72,9	74,9	77,2	79,4	81,9	
1167ZZ0023	5,9	5,8	5,4	5,1	4,4	3,6	3,9	3,6	3,6	3,6	81	80	77	62	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	25,3	24,0	24,6	21,0	22,9	92,4	94,0	88,9	91,3	94,2	
1177ZZ0173	26,2	28,1	25,0	23,5	25,3	5,8	4,3	3,8	3,9	4,5	284	299	255	238	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	33,6	39,9	32,9	32,1	33,7	96,5	99,1	100,6	101,1	107,4	
1177ZZ0161	19,5	34,7	40,1	38,7	37,9	7,2	7,9	8,0	9,0	9	309	349	341	328	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6,9	13,9	16,4	15,0	14,2	56,8	96,2	112,4	109,5	105,9	
1177ZZ0165	27,1	24,0	23,1	19,7	24,7	3,7	3,6	3,1	3,4	4	201	205	193	207	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	3,5	7,6	8,6	9,1	8,1	71,5	75,4	76,8	84,9	78,7	
1174ZZ0087	7,7	4,7	4,7	4,9	5	1,4	1,1	1,2	1,3	1,6	47	45	45	43	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	10,6	5,6	4,9	4,4	4,8	35,1	35,7	37,4	38,4	40	
1183ZZ0053	10,5	9,3	9,1	10,6	10,5	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4	90	73	97	94	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	10,6	7,6	8,5	9,7	10,5	64,9	62,7	61,0	69,1	66,5	
1184ZZ0016	13,0	16,2	13,7	15,3	X	<L D	5,6	4,5	4,6	X	219	188	186	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	9,3	5,7	9,8	11,6	X	122,0	95,6	106,2	110,9	X	
1181ZZ0131	14,8	21,7	68,7	23,4	24,6	2,2	2,4	2,2	2,2	3,2	285	461	277	311	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	21,6	21,8	75,7	21,0	31,1	58,8	71,1	69,8	68,4	74	
1181ZZ0132	33,1	28,7	45,2	40,8	54,7	6,6	3,3	5,3	3,8	8,4	390	516	546	531	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	61,7	56,4	64,1	73,1	64,2	35,2	44,5	43,3	59,9	45,1	
1179ZZ0070	6,3	5,7	5,9	5,1	8,3	3,8	3,9	1,7	3,2	3,1	143	137	108	119	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	10,2	4,0	14,4	7,7	7	50,2	41,3	62,1	19,5	26,2	
1179ZZ0158	3,2	1,3	1,3	1,3	1,4	10,7	1,4	< LQ	0,7	0,8	146	171	171	172	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	9,1	18,0	17,8	17,5	16,2	27,2	39,6	45,9	41,6	46,2	
EP/RODATE	X	X	0,8	0,7	< LQ	X	X	0,5	0,8	< LQ	X	6	0	< LQ	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	X	2,1	1,9	0,6	X	X	< LQ	< LQ	< LQ	
1179ZZ0282	10,4	9,7	10,3	10,1	10,7	1,2	1,3	1,2	1,2	1,6	167	169	165	166	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	5,8	5,3	7,1	6,8	6,8	75,6	75,3	74,2	77,4	80,4	
1179ZZ0228	15,9	15,1	16,3	15,8	16,6	0,8	0,9	0,8	0,8	1,1	205	204	200	232	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	19,0	16,2	18,6	17,4	17,8	65,9	65,2	66,2	68,8	70,2	
1179ZZ0299	X	X	< LQ	0,5	3,6	X	X	57,6	8,9	4,4	X	< LQ	< LQ	67	X	15	10	< LQ	X	X	239,6	78,1	25,5	X	X	3,2	17,2	24,2	
1179ZZ0300	X	X	< LQ	0,8	3,2	X	X	14,3	9,0	16,5	X	< LQ	< LQ	84	X	27	41	< LQ	X	X	101,8	50,3	47,3	X	X	8,3	37,6	38	
1175ZZ0154	X	X	< LQ	0,0	< LQ	X	X	5,1	4,7	5,1	X	< LQ	< LQ	55	X	21	26	< LQ	X	X	27,6	24,9	24	X	X	61,2	69,5	74,6	
1174ZZ0089	2,2	3,1	3,3	3,2	3,4	1,0	1,1	0,9	0,9	1,2	52	53	53	55	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,8	1,2	1,9	2,1	1,8	37,1	43,6	44,8	47,3	46,7	
1169ZZ0082	X	X	3,3	3,1	3,3	X	X	0,9	0,0	1,1	X	24	28	23	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	X	4,3	4,0	4,3	X	X	25,9	26,1	26,6	
1166ZZ0026	X	X	14,4	12,5	12,4	X	X	7,8	14,3	16,8	X	93	68	67	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	X	40,4	43,7	42	X	X	80,1	88,6	94,1	
1168ZZ0055	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,5	1,7	1,7	1,1	2	37	37	37	35	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	3,7	3,4	3,4	3,4	2,8	52,6	52,3	53,1	53,4	50,8	
1173ZZ0076	3,1	2,9	2,8	2,9	2,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,9	46	47	48	48	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,5	1,4	1,5	1,3	1,3	33,4	33,4	32,5	34,4	34,5	
1175ZZ0106	10,9	9,9	10,0	9,9	10,1	0,8	0,7	0,8	0,7	1	89	81	85	82	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	3,2	1,9	3,1	3,0	3,1	59,8	52,4	52,8	56,4	52,7	
1173ZZ0082	X	X	7,1	7,6	8,2	X	X	5,5	5,3	5,8	X	180	181	180	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	X	5,4	6,2	8,3	X	X	91,1	91,3	95,3	
1167ZZ0045	X	X	4,4	4,4	4,2	X	X	3,6	3,4	3,8	X	63	66	64	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	X	5,7	5,7	4,8	X	X	73,9	66,4	79	
1169ZZ0084	X	X	8,7	8,5	9,2	X	X	1,6	1,8	2,3	X	80	86	87	X	< LQ	< LQ	< LQ	X	X	16,4	17,1	16,3	X	X	63,1	63,6	67	
1167ZZ0031	7,1	3,1	X	X		2,9	2,8	X	X		45	X	X		< LQ	X	X		11,0	13,6	X	X		83,4	75,1	X	X		
1167ZZ0037	19,6	19,2	X	X		10,6	10,6	X	X		227	X	X		< LQ	X	X		34,6	32,7	X	X		116,0	116,0	X	X		
1168ZZ0037	24,8	25,9	X	X		3,4	3,6	X	X		391	X	X		< LQ	X	X		< LQ	< LQ	X	X		116,0	117,0	X	X		
1173ZZ0072	5,4	6,0	X	X		2,0	1,7	X	X		103	X	X		< LQ	X	X		1,5	1,1	X	X		27,8	31,5	X	X		
1179ZZ0157	6,3	5,7	X	X		1,9	2,1	X	X		218	X	X		< LQ	X	X		8,6	7,6	X	X		53,1	53,6	X	X		
1183ZZ0026	19,1	44,5	X	X		8,4	6,4	X	X		471	X	X		< LQ	X	X		23,7	68,8	X	X		43,4	41,4	X	X		
1184ZZ0001	16,8	17,4	X	X		6,4	6,5	X	X		222	X	X		< LQ	X	X		3,4	< LQ	X	X		74,1	75,4	X	X		
1185ZZ0121	4,8	4,7	X	X		1,7	1,8	X	X		58	X	X		< LQ	X	X		7,7	7,8	X	X		49,5	51,5	X	X		
1186ZZ0119	492,0	448,0	X	X		7,0	7,1	X	X		412	X	X		< LQ	X	X		255,0	219,0	X	X		66,7	76,2	X	X		

n° BSS	NH4	NH4	NH4	NH4	NH4	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO3	NO3	NO3	NO3	NO3	PO4	PO4	PO4	PO4	PO4	
	mg/l	mg/l																			
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	
1186ZZ0118	<L Q	<LQ	<LQ	0,2	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	0,01	<LQ	11,8	12,7	12,3	11,8	12,1	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1183ZZ0052	<L Q	<LQ	<LQ	0,1	0,2	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	0,34	4,1	22,2	21,3	20,9	13,7	<L Q	0,4	<LQ	0,4	0,4	
1183ZZ0024	X	X	<LQ	0,4	0,3	X	X	<LQ	0,02	<LQ	X	X	1,5	<LQ	0,5	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	
1185ZZ0120	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	0,1	1,16	0,02	<LQ	<LQ	<LQ	5,8	13,1	9,6	6,2	5,5	0,6	0,5	<LQ	0,6	0,7	
1168ZZ0054	1,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,86	<LQ	<LQ	0,01	<LQ	5,6	46,8	41,2	36,6	40,8	<L Q	0,1	<LQ	0,1	0,1	
1169ZZ0006	0,1	<LQ	<LQ	0,2	0,4	<L Q	0,1	0,02	<LQ	<LQ	<L Q	1,3	2,6	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1175ZZ0153	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	0,01	<LQ	<LQ	3,6	4,6	0,7	2,4	4	0,2	0,3	<LQ	0,1	0,4	
1174ZZ0088	<L Q	0,3	<LQ	<LQ	0,1	<L Q	<LQ	<LQ	0,01	<LQ	1,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1167ZZ0024	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,3	4,1	4,4	6,1	9,6	0,2	0,2	<LQ	0,2	0,2	
1167ZZ0023	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5,3	4,6	5,3	5,6	2,4	0,5	0,6	0,2	0,6	0,6	
1177ZZ0173	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,02	<LQ	<LQ	0,02	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1177ZZ0161	<L Q	<LQ	<LQ	0,1	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,2	2,9	1,6	1,7	2,6	0,5	0,4	<LQ	0,3	0,3	
1177ZZ0165	0,2	0,2	0,1	0,1	<LQ	0,01	<LQ	<LQ	0,01	0,05	0,5	<LQ	0,7	2,9	0,6	<L Q	0,1	<LQ	0,3	<LQ	
1174ZZ0087	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,04	<LQ	0,01	<LQ	<LQ	4,3	6,7	6,2	7,9	9,1	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1183ZZ0053	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,6	18,8	19,8	17,7	15,2	0,1	0,2	<LQ	0,2	<LQ	
1184ZZ0016	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	X	0,01	<LQ	<LQ	<LQ	X	4,1	<LQ	3,0	7,8	X	0,2	0,1	<LQ	0,2	X	
1181ZZ0131	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,18	<LQ	0,01	<LQ	<LQ	1,0	0,2	4,5	0,7	2,3	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	0,1	
1181ZZ0132	<L Q	<LQ	<LQ	0,5	<LQ	0,03	<LQ	<LQ	0,01	0,03	1,0	0,3	0,7	<LQ	2	<L Q	0,3	<LQ	0,2	<LQ	
1179ZZ0070	0,2	0,3	<LQ	<LQ	0,3	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,1	3,4	<LQ	<LQ	0,6	<L Q	0,3	<LQ	<LQ	<LQ	
1179ZZ0158	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,4	0,5	<LQ	0,6	<LQ	1,8	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	
EP/RODATE	X	X	0,1	0,3	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	0,6	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	
1179ZZ0282	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	0,02	0,01	4,6	4,9	4,9	4,3	4,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	
1179ZZ0228	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	0,1	0,02	6,5	8,0	8,2	6,5	6,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	
1179ZZ0299	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	0,90	0,01	<LQ	X	X	1,7	4,0	5,6	X	X	<LQ	<LQ	0,1	
1179ZZ0300	X	X	0,1	0,3	<LQ	X	X	0,26	1,64	0,03	X	X	4,8	2,7	17,2	X	X	<LQ	<LQ	0,3	
1175ZZ0154	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	0,02	0,01	X	X	2,2	3,8	4,8	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	
1174ZZ0089	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,4	0,4	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1169ZZ0082	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	15,9	8,2	12,6	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	
1166ZZ0026	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	0,01	0,01	X	X	48,9	47,0	44	X	X	<LQ	0,2	0,2	
1168ZZ0055	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	0,02	5,4	10,6	12,4	8,0	7,9	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1173ZZ0076	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,4	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1175ZZ0106	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	19,8	20,1	20,7	22,4	20,1	<L Q	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1173ZZ0082	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	0,02	<LQ	X	X	1,9	1,9	2,2	X	X	0,5	0,3	0,2	
1167ZZ0045	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	0,03	<LQ	X	X	10,3	8,7	4,5	X	X	0,3	0,2	<LQ	
1169ZZ0084	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	0,01	X	X	39,0	35,5	45,6	X	X	0,2	0,1	0,1	
1167ZZ0031	<L Q	<LQ	X	X		<L Q	<LQ	X	X		6,6	1,3	X	X		0,2	0,2	X	X		
1167ZZ0037	<L Q	<LQ	X	X		<L Q	<LQ	X	X		4,7	4,4	X	X		0,4	0,4	X	X		
1168ZZ0037	6,8	7	X	X		<L Q	<LQ	X	X		<L Q	<LQ	X	X		3,9	4,4	X	X		
1173ZZ0072	1	0,7	X	X		<L Q	<LQ	X	X		0,3	0,1	X	X		<L Q	<LQ	X	X		
1179ZZ0157	<L Q	0,1	X	X		<L Q	<LQ	X	X		<L Q	0,1	X	X		<L Q	0,1	X	X		
1183ZZ0026	3,3	0,9	X	X		0,08	0,06	X	X		1,7	5,5	X	X		<L Q	0,2	X	X		
1184ZZ0001	2,1	1,9	X	X		0,03	<LQ	X	X		1,5	<LQ	X	X		<L Q	0,3	X	X		
1185ZZ0121	<L Q	<LQ	X	X		<L Q	<LQ	X	X		1,5	1,7	X	X		<L Q	<LQ	X	X		
1186ZZ0119	0,2	0,2	X	X		0,01	0,06	X	X		11,2	<LQ	X	X		0,2	0,2	X	X		

n° BSS	F	F	F	F	F	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	Al	Al	Al	Al	Al	As	As	As	As	As	B	B	B	B	B
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l																			
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5	5	5	5	5	30	30	30	30	30	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20
	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006	SS 2004	SP 2004	SP 2005	SS 2006	SP 2006
1186ZZ0118	300	300	300	200	0,2	<LQ	68	72	78	76	70														
1183ZZ0052	200	100	<LQ	10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	69	44	47	46	57											
1183ZZ0024	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	54	42	46
1185ZZ0120	200	300	300	300	0,2	<LQ	<LQ	<LQ	8	5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	23	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	74	83	87	77	76
1168ZZ0054	200	<LQ	26	22	23	25	22																		
1169ZZ0006	<LQ	<LQ	<LQ	100	0,1	<LQ	30	<LQ	<LQ	25	10	440	270	328	562	718									
1175ZZ0153	100	<LQ	109	<LQ	27	26	26	28	26																
1174ZZ0088	<LQ	<LQ	<LQ	100	0,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	266	<LQ	<LQ	31	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	21	23	31	31	32
1167ZZ0024	100	200	100	100	<LQ	10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	45	45	51	52	47									
1167ZZ0023	200	300	200	300	0,1	<LQ	162	164	150	136	119														
1177ZZ0173	200	200	200	200	0,1	<LQ	73	111	108	97	86														
1177ZZ0161	<LQ	<LQ	100	100	0,1	<LQ	<LQ	6	8	<LQ	14	5	82	129	147	149	140								
1177ZZ0165	<LQ	<LQ	<LQ	100	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6	7	<LQ	75	88	82	87	71									
1174ZZ0087	<LQ	140	<LQ	28	22	23	24	24																	
1183ZZ0053	<LQ	29	28	28	30	39																			
1184ZZ0016	<LQ	100	100	<LQ	X	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	X	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	X	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	X	95	140	118	113	X
1181ZZ0131	100	<LQ	<LQ	<LQ	0,1	<LQ	11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	72	90	134	96	128							
1181ZZ0132	<LQ	100	<LQ	13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6	305	209	277	170	235											
1179ZZ0070	<LQ	68	68	74	63	55																			
1179ZZ0158	100	<LQ	44	64	66	68	57																		
EP/RODATE	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	21	25	15
1179ZZ0282	<LQ	52	33	40	38	36																			
1179ZZ0228	900	100	<LQ	<LQ	0,1	<LQ	71	<LQ	54	53	48														
1179ZZ0299	X	X	300	200	0,1	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	43	420	23	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	11	26	36
1179ZZ0300	X	X	500	200	0,1	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	95	57	12	X	X	<LQ	11	<LQ	X	X	24	52	46
1175ZZ0154	X	X	400	200	0,1	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	16	12	11	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	34	36	30
1174ZZ0089	<LQ	15	<LQ	21	<LQ	21	18	24																	
1169ZZ0082	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	21	18	18
1166ZZ0026	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	39	37	30
1168ZZ0055	<LQ	17	21	19	18																				
1173ZZ0076	<LQ	16	20	17	17																				
1175ZZ0106	<LQ	27	25	33	27	28																			
1173ZZ0082	X	X	200	100	200	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	5	10	5	X	X	176	143	135
1167ZZ0045	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	11	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	40	37	35
1169ZZ0084	X	X	100	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	210	<LQ	<LQ	X	X	<LQ	<LQ	<LQ	X	X	26	26	23
1167ZZ0031	<LQ	100	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		96	35	X	X	
1167ZZ0037	200	400	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		1550	1560	X	X	
1168ZZ0037	<LQ	100	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		46	48	X	X	
1173ZZ0072	<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		24	16	X	X	
1179ZZ0157	<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	100	X	X		<LQ	<LQ	X	X		54	48	X	X	
1183ZZ0026	400	400	X	X		6	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		208	150	X	X	
1184ZZ0001	<LQ	<LQ	X	X		6	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		125	129	X	X	
1185ZZ0121	100	100	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		41	42	X	X	
1186ZZ0119	<LQ	100	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		<LQ	<LQ	X	X		161	147	X	X	

	2,4,D	Atrazine	Bromacil	Chlordécone	Dieldrine	Diuron	Heptachlore époxyde	Hexazinon	Propiconazole	alpha HCH	beta HCH	delta HCH	gamma HCH (lindane)	Carbendazime	Aldicarde	Congénère 138	Biphényl	Propoxur	Monuron	Linuron	Mono-linuron	AMPA	Glyphosate	Total
Limite de quantification	0.05	0.025	0.05	0.2	0.01	0.05	0.005	0.035	0.075	0.005	0.005	0.005	0.005	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Unité	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Norme DCE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.03	0.1	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
unité	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Date d'interdiction	#	30/09/2003	31/12/2003	1993	1972	##	i	i2	#	i	i	i	1998	#	22/12/2002	?	?	?	#	#	#	#	#	#

129 produits phytopharmaceutiques analysés sur les 15 points du réseau suivants (figurent uniquement les pesticides quantifiés) : campagne hautes eaux (novembre 2006)

	Numéro BSS et date	2,4,D	Atrazine	Bromacil	Chlordécone	Dieldrine	Diuron	Heptachlore époxyde	Hexazinon	Propiconazole	alpha HCH	beta HCH	delta HCH	gamma HCH (lindane)	Carbendazime	Aldicarde	Congénère 138	Biphényl	Propoxur	Monuron	Linuron	Mono-linuron	AMPA	Glyphosate	Total
Basse Pointe - Chez Lélène	1168ZZ0054 22/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	0.31	0.395	0.057	0.0161	0.156	< LQ	< LQ	0.0814	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	1.02
Mariqot - Anse Charpentier	1169ZZ0006 22/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.0256	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	0.03
Trinité - Source Morne	1175ZZ0153 23/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	2.52	0.01	< LQ	0.0062	< LQ	< LQ	< LQ	0.043	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	0.19	2.77
Gros Morne - La Borelli	1174ZZ0088 24/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	0.15	0.16
François - Grand Fond	1179ZZ0299 23/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	0.25	0.25
Gros Morne - Vert Pré	1175ZZ0106 29/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	0.58	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.346	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	0.93
Basse Pointe - Chalvet	1166ZZ0026 22/11/06	< LQ	< LQ	1.89	< LQ	0.10	0.074	0.0104	0.057	< LQ	< LQ	0.0659	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	2.20
Lorrain - Fond Brulé	1169ZZ0084 22/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	15.2	0.0127	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	7.80	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	23.01
Saint Pierre - CDST	1167ZZ0045 26/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.0225	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	0.2	0.22
François - La Victoire	1179ZZ0228 30/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	0.00
Lamentin - H. Ressource	1179ZZ0070 29/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	0.2	0.20
Rivière Pilote - Fougainville	1183ZZ0052 28/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	0.00
Prêcheur - Rivière du	1167ZZ0024 27/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	0.16	0.16
Schoelcher - Fond Lahaye	1177ZZ0161 21/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	< LQ	0.00
Trinité - Le Galion	1175ZZ0154 24/11/06	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	< LQ	0.13	0.13

Annexe 2

Informations générales sur les principales molécules phytosanitaires détectées

Les informations portées dans les paragraphes suivants sont extraites principalement de la base de données « e-phy » gérée par le Ministère de l'Agriculture et « PAN » géré par le Pesticide Action Network North America.

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

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

- **L'Atrazine**

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

- **Le Bromacil**

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. La durée de demi-vie (DT50 -durée nécessaire pour que 50% du produit soit dégradé) du bromacil est de 346 jours selon la base de donnée PAN.

- **Le Chlordécone**

Le chlordécone (commercialisé dans deux formulations commerciales dénommées Curlone et Képone) est un insecticide organochloré interdit depuis 1993 dans les DOM. Il fut utilisé pour lutter contre le charançon du bananier. Les effets du chlordécone sur la santé sont multiples : troubles neurologiques, stérilité....

- **La Dieldrine**

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

- **Le Diuron**

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

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

- **Heptachlore époxyde**

L'heptachlore est un insecticide qui agit par contact, et est utilisé essentiellement contre les insectes rampants et les termites. L'heptachlore est présent sous forme d'impuretés dans le Chlordane, utilisé comme insecticide dans les champs de bananes. L'heptachlore époxyde est un produit de dégradation de l'heptachlore. L'heptachlore époxyde a des effets cancérigènes démontrés chez l'animal. Chez l'homme, il s'accumule essentiellement dans les tissus adipeux mais aussi dans le foie, les reins et les muscles. Il a été démontré que, chez la femme, l'heptachlore traversait le placenta pour atteindre le fœtus en développement.

- **Hexazinone**

L'hexazinone 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. Il est classé comme moyennement toxique.

- **Propiconazole**

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

- **Les hexachlorocyclohexanes (HCH)**

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

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

- **La Carbendazime**

La Carbendazime est un fongicide systémique servant à détruire maints pathogènes des céréales, des fruits, des plantes ornementale et des légumes. Ce fongicide est absorbé par les organes verts et les racines des végétaux et véhiculé par le courant de sève brute. Son action peut être préventive en empêchant l'installation du champignon ou curative en limitant son développement et en empêchant sa sporulation. Sa persistance d'action est de l'ordre de 2 à 3 semaines (Source : index phytosanitaire Acta 2005).

Les formulations commerciales en renfermant se présentent

essentiellement sous forme de poudres mouillables ou de liquides pour pulvérisation.

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

- **Aldicarbe**

L'aldicarbe est un insecticide de la famille des carbamates. Il fut utilisé en Martinique notamment en banane comme nématicide mais il fut aussi utilisé dans les cultures légumières (avec de forts risques de résidus en récolte). Il s'agit d'une molécule connue pour présenter un risque de présence dans les eaux souterraines. La constante de sorption (K_{oc}) est de 239, le temps de demi-vie court (environ 2 jours). Ce produit a été interdit par le SPV par arrêté préfectoral le 24 décembre 2002 puis au niveau national le 31 décembre 2003 avec délai d'utilisation jusqu'en juin 2004.

- **Biphényl**

Il s'agit d'un fongicide pour lequel très peu de données sont disponibles. Il n'y a à priori pas d'usage autorisé.

- **Propoxur**

Le propoxur est un insecticide de la famille des carbamates. Cet insecticide n'est pas autorisé en France en usage agricole, mais il est possible qu'il puisse être utilisé pour un usage biocide de type anti moustique. Ce produit serait aussi utilisé comme acaricide pour les tiques des chiens aux USA. Il s'agit d'une molécule connue pour présenter un risque important de lessivage vers les eaux souterraines (K_{oc} de l'ordre de 13-30), présentant une demi-vie de l'ordre de 70-143 jours.

- **Congénère 138**

Il s'agit d'un Composé de la classe des PCB (poly-chloro-byphényles). Aucun usage autorisé n'y est a priori associé.

