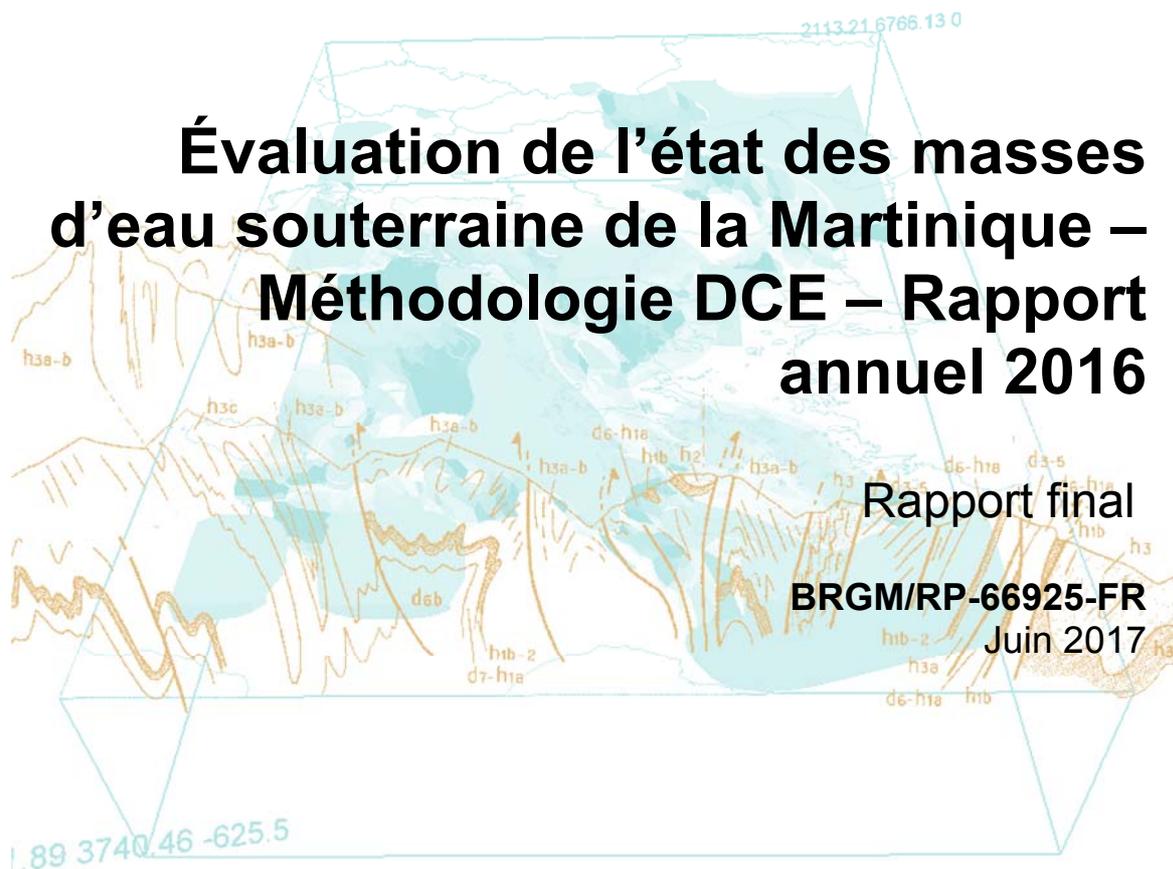




Évaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique – Méthodologie DCE – Rapport annuel 2016



Évaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique – Méthodologie DCE – Rapport annuel 2016

Rapport final

BRGM/RP-66925-FR
Juin 2017

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de Service public du BRGM AP16MAR005

L. Nascimento, A.-L. Tailamé

Vérificateur :

Nom : B. Mougin

Date : 24/05/2017

Signature :



Approbateur :

Nom : B. Vittecoq

Date : 20/06/2017



Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008 et 14001:2004.

Mots clés : Réseaux de surveillance, Directive Cadre européenne sur l'Eau, État masse d'eau souterraine, Qualité, Eau souterraine, Physico-chimie, Eléments majeurs, Micropolluants minéraux, Micropolluants organiques, Produits phytosanitaires, Chlordécone, Datation des eaux, Martinique, DOM.

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

Nascimento L. et Taïlamé A.-L. – Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2016. Rapport BRGM/RP-66925-FR, 120 p., 32 ill., 10 ann.

© BRGM, 2017. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Résumé

Depuis 2008, l'Office De l'Eau et le BRGM cofinancent un programme de surveillance des masses d'eau souterraine afin de répondre aux exigences de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE).

Un réseau de suivi quantitatif (29 stations) et un réseau de suivi qualitatif (21 stations) sont répartis sur l'ensemble de la Martinique afin d'appuyer les procédures de classification des 6 masses d'eau souterraine. L'évaluation DCE révèle que les masses d'eau souterraine Nord Caraïbe, Sud Caraïbe et Sud Atlantique sont considérées en bon état qualitatif, tandis que les masses d'eau Nord, Nord Atlantique et Centre sont déclassés en raison de la présence de produits phytosanitaires à des concentrations dépassant les valeurs seuil.

La totalité des masses d'eau souterraine de Martinique apparaissent classée comme étant en bon état quantitatif. Toutefois, le niveau de confiance de l'évaluation est considéré comme moyen.

En parallèle, un suivi mensuel sur deux stations classées en mauvais état à Basse - Pointe permet d'améliorer la compréhension des transferts de polluants vers les eaux souterraines en milieu volcanique.

Abstract

Since 2008, Martinique Water Agency and the French Geological Survey (BRGM) are co-funding a groundwater monitoring program. The aim of this program is to follow the demands of the European Water Framework Directive (WFD).

A quantitative and qualitative monitoring network (29 and 21 stations) are located in Martinique territory to support classification procedures for 6 groundwater bodies.

The WFD evaluation reveals that North, South Caribbean and South Atlantic groundwaters present a good quality status. Whereas North, Central Caribbean and North Atlantic are downgraded because their phytosanitary concentrations exceed quality threshold values.

Groundwater bodies in Martinique appear to be graded in good quantitative status. However the level of confidence in the assessment is considered as moderate.

Meanwhile, comprehension of pollutants transfers to volcanic island groundwaters are better constrain by a monthly monitoring on two stations in Basse-Pointe, which are classified as low quality level.

Synthèse

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (Directive 2000/60/CE dite « DCE ») stipule que « *les États membres doivent veiller à ce que soient établis des programmes de surveillance de l'état des eaux afin de dresser un tableau cohérent et complet de l'état des eaux au sein de chaque district hydrographique* », et que « *dans le cas des eaux souterraines, les programmes portent sur la surveillance de l'état chimique et quantitatif* » (article 8 de la Directive 2000/CE/60).

L'Office De l'Eau (ODE), la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Martinique (DEAL) et le BRGM jusqu'en 2007, puis l'ODE et le BRGM pour les années suivantes cofinancent un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines de Martinique qui se traduit depuis 2008 par le suivi biennuel de 18 points au titre du contrôle de surveillance et du contrôle opérationnel et de 3 points au titre spécifiquement du contrôle opérationnel. Depuis décembre 2008, il est complété par un suivi mensuel sur 2 points de surveillance.

La procédure d'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine, intégrant les tests de l'enquête appropriée, est précisée dans l'arrêté du 2 juillet 2012 portant modification de l'arrêté du 17 décembre 2008. Cette évaluation porte à la fois sur l'état quantitatif et sur l'état qualitatif/chimique des masses d'eau souterraine.

L'appréciation de l'état quantitatif s'appuie sur l'exploitation des données issues du réseau piézométrique de Martinique qui compte 29 ouvrages depuis 2007. Dans un souci de représentativité temporelle des chroniques, l'ensemble de la période d'acquisition des données a été retenue pour définir les états quantitatifs.

L'évaluation de l'état qualitatif repose sur un cycle de 6 ans selon la DCE, cette nouvelle année d'acquisition de données permet donc de réaliser une expertise de 2011 à 2016 ; toutefois l'ensemble des données acquises depuis le début du suivi (2004-2016) ont été étudiées pour affiner le diagnostic.

À l'issue de cette expertise, la totalité des masses d'eau souterraine de Martinique apparaît classée comme étant en bon état quantitatif. Le niveau de confiance de l'évaluation est considéré comme moyen en raison du manque de connaissance sur les incidences des relations eaux de surface – eaux souterraines et sur l'impact des eaux souterraines sur les écosystèmes terrestres associés.

D'un point de vue qualitatif, trois masses d'eau souterraine sur six apparaissent classées en bon état. Il s'agit des masses d'eau Nord Caraïbe (FRJG203), Sud Atlantique (FRJG205) et Sud Caraïbe (FRJG206). Les masse d'eau Nord (FRJG201), Nord Atlantique (FRJG202) et Centre (FRJG204) sont quant à elles classées en mauvais état en raison d'une contamination étendue aux pesticides organochlorés (surfaces dégradées supérieures à 20%).

Le niveau de confiance de cette évaluation de l'état chimique est considéré comme moyen en raison du manque de connaissance sur les relations nappes-rivières, et nappes-écosystèmes terrestres associés.

De nouvelles molécules actives sont analysées depuis deux ans. En 2015, du bisphénol A, du methylparaben, de la caféine, du benzotriazole, du propylparaben ainsi que du tolyltriazole ont été retrouvés pour certains qualitomètres à des valeurs dépassant la limite de quantification. En 2016, la liste de paramètres à analyser a été modifiée, seul du bisphénol A et du benzotriazole ont été quantifiés sur le réseau.

La poursuite du suivi mensuel reste nécessaire comparativement à l'apport semestriel et met en évidence de nouveaux questionnements sur les variations chimiques et temporelles des produits phytosanitaires et leurs transferts vers les eaux souterraines. Les fluctuations en certains pesticides peuvent être totalement différentes d'une station à l'autre mais révèlent globalement une tendance à la diminution des concentrations depuis l'année 2011. Il est probable que les cycles pluriannuels des nappes jouent un rôle important sur les concentrations en pesticides mesurées dans les eaux souterraines, néanmoins, la validation de cette hypothèse nécessite une acquisition de données sur le long terme.

Sommaire

1. Introduction	15
2. Présentation des données disponibles pour l'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine de Martinique	17
2.1. INVENTAIRE DES DONNÉES « QUANTITÉ »	17
2.1.1. Les réseaux sur le bassin Martinique	17
2.1.2. Mise à disposition des données acquises	20
2.2. RECENSEMENT DES DONNÉES « QUALITÉ »	20
2.2.1. Fonctionnement des réseaux de contrôle	20
2.2.2. Surveillance semestrielle	22
2.2.3. Surveillance mensuelle	23
3. Les procédures d'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine selon les exigences de la DCE	25
3.1. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUANTITATIF	25
3.1.1. Détermination du « bon état quantitatif »	25
3.1.2. Procédure générale : description des tests de classification pour l'évaluation de l'état quantitatif	25
3.1.3. Niveaux de confiance et période de référence	28
3.2. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUALITATIF	28
3.2.1. Définition du « bon état chimique »	28
3.2.2. Procédure générale	29
3.2.3. Valeurs seuils et normes de qualité	34
3.2.4. Limite de quantification	34
3.2.5. Niveau de confiance de l'évaluation et période de référence	35
4. Évaluation de l'état quantitatif DCE des masses d'eau souterraine de la Martinique... 37	37
4.1. PRESENTATION DES RESULTATS	37
4.2. ÉVALUATION DE L'ETAT QUANTITATIF DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE	39
4.2.1. Test : balance prélèvement / ressource	39
4.2.2. Test : eau de surface	39
4.2.3. Test : écosystèmes terrestres	39
4.2.4. Test : intrusion salée ou autre (commun avec l'état chimique)	39
5. Etat qualitatif du réseau Martinique en 2016	41
5.1. LES ÉLÉMENTS PHYSICO-CHIMIQUES, MAJEURS ET TRACES DE L'ANNÉE 2016	
41	

5.1.1. Les paramètres physico-chimiques mesurés sur place	41
5.1.2. Les éléments majeurs.....	41
5.1.3. Les éléments traces.....	41
5.2. LES NITRATES.....	43
5.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	45
5.4. NOUVELLES SUBSTANCES ACTIVES ANALYSEES	48
6. Principales observations sur la période 2004-2016.....	51
6.1. LES NITRATES.....	51
6.2. LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES	52
7. Evaluation de l'état qualitatif DCE sur un cycle de gestion : 2011 - 2016 (Étape 1)	55
7.1. MASSE D'EAU NORD – FRJG201.....	55
7.1.1. Molécules inorganiques	55
7.1.2. Produits phytosanitaires	55
7.1.3. Conclusion	56
7.2. MASSE D'EAU NORD ATLANTIQUE – FRJG202	56
7.2.1. Molécules inorganiques	56
7.2.2. Produits phytosanitaires	57
7.2.3. Conclusion	58
7.3. MASSE D'EAU NORD CARAÏBES – FRJG203.....	58
7.3.1. Molécules inorganiques	58
7.3.2. Produits phytosanitaires	58
7.3.3. Conclusion	58
7.4. MASSE D'EAU CENTRE – FRJG204.....	58
7.4.1. Physico-chimie <i>in situ</i>	58
7.4.2. Molécules inorganiques	59
7.4.3. Produits phytosanitaires	59
7.4.4. Conclusion	59
7.5. MASSE D'EAU SUD ATLANTIQUE – FRJG205	59
7.5.1. Physico-chimie <i>in situ</i>	59
7.5.2. Produits phytosanitaires	59
7.5.3. Conclusion	59
7.6. MASSE D'EAU SUD CARAÏBES – FRJG206.....	60
7.6.1. Physico-chimie <i>in situ</i>	60
7.6.2. Molécules inorganiques	60
7.6.3. Produits phytosanitaires	60

7.6.4. Conclusion	60
7.7. REALISATION DES ENQUETES APPROPRIÉES ET NIVEAU DE CONFIANCE (ETAPE 2)	60
8. Suivi mensuel de la contamination par les produits phytosanitaires sur deux piézomètres	66
8.1. MÉTHODOLOGIE	66
8.2. PRÉSENTATION DES DEUX POINTS DE SURVEILLANCE CONCERNÉS PAR LE SUIVI MENSUEL	66
8.2.1. Contexte géologique et hydrogéologique	66
8.2.2. Pressions agricoles et contamination	68
8.3. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX ET VARIABILITÉ TEMPORELLE	69
8.4. ÉVOLUTION MENSUELLE DES CONCENTRATIONS EN PESTICIDES	71
8.4.1. Apport de la fréquence mensuelle	71
8.4.2. Fluctuations mensuelles par molécule	71
8.5. RELATION PIÉZOMETRIE-CONCENTRATIONS EN PESTICIDES	76
8.6. ÂGE DES EAUX SOUTERRAINES ET CONTAMINATION PAR LES PESTICIDES	77
8.7. CONCLUSIONS SUR LE SUIVI MENSUEL DES STATIONS DE BASSE POINTE	78
9. Conclusion	79
10. Bibliographie	81

Liste des illustrations

Illustration 1 : Stations en service au 31/12/2016 constituant le réseau piézométrique unitaire « 0800000015 - FRJSOP - Surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique » du BRGM Martinique.....	18
Illustration 2 : Carte de répartition des stations du réseau piézométrique de Martinique (état à fin décembre 2016)	19
Illustration 3 : Carte de localisation et liste des points de surveillance du réseau DCE en 2016 : « 0800000016 - FRJSOS - Contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » et « 0800000017 - FRJSOO - Contrôles opérationnels de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » (Cs = contrôle de surveillance, Co = contrôle opérationnel)	22
Illustration 4 : Tests de classification pour l'évaluation de l'état quantitatif et qualitatif	26
Illustration 5 : Définition du bon état chimique des masses d'eau souterraine – Extrait de la Directive Cadre européenne sur l'Eau 2000/60/CE, annexe V.2.3.2	29
Illustration 6 : Procédure générale pour l'évaluation du bon état chimique d'une masse d'eau souterraine et application de l'enquête appropriée au titre de l'évaluation de l'état chimique (GWD : Groundwater Directive)	30
Illustration 7 : Test « qualité générale » permettant d'évaluer la proportion de la masse d'eau en bon état	32
Illustration 8 : Types de fluctuations piézométriques rencontrées en Martinique (les échelles de temps des 4 graphiques sont identiques)	38
Illustration 9 : Tableau récapitulatif des zones à risque de fond géochimique élevé	42
Illustration 10 : Concentrations en nitrates en saison sèche (SS) et saison des pluies (SP) 2016	44
Illustration 11 : Produits phytosanitaires quantifiés en saison sèche 2016	46
Illustration 12 : Produits phytosanitaires quantifiés en saison humide 2016	47
Illustration 13 : Nouvelles substances actives analysées depuis 2015	49
Illustration 14 : Evolution des nitrates pour les 4 stations les plus impactées du réseau	51
Illustration 15 : Tableau récapitulatif des nouvelles valeurs seuils proposées	57
Illustration 16 : Tableau récapitulatif de l'état du réseau qualitatif par station sur la période 2011-2016.....	61
Illustration 17 : Tableau des pourcentages des superficies concernées par masse d'eau souterraine et carte de risque de contamination des eaux souterraines par les intrants agricoles correspondante ; Arnaud et Wiat (2010)	63
Illustration 18 : Résultats de l'enquête appropriée pour l'évaluation de l'état qualitatif des 6 masses d'eau souterraine de la Martinique	64
Illustration 19 : Carte de l'état qualitatif des points d'eau et masse d'eau souterraine dans le cadre de l'évaluation 2011 – 2016	65
Illustration 20 : Chronique piézométrique des forages Chalvet (en bleu) et Rivière Falaise (en rouge) au pas de temps journalier (janvier 2005 – décembre 2016)	67
Illustration 21 : Délimitation approximative des bassins d'alimentation des forages Rivière Falaise et Chalvet (les zones hachurées correspondent aux principales zones de recharge) (Arnaud et al., 2013)	68
Illustration 22 : Coupe géophysique du bassin versant de Chalvet	69
Illustration 23 : Concentration moyenne des molécules détectées dans les eaux souterraines à Chalvet et Rivière Falaise depuis le début du suivi mensuel	69

Illustration 24 : Évolution de la conductivité à Chalvet et des concentrations en sodium et chlorures (à gauche) et de la piézométrie (à droite)	70
Illustration 25 : Fluctuations des concentrations en nitrates et du niveau piézométrique au droit des forages de Chalvet et de rivière Falaise	70
Illustration 26 : Évolution des concentrations en bêta HCH à Chalvet depuis décembre 2005 et des teneurs en chlordécone-5b-hydro à Rivière Falaise depuis avril 2009.....	71
Illustration 27 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe - Chalvet pour différents pesticides (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2).....	72
Illustration 28 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe - Chalvet pour la chlordécone et la chlordécone 5b-hydro (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2)	73
Illustration 29 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe – Rivière Falaise pour différents pesticides (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2) ..	74
Illustration 30 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe – Rivière Falaise pour la chlordécone 5 b-hydro et le bêta HCH (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2).....	74
Illustration 31 : Comparaison des fluctuations mensuelles sur Chalvet et Rivière Falaise pour le métolachlore (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2)	75
Illustration 32 : Fluctuations des concentrations en pesticides et du niveau piézométrique au droit des forages de Basse Pointe – Chalvet et Rivière Falaise.....	77

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des paramètres analysés et laboratoires respectifs	85
Annexe 2 Produits phytosanitaires détectés sur le réseau qualitatif de Martinique	91
Annexe 3 Résultats d'analyses en produits phytosanitaires du réseau qualitatif de Martinique	95
Annexe 4 Moyennes des moyennes annuelles (Mma) en produits phytosanitaires pour la période de 2011 à 2016	99
Annexe 5 Sommes annuelles en produits phytosanitaires pour la période de 2011 à 2016.....	103
Annexe 6 Fluctuations mensuelles des produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe - Chalvet	107
Annexe 7 Fluctuations mensuelles des produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe – Rivière Falaise.....	111
Annexe 8 Comparaison des fluctuations mensuelles des produits phytosanitaires sur les stations de Basse Pointe à Chalvet et Rivière Falaise.....	115
Annexe 9 Relation piézométrique et concentration en produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe - Chalvet.....	119
Annexe 10 Relation piézométrique et concentration en produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe - Rivière Falaise	123

1. Introduction

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (Directive 2000/60/CE dite « DCE ») stipule que « *les États membres doivent veiller à ce que soient établis des programmes de surveillance de l'état des eaux afin de dresser un tableau cohérent et complet de l'état des eaux au sein de chaque district hydrographique* », et que « *dans le cas des eaux souterraines, les programmes portent sur la surveillance de l'état chimique et quantitatif* » (article 8 de la Directive 2000/CE/60).

L'Office De l'Eau (ODE), la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Martinique (DEAL) et le BRGM jusqu'en 2007, puis l'ODE et le BRGM pour les années suivantes cofinancent un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines de Martinique qui se traduit depuis 2008 par le suivi biennuel de 18 points au titre du contrôle de surveillance et du contrôle opérationnel et de 2 points au titre spécifiquement du contrôle opérationnel, ainsi que d'un point au titre du contrôle d'enquête depuis 2015. Depuis décembre 2008, il est complété par un suivi mensuel sur 2 points de surveillance.

Les objectifs assignés aux masses d'eau souterraine sont rédigés par le Comité de Bassin dans le cadre des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).

La DCE établissant des cycles de travail de 6 ans, les SDAGE sont également révisés à cette fréquence. La première étape de la mise en œuvre de la DCE a consisté en l'élaboration d'un état des lieux du bassin de Martinique qui a été réalisé en 2004 puis mis à jour en 2013. L'objectif principal est l'atteinte du bon état des milieux aquatiques.

Le présent rapport s'intéresse à l'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine de 2004 à 2016, qui prend appui sur les données issues du réseau piézométrique de Martinique ainsi que sur celles acquises dans le cadre du réseau de surveillance de l'état chimique des masses d'eau souterraine.

Dans un premier temps, une présentation de ces données est réalisée et la procédure d'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine comprenant les tests de l'enquête appropriée (lorsque les valeurs seuils sont dépassées) est détaillée. Après évaluation de l'état quantitatif, l'état qualitatif est étudié en trois temps :

- Etat des stations selon les critères de la DCE, au cours de la dernière année d'acquisition en saison sèche et saison des pluies 2016 ;
- Analyses des principaux résultats depuis le début du suivi qualité, soit 13 ans d'acquisition (2004 – 2016) ;
- Réalisation de l'évaluation complète de l'état qualitatif DCE des masses d'eau souterraine sur le dernier cycle de 6 ans (2011 – 2016)

Enfin, dans le chapitre 8 de ce rapport, une attention particulière est portée au suivi mensuel réalisé sur deux points de surveillance de la commune de Basse Pointe présentant de fortes contaminations en produits phytosanitaires.

2. Présentation des données disponibles pour l'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine de Martinique

2.1. INVENTAIRE DES DONNÉES « QUANTITÉ »

2.1.1. Les réseaux sur le bassin Martinique

Les réseaux sous maîtrise d'ouvrage BRGM font partie du « réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines de la France » mis en place par la Direction de l'Eau du Ministère en charge de l'environnement pour répondre aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE). Le BRGM, dans le cadre d'une convention de partenariat avec l'ONEMA et en tant qu'opérateur national, assure la gestion des points de surveillance dont il a la charge.

Au 31 décembre 2016, 29 stations sont suivies dans ce cadre par le BRGM sur le bassin Martinique. L'ensemble de ces points est déclaré sous ADES (www.ades.eaufrance.fr - Banque nationale de données sur les eaux souterraines) dans le méta-réseau de bassin « 0800000015 - FRJSOP - Surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique ».

Ces points de surveillance sont tous gérés au sein d'un unique réseau unitaire, celui de la Direction Régionale du BRGM en Martinique (réseau référencé « 0800000001 - RDESOUPMAR - Réseau départemental de suivi quantitatif des eaux souterraines de la Martinique »).

Le réseau piézométrique national a ainsi pour fonction d'acquérir des données piézométriques et hydrométriques (lorsque les débits mesurés ont une représentativité hydrogéologique – exemple : milieu karstique) en vue de suivre l'évolution du niveau des nappes et les tendances d'évolution des ressources en eau souterraine. Il doit permettre de traduire l'état quantitatif global de la ressource.

En Martinique, seuls des niveaux piézométriques sont enregistrés au sein des réseaux quantitatifs.

Le réseau piézométrique de Martinique a été placé en 2002 sous maîtrise d'ouvrage BRGM au titre de sa mission de service public sur les eaux souterraines. L'objectif est de développer, d'optimiser, de moderniser et ainsi de valoriser les connaissances et les observations quantitatives effectuées sur la ressource patrimoniale en eau souterraine de Martinique, comme le préconisent le Ministère en charge de l'Environnement et le SDAGE de Martinique.

De 2003 à 2007, les actions entraient dans le cadre du programme national de « réseaux piézométriques » sous conventions annuelles MEDDE - BRGM. Depuis 2008, des conventions partenariales annuelles lient l'ONEMA et le BRGM.

En 2016, le réseau quantitatif est composé de 29 stations de suivi réparties sur les 6 masses d'eau souterraine de Martinique (Illustration 1 et Illustration 2).

Masse d'eau	N° BSS	Commune	Lieu-dit
Nord FRJ201	1168ZZ0037	Morne Rouge	Desgrottes
	1166ZZ0026	Basse Pointe	Chalvet
	1168ZZ0054	Basse Pointe	Rivière Falaise
Nord Atlantique FRJ202	1169ZZ0084	Lorrain	Fond Brulé
	1169ZZ0184	Marigot	Anse Charpentier 2
	1174ZZ0088	Gros Morne	La Borelli
	1175ZZ0154	Trinité	Le Galion
Nord Caraïbe FRJ203	1167ZZ0024	Prêcheur	Rivière du Prêcheur
	1167ZZ0023	Saint Pierre	Rivière Blanche
	1167ZZ0045	Saint Pierre	CDST
	1173ZZ0082	Bellefontaine	Fond Laillet
	1177ZZ0177	Schoelcher	Fond Lahaye
	1177ZZ0173	Case Pilote	Maniba
	1177ZZ0165	Schoelcher	Case Navire
Centre FRJ204	1179ZZ0157	Ducos	Bois Rouge
	1179ZZ0039	Lamentin	Habitation Ressource
	1179ZZ0158	Lamentin	Sarrault
Sud Atlantique FRJ205	1179ZZ0299	François	Grand Fond
	1179ZZ0300	Robert	Pontalery
	1183ZZ0026	Vauclin	Puyferrat
	1186ZZ0118	Marin	Grand Fond
	1186ZZ0119	Marin	Cap Macré
Sud Caraïbe FRJ206	1181ZZ0132	Trois Ilets	Vatable
	1181ZZ0131	Anses d'Arlet	Grande Anse
	1185ZZ0120	Sainte Luce	Stade communal
	1183ZZ0024	Rivière Pilote	La Mauny
	1183ZZ0052	Rivière Pilote	Fougainville
	1184ZZ0001	Diamant	Habitation Dizac (Forage)
	1184ZZ0028	Diamant	Habitation Dizac (Puits)

Illustration 1 : Stations en service au 31/12/2016 constituant le réseau piézométrique unitaire « 0800000015 - FRJSOP - Surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique » du BRGM Martinique

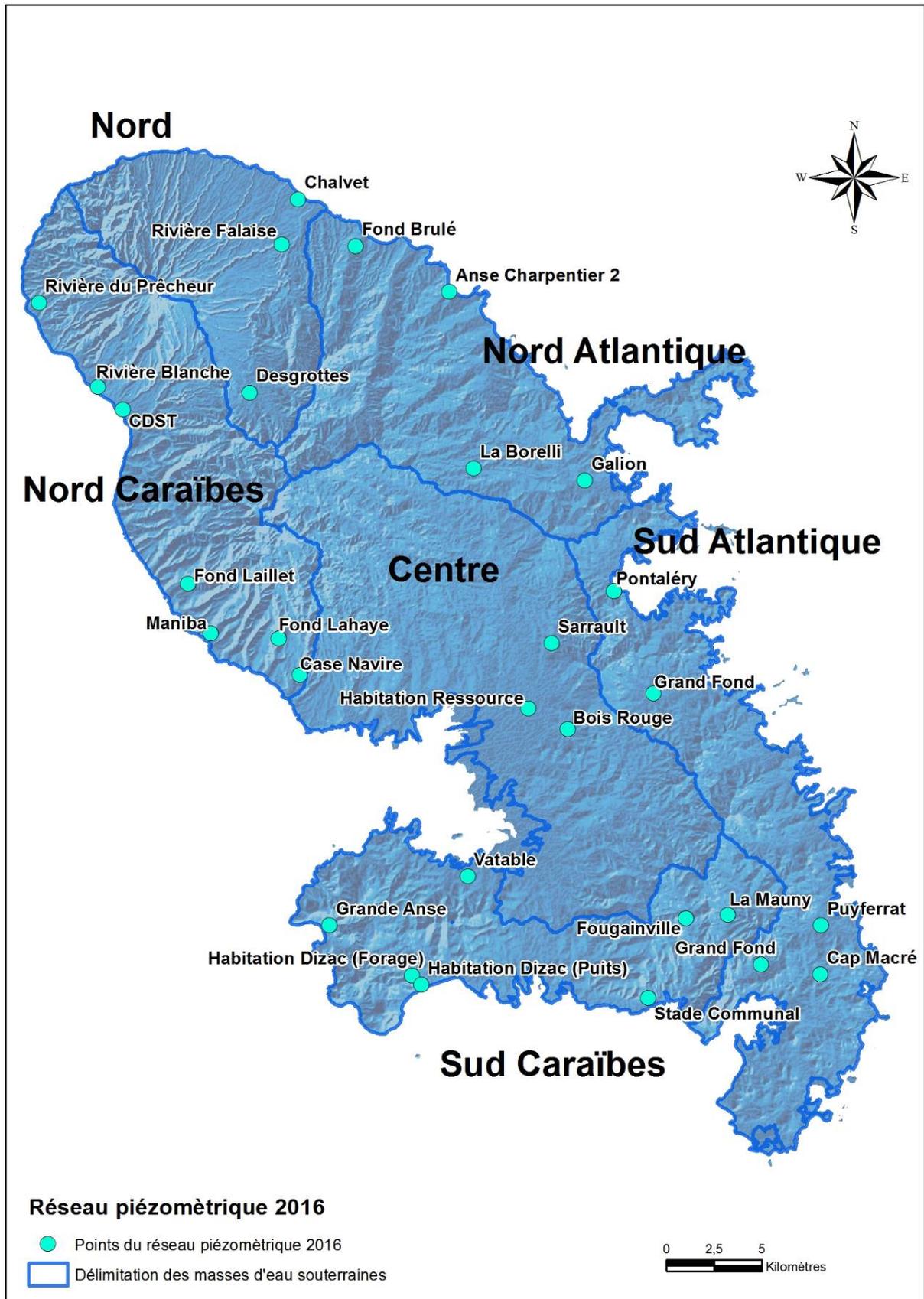


Illustration 2 : Carte de répartition des stations du réseau piézométrique de Martinique (état à fin décembre 2016)

2.1.2. Mise à disposition des données acquises

Les données « quantité » collectées et validées sont mises à la disposition du public *via* le portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines – ADES (<http://www.ades.eaufrance.fr>). Ces données correspondent à des chroniques compilant les côtes piézométriques journalières mesurées sur les stations du réseau.

Le début d'acquisition sur les points d'eau du réseau sont très variables (1976 à 2008 et les premières données recensées sont relativement sporadiques (mesures ponctuelles et/ou fréquences irrégulières). Pour pouvoir apprécier l'état quantitatif d'une masse d'eau souterraine et notamment les tendances d'évolution, il est préférable que les chroniques soient de longue durée ; néanmoins l'enregistrement au pas de temps horaire ayant débuté entre 2004 et 2006, les chroniques étudiées dépassent rarement les 10 années d'acquisition (cf. rapport BRGM/RP-65513-FR).

2.2. RECENSEMENT DES DONNÉES « QUALITÉ »

2.2.1. Fonctionnement des réseaux de contrôle

Suite à la publication de la DCE, la mise en place des réseaux de surveillance devait se faire avant le 22 décembre 2006. En Martinique, la DIREN s'est chargée de leur mise en place au niveau local, en fonction des prescriptions de la DCE reportées dans les guides nationaux et européens.

Elle a ensuite confié au BRGM la réalisation d'une étude visant à faire évoluer le réseau de suivi patrimonial de la qualité des eaux souterraines démarré en 2004. Les résultats de cette étude, finalisée fin 2006, sont présentés dans le rapport « Définition des réseaux de suivi de l'état quantitatif et du contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique » (Vittecoq, 2006). Le réseau de contrôle de surveillance alors défini était constitué de 18 points : 15 forages ou piézomètres et 3 sources.

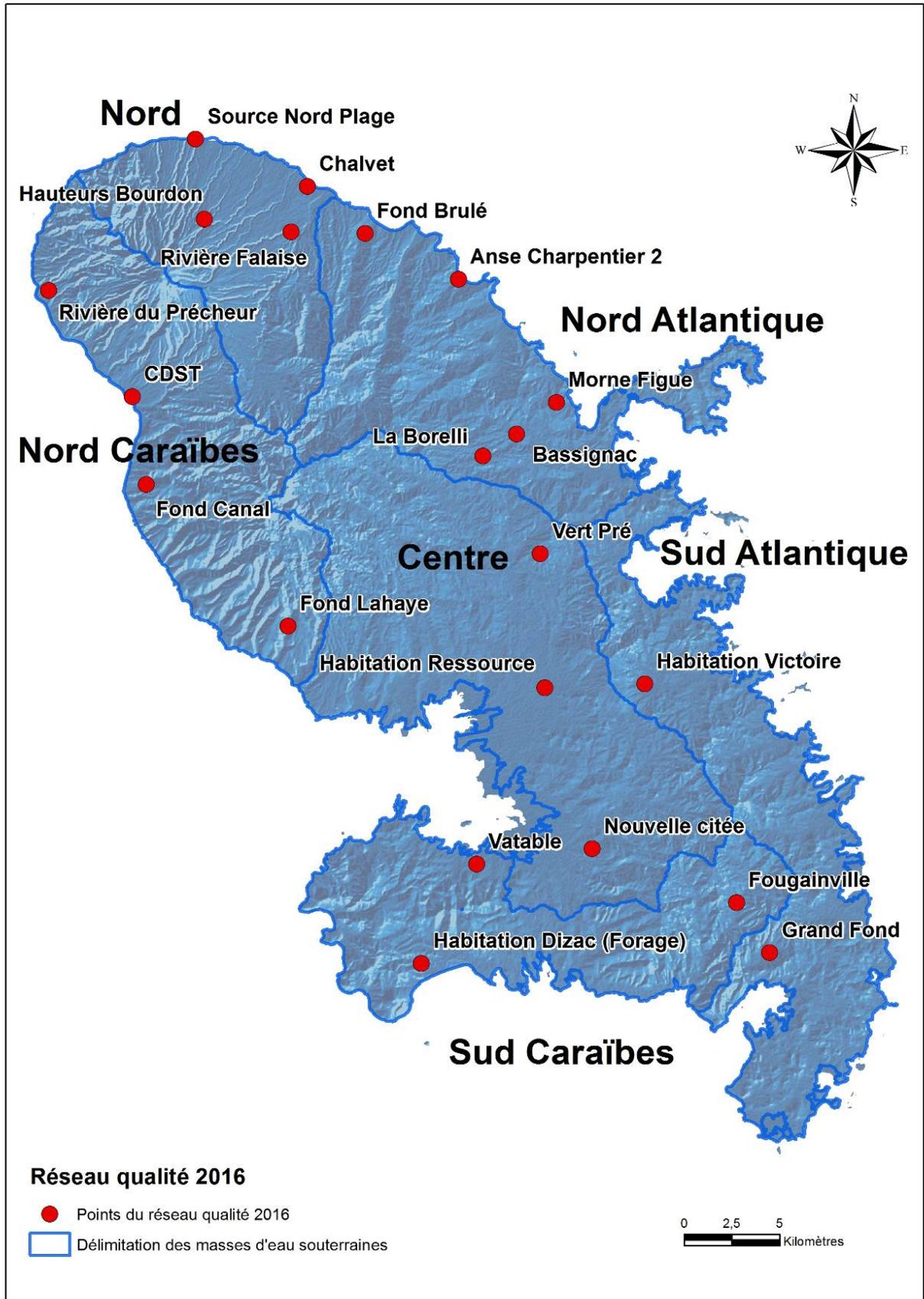
Des contrôles opérationnels doivent également être effectués sur « *les masses d'eau souterraine recensées comme présentant un risque* » (de non-atteinte du bon état à l'horizon 2015, Cf. l'article 4 de la Directive 2000/60/CE) afin « *d'établir [leur] état chimique* » ainsi que « *d'établir la présence de toute tendance à la hausse à long terme de la concentration d'un quelconque polluant suite à l'activité anthropogénique* » (Directive 2000/60/CE, Annexe V §2.4.3).

Le contrôle de surveillance réalisé en 2007 et 2008 a révélé la contamination d'un certain nombre de points au-delà des seuils fixés par la DCE. Le suivi de sites contaminés faisant l'objet du contrôle opérationnel, les sites concernés ont désormais une double vocation de « contrôle de surveillance » et de « contrôle opérationnel ». Ces sites constituent, avec deux autres points définis en 2007, le réseau de contrôle opérationnel 2008, qui devra être maintenu jusqu'au retour du bon état chimique pour les masses d'eau concernées.

Le point de suivi de Trinité – Bassignac 1175ZZ0190/BF1 a été ajouté en 2015 au réseau en tant que contrôle opérationnel suite à l'étude Chlor-eau-sol¹ menée sur le bassin versant du Galion.

L'illustration 3 précise les caractéristiques géographiques et typologiques des 21 stations du réseau de contrôle de la qualité des eaux souterraines de Martinique, suivies durant l'année 2016.

¹ CHLOR-EAU-SOL : caractérisation de la contamination par la chlordécone des eaux et des sols des bassins versants pilotes guadeloupéen et martiniquais (rapport BRGM/RP-64142-FR).



Masse d'eau souterraine		Indice BSS	Commune	Lieu dit	Typologie	Réseau	Méthode de prélèvement
Nord	FRJG201	1166ZZ0026	Basse Pointe	Chalvet	Piézomètre BRGM	Cs + Co	pompe
		1166ZZ0032	Basse Pointe	Hauteurs Bourdon	Source	Cs + Co	Source
		1166ZZ0023	Macouba	Nord Plage	Source	Cs + Co	Source
		1168ZZ0054	Basse Pointe	Rivière Falaise	Piézomètre BRGM	Cs + Co	pompe
Nord Atlantique	FRJG202	1169ZZ0184	Marigot	Anse Charpentier 2	Piézomètre BRGM	Cs + Co	pompe
		1169ZZ0084	Lorrain	Fond Brulé	Piézomètre BRGM	Cs + Co	pompe
		1174ZZ0088	Gros Morne	La Borelli	Piézomètre BRGM	Cs + Co	pompe
		1175ZZ0190	Trinité	Bassignac	Piézomètre BRGM	Cs + Co	pompe
		1175ZZ0153	Trinité	Morne Figue	Source	Cs + Co	Source
Nord Caraïbes	FRJG203	1167ZZ0045	Saint Pierre	CDST	Piézomètre BRGM	Cs	pompe
		1177ZZ0177	Schoelcher	Fond Lahaye	Piézomètre BRGM	Cs	pompe
		1167ZZ0024	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Piézomètre BRGM	Cs	bailer
		1172ZZ0063	Carbet	Fond Canal	Forage SCCCNO	Cs	pompe
Centre	FRJG204	1175ZZ0106	Robert	Vert Pré	Forage industriel	Cs + Co	bailer
		1179ZZ0070	Lamentin	Habitation Ressource	Forage CACEM	Cs + Co	pompe
		1182ZZ0160	Rivière Salée	Nouvelle Cité	Forage DDAF	Cs + Co	pompe
Sud Atlantique	FRJG205	1186ZZ0118	Marin	Grand Fond	Forage agricole	Cs	pompe
		1179ZZ0228	François	Habitation Victoire	Forage agricole	Cs	pompe
Sud Caraïbes	FRJG206	1183ZZ0052	Rivière Pilote	Fougainville	Piézomètre BRGM	Cs	pompe
		1181ZZ0132	Trois Ilets	Vatable	Piézomètre BRGM	Cs	bailer
		1184ZZ0001	Diamant	Habitation Dizac	Piézomètre BRGM	Cs	pompe

Illustration 3 : Carte de localisation et liste des points de surveillance du réseau DCE en 2016 : « 0800000016 - FRJSOS - Contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » et « 0800000017 - FRJSOO - Contrôles opérationnels de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » (Cs = contrôle de surveillance, Co = contrôle opérationnel)

2.2.2. Surveillance semestrielle

Le programme du contrôle de surveillance des eaux souterraines en Martinique est basé sur deux campagnes de prélèvements :

- Une première qui s'effectue en avril pour caractériser des conditions hydrogéologiques de basses eaux (fin de la saison sèche) ;
- Une seconde en novembre pour caractériser des conditions hydrogéologiques de hautes eaux (fin de saison des pluies).

Le BRGM Martinique s'appuie principalement sur les recommandations techniques du guide AQUAREF relatif à l'échantillonnage en eau souterraine disponible sur le site Internet www.aquaref.fr. Ce guide s'appuie notamment sur les exigences des documents normatifs suivants :

- La norme NF EN ISO 5667-3 "Qualité de l'eau – Echantillonnage - Partie 3 : Lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau" (juin 2004) ;
- Les guides FD T 90-523-3 « Qualité de l'Eau – Guide de prélèvement pour le suivi de qualité des eaux dans l'environnement – Prélèvement d'eau souterraine » (janvier 2009) et FD X31-615 « Qualité du sol – Méthode de détection et de caractérisation des pollutions – Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage » (décembre 2000).

Les analyses sont effectuées, en fonction des capacités d'accréditation et des plus faibles limites de quantification, par la Direction des Laboratoires (LAB) du BRGM à Orléans ou le laboratoire départemental d'analyses de la Drôme à Valence (LDA26), selon les normes NF EN ISO/CEI 17025 et le document COFRAC LAB REF 02, référence des laboratoires et de l'ISO 9001-2000. L'ensemble des paramètres analysés est listé en Annexe 1.

Le BRGM est, par ailleurs, agréé par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (la liste des agréments est disponible sur le site www.labeau.fr).

2.2.3. Surveillance mensuelle

En décembre 2008, en concertation et collaboration avec l'ODE, il a été décidé de compléter la surveillance semestrielle par un suivi mensuel sur 2 stations du réseau. Ce suivi a débuté sur la source de Morne Figue à Trinité et le piézomètre de Chalvet à Basse Pointe. Conformément aux conclusions du rapport annuel 2010 (Arnaud et *al.*, 2011), le suivi mensuel de la source de Morne Figue a été interrompu en février 2011. En accord avec l'ODE, le suivi mensuel a été transféré sur le piézomètre de Basse Pointe - Rivière Falaise à partir d'avril 2011.

L'objectif principal de ce suivi mensuel est de disposer, pour 2 points, de 12 analyses par an afin d'évaluer la représentativité des 2 campagnes d'analyses semestrielles par rapport à d'éventuelles fluctuations chimiques au cours de l'année. L'autre objectif poursuivi est d'améliorer la compréhension du transfert des produits phytosanitaires vers les eaux souterraines de Martinique.

Une présentation des résultats de ce suivi mensuel est faite au chapitre 8.

Les résultats d'analyses acquis dans le cadre du réseau qualité DCE sont bancarisés sur ADES : <http://www.ades.eaufrance.fr/>.

3. Les procédures d'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine selon les exigences de la DCE

3.1. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUANTITATIF

3.1.1. Détermination du « bon état quantitatif »

Selon l'article R212-12 du code de l'environnement, « *l'état quantitatif d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible [...]* ».

D'après l'article 2 (27) de la DCE, la « *ressource disponible* » correspond au « *taux moyen à long terme de la recharge totale de la masse d'eau souterraine moins le taux annuel à long terme de l'écoulement requis pour atteindre les objectifs de la qualité écologique des eaux de surface associées fixés à l'article 4, afin d'éviter toute diminution significative de l'état écologique de ces eaux et d'éviter toute dégradation significative des écosystèmes terrestres associés* ».

En pratique, les objectifs à atteindre pour obtenir le bon état quantitatif sont :

- D'assurer un équilibre sur le long terme entre les volumes s'écoulant au profit des autres milieux ou d'autres nappes, les volumes captés et la recharge de chaque nappe ;
- D'éviter une altération significative de l'état chimique et/ou écologique des eaux de surface liée à une baisse d'origine anthropique du niveau piézométrique ;
- D'éviter une dégradation significative des écosystèmes terrestres dépendants des eaux souterraines en relation avec une baisse du niveau piézométrique ;
- D'empêcher toute invasion saline ou autre liée à une modification d'origine anthropique des écoulements.

Une masse d'eau souterraine n'est en bon état que si l'ensemble de ces objectifs est respecté.

Dans le cadre de la mise à jour de l'état des lieux 2013, l'évaluation de l'état quantitatif est réalisée pour toutes les masses d'eau, quel que soit leur état. En effet, contrairement à l'état chimique, la DCE ne précise pas si l'évaluation de l'état quantitatif doit s'appliquer aux masses d'eau à risque ou à l'ensemble d'entre elles.

3.1.2. Procédure générale : description des tests de classification pour l'évaluation de l'état quantitatif

L'évaluation du bon état quantitatif consiste en la réalisation d'un certain nombre de tests. Seuls les tests « pertinents » c'est-à-dire correspondant à un risque identifié doivent être menés. Les tests sont indépendants, il n'y a pas d'ordre en ce qui concerne leur réalisation.

L'illustration 4, extraite du guide européen, rassemble les différents tests pour l'estimation de l'état qualitatif et quantitatif. A l'issue de chacun d'eux, l'état de la masse d'eau est considéré

comme « bon » ou « médiocre » pour le test en question. Si pour au moins un test la masse d'eau est en état médiocre alors l'ensemble de la masse d'eau est classée en état quantitatif médiocre.

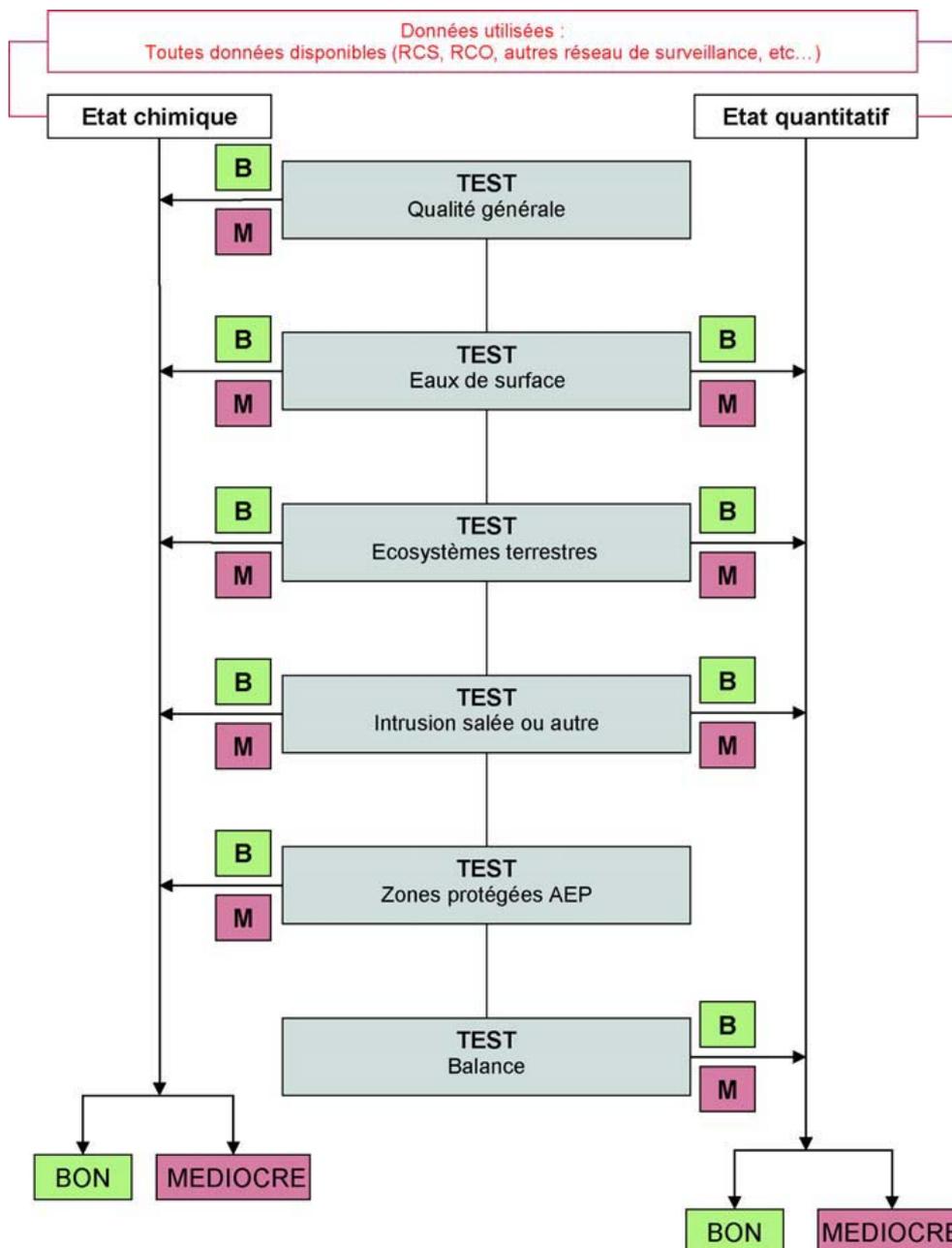


Illustration 4 : Tests de classification pour l'évaluation de l'état quantitatif et qualitatif

Comme le suggère l'illustration ci-dessus, les tests « Eaux de surface », « Ecosystèmes terrestres » et « Intrusion salée ou autre », concernent également l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine. Pour ces deux premiers tests, les objectifs sont de faire en sorte que les prélèvements dans la nappe ne soient pas responsables d'un mauvais état chimique et/ou écologique pour les eaux de surface ou les écosystèmes terrestres associés. Concernant les intrusions salées ou autre, des prélèvements excessifs sont souvent à l'origine de phénomènes d'intrusions salines (ou amplification de phénomènes existants).

a) Test : balance prélèvement/ressource

Ce test a pour finalité d'évaluer l'équilibre entre la ressource disponible et les prélèvements ; il s'effectue à l'échelle globale de la masse d'eau souterraine (MESO). Il comprend une condition initiale suivie de 4 étapes de calcul ou d'estimation à réaliser ainsi qu'une condition finale : le ratio (MESO) ; l'ensemble permet la caractérisation de l'état de la masse d'eau pour ce test.

La condition initiale consiste à estimer la tendance d'évolution sur le long terme des niveaux issus de la surveillance quantitative de la masse d'eau. Si cette tendance est à la baisse, les étapes suivantes du test sont à réaliser. Dans le cas contraire, la masse d'eau est considérée en bon état pour ce test de balance prélèvement – ressource.

Si la condition initiale n'est pas respectée, il s'agit alors de calculer la recharge, d'estimer la contribution des eaux souterraine au soutien des rivières et écosystèmes terrestres dépendants puis de déterminer les prélèvements en nappe. Le principe consiste en un bilan des flux dans l'hydrosystème en opposant notamment l'évaluation de la moyenne annuelle à long terme des prélèvements à celle de la ressource en eau souterraine disponible. Selon les connaissances disponibles, les échanges avec les autres masses d'eau sont à prendre en compte. En pratique, en Martinique, en raison d'une connaissance insuffisante sur les débits minimum biologiques et l'état des écosystèmes terrestres d'une part, et les volumes et directions d'écoulement entre nappe et cours d'eau ou nappe et écosystème terrestre d'autre part, seule la recharge peut être estimée. Le taux de prélèvements moyens annuels est à évaluer à l'échelle de la masse d'eau considérée. Un ratio permettant la caractérisation de la masse d'eau pour ce test est ensuite calculé :

$$\text{Ratio(MESO)} = \frac{\text{Volume annuel prélevé}}{\text{Recharge estimée}}$$

Si ratio < 1 -> MESO en bon état pour ce test

Si ratio > 1 -> MESO en mauvais état pour ce test

b) Test : eaux de surface

La condition initiale consiste à établir s'il existe une (ou plusieurs) masse(s) d'eau de surface risquant de ne pas atteindre le bon état chimique et/ou écologique ou qui est en mauvais état chimique et/ou biologique.

Les relations nappes-rivières sont ensuite établies. Si les connaissances sont insuffisantes, le dire d'expert peut intervenir.

Enfin, la condition finale est déterminée : savoir si les prélèvements en eau souterraine sont une cause significative de la non-atteinte du bon état des masses d'eau de surface. Si tel est le cas, la masse d'eau est en mauvais état pour ce test ; sinon, elle est en bon état pour ce test.

c) Test : écosystèmes terrestres associés

L'état quantitatif des eaux souterraines doit également être examiné au regard de son impact sur les écosystèmes associés.

La procédure de ce test suit la même démarche que celle décrite pour le test « eaux de surface ». Ainsi, la condition initiale consiste à établir s'il existe un (ou plusieurs) écosystèmes

terrestres pour lesquels une dégradation du milieu a été constatée. Puis, les relations nappes-zones humides sont établies. Dans un dernier temps, la condition finale est décidée : si le niveau quantitatif d'une masse d'eau souterraine occasionne des dommages importants aux écosystèmes terrestres qui dépendent de cette masse d'eau souterraine, alors celle-ci sera décrétée en mauvais état pour ce test.

d) Test : intrusion salée ou autre

Une masse d'eau souterraine est considérée en bon état pour ce test s'il n'existe aucune « intrusion saline ou autre » à long terme résultant des activités humaines.

Il s'agit ici d'identifier les zones où les pompages exercent une pression telle qu'ils entraîneraient une intrusion salée.

3.1.3. Niveaux de confiance et période de référence

La DCE n'impose pas que des niveaux de confiance soient associés à un état quantitatif des masses d'eau souterraine. Compte-tenu des difficultés à disposer de données homogènes entre masses d'eau souterraine et des disparités qui existent entre les bassins, la définition d'un niveau de confiance commun n'est pas possible actuellement.

Les chroniques piézométriques peuvent couvrir des périodes très variables. Dans la mesure du possible, des chroniques supérieures à 10 ans sont attendues par la DCE.

3.2. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUALITATIF

3.2.1. Définition du « bon état chimique »

Les critères du bon état chimique des eaux souterraines sont développés dans la Directive européenne fille sur les eaux souterraines 2006/118/CE. Selon son article 4.2, « une masse d'eau ou un groupe de masse d'eau est considéré comme étant en bon état chimique lorsque :

a) [...] les conditions visées au point 2.3.2 de l'annexe V de la directive 2000/60/CE sont respectées (cf. Illustration 5) ;

ou que :

b) Les valeurs correspondant aux normes de qualité des eaux souterraines [...] et aux valeurs seuils pertinentes [...] ne sont dépassées en aucun point de surveillance de cette masse d'eau ou de ce groupe de masses d'eau souterraine ;

c) La valeur correspondant à une norme de qualité des eaux souterraines ou à une valeur seuil est dépassée en un ou plusieurs points de surveillance, mais une enquête appropriée menée conformément à l'annexe III confirme que :

- i. [...] les concentrations de polluants dépassant les normes de qualité des eaux souterraines ou les valeurs seuils ne sont pas considérées comme présentant un risque significatif pour l'environnement, compte-tenu, le cas échéant, de l'étendue de la masse d'eau souterraine qui est concernée ;

- ii. *Les autres conditions énoncées dans le tableau 2.3.2 de l'annexe V de la Directive 2000/60/CE pour établir le bon état chimique des eaux souterraines sont réunies [...];*
- iii. *Il est satisfait aux exigences de l'article 7, paragraphe 3, de la Directive 2000/60/CE [...] pour les masses d'eau souterraine identifiées [comme des zones protégées au titre de l'AEP];*
- iv. *La capacité de la masse d'eau souterraine [...] à se prêter aux utilisations humaines n'a pas été compromise de manière significative par la pollution. »*

Éléments	Bon état
En général	<p>La composition chimique de la masse d'eau souterraine est telle que les concentrations de polluants:</p> <ul style="list-style-type: none"> — comme précisé ci-après, ne montrent pas d'effets d'une invasion salée ou autre, — ne dépassent pas les normes de qualité applicables au titre d'autres dispositions législatives communautaires pertinentes conformément à l'article 17, — ne sont pas telles qu'elles empêcheraient d'atteindre les objectifs environnementaux spécifiés au titre de l'article 4 pour les eaux de surface associées, entraîneraient une diminution importante de la qualité écologique ou chimique de ces masses ou occasionneraient des dommages importants aux écosystèmes terrestres qui dépendent directement de la masse d'eau souterraine.
Conductivité	Les changements de conductivité n'indiquent pas d'invasion d'eau salée ou autre dans la masse d'eau souterraine.

Illustration 5 : Définition du bon état chimique des masses d'eau souterraine – Extrait de la Directive Cadre européenne sur l'Eau 2000/60/CE, annexe V.2.3.2

3.2.2. Procédure générale

La procédure générale d'évaluation visant à déterminer l'état chimique d'une masse d'eau ou d'un groupe de masses d'eau ne s'applique qu'aux masses d'eau à risque, c'est-à-dire celles identifiées en 2005 comme risquant de ne pas atteindre le bon état chimique en 2015. Néanmoins, afin d'éviter toute erreur liée à une évaluation du risque de non atteinte des objectifs environnementaux insuffisante, la procédure générale est appliquée à l'ensemble des masses d'eau.

La qualification de l'état chimique d'une masse d'eau souterraine s'effectue en 2 étapes résumées dans l'illustration 6. Ainsi, pour chaque masse d'eau et chaque paramètre :

- Étape 1 : vérifier si les points des réseaux de surveillance (tous réseaux de surveillance confondus) présentent des dépassements de la valeur seuil ou de la norme. Si oui, l'étape 2 doit être mise en œuvre, il s'agit de « l'enquête appropriée » ;

- Étape 2 : si un dépassement est observé sur un ou plusieurs points de surveillance, « l'enquête appropriée » est menée. Celle-ci implique la mise en œuvre d'une série de « tests » qui permettront de vérifier si l'état de la masse d'eau doit réellement être considéré comme médiocre.

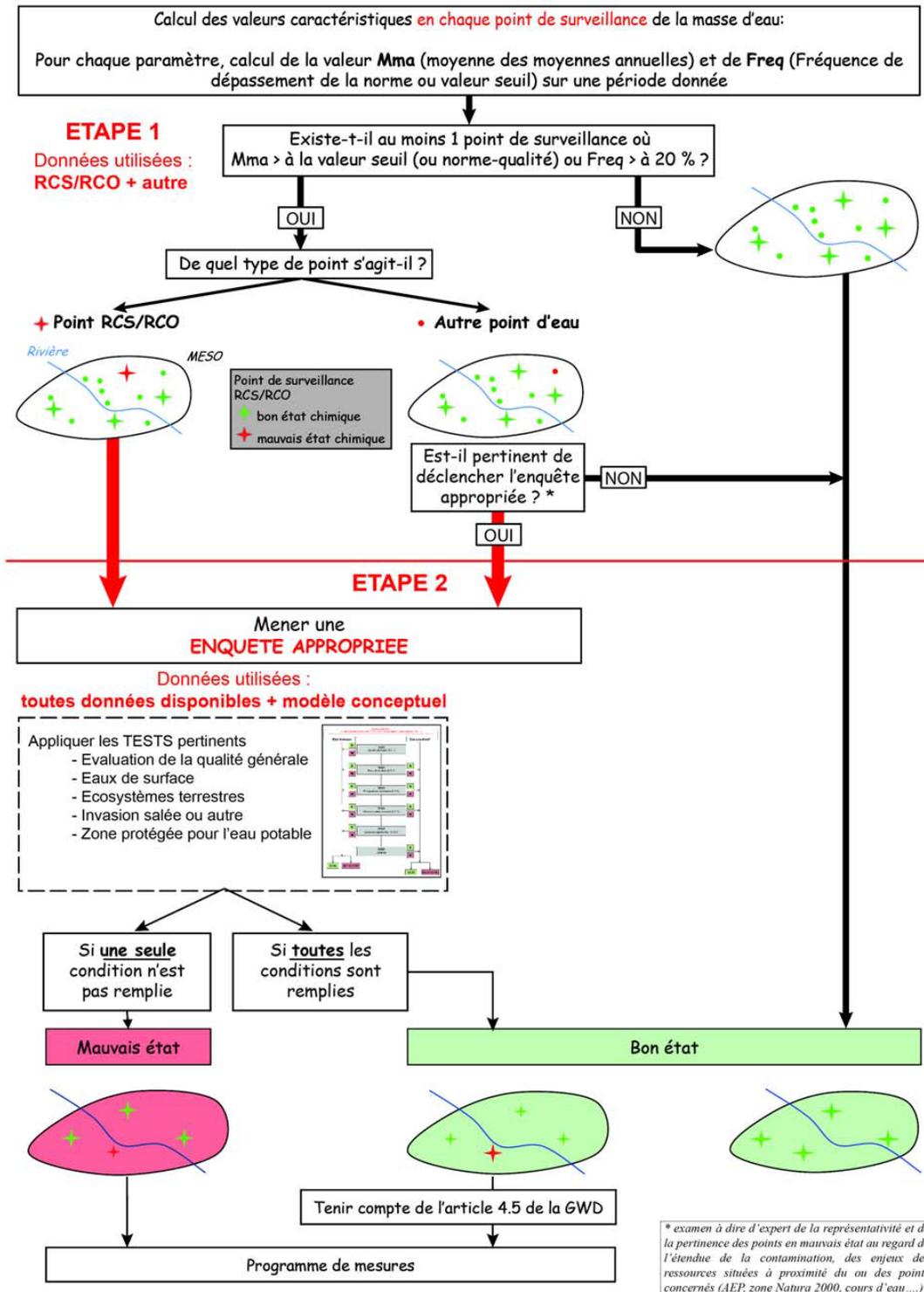


Illustration 6 : Procédure générale pour l'évaluation du bon état chimique d'une masse d'eau souterraine et application de l'enquête appropriée au titre de l'évaluation de l'état chimique (GWD : Groundwater Directive)

Afin de vérifier si des points des réseaux de surveillance présentent des dépassements de la valeur seuil ou de la norme, une succession de 4 étapes doit être réalisée. Pour chaque paramètre et chaque point d'eau, le calcul de la moyenne des moyennes annuelles (*Mma*), qui doit être comparé aux valeurs seuils ou aux normes de qualité, s'effectue de la manière suivante :

- I. Prendre tous les résultats issus des réseaux de surveillance sur la période considérée ;
- II. Pour chacune des années de contrôle et chaque point, calculer la moyenne annuelle des concentrations ;
- III. Effectuer la Moyenne des moyennes annuelles (*Mma*) ;
- IV. Avec les données collectées, qualifier individuellement l'état chimique de chaque point d'eau disposant de données pour le paramètre considéré :

Un point d'eau est en bon état chimique si :

- La *Mma* ne dépasse pas la valeur seuil (ou norme) du paramètre étudié ;
- Et si, la fréquence de dépassement de la norme ou valeur seuil (*Freq*) n'excède pas 20% (les chroniques doivent compter au moins 5 valeurs sinon ce critère de 20% n'est pas applicable).

Si une de ces deux conditions n'est pas respectée, alors le point d'eau est déclaré en mauvais état chimique.

Si tous les points d'eau de la masse d'eau considérée sont en bon état chimique individuellement, alors la masse d'eau est déclarée en bon état chimique pour le paramètre étudié. Dans le cas contraire, le réseau d'appartenance de ces points d'eau en mauvais état doit être identifié. Si au moins un point d'eau en mauvais état appartient au réseau de contrôle de surveillance (RCS) ou au réseau de contrôle opérationnel (RCO), « l'enquête appropriée » doit être menée (cf. Illustration 7).

En revanche, si le ou les points d'eau n'appartiennent pas au réseau RCS ou RCO, il est nécessaire de s'interroger sur la pertinence de ce mauvais état, ce qui inclut notamment de se questionner sur la qualité des données permettant d'aboutir à ce résultat, la représentativité du point de mesure, la qualité des analyses, la fréquence d'analyse et également sur la potentielle caractérisation de la pollution : diffuse ou localisée. La pertinence de ce jugement et le déclenchement ou non de « l'enquête appropriée » se fera à « dire d'expert ».

Quand elle est déclenchée, « l'enquête appropriée » s'applique à toute la masse d'eau. Son objectif est d'étudier si les conditions qui définissent le bon état chimique d'une masse d'eau souterraine sont remplies. A noter que seuls les tests « pertinents » c'est-à-dire correspondant à un risque identifié sont menés.

Les tests à réaliser sont regroupés dans l'illustration 7. Tout comme pour l'évaluation de l'état quantitatif d'une masse d'eau souterraine, à l'issue de chacun des tests, l'état de la masse d'eau est considéré comme « bon » ou « médiocre » pour ce test. Si pour au moins un test la masse d'eau est en état médiocre alors l'ensemble de la masse d'eau est classé en état chimique médiocre.

a) Test : qualité générale

Ce test a pour but d'évaluer les risques environnementaux pour la masse d'eau souterraine dans son ensemble. Il s'effectue en deux temps et s'applique individuellement à chaque paramètre (Illustration 7) :

- **Étape 1** : Identifier la surface que représente la pollution observée, c'est-à-dire l'aire de représentativité du point d'eau déclaré en état médiocre, puis faire la somme de ces surfaces ;
- **Étape 2** : Classifier la masse d'eau : si la somme des surfaces déclarées en état médiocre est inférieure à 20% de la surface totale de la masse d'eau, alors celle-ci est en bon état pour ce test. En revanche, si la somme est supérieure à 20%, la masse d'eau est en état médiocre pour ce test.

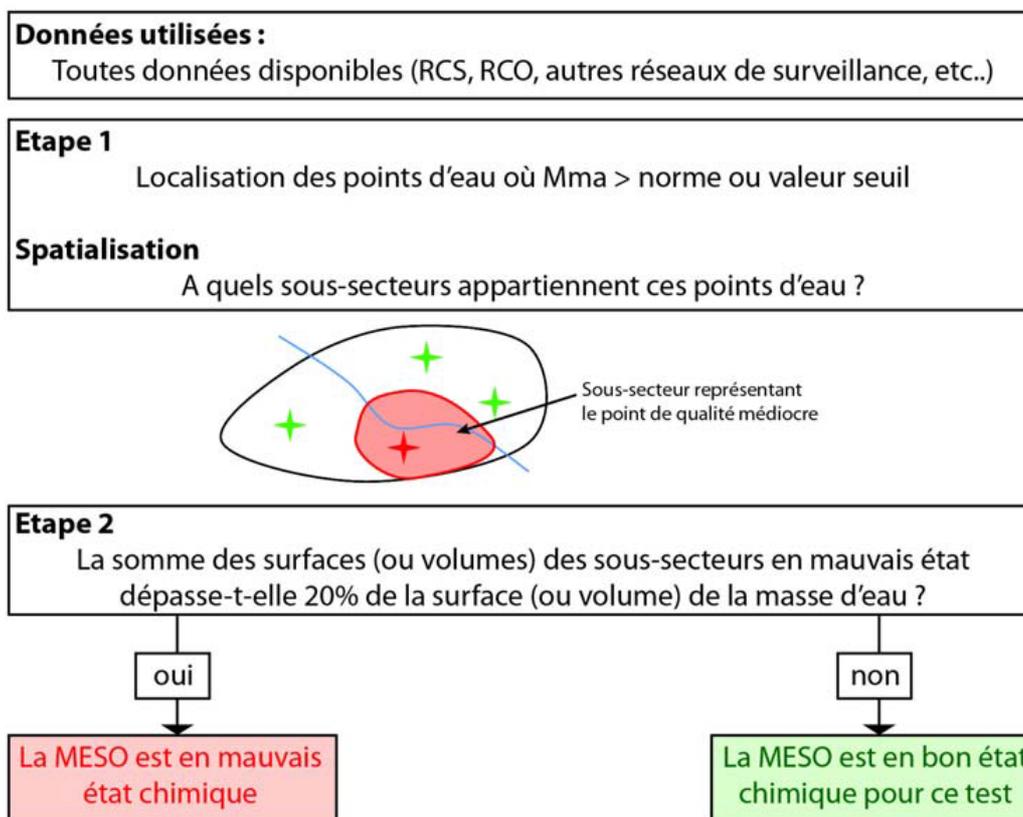


Illustration 7 : Test « qualité générale » permettant d'évaluer la proportion de la masse d'eau en bon état

Si l'estimation de l'aire de représentativité d'un point de mesure n'est pas possible alors il est possible de regarder le nombre de points concernés par un état bon ou médiocre pour effectuer ce test.

b) Test : eaux de surface

Ce test permet de déterminer si le transfert de polluants de l'eau souterraine vers l'eau de surface est une entrave aux objectifs environnementaux de la DCE pour les eaux de surface. Par conséquent, ce test s'applique aux masses d'eau souterraine en relation avec une ou des masses d'eau de surface à risque.

c) Test : écosystèmes terrestres

Ce test vise à déterminer dans quelle mesure le transfert de polluants de l'eau souterraine vers les écosystèmes terrestres qui lui sont associés est une entrave aux objectifs environnementaux de la DCE pour ces écosystèmes. Un écosystème terrestre dépendant des eaux souterraines peut être impacté par des modifications des caractéristiques qualitatives de la masse d'eau souterraine sous l'effet de pressions anthropiques.

d) Test : intrusion salée ou autre

Ce test doit être réalisé après l'évaluation de l'état quantitatif afin d'identifier les zones ou les pompages exercent une pression telle qu'ils entraîneraient une intrusion salée.

Dans le cas de masses d'eau souterraine où la salinité est naturellement élevée, une démarche par étape doit être menée :

- **Étape 1** : Identifier les zones vulnérables aux pressions de prélèvement ;
- **Étape 2** : Existe-t-il une tendance à la hausse significative et durable des concentrations du paramètre étudié ? Ceci permettant de distinguer les variations saisonnières des variations interannuelles.
 - Si les tendances observées sont saisonnières, la masse d'eau ne doit pas être considérée en état médiocre pour ce test ;
 - Au contraire, si l'augmentation de la salinité (conductivité, chlorures, sulfates) est constante d'une année sur l'autre, la masse d'eau est classée en état médiocre pour ce test.

e) Test : zones protégées AEP

Une masse d'eau souterraine est considérée en bon état chimique pour ce test si les conditions suivantes sont respectées pour la totalité des captages d'eau potable de la masse d'eau fournissant plus de 10 m³/j ou desservant plus de 50 habitants :

- Pas de changement dans le niveau de traitement de l'eau avant distribution ;
- Absence de signes de dégradation de la qualité de la masse d'eau tels que l'abandon d'un captage par exemple ;
- Absence de toute tendance à la hausse significative et durable d'un polluant.

Ce test sera alors appliqué comme suit :

- **Étape 1** : Identifier si la masse d'eau est sollicitée pour l'AEP avec au moins un captage d'eau fournissant plus de $10\text{m}^3/\text{j}$:
 - Si non, le test n'est pas mené ;
 - Si oui, l'étape 2 doit être réalisée.
- **Étape 2** : Existe-t-il des signes d'augmentation du niveau de traitement ou de détérioration de la qualité de la ressource imputable aux activités humaines ?
 - Si non, la masse d'eau est déclarée en bon état pour ce test ;
 - Si oui, la masse d'eau est considérée en mauvais état chimique.

3.2.3. Valeurs seuils et normes de qualité

Conformément à l'article 3.2 de la GWD, des valeurs seuils peuvent être fixées au niveau de la masse d'eau, du groupe de masse d'eau, du district hydrographique, ou au niveau national pour permettre de tenir compte de la grande diversité des caractéristiques des eaux souterraines de l'Union Européenne et des fonds géochimiques.

Le choix du niveau à considérer dépend du type de paramètre considéré et des spécificités des récepteurs à protéger dans chaque masse d'eau. Ainsi, pour la plupart des substances dont l'origine est uniquement anthropique dans les eaux souterraines (pesticides), des valeurs seuils sont proposées au niveau national (voir annexe II de la circulaire relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008). Pour d'autres paramètres dont les sources peuvent être à la fois anthropiques et naturelles (chlorures, fer,...), une approche par masse d'eau est recommandée.

Cette approche s'appuie sur une démarche réglementaire qui n'est pas développée dans ce rapport mais qui a été suivie lors de l'étude détaillée du fond géochimique des eaux souterraines de Martinique menée en 2013. L'ensemble des résultats de cette étude est rassemblé dans le rapport Arnaud et al., 2013. Comme expliqué dans ce rapport, bien que les zones à risque de fond géochimique élevé concernent 11 éléments, seuls cinq paramètres (arsenic, chlorures, sodium, fer et manganèse) sont concernés pour l'attribution de nouvelles valeurs seuils.

3.2.4. Limite de quantification

Pour les micropolluants dont les résultats sont inférieurs à la limite de quantification (LQ), la valeur retenue pour le calcul de la moyenne est $LQ/2$, sauf pour les sommes de paramètres. Par ailleurs, si sur un point et pour un même paramètre, plusieurs LQ existent dans la série temporelle, la LQ à retenir est celle de chaque échantillon.

Les résultats pour lesquels la LQ est supérieure à la valeur seuil ou à la norme sont exclus du calcul de la moyenne.

3.2.5. Niveau de confiance de l'évaluation et période de référence

Le niveau de confiance de l'évaluation de l'état chimique des eaux souterraines fait référence au degré de pertinence du résultat. Sachant que la Mma se calcule sur une période fixée, ici 2011-2016, la qualité individuelle des données et la fréquence d'échantillonnage influenceront alors le niveau de confiance attribué au calcul de Mma .

L'annexe VII-B de l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif au programme de surveillance de l'état des eaux liste les paramètres et indique les fréquences minimales de mesures à savoir :

- Pour les nappes libres : 2 prélèvements par an, l'un en période de hautes eaux et le second en période de basses eaux ;
- Pour les nappes captives : 1 prélèvement par an.

En fonction de la fréquence des prélèvements, un indice de confiance binaire est attribué au calcul de la Mma :

- Un niveau de confiance élevé si les fréquences de mesures respectent à minima les prescriptions de l'arrêté du 25 janvier 2010 ;
- Un indice de confiance faible si ces conditions ne sont pas respectées.

Le niveau de confiance s'applique à la période de référence 2011-2016. Ainsi, si une seule mesure venait à manquer au cours d'une seule année pendant la période, le niveau de confiance serait faible. Ici, le niveau de confiance des points d'eau du réseau de contrôle opérationnel est élevé.

4. Évaluation de l'état quantitatif DCE des masses d'eau souterraine de la Martinique

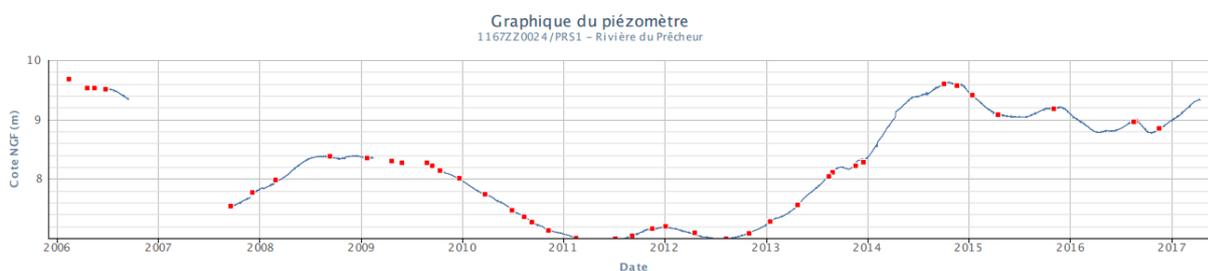
4.1. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

L'évaluation du bon état quantitatif des masses d'eau souterraine prend appui sur les données issues du réseau de surveillance référencé « 0800000015 - FRJSOP - Surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique » sous ADES. Sur plusieurs graphiques de chroniques piézométriques (Illustration 8), des grandes tendances ont été tracées afin de décrire l'évolution générale des niveaux d'eau (augmentation – diminution).

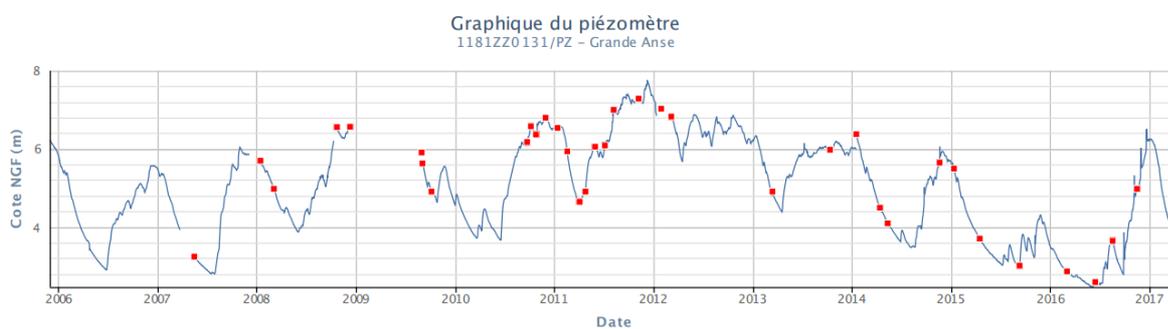
En Martinique, quatre différents types de fluctuations piézométriques sont mis en évidence (Illustration 8) :

- Pluriannuelles, avec un cycle de recharge et de décharge de l'aquifère qui s'effectue sur plusieurs années, caractéristiques d'un aquifère à forte inertie ; ce dernier peut être peu transmissif, profond et/ou éloigné des exutoires (rivières ou bandes côtières) ;
- Saisonnières, avec un cycle de recharge et de vidange de l'aquifère annuel, traduisant un aquifère à inertie modérée, plus transmissif que celui à fluctuations pluriannuelles et généralement proche des exutoires ;
- Pluriannuelles et saisonnières, caractéristiques des fluctuations saisonnières à laquelle se surimpose des fluctuations pluriannuelles, on parle d'effet mémoire de l'aquifère ;
- Saisonnières et journalières, composées de remontées piézométriques brutales et éphémères, dictées par la pluviométrie des jours précédents et du secteur géographique considéré.

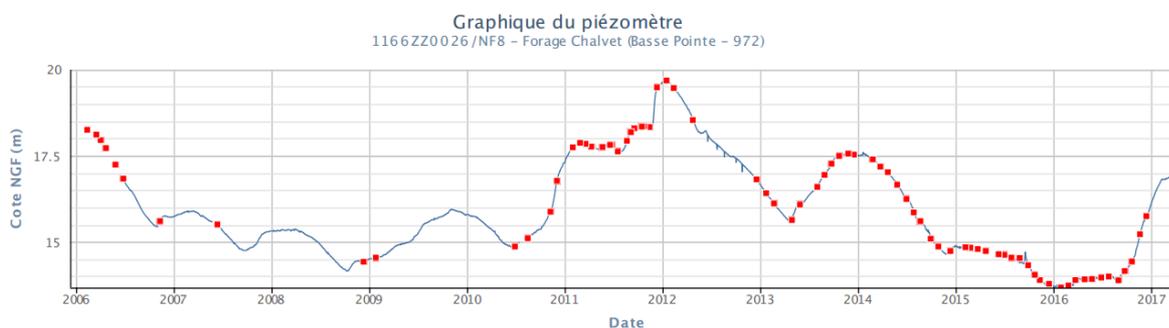
Fluctuations pluriannuelles



Fluctuations saisonnières



Fluctuations pluriannuelles et saisonnières



Fluctuations saisonnières et journalières

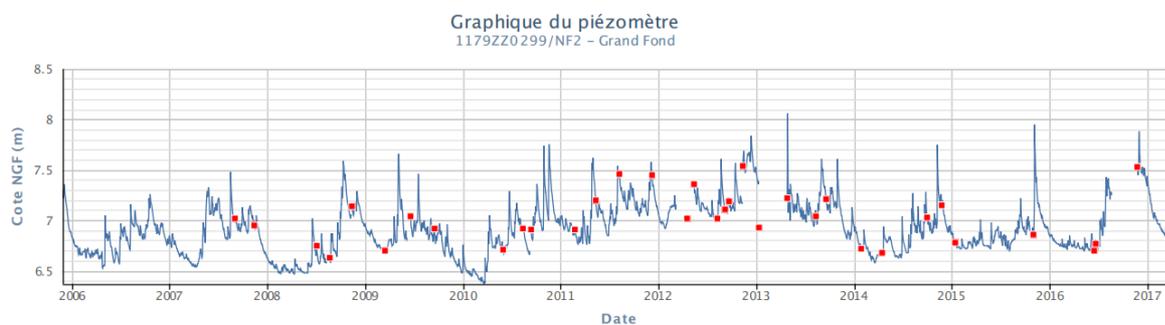


Illustration 8 : Types de fluctuations piézométriques rencontrées en Martinique (les échelles de temps des 4 graphiques sont identiques)

4.2. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUANTITATIF DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE

Comme détaillé en partie 3.1.2, l'évaluation du bon état quantitatif repose également sur d'autres données qui sont essentielles pour la réalisation des tests de classification décrits dans la Directive européenne. Parmi celles-ci, l'estimation de la recharge des aquifères et des prélèvements en nappes sont nécessaires pour effectuer un bilan des flux dans l'hydrosystème. Par ailleurs, la connaissance de l'état des écosystèmes terrestres et aquatiques associés aux eaux souterraines est un élément capital de l'évaluation du bon état quantitatif des masses d'eau. Enfin, une cartographie de l'interface eau douce/eau salée permettrait de répondre au test de l'impact des intrusions salines dans les eaux souterraines.

4.2.1. Test : balance prélèvement / ressource

D'un point de vue des prélèvements, seules les masses d'eau Nord Atlantique et Nord Caraïbes sont exploitées par forages pour l'alimentation en eau potable avec respectivement 3 forages et 1 source. Toutefois, ces forages ne sont mis en service qu'en période de sécheresse pour venir en soutien des eaux superficielles qui constituent la principale ressource de Martinique. Les débits de prélèvements sont de 1200 m³/j pour le forage de Pécoul implanté sur la masse d'eau Nord Caraïbes, et inférieurs à 450 m³/j pour les trois autres ouvrages. Ces prélèvements peuvent être considérés comme négligeables au regard de la ressource disponible. Ainsi, l'ensemble des masses d'eau peut être considéré en bon état pour le test « balance prélèvements/ressource ».

4.2.2. Test : eau de surface

Actuellement, seule une étude approfondie a été réalisée sur la relation nappe-rivière dans le secteur de Rivière Falaise, sur la commune de Basse Pointe (Arnaud et al., 2013). Les conclusions aboutissent à une relation étroite entre la rivière Falaise et les eaux souterraines. Toutefois, sachant que les prélèvements en eaux sont inexistantes dans le secteur, ils ne peuvent être la cause de la non-atteinte du bon état qualitatif des masses d'eau de surface.

4.2.3. Test : écosystèmes terrestres

Les relations nappes-zones humides restent peu connues actuellement en Martinique. Par conséquent, il est difficile d'évaluer l'impact des différentes nappes d'eau sur les écosystèmes terrestres. Néanmoins compte tenu des faibles prélèvements en eau souterraine, l'impact sur les écosystèmes terrestres est supposé faible voire inexistant.

4.2.4. Test : intrusion salée ou autre (commun avec l'état chimique)

Il a été identifié une intrusion saline à Dizac au Diamant sur la masse d'eau Sud Caraïbe, dans un forage agricole. Son exploitation a été interrompue.

Ainsi, du point de vue quantitatif, sur la base des données existantes et exploitées, l'ensemble des masses d'eau de Martinique (FRJG201, FRJG202, FRJG203, FRJG204, FRJG205, FRJG206) peuvent être classées en bon état. Le niveau de confiance de cette évaluation est considéré comme moyen en raison du manque de connaissances sur les relations nappes-rivières et l'impact de l'état quantitatif des masses d'eau sur les écosystèmes.

5. Etat qualitatif du réseau Martinique en 2016

5.1. LES ÉLÉMENTS PHYSICO-CHIMIQUES, MAJEURS ET TRACES DE L'ANNÉE 2016

5.1.1. Les paramètres physico-chimiques mesurés sur place

Les eaux analysées présentent des températures comprises entre 23,3 °C et 31,2 °C et un pH proche de la neutralité pour l'ensemble des 21 sites du réseau avec des valeurs oscillant entre 5,9 et 7,7. Les conductivités sont comprises entre 81 et 1822 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une valeur moyenne de 952 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Enfin, les concentrations en carbone organique total sont également faibles ($\leq 1,5$ mg/L).

5.1.2. Les éléments majeurs

Les eaux souterraines de la Martinique peuvent être groupées en deux pôles principaux (Arnaud et al., 2013). La moitié nord de l'île, exceptées les zones littorales, présente des eaux globalement bicarbonatées (HCO_3^-), calciques (Ca^{2+}) et magnésiennes (Mg^{2+}), sans cations réellement dominants. La composition de l'eau est majoritairement contrôlée par les interactions eau/roche et les apports d'eau de pluie. En revanche, dans le sud du territoire et dans les zones proches du littoral, les eaux souterraines sont chlorurées, sodiques et potassiques. Ces eaux sont en effet sous l'influence d'eaux marines et/ou d'eau de mer fossile piégée dans certaines formations géologiques.

Pour les masses d'eau Nord Caraïbes (FRJG203), Nord (FRJG201), Nord Atlantique (FRJG202) et Centre (FRJG204), les concentrations en éléments majeurs hors nitrates (Na, Mg, Ca, K, Cl, SO_4 et HCO_3^-) sont généralement faibles (fond géochimique faible à intermédiaire, Arnaud et al., 2013 ; Brenot et al., 2008 ; Lions et al., 2008) sauf localement sous l'emprise du biseau salé ou via des eaux de mer fossiles (Rivière Salée - Nouvelle Cité : $[\text{Na}] = 231$ mg/L ; $[\text{Cl}] = 389,8$ mg/L en saison des pluies) . Les éléments à risque de fond géochimique élevé sont répertoriés en Illustration 9.

Pour les masses d'eau Sud Caraïbes (FRJG206) et Sud Atlantique (FRJG205), les concentrations en éléments majeurs (Na, Mg, Ca, Cl) sont généralement plus élevées en raison d'un fond géochimique élevé (Trois Ilets – Vatable : $[\text{Na}] = 232$ mg/L et $[\text{Cl}] = 234$ mg/L en saison des pluies). Ceci résulte d'une part d'une évaporation plus marquée des eaux de pluies avant infiltration et d'une recharge plus faible limitant alors le phénomène de dilution, et d'autre part de formations géologiques plus altérées. Enfin, l'interaction avec l'eau de mer est également à l'origine d'une eau plus minéralisée dans les zones proches du littoral.

5.1.3. Les éléments traces

Les concentrations en éléments traces, fer et manganèse sont associées à un fond géochimique important sur toute la Martinique avec un indice de confiance élevé (Arnaud et al., 2013).

Les plus fortes teneurs en fer ont été détectées sur la station de Carbet - Fond Canal avec 8,84 mg/L. Des dépassements de la valeur seuil nationale de 0,2 mg/l sont enregistrés au Robert - Vert Pré, à Trinité – Morne Figue, au Lamentin - Habitation Ressource et au Diamant –

Habitation Dizac. Les concentrations en manganèse dépassent la norme de potabilité fixée à 50 µg/L pour 16 stations du réseau (Nord Plage, Anse Charpentier 2, Hauteurs Bourdon, Bassignac, Morne Figue, Rivière de Prêcheur, Grand Fond, Habitation Victoire, Fougainville, Habitation Dizac, Habitation Ressource, La Borelli, Fond Lahaye, Vert Pré, Fond Canal et Nouvelle Cité) avec un maximal en 2016 de 1311 µg/L.

Par ailleurs, des zones à risque de fond géochimique élevé ont été délimitées par masse d'eau. Elles sont présentées en Illustration 9.

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

Illustration 9 : Tableau récapitulatif des zones à risque de fond géochimique élevé

5.2. LES NITRATES

Les analyses des nitrates réalisées en 2016 montrent toutes des valeurs inférieures au seuil DCE et norme de potabilité fixées à 50 mg/L (cf. Illustration 10). Les 3 stations présentant les plus fortes concentrations (33,5 à 40,6 mg/L) se situent toutes sur la masse d'eau Nord, il s'agit de Chalvet et Rivière Falaise à Basse Pointe et de Nord Plage à Macouba.

Les concentrations en nitrates supérieures à 10 mg/L révèlent généralement une contamination anthropique ; l'origine de ce composé dans les eaux souterraines provient principalement des engrais azotés. Les résultats de 2016 montrent que moins de la moitié des points du réseau (8 sur 21) seraient impactés.

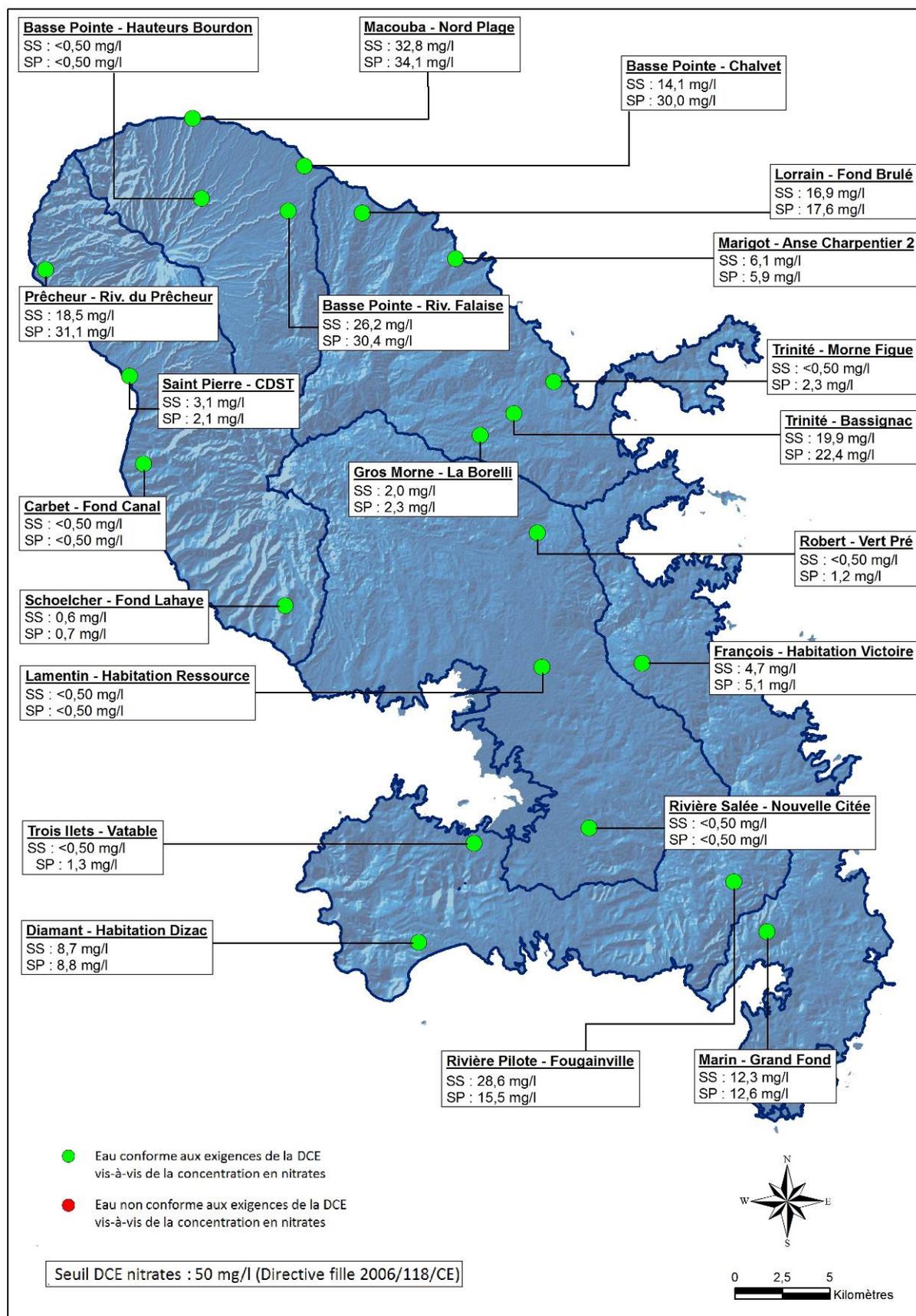


Illustration 10 : Concentrations en nitrates en saison sèche (SS) et saison des pluies (SP) 2016

5.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES

La liste des produits phytosanitaires détectés en 2016, issus du nouvel arrêté du 7 août 2015, ainsi que leurs concentrations sont reportés dans l'illustration 11 et l'illustration 12.

Au cours des deux saisons de 2016 (saison sèche et saison humide), 10 stations du réseau n'ont révélé aucune quantification de pesticides, il s'agit de Hauteurs Bourdon, Rivière du Prêcheur, Saint-Pierre CDST, La Borelli, Fond Canal, Fond Lahaye, Vatable, Nouvelle Citée, Habitation Dizac et Habitation Ressource ; d'ailleurs les concentrations en nitrates restent inférieures à 10 mg/L pour ces points (absence de contamination anthropique), à l'exception de Rivière du Prêcheur qui présente à la saison humide une concentration en nitrate de 31,1 mg/L. La station Marin – Grand Fond présente une unique détection en désispropylatrazine. La Station Marigot - Anse Charpentier 2 présente elle aussi une unique détection au chlordécone. Toutefois, les concentrations restent en dessous des normes DCE et respectent l'exigence de la somme des concentrations inférieure à 0,5 µg/L.

Pour l'année 2016, 9 stations ont présenté des eaux non conformes aux exigences DCE, avec des concentrations en phytosanitaires dépassant les seuils. Les deux campagnes sont marquées par un faible écart de quantification du nombre de produits phytosanitaires mesurés sur le réseau qualité, avec 43 détections au carême et 40 en hivernage.

Globalement, les molécules les plus détectées sont, par ordre décroissant la chlordécone (9 stations ayant toutes une valeur supérieure au seuil DCE), la chlordécone 5b-hydro, le bêta HCH, le chlordécol, l'atrazine, le bromacil, le dieldrine, le diuron, et le désisopropylatrazine.

Les concentrations maximales en chlordécone et en bêta HCH ont été mesurées au Lorrain-Fond Brûlé avec respectivement 29,2 µg/L et 6,2 µg/L en saison sèche. En saison humide, les concentrations en chlordécone et en bêta HCH étaient aussi très élevées avec respectivement 29,5 µg/l et 1,4 µg/l.

Généralement sur une même station, les molécules détectées en saison sèche sont aussi quantifiées en saison des pluies, avec des concentrations variables.

Comparativement à l'année 2015, plusieurs paramètres tels que : l'endrine, le glufosinate d'ammonium, l'imidaclopride, le piperonil butoxide et le triclocarban ne sont plus analysés en raison de la modification de la liste d'analyses de l'arrêté du 7 août 2015.

Toutefois, le piperonil butoxide (SS 2014 à habitation Dizac) et le glufosinate d'ammonium (SS 2015 à Vatable et Fond Lahaye) ont présenté des concentrations dépassant les valeurs seuil de la DCE.

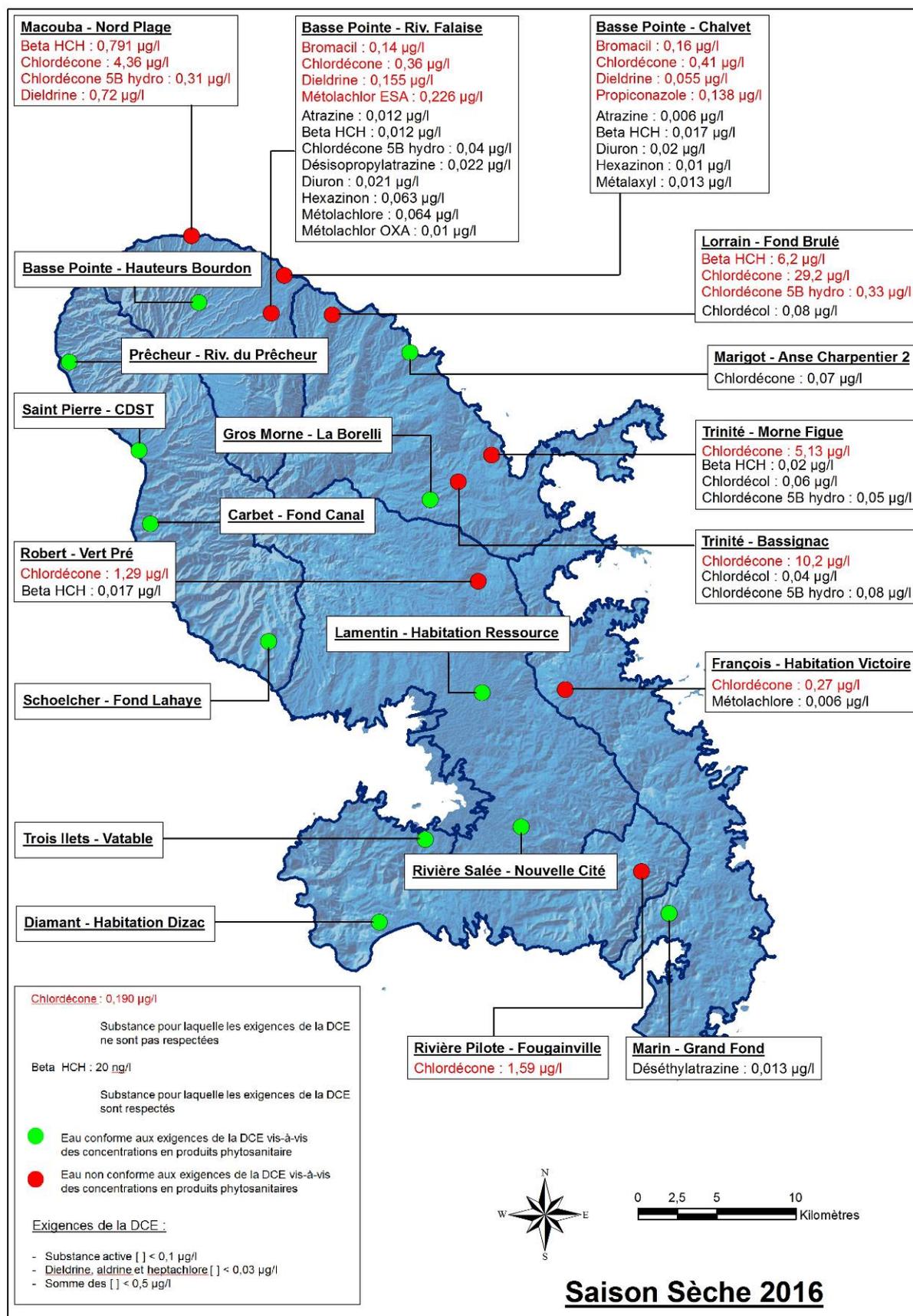


Illustration 11 : Produits phytosanitaires quantifiés en saison sèche 2016

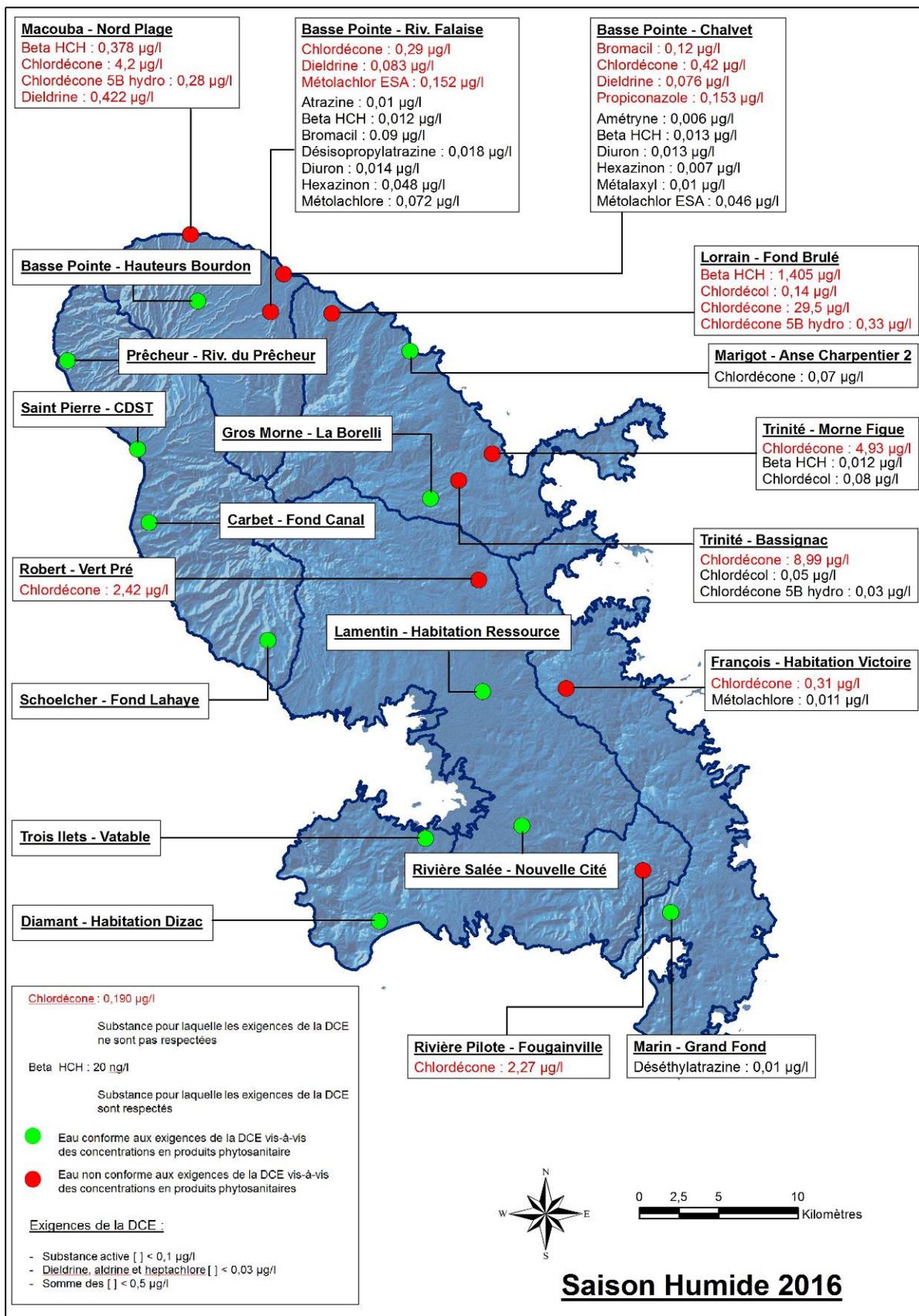


Illustration 12 : Produits phytosanitaires quantifiés en saison humide 2016

5.4. NOUVELLES SUBSTANCES ACTIVES ANALYSÉES

Depuis 2015, des polluants émergents ont intégrés la liste d'analyses réalisées sur le réseau, les paramètres détectés sont listés dans l'illustration 13.

Le bisphénol A lié à un usage alimentaire a été interdit en 2012 en France, il est principalement utilisé pour la fabrication de matières plastiques et est connu pour s'en extraire spontanément à très faible dose. Sa limite de quantification est de 0,02 µg/L. En 2016, le réseau compte 6 stations pour lesquelles la limitation de quantification n'a pas été atteinte pour les deux campagnes. Il s'agit des stations Hauteurs Bourdon, Nord Plage, Morne Figue, Rivière Prêcheur, Grand Fond et Vatable. Le reste du réseau a été impacté par le Bisphénol A avec une concentration maximale de 8,7µg/L en saison sèche à la station Saint Pierre – CDST. Néanmoins, vu le caractère émergent de certaines molécules, l'impact de certaines pratiques liées notamment à l'échantillonnage n'est pas encore suffisamment connu et il n'est pas exclu que des contaminations liées à la méthode de prélèvement aient pu se produire (cf. rapport BRGM/RP-62810-FR). Il faut noter que l'ensemble des prélèvements souterrains se font à l'aide de tuyaux d'arrosage et que les sources telles que Nord Plage, Morne Figue prélevées sans intermédiaires, ont des valeurs beaucoup plus faibles ; les stations utilisant la pompe des exploitants comme Habitation Victoire ou Grand Fond (<0,074 µg/L) ou encore celles comme Rivière du Prêcheur et Vert Pré échantillonnées à l'aide de tubes préleveur (0,306 µg/L) sont moins impactées.

Est aussi retrouvé dans les eaux souterraines le benzotriazole, produit industriel résistant à la biodégradation, employé comme additif anticorrosif (liquide de refroidissement) et détergent (lave-vaisselle...). Ce produit est retrouvé sur 12 points du réseau. Il est présent uniquement à la saison des pluies pour les stations de Chalvet, Rivière falaise, Fond Brulé, La Borelli, Saint Pierre CDST et Fond Lahaye. Il est présent annuellement sur les stations de Anse Charpentier 2, Rivière du Prêcheur, Vert Pré, Fougainville, Habitation Dizac et Vatable où la concentration maximale est relevée à la saison humide avec 14,23 µg/l.

Le méthylparaben, propylparaben et la caféine, probablement liées à l'assainissement, ont été quantifiées sur 20 stations du réseau en 2015. L'arrêté du 7 août 2015 établissant la surveillance de l'état des eaux ne comprend pas ces paramètres dans la programmation 2016.

Aucune exigence DCE n'est définie pour les polluants émergents. La poursuite du suivi permettra de mieux évaluer et comprendre l'importance de ces paramètres dans le milieu naturel.

Masses d'eau	n° BSS	Type	Commune	Lieu dit	Molécule	□ SS 2015	□ SP 2015	□ SS 2016	□ SP 2016
Nord - FRJG201	1166ZZ0026	Piézomètre	Basse Pointe	Chalvet	Caféine	0,022	0,705		
					Benzotriazole	0,019	0,005	0,017	0,010
					Bisphenol A	0,548	0,042	2,603	0,476
					Méthylparaben	0,038	0,005		
	1166ZZ0020	Source	Basse Pointe	Hauteurs Bourdon	Caféine	0,180	0,029		
					Benzotriazole	0,005	0,005	0,005	0,010
					Bisphenol A	0,050	0,099	0,025	0,025
					Méthylparaben	0,011	0,005		
	1166ZZ0023	Source	Macouba	Nord Plage	Caféine	0,202	0,010		
					Benzotriazole	0,005	0,005	0,005	0,010
					Bisphenol A	0,010	0,027	0,025	0,025
					Méthylparaben	0,005	0,005		
1168ZZ0054	Piézomètre	Basse Pointe	Rivière Falaise	Benzotriazole	0,051	0,013	0,016	0,010	
				Bisphenol A	3,820	0,023	1,657	0,673	
				Méthylparaben	0,062	0,005			
Nord Atlantique - FRJG202	1169ZZ0184	Piézomètre	Marigot	Anse Charpentier 2	Caféine	0,028	0,037		
					Benzotriazole	0,028	0,223	0,568	0,342
					Bisphenol A	1,700	9,150	5,257	1,752
					Méthylparaben	0,033	0,005		
	1175ZZ0190	Piézomètre	Trinité	Bassignac	Tolytriazole	0,041	0,010	0,010	0,010
					Benzotriazole	0,020	0,005	0,005	0,010
					Bisphenol A	4,310	5,520	2,318	2,510
					Méthylparaben	0,047	0,005		
	1169ZZ0084	Piézomètre	Lorrain	Fond Brulé	Caféine	0,085	0,010		
					Benzotriazole	0,151	0,005	0,014	0,010
					Bisphenol A	3,190	5,120	4,282	0,569
					Méthylparaben	0,029	0,005		
1174ZZ0088	Piézomètre	Gros Morne	La Borelli	Caféine	0,039	0,010			
				Benzotriazole	0,044	0,031	0,017	0,010	
				Bisphenol A	17,300	12,700	1,931	0,612	
				Méthylparaben	0,190	0,005			
1175ZZ0153	Source	Trinité	Morne Figue	Propylparaben	0,005	0,357			
				Caféine		0,013			
				Bisphenol A	0,020	0,010	0,025	0,025	
				Méthylparaben	0,026	0,032			
Nord Caraïbes - FRJG203	1167ZZ0045	Piézomètre	Saint Pierre	CDST	Benzotriazole	0,049	0,005	0,071	0,010
					Bisphenol A	59,600	8,190	8,731	3,052
					Méthylparaben	0,256	0,005		
					Caféine	0,028	0,010		
	1177ZZ0177	Piézomètre	Schoelcher	Fond Lahaye	Benzotriazole	0,005	0,005	0,010	0,010
					Bisphenol A	6,860	31,100	2,813	0,957
					Méthylparaben	0,049	0,005		
					Caféine	0,353	0,103		
	1167ZZ0024	Piézomètre	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Benzotriazole	4,420	3,620	0,591	10,000
					Bisphenol A	0,234	0,046	0,025	0,025
					Méthylparaben	0,014	0,005		
					Bisphenol A	0,670	0,250	0,647	0,543
1172ZZ0063	Piézomètre	Carbet	Fond Canal	Méthylparaben	0,017	0,015			
Centre - 9204 - FRJG204	1175ZZ0106	Forage d'exploitation	Robert	Vert Pré	Caféine	0,272	0,022		
					Benzotriazole	0,005	0,012	0,017	0,028
					Bisphenol A	0,010	0,416	0,306	0,025
	1179ZZ0070	Piézomètre	Lamentin	Habitation Ressource	Méthylparaben	0,017	1,330		
					Caféine	0,053	0,010		
					Bisphenol A	13,300	21,100	5,140	2,928
1182ZZ0160	Forage d'exploitation	Rivière Salée	Nouvelle Cité	Méthylparaben	0,078	0,005			
				Caféine	0,010	0,022			
				Bisphenol A	0,762	0,350	0,093	0,089	
Sud Atlantique - FRJG205	1186ZZ0118	Piézomètre	Marin	Grand Fond	Bisphenol A	0,030	0,010	0,025	0,025
					Méthylparaben	0,005	0,005		
					Caféine	0,026	0,037		
1179ZZ0228	Forage d'exploitation	François	Habitation Victoire	Bisphenol A	0,056	0,207	0,074	0,065	
				Méthylparaben	0,005	0,005			
Sud Caraïbes - FRJG206	1183ZZ0052	Piézomètre	Rivière Pilote	Fougainville	Benzotriazole	0,025	0,010	0,011	0,204
					Bisphenol A	0,010	11,800	1,745	1,701
					Méthylparaben	0,048	0,005		
					Caféine	0,140	0,010		
	1181ZZ0132	Piézomètre	Trois Ilets	Vatable	Benzotriazole	4,210	0,013	7,820	14,228
					Bisphenol A	0,010	0,010	0,025	0,025
					Méthylparaben	0,015	0,012		
					Propylparaben	0,042	0,005		
	1184ZZ0001	Piézomètre	Diamant	Habitation Dizac	Benzotriazole	0,005	0,082	0,073	0,063
					Bisphenol A	26,100	13,900	3,179	1,391
					Méthylparaben	0,015	0,005		

Moitié du seuil de quantification
 Pas de données
 Pas d'analyse effectuée
 Les données sont en µg/L

Illustration 13 : Nouvelles substances actives analysées depuis 2015

6. Principales observations sur la période 2004-2016

L'observation de l'état du réseau de surveillance qualité depuis le début de son suivi, de 2004 à 2016 permet de mettre en évidence des différences d'état des stations par rapport à la dernière année de suivi, même si le réseau a sensiblement évolué en treize ans.

Aucun dépassement en majeurs et traces n'est recensé depuis le début du suivi en dehors de ceux justifiés par un risque de fond géochimique élevé.

6.1. LES NITRATES

Les stations du réseau peuvent être classées selon trois groupes de valeurs en fonction des Moyennes des moyennes annuelles (*Mma*) des concentrations en nitrates :

- < 10 mg/L, considérée comme la valeur référence d'« anthropisation », concernent 14 stations dont 2 qui ne font plus partie du réseau actuel ;
- $10 \text{ mg/L} \leq Mma < 30 \text{ mg/L}$, concernent 7 stations dont 1 remplacée ;
- $\geq 30 \text{ mg/L}$, il s'agit à Basse Pointe de Rivière Falaise et Chalvet et de Macouba – Nord Plage dans la masse d'eau Nord (Illustration 14).

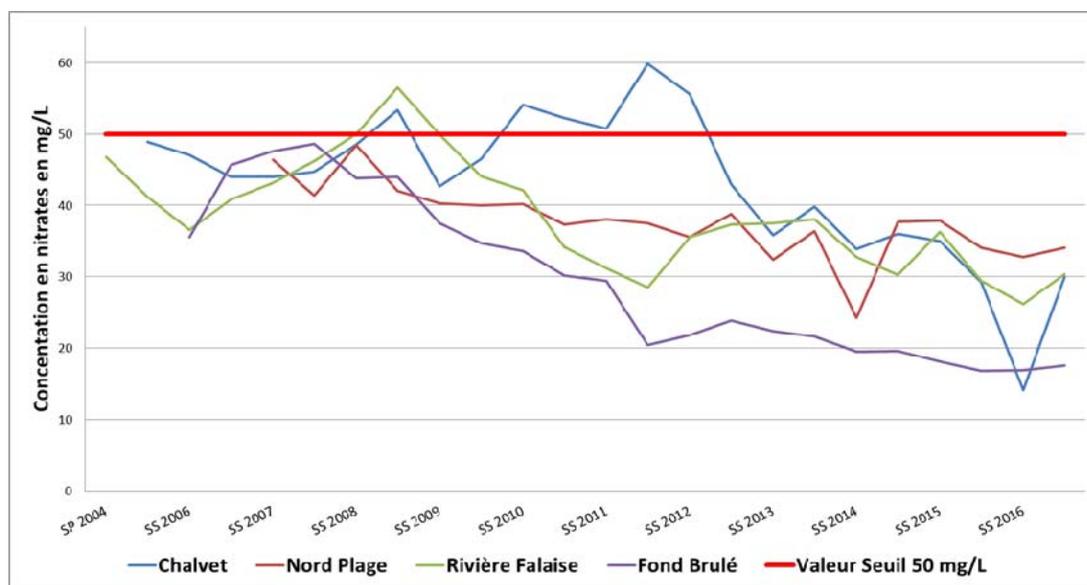


Illustration 14 : Evolution des nitrates pour les 4 stations les plus impactées du réseau

Les résultats d'analyse des nitrates montrent que seules deux stations ont montré des dépassements de la valeur seuil fixé à 50 mg/L. Les premiers dépassements ont été observés en 2008 pour les stations Chalvet et Rivière Falaise. Un second dépassement est observable de 2010 jusqu'à la saison sèche de 2012 pour la station Chalvet ; ces dépassements ont atteint une concentration maximale de 59,8 mg/L (SP 2011). Depuis les valeurs diminuent progressivement en dessous des 40 mg/L (Illustration 14).

6.2. LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Un tableau en Annexe 2, recense les molécules actives détectées sur le réseau avec leurs usages et leur statut d'utilisation.

Le bilan du suivi en produits phytosanitaires avec 13 années de résultats d'analyses, permet de distinguer :

- Les produits interdits détectés ponctuellement :

▪ Interdiction établie avant 2004

	Molécules	Année d'interdiction	Stations et périodes concernées
Insecticide	Aldrine	1994	Carbet - Fond Canal en SS2009
	Alpha HCH	1998 : métabolite Lindane	Ponctuellement jusqu'en 2010
	Epsilon HCH		
Herbicide	Atrazine	2003	4 stations aucun dépassement
	Déisopropylatrazine	métabolite Atrazine	4 stations aucun dépassement
	Mono-linuron	1988	Marigot - Anse Charpentier & Robert - Vert Pré en SS 2007 (> 0,1µg/L)
	Hydroxyterbutylazine	métabolite Terbutylazine	Macouba - Nord Plage en SS 2013
	Terbutylazine	2004	Lamentin - Habitation Ressource en SP 2008
Fongicide	Biphényl	1987	Basse Pointe - Rivière Falaise en SS 2006
	Congénère 138	1987	Gros Morne - La Borelli en SP 2006

▪ Interdiction établie à partir ou après 2004

	Molécules	Année d'interdiction	Stations et périodes concernées
Fongicide	Hexaconazole	2007	1 détection SS 2012
Insecticide	Asulam	2012	Dépassements ponctuels à Vatable, CDST et Rivière Falaise
	Chlorfenvinphos	2007	Carbet - Fond Canal en SS 2009 (> 0,1 µg/L)
	Fenthion	2004	Détecté à Fougainville en SS 2009
	Flufenoxuron	2012	Lamentin - Habitation Ressource en SS 2013
	Propoxur	2010	1 dépassement à Rivière Falaise en SS 2006
Herbicide	Imazaméthabenz méthyle	2006	Basse Pointe - Socco Gradis en SS 2009
	Métoxuron	2007	5 stations en SS 2012
Nématicide	Aldicarbe	2007	1 détection à Chalvet en SS 2006

- Les produits interdits détectés régulièrement :

▪ Interdiction établie avant 2004

	Molécules	Date d'interdiction	Principales périodes/Stations
Insecticide	Beta HCH	métabolite Lindane	20 stations concernées au moins une fois
	Chlordécone	1993	19 stations concernées au moins une fois
	Chlordécone 5B-hydro	métabolite CLD	Analysé depuis 2009
	Chlordécol	métabolite CLD	Analysé depuis 2014
	Dieldrine	1972	6 stations concernées au moins une fois, aucune dépassement
	Heptachlore époxyde	1973	11 stations concernées au moins une fois
Herbicide	Amétryne	2003	Chalvet depuis 2009, aucun dépassement
	Bromacil	2003	4 stations en dépassement
	Métolachlore	2003	SS 2012, Basse Pointe en SP 2014 et SS 2015, sinon ponctuel
	Métolachlor ESA	métabolite Métolachlore	Début du suivi en 2015
	Métolachlor OXA	métabolite Métolachlore	
	Monuron	1994	De 2007 à 2010, en baisse progressive ; inférieur à LQ depuis 2014

▪ Interdiction établie après 2004

	Molécules	Date d'interdiction	Principales périodes/Stations
Herbicide	Diuron	2008	9 stations concernées en SS 2009, 3 stations depuis 2011
	Hexazinon	2008	Dépassements jusqu'en 2007 à Rivière Falaise
Fongicide	Carbendazime	2008	Dépassements au Gros Morne
	Triclocarban	2010	Début du suivi en 2015

- **Les produits autorisés détectés ponctuellement :**

	Molécules	Principales périodes/Stations
Herbicide	Glyphosate / Ampa	SP 2006 et SS 2007
	Isoproturon 2CH3	4 détections en SP 2009
	Linuron	SS2007
	Mécoprop	1 détection au Marin en SP 2009
	Mésotrione	1 dépassement SP 2009 Habitation Victoire
Fongicide	Imazalil	3 détections
	Tebuconazole	8 détections en SS 2011
Autres	Piperonyl butoxide	1 détection SS 2014 au Diamant

Aucun de ces éléments ne dépasse la fréquence de dépassement de 20% sur les treize années de suivi.

- **Les produits autorisés détectés régulièrement :**

	Molécules	Principales périodes/Stations
Fongicide	Métalaxyl	Chalvet : freq de dépassement de 45 %
	Propiconazole	Chalvet : freq de dépassement de 76 %

7. Evaluation de l'état qualitatif DCE sur un cycle de gestion : 2011 - 2016 (Étape 1)

La température est un paramètre déclassant pour toutes les masses d'eau souterraine. En effet, l'ensemble des *Mma* calculées ont une valeur qui dépasse la valeur seuil utilisée pour la France métropolitaine qui est de 25°C. Toutefois, compte-tenu du climat régnant en Martinique, climat tropical maritime, engendrant une température moyenne annuelle de 27,7°C, la valeur seuil nationale ne peut être appliquée.

Rappelons également que la DCE exige une concentration inférieure à 0,1 µg/L pour l'ensemble des substances actives (produits phytosanitaires) et la restreint à 0,03 µg/L pour trois molécules qui sont : la dieldrine, l'aldrine et l'heptachlore.

L'Annexe 3 présente un tableau récapitulatif de la moyenne des moyennes annuelles (*Mma*) des produits phytosanitaires sur un cycle DCE de 6 ans (depuis 2011).

7.1. MASSE D'EAU NORD – FRJG201

La masse d'eau souterraine Nord est suivi par deux sources (dont un remplacement en 2012) et deux forages. Tous font partie à la fois du réseau de contrôle de surveillance (RCS) et du réseau de contrôle opérationnel (RCO).

7.1.1. Molécules inorganiques

Aucun dépassement de *Mma* ou fréquence n'est constaté pour les paramètres inorganiques. Cependant, il est important de préciser un dépassement de la valeur seuil des nitrates pour le forage de Basse Pointe - Chalvet en 2010, 2011 et saison sèche 2012, avec des concentrations excessives en nitrates allant jusqu'à 55,6 mg/L mais qui ne sont plus constatées depuis.

7.1.2. Produits phytosanitaires

Sur les 4 stations du réseau étudiées sur la période 2011-2016 et appartenant à la masse d'eau Nord, 3 affichent des *Mma* en produits phytosanitaires non conformes aux exigences de la DCE à l'exception de Basse Pointe – Hauteurs Bourdon. Pour la masse d'eau Nord, les molécules affichant des *Mma* qui dépassent ces exigences sont, par ordre décroissant, la chlordécone pour 3 stations, la dieldrine pour 3 stations, le bromacil pour 2, le métolachlore ESA, le propiconazole, le bêta HCH, le chlordécol et la chlordécone 5b-hydro pour 1 station.

La masse d'eau Nord est connue pour sa forte densité de bananeraies. Depuis les années 1980 et jusqu'en 1993, l'insecticide chlordécone a été couramment utilisé pour lutter contre le charançon. Les concentrations importantes proviennent donc d'anciennes pratiques agricoles. Le ruissellement et l'infiltration des eaux de pluie ont entraîné le transfert de cet insecticide vers les nappes d'eau souterraine. La persistance de cette molécule en milieu naturel est de l'ordre du siècle, raison pour laquelle les concentrations mesurées plus de 20 ans après son interdiction dépassent encore les exigences de la DCE.

La chlordécone n'a pas été l'unique produit utilisé dans les bananeraies de la famille des organochlorés. Des insecticides et nématicides ont également été utilisés, intégrant notamment

le bêta HCH ou la dieldrine comme substances actives. Ces substances, interdites depuis le milieu des années 90 en raison de leur toxicité et de leur rémanence, se retrouvent encore dans les eaux souterraines.

7.1.3. Conclusion

Pour la masse d'eau Nord, les produits phytosanitaires sont le paramètre responsable de la mise en œuvre d'une enquête appropriée afin de valider son état chimique.

7.2. MASSE D'EAU NORD ATLANTIQUE – FRJG202

La masse d'eau souterraine Nord Atlantique est contrôlée sur les 6 dernières années par 4 forages (dont un remplacement en 2015) et 1 source ; tous font partie à la fois du réseau de contrôle de surveillance (RCS) et du réseau de contrôle opérationnel (RCO).

7.2.1. Molécules inorganiques

Une étude du fond géochimique des eaux souterraines a été menée en 2013 et a permis de délimiter des zones de risque de fond géochimique élevé locales ou étendue à tout le territoire pour plusieurs éléments chimiques, en particulier l'arsenic, le fer et le manganèse (Illustration 9). Les résultats de cette étude figurent dans le rapport Arnaud et al., 2013. Suite à ces délimitations et sachant qu'un fond géochimique élevé peut entraîner des concentrations supérieures aux normes de potabilité, de nouvelles valeurs seuils DCE ont été proposées dans le but de ne pas déclasser une masse d'eau dont les concentrations en éléments chimiques ne s'expliquent pas par des pollutions mais par le fond géochimique naturel des eaux souterraines. Ces nouvelles valeurs seuils, qui n'ont cependant pas de valeur réglementaire aujourd'hui, sont récapitulées dans l'illustration 15. Comme précisé dans ce tableau, à chaque valeur seuil proposée est associée une zone d'emprise.

Plusieurs paramètres retrouvés à des concentrations supérieures à leurs valeurs seuils peuvent s'expliquer par le fond géochimique. La station du Marigot – Anse Charpentier, avec 3 paramètres présentant des *Mma* supérieures à la réglementation :

- l'arsenic avec une *Mma* à 16,24 µg/L (valeur seuil à 10 µg/L, réévaluée à 50 µg/L) ;
- le fer avec une *Mma* de 0,86 mg/L (valeur seuil à 0,2 mg/L, réévaluée à 1,8 mg/L) ;
- et le manganèse à 110,88 µg/L de valeur seuil fixée à 50 µg/L, réévalué à 300 µg/L. Anse charpentier 2 qui remplace le forage précédent présente aussi des concentrations en 2016 supérieures aux normes en manganèse avec une moyenne annuelle de 254 µg/L.

Le forage du Gros Morne affiche lui aussi un paramètre déclassant, le manganèse, avec une *Mma* de 121,44 µg/L supérieur à la valeur seuil actuelle (50 µg/L) mais en dessous de la nouvelle valeur proposée de 300 µg/L.

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

Illustration 15 : Tableau récapitulatif des nouvelles valeurs seuils proposées

7.2.2. Produits phytosanitaires

Sur cette masse d'eau, trois stations connaissent des *Mma* en pesticides dépassant l'exigence de la DCE.

Parmi les molécules phytosanitaires déclassant la masse d'eau Nord Atlantique on retrouve en tête de liste la chlordécone avec 4 stations, le chlordécol avec 3 stations, le bêta HCH avec 2 stations et le chlordécone 5b-hydro avec 2 stations. Le forage du Lorrain affiche les concentrations les plus importantes en ces deux substances actives avec une *Mma* de 27,25 µg/L pour la chlordécone et 3,33 µg/L pour le bêta HCH.

Deux métabolites de la chlordécone affichent des concentrations supérieures aux exigences DCE, la chlordécone 5B hydro et la chlordécol, sur le point du Lorrain.

7.2.3. Conclusion

L'ensemble des dépassements en molécules inorganiques pouvant être justifiés par du fond géochimique élevé pour la masse d'eau Nord Atlantique, seules 4 substances actives de produit phytosanitaire (chlordécone, bêta HCH, chlordécone 5B hydro, chlordécol) engendrent la mise en œuvre d'une enquête appropriée.

7.3. MASSE D'EAU NORD CARAÏBES – FRJG203

La masse d'eau souterraine Nord Caraïbes est composée de quatre piézomètres, tous faisant partie du réseau de contrôle de surveillance et du réseau de contrôle opérationnel.

7.3.1. Molécules inorganiques

Deux molécules inorganiques présentent des *Mma* supérieures aux normes : le fer (seuil à 0.2 mg/L) sur le point de Carbet - Fond Canal (8,87 mg/L) et au Prêcheur – Rivière du Prêcheur (2,37 mg/L), et le manganèse toujours sur le Carbet avec 1082,82 µg/L et à Schœlcher avec 243,83 µg/L (seuil à 50 µg/L).

Le fond géochimique élevé en fer et manganèse concerne l'ensemble des masses d'eau du bassin Martinique, ceux-ci ne pourront donc être considérés comme des paramètres déclassants.

Les *Mma* en nitrates sont toutes inférieures à la norme de qualité fixée au niveau européen.

7.3.2. Produits phytosanitaires

Sur cette masse d'eau, aucune station ne connaît de *Mma* dépassant l'exigence de la DCE. Notons que le glufosinate d'ammonium détecté sur le Schoelcher – Fond Lahaye connaît une *Mma* de 0,195 µg/l, cependant la fréquence de dépassement de la valeur seuil n'excède pas les 20% ; ce point n'est pas considéré comme déclassant.

7.3.3. Conclusion

La masse d'eau Nord Caraïbe ne présente aucun paramètre déclassant, elle est considérée en bon état qualitatif.

7.4. MASSE D'EAU CENTRE – FRJG204

La masse d'eau souterraine Centre est composée de trois stations qui appartiennent au réseau de contrôle de surveillance ainsi qu'au réseau de contrôle opérationnel.

7.4.1. Physico-chimie *in situ*

D'un point de vue physico-chimique, le forage de Rivière Salée affiche un dépassement pour la conductivité électrique avec une fréquence de 100% (valeur seuil nationale 1100 µS/cm). L'étude de fond géochimique (Arnaud et al., 2013) a permis de compléter la caractérisation de la chimie des eaux souterraines de Martinique dont une première analyse avait été effectuée en 2008. Les résultats mettent en évidence une vaste zone à risque de fond géochimique élevé pour le sodium

et les chlorures localisée dans le sud caraïbes de la Martinique. L'étude des molécules inorganiques illustre ce constat.

7.4.2. Molécules inorganiques

Parmi les molécules inorganiques rencontrées à des concentrations supérieures aux valeurs seuils, le chlorure et le sodium touchent le forage de Rivière Salée - Nouvelle Cité localisé dans le sud de la masse d'eau Centre. Pour cette station, les fréquences de dépassement sont de 100% pour ces deux éléments chimiques. Ces fortes teneurs sont à l'origine de la conductivité électrique importante mesurée au droit du forage.

Le manganèse et le fer affichent également des *Mma* dépassant les normes de potabilité nationales pour les 3 stations liées à un risque de fond géochimique élevé.

Les concentrations en nitrates sont largement inférieures à la norme de qualité : 50 mg/L avec une *Mma* de 2,03 mg/L pour la plus importante.

7.4.3. Produits phytosanitaires

La chlordécone est la seule substance phytosanitaire retrouvée dans des concentrations dépassant les exigences DCE au forage Robert – Vert Pré avec une *Mma* de 2,09 µg/L.

7.4.4. Conclusion

En raison de la présence de substances actives de produits phytosanitaires, une enquête appropriée doit être menée sur la masse d'eau Centre afin de définir son état chimique général.

7.5. MASSE D'EAU SUD ATLANTIQUE – FRJG205

Cette masse d'eau souterraine est composée de deux forages du réseau de contrôle de surveillance.

7.5.1. Physico-chimie *in situ*

La conductivité affiche une *Mma* nettement supérieure à la valeur seuil nationale pour le point Marin - Grand Fond : 1459,60 µS/cm pour une valeur seuil à 1100 µS/cm. Ceci provient de la forte minéralisation de l'eau au droit du forage, notamment en chlorure, néanmoins aucune *Mma* ne dépasse en molécules inorganiques.

7.5.2. Produits phytosanitaires

La chlordécone montre une *Mma* au-delà des exigences DCE sur la station du François – Habitation Victoire avec une valeur de 0,36 µg/L.

7.5.3. Conclusion

La masse d'eau Sud Atlantique doit faire l'objet d'une enquête appropriée en raison de la présence de chlordécone au-dessus de la valeur seuil.

7.6. MASSE D'EAU SUD CARAÏBES – FRJG206

La masse d'eau souterraine Sud Caraïbes se compose de trois forages appartenant au réseau de contrôle de surveillance.

7.6.1. Physico-chimie *in situ*

L'étude de la physico-chimie *in situ* souligne un dépassement de la conductivité pour la station des Trois Ilets avec une *Mma* de 1765,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La fréquence de dépassement correspondante est de 100%. Il s'agit de la plus forte *Mma* pour le paramètre conductivité sur l'ensemble des stations du réseau. Dans l'étude de fond géochimique (Arnaud et al., 2013) il est précisé que ces fortes valeurs sont liées au contexte géologique (laves épanchées en milieu marin) couplé à l'activité hydrothermale ancienne. Elle est à relier avec les fortes concentrations en chlorure et sodium rencontrées au droit du piézomètre.

7.6.2. Molécules inorganiques

Depuis 2007, le point des Trois Ilets enregistre des dépassements des valeurs seuils pour les éléments majeurs chlorures et sodium lors de la majorité des campagnes de mesure. En effet, lors de la campagne en saison sèche 2016 la concentration en sodium n'était que de 152,8 mg/l. Les *Mma* calculées s'élèvent respectivement à 270,99 mg/L et à 236,96 mg/L pour le sodium sachant que les valeurs seuils respectives sont 250 mg/L et 200 mg/L. Ces concentrations sont dues à un fond géochimique élevé.

Par ailleurs, un dépassement des valeurs seuils est notifié sur la station du Diamant, pour le fer et le manganèse avec respectivement une *Mma* de 1,11 mg/L et de 58,81 $\mu\text{g}/\text{L}$. Comme évoqué précédemment, des zones à risque de fond géochimique élevé en ces éléments ont été déterminées pour l'ensemble du territoire.

Les concentrations en nitrates sont inférieures à la norme de qualité fixée à 50 mg/L avec une *Mma* de 16,85 mg/L pour la plus importante.

7.6.3. Produits phytosanitaires

Le piézomètre de Rivière Pilote – Fougainville montre une non-conformité DCE en chlordécone avec une *Mma* 1,93 $\mu\text{g}/\text{L}$.

7.6.4. Conclusion

L'ensemble des dépassements en molécules inorganiques pouvant être justifiés par du fond géochimique élevé, seul le chlordécone conduit inévitablement à une enquête appropriée.

7.7. RÉALISATION DES ENQUÊTES APPROPRIÉES ET NIVEAU DE CONFIANCE (ÉTAPE 2)

Comme le souligne l'illustration 16, sur 21 stations présentant des données de mesure et d'analyse sur la période de 2011 à 2016, 8 stations réparties sur les 6 masses d'eau du bassin Martinique ne sont pas conformes aux exigences de la DCE de l'étape 1 de l'évaluation.

Notons que les stations Socco Gradis, Socco Gradis amont et Anse Charpentier ont été abandonnées et remplacées au cours du cycle de suivi DCE de 2011 – 2016.

La réalisation de l'illustration 16 a nécessité l'utilisation des Mma et sommes calculées en produits phytosanitaires pour l'ensemble des points de mesures. Ces données sont présentées en Annexe 4 et Annexe 5.

Comme précisé en conclusion des chapitres précédents, des procédures générales d'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine, une enquête appropriée doit être menée sur 5 des 6 masses d'eau souterraine de Martinique.

Masse d'eau	n° BSS	Communes	Lieu dit	Concentration en nitrates 50 mg/l	Concentrations des substances actives des produits phytosanitaires 0,1 µg/l*	Somme des concentrations des substances actives des produits phytosanitaires 0,5 µg/l	Qualité des stations de surveillance
Nord - FRJG201	1166ZZ0026	Basse Pointe	Chalvet				
	1166ZZ0020	Basse Pointe	Hauteurs Bourdon				
	1166ZZ0019	Basse Pointe	Socco Gradis				
	1166ZZ0032	Basse Pointe	Socco Gradis Amont				
	1166ZZ0023	Macouba	Nord Plage				
	1168ZZ0054	Basse Pointe	Rivière Falaise				
Nord Atlantique - FRJG202	1169ZZ0006	Marigot	Anse Charpentier				
	1169ZZ0184	Marigot	Anse Charpentier 2				
	1175ZZ0190	Trinité	Bassignac				
	1169ZZ0084	Lorrain	Fond Brulé				
	1174ZZ0088	Gros Morne	La Borelli				
	1175ZZ0153	Trinité	Morne Figue				
Nord Caraïbes - FRJG203	1167ZZ0045	Saint Pierre	CDST				
	1177ZZ0177	Schoelcher	Fond Lahaye				
	1167ZZ0024	Prêcheur	Rivière du Prêcheur				
	1172ZZ0063	Carbet	Fond Canal				
Centre - FRJG204	1175ZZ0106	Robert	Vert Pré				
	1179ZZ0070	Lamentin	Habitation Ressource				
	1182ZZ0160	Rivière Salée	Nouvelle Cité				
Sud Atlantique - FRJG205	1186ZZ0118	Marin	Grand Fond				
	1179ZZ0228	François	Habitation Victoire				
Sud Caraïbes - FRJG206	1183ZZ0052	Rivière Pilote	Fougainville				
	1181ZZ0132	Trois Ilets	Vatable				
	1184ZZ0001	Diamant	Habitation Dizac				

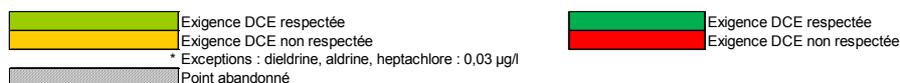


Illustration 16 : Tableau récapitulatif de l'état du réseau qualitatif par station sur la période 2011-2016

Étape 2 : Test des 20% de la surface dégradée

Pour chacune des masses d'eau, la surface dégradée (test des 20%) représentée par chaque point de surveillance est évaluée à partir des informations acquises lors de l'établissement des cartes de risques élaborées dans le cadre du Système d'Information des Eaux Souterraines en Martinique (SIESMAR Vittecoq et al, 2007) et du « SIG Chlordécone » élaboré par le BRGM pour le compte de la DAAF (Desprats, 2010).

Le SIESMAR permet de préciser l'étendue supposée des eaux souterraines polluées par les intrants agricoles (dénommée surface dégradée par la DCE), sur la base de la sole agricole fournie par l'ASP (Agence de Services et de Paiement). L'illustration 17 fournit une représentation cartographique de ces zones à risques. Rapporté au bassin Martinique, environ 20% du territoire est soumis à un risque de pollution anthropique moyen à fort.

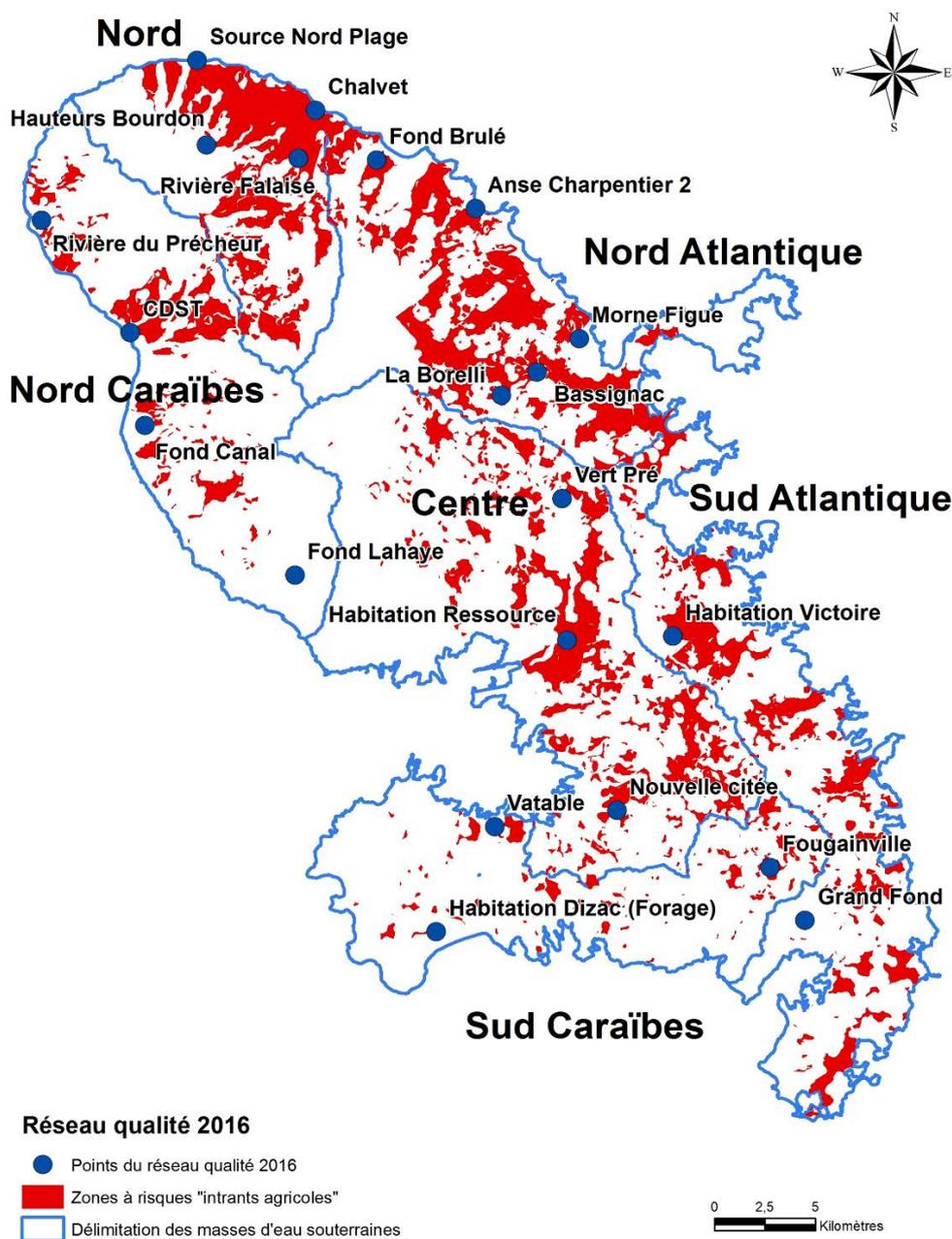
De façon très nette, les masses d'eau Nord et Nord Atlantique sont concernées par plus de 20 % (> 30%) de superficies dégradées, tandis que les masses d'eau Nord Caraïbes et Sud Caraïbes, elles sont inférieures avec respectivement 13% et 6% de zone à risque de pollution moyen à fort.

Un doute persistait quant à la surface de dégradation des masses d'eau Centre (FRJG204) et Sud Atlantique (FRJG205) qui avoisinait les 20% de zones à risques moyens à forts en contamination des eaux souterraines par les intrants agricoles sans hiérarchisation. Il a donc été

réalisé une étude complémentaire en novembre 2013 sur les deux masses d'eau avec l'ajout de plusieurs points d'analyse en dehors des zones à risque afin de clarifier l'étendue des surfaces dégradées.

La surface supposée dégradée de la masse d'eau Centre initialement évaluée à 19% de la superficie totale est considérée supérieure à 20 % après prise en compte du SIG chlordécone (cf. rapport BRGM/RP-60014-FR) et à la suite de l'étude de pollution des sources complémentaires (rapport BRGM-64739-FR). La masse d'eau Centre a une surface dégradée qui s'étend au-delà des zones à risque du SIESMAR, donc considérée supérieure à 20%.

La représentativité des points d'eau sur l'ensemble de la masse d'eau Sud Atlantique (FRJG205) est très faible et les résultats de l'étude complémentaire ne permettent pas de trancher quant à un pourcentage supérieur à 20% de surface dégradée. Sa surface dégradée reste donc inchangée, soit à 19% de zone potentiellement polluée.



Masse d'eau	% de zone à risque moyen à fort (intrants agricoles non hiérarchisés)
NORD - FRJG201	37%
NORD ATLANTIQUE - FRJG202	34%
NORD CARAIBES - FRJG203	13%
CENTRE - FRJG204	> 20 %
SUD ATLANTIQUE - FRJG 205	19%
SUD CARAIBES - FRJG206	6%

Illustration 17 : Tableau des pourcentages des superficies concernées par masse d'eau souterraine et carte de risque de contamination des eaux souterraines par les intrants agricoles correspondante ; Arnaud et Wiat (2010)

Test : eaux de surface

Actuellement, les connaissances sur les relations nappes-rivières sont insuffisantes pour répondre à ce test sur l'ensemble du bassin Martinique. Néanmoins, la masse d'eau Nord a fait l'objet d'une étude approfondie sur la relation nappe-rivière dans le secteur de Rivière Falaise, sur la commune de Basse Pointe (Arnaud et al., 2013), ainsi que la masse d'eau Nord Atlantique sur l'observatoire du Galion sur la commune de Trinité (Charlier, 2014). Les conclusions sur ces deux sites, aboutissent à des relations étroites nappes-rivières.

Test : écosystèmes terrestres

Actuellement en Martinique, les connaissances des relations chimiques entre les eaux souterraines et les zones humides ne permettent pas de répondre à ce test.

Test : intrusion salée ou autre (commun avec l'état quantitatif)

Comme indiqué lors de l'évaluation de l'état quantitatif (§ 4.2.4), aucun pompage n'a été identifié comme engendrant une intrusion saline ou autre sur l'ensemble des masses d'eau. Le résultat de test est donc « bon » pour les 6 masses d'eau souterraine de Martinique.

Test : zones protégées AEP

Seules les masses d'eau Nord (FRJG201) et Nord Atlantique (FRJG202) sont concernées par des captages AEP fournissant plus de 10 m³/j, néanmoins aucune augmentation du niveau de traitement ou de détérioration de la qualité de la ressource imputable aux activités humaines n'a été détectée jusqu'alors.

Les résultats des différents tests de classification des masses d'eau souterraine sont regroupés dans l'illustration 18 et une carte de synthèse de l'évaluation de l'état qualitatif est réalisée en illustration 19.

Les masses d'eau Nord (FRJG201), Nord Atlantique (FRJG202) et Centre (FRJG204) apparaissent classées en mauvais état chimique en raison de contaminations étendues aux pesticides organochlorés (surfaces dégradées supérieures à 20%). Malgré la présence d'un point présentant une qualité médiocre sur la masse d'eau Sud Caraïbes (FRJG206), les surfaces dégradées sont inférieures à 20% de la superficie des masses d'eau. Ces dernières sont donc considérées en bon état chimique.

Etat de la Masse d'eau	Niveau de confiance de l'évaluation	Intrusion saline anthropique observée	Incidence sur les écosystèmes associés	Incidence sur les cours d'eau associés	Si AEP nécessité d'un traitement supplémentaire excessif...	Présence d'un captage AEP > 10 m ³ /jour dans la zone dégradée	Usages humains potentiellement compromis	Surface dégradée supérieure à 20% de la surf de la MESO	Paramètres déclassants	Nb de points ne répondant pas aux exigences de la DCE ?	Existe-t-il au moins 1 point ne répondant pas aux exigences de la DCE ?	Superficie Masse d'eau en km ²	Masse d'eau
Nord - FRJG201	Moyen	Non	?	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Pesticides	3/4	Oui	115	Nord - FRJG201
Nord Atlantique - FRJG202	Faible	Non	?	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Pesticides	3/5	Oui	175	Nord Atlantique - FRJG202
Nord Caraïbes - FRJG203 *	Faible	Non	?	?	Non	Non	Non	Non	/	0/4	Non	174	Nord Caraïbes - FRJG203 *
Centre - FRJG204	Faible	Non	?	?	Non	Non	Oui	Oui	Pesticides	1/3	Oui	286	Centre - FRJG204
Sud Atlantique - FRJG205 *	Faible	Non	?	?	Non	Non	Non	Non	/	0/2	Non	180	Sud Atlantique - FRJG205 *
Sud Caraïbes - FRJG206 *	Faible	Non	?	?	Non	Non	Non	Non	Pesticides	1/3	Oui	151	Sud Caraïbes - FRJG206 *

Evaluation établie selon les critères définis dans la note méthodologique générale transmise par la DIREN en juin 2007

Bon état
Mauvais état

Illustration 18 : Résultats de l'enquête appropriée pour l'évaluation de l'état qualitatif des 6 masses d'eau souterraine de la Martinique

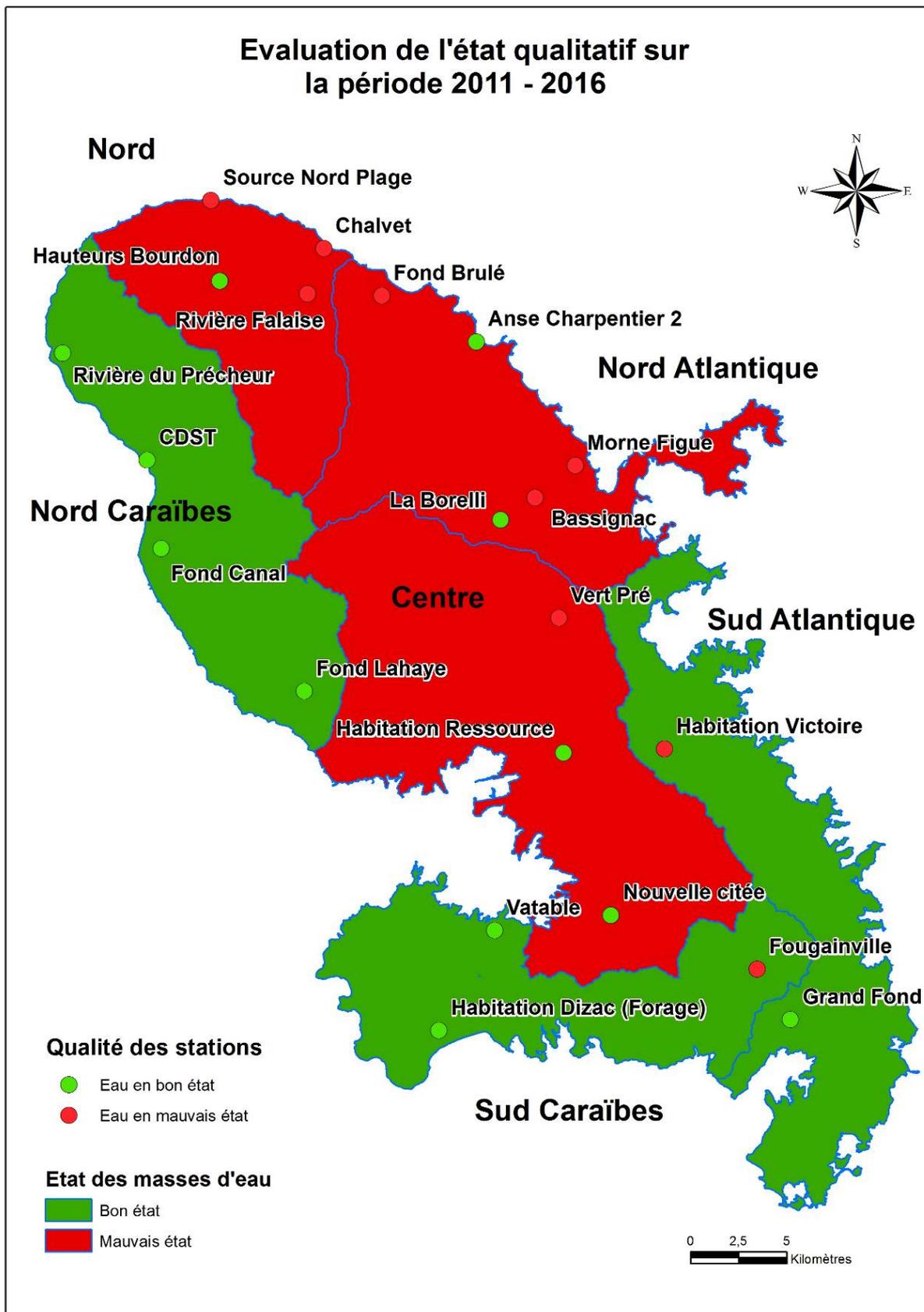


Illustration 19 : Carte de l'état qualitatif des points d'eau et masse d'eau souterraine dans le cadre de l'évaluation 2011 – 2016.

8. Suivi mensuel de la contamination par les produits phytosanitaires sur deux piézomètres

À partir de décembre 2008, l'ODE Martinique et le BRGM ont décidé de mettre en place un suivi mensuel sur le piézomètre de Basse – Pointe Chalvet (N° BSS 1166ZZ0026) et sur la source de Trinité - Morne Figue (N° BSS 1175ZZ0153). L'objectif poursuivi est l'amélioration de la compréhension des processus de transfert des molécules phytosanitaires pour, *in fine*, mieux gérer le risque de contamination des eaux souterraines, des cours d'eau et des écosystèmes associés.

Conformément aux conclusions du rapport annuel 2010 (Arnaud et al., 2011), le suivi mensuel a été abandonné sur la source de Trinité, notamment en raison de l'impossibilité de suivre son débit en saison sèche. En accord avec l'ODE, le suivi mensuel a été reporté sur le piézomètre de Basse Pointe - Rivière Falaise.

8.1. MÉTHODOLOGIE

Afin d'appréhender les processus de transfert des pesticides dans le contexte insulaire de la Martinique, les outils de datation des eaux souterraines jeunes, CFCs et SF₆, ont été appliqués sur les deux points suivis mensuellement et croisés avec les mesures de concentration de 130 produits phytosanitaires.

La technique de datation utilisée est détaillée dans le rapport annuel 2010 (Arnaud et al., 2011).

En collaboration avec la DEAL et l'ODE Martinique, une étude sur les mécanismes de transfert de la chlordécone vers les eaux souterraines a été réalisée. Un des objectifs était de déterminer l'altitude moyenne de recharge des eaux des deux forages suivis mensuellement dans le but d'évaluer de façon plus robuste l'âge de ces eaux. Les conclusions de cette étude, détaillée dans le rapport Arnaud et al., 2013, suggère que les eaux souterraines prélevées sur les deux forages de Basse Pointe sont principalement rechargées à des altitudes inférieures à 300 m NGM et présentent des temps de résidence moyens identiques, compris entre 5 et 8 ans.

D'un point de vue opérationnel, la grande stabilité des concentrations en CFCs et SF₆ a amené le BRGM à recommander un suivi semestriel pour ces gaz à compter d'avril 2013.

8.2. PRÉSENTATION DES DEUX POINTS DE SURVEILLANCE CONCERNÉS PAR LE SUIVI MENSUEL

Les forages de Chalvet et Rivière Falaise sont implantés sur la commune de Basse Pointe et appartiennent tous deux au réseau piézométrique de Martinique (masse d'eau Nord), avec un suivi en continu du niveau d'eau démarré respectivement en décembre 2005 et janvier 2005.

8.2.1. Contexte géologique et hydrogéologique

D'un point de vue géologique, ces forages interceptent des dépôts pyroclastiques (coulées de ponces et nuées ardentes) de la Montagne Pelée.

La coupe géologique du forage de Chalvet souligne une altération importante avec une épaisseur d'argiles d'altération avoisinant les 17 mètres. Un horizon aquifère, à porosité de matrice est rencontré entre 17 m et 29 m. Le débit, au soufflage, avait été estimé entre 20 et 30 m³/h en fin de foration.

Quant à l'ouvrage de Rivière Falaise, il est implanté dans des nuées ardentes dont la description détaillée n'est pas connue, notamment leur niveau d'altération. Par ailleurs, aucune information n'a été retrouvée concernant le débit au soufflage ou en cours de foration.

Concernant l'épaisseur de la zone non saturée, elle varie entre 12,5 m et 18,5 m à Chalvet et entre 3 m et 3,9 m à Rivière Falaise.

Les fluctuations piézométriques enregistrées au droit des ouvrages de Chalvet et Rivière Falaise figurent en Illustration 20.

Le point Chalvet présente un régime pluriannuel avec une vidange jusqu'en 2009, une recharge de 2009 à 2012 (environ 4 ans), suivi d'une vidange qui semble se poursuivre. En 10 ans de chroniques, un cycle hydrogéologique complet n'a toujours pas été observé. A ces variations s'ajoutent des fluctuations saisonnières.

La chronique enregistrée à Rivière Falaise présente des fluctuations piézométriques beaucoup plus réactives aux précipitations que celles de Chalvet ; ce phénomène est particulièrement visible au pas de temps horaire. Ces réactions rapides résultent d'une part de la faible épaisseur de la zone non saturée et d'autre part, d'une recharge par la nappe d'accompagnement de la rivière en période de crue (Arnaud et al., 2012). La rivière Falaise à proximité, constituerait localement l'exutoire de la nappe : les fluctuations du niveau piézométrique sont ainsi tamponnées par le niveau de la rivière. Cette proximité de la rivière justifie également un battement de la nappe beaucoup moins important à Rivière Falaise qu'à Chalvet. Ces chroniques sont présentées à l'illustration 20.

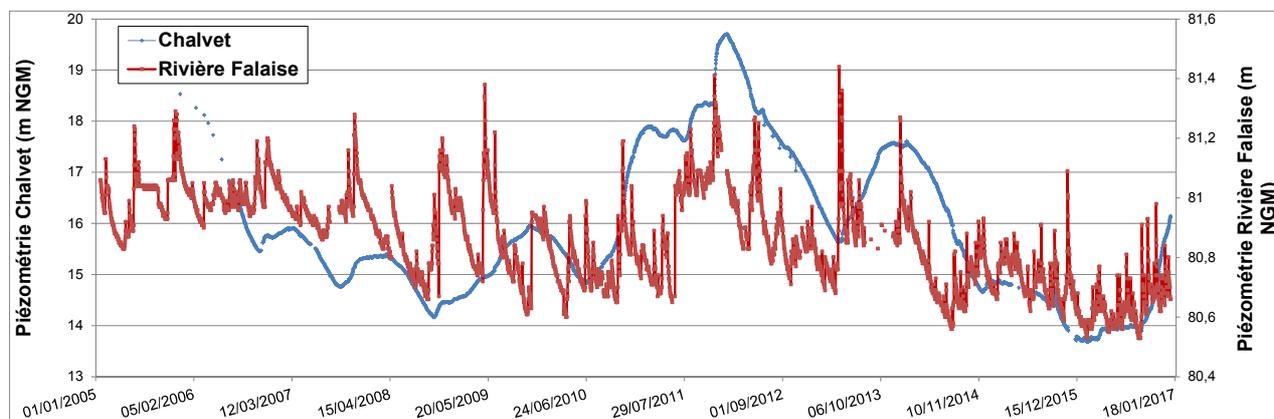


Illustration 20 : Chronique piézométrique des forages Chalvet (en bleu) et Rivière Falaise (en rouge) au pas de temps journalier (janvier 2005 – décembre 2016)

En comparant les deux chroniques, il semble se distinguer une influence pluriannuelle sur Rivière Falaise en cohérence avec les bassins d'alimentation qui sont en partie communs aux deux forages (cf. § suivant).

8.2.2. Pressions agricoles et contamination

L'étude réalisée en 2012 (cf. rapport BRGM/RP-61767-FR) a permis de proposer une première délimitation des bassins d'alimentation des deux forages situés sur la commune de Basse Pointe (Illustration 21).

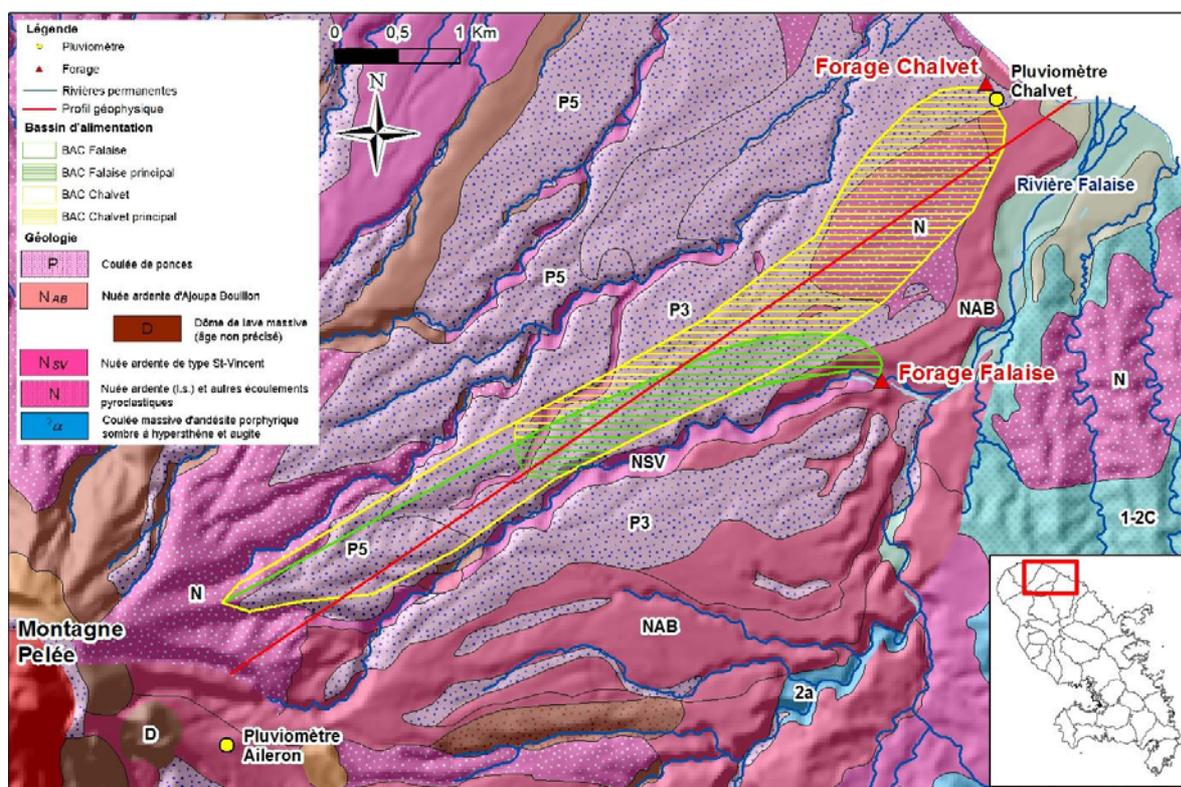


Illustration 21 : Délimitation approximative des bassins d'alimentation des forages Rivière Falaise et Chalvet (les zones hachurées correspondent aux principales zones de recharge) (Arnaud et al., 2013)

Par ailleurs, cette étude a mis en avant l'altitude des zones principales de recharge qui sont comprises entre 30 et 350 m NGM pour le forage de Chalvet et entre 90 et 350 m NGM pour le piézomètre de Rivière Falaise. Ainsi, en recoupant avec la carte d'occupation du sol, et considérant que la contribution de l'amont non contaminé est minime, la prédominance d'une recharge à ces altitudes moyennes recouvertes de bananeraies expliqueraient les fortes concentrations en pesticides et en nitrates mesurées sur les forages ; l'ouvrage de Chalvet étant davantage contaminé car drainant une zone fortement contaminée, à l'aval de Rivière Falaise.

L'illustration 22 permet de schématiser le fonctionnement du bassin versant de Chalvet issues des données TDEM hélicoptérées. Elle met en évidence l'extension/épaisseur des formations aquifères : les nuées ardentes (N) et les ponces (P3 et P5) avec une zone non saturée (rouge/orange) et saturée (vert).

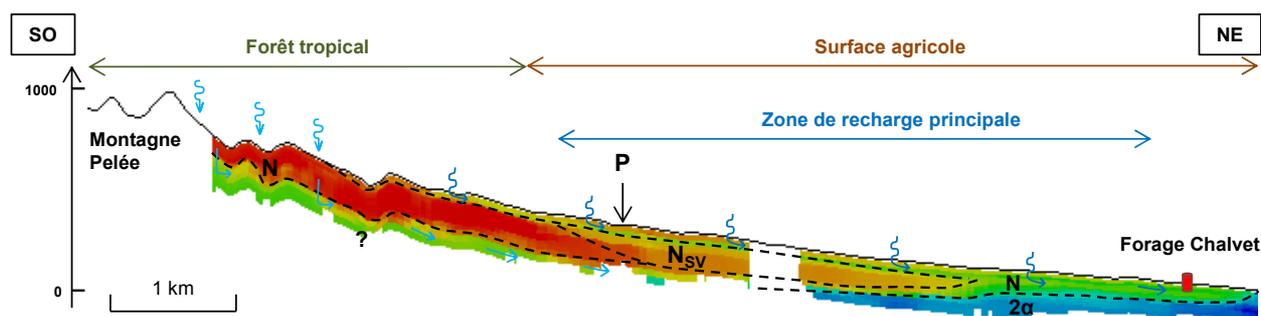


Illustration 22 : Coupe géophysique du bassin versant de Chalvet

Les fortes concentrations mesurées sur les deux points lors du suivi mensuel proviennent de pesticides utilisés, notamment dans la culture de la banane et sont à ce jour presque tous interdits (Illustration 23) à l'exception des fongicides Métalaxyl et Propiconazole que l'on ne retrouve d'ailleurs que sur la station aval de Chalvet.

Type	Molécules	Statut / Date d'interdiction	Concentrations moyennes (µg/L) à Chalvet	Concentrations moyennes (µg/L) à Rivière Falaise
Insecticide	Chlordécone	1993	1,74	0,43
	Chlordécone 5B-hydro	métabolite CLD	0,03	0,04
	Dieldrine	1972	0,07	0,20
	Heptachlore époxyde	1973	0,01	0,01
	Beta HCH	métabolite Lindane	0,03	0,04
Herbicide	Amétryne	2003	0,01	jamais quantifié
	Atrazine	2003	0,00	0,02
	Déisopropylatrazine	métabolite Atrazine	jamais quantifié	0,02
	Bromacil	2003	1,08	0,70
	Diuron	2008	0,07	0,04
	Hexazinon	2008	0,02	0,05
	Métolachlore	2003	0,02	0,05
Fongicide	Mbnuron	1994	0,07	jamais quantifié
	Métalaxyl	Autorisé	0,28	0,00
	Propiconazole	Autorisé	0,53	0,01

Jamais détecté ou fréquence de dépassement très faible

Concentration la plus forte entre les deux stations

Illustration 23 : Concentration moyenne des molécules détectées dans les eaux souterraines à Chalvet et Rivière Falaise depuis le début du suivi mensuel

8.3. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX ET VARIABILITÉ TEMPORELLE

Les forages de Basse Pointe présentent tous deux des eaux chlorurées et sulfatées, calciques et magnésiennes.

Les variations de la conductivité électrique de l'eau restent modérées dans les deux forages, néanmoins les eaux de Chalvet présentent une minéralisation plus importante que celles de Rivière Falaise (respectivement 429 contre 326 µS/cm), qui s'expliquerait par un temps de transit plus important de l'eau (interactions eau-roche).

L'illustration 24 montre une forte corrélation entre les variations de la conductivité à Chalvet et les concentrations en sodium et en ions chlorure depuis le début du suivi, ainsi que les corrélations entre conductivité et niveau piézométrique.

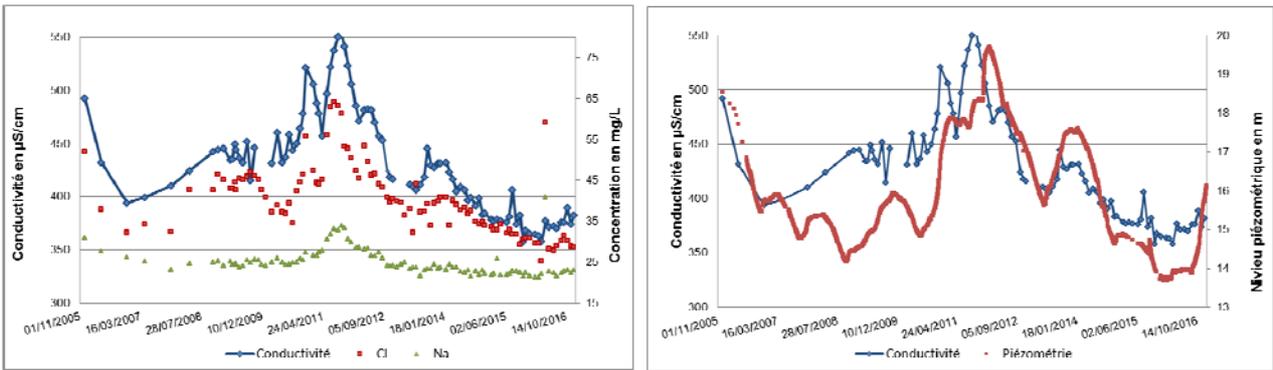


Illustration 24 : Évolution de la conductivité à Chalvet et des concentrations en sodium et chlorures (à gauche) et de la piézométrie (à droite)

L'illustration 25, met en relation l'évolution de la concentration des nitrates et celle de la piézométrie sur les deux stations suivies mensuellement.

La station de Chalvet connaît une correspondance négative entre la piézométrie et les concentrations en nitrates nettement identifiée jusqu'en mars 2012 qui s'atténue par la suite. Cependant on ne peut expliquer ses variations par un temps de réponse du niveau piézométrique de l'aquifère. D'une manière générale, à partir de 2014, les concentrations tendent à se stabiliser avec une moyenne de 27mg/L sur les deux dernières années.

Sur le forage de Rivière Falaise, on observe une forte réactivité pluviométrique entraînant des pics du niveau piézométrique. Toutefois, une allure générale se dégage de la chronique dès le début du suivi semestriel en avril 2011. La courbe piézométrique paraît anti-corrélée à la courbe des concentrations en nitrates, tout comme à Chalvet, néanmoins, d'autres facteurs hydro-climatiques contrôlent l'évolution des concentrations.

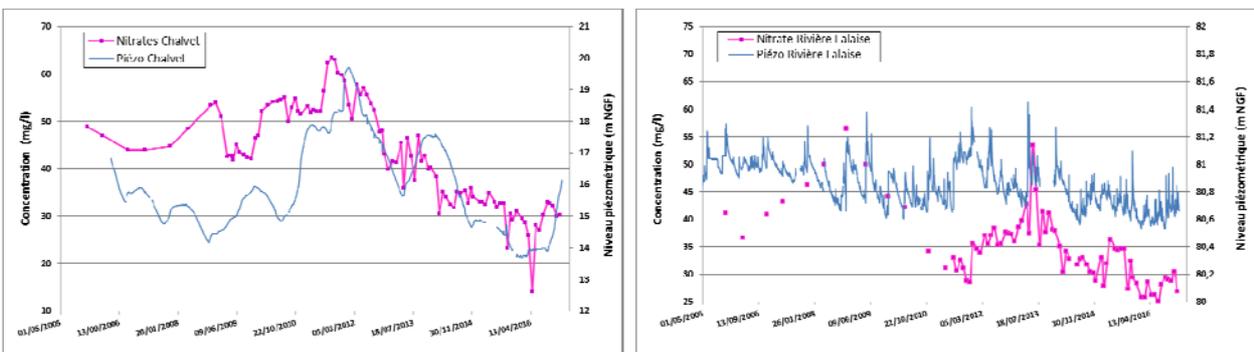


Illustration 25 : Fluctuations des concentrations en nitrates et du niveau piézométrique au droit des forages de Chalvet et de rivière Falaise

8.4. ÉVOLUTION MENSUELLE DES CONCENTRATIONS EN PESTICIDES

8.4.1. Apport de la fréquence mensuelle

L'illustration 26 met en parallèle le suivi semestriel et le suivi mensuel de la molécule chlordécone-5b-hydro pour le piézomètre de Rivière Falaise et du bêta HCH pour celui de Chalvet.

Comme cela a été souligné dans les rapports annuels précédents, le suivi semestriel écarte l'opportunité de mesurer des variations importantes pour différents paramètres analysés. Plusieurs pics de concentrations non négligeables ne peuvent être mis en évidence avec un unique prélèvement en hautes eaux et basses eaux. Le suivi mensuel avec une densité plus importante de résultats permet de mieux appréhender les fluctuations au cours de l'année, et ce, aussi bien sur Chalvet, que sur Rivière Falaise.

Le suivi mensuel apporte ainsi des indications sur la durée des pics de contamination et sa cinétique de disparition. Il apparaît donc indispensable à la compréhension des variations de concentrations mesurées et plus largement des processus de transfert des pesticides vers et dans les eaux souterraines.

Dans le cadre d'une étude relative aux mécanismes de transfert de la chlordécone, un suivi hebdomadaire a été testé sur Basse Pointe - Rivière Falaise (Arnaud et al., 2013). Ces essais réalisés en saison sèche et saison des pluies, confirment les observations réalisées au pas de temps mensuel, les concentrations ont fluctué d'environ un facteur 2, ce qui est très supérieur à l'incertitude analytique.

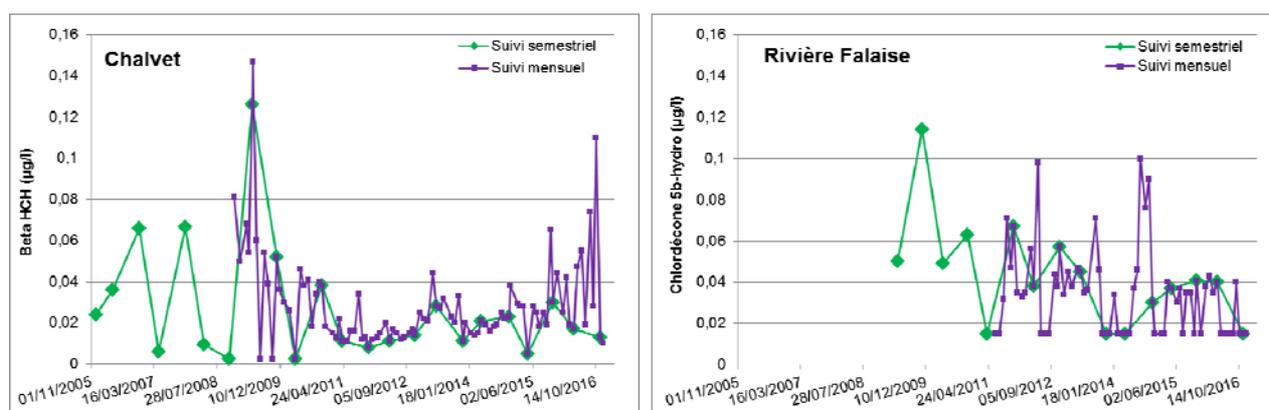


Illustration 26 : Évolution des concentrations en bêta HCH à Chalvet depuis décembre 2005 et des teneurs en chlordécone-5b-hydro à Rivière Falaise depuis avril 2009

8.4.2. Fluctuations mensuelles par molécule

- Les rapports annuels antérieurs ont mis en évidence une certaine structuration dans les chroniques mensuelles de concentration ainsi que des schémas d'évolution identiques pour certaines molécules (
- Illustration 27).

Les données d'une année supplémentaire de suivi apportent des précisions complémentaires :

Le qualitomètre Basse Pointe - Chalvet

- Depuis le début de l'année 2011, les concentrations en différentes molécules phytosanitaires sont en forte baisse et ont tendance à se stabiliser sur la station de Chalvet pour l'hexazinon, le diuron, le métalaxyl et le propiconazole. Ces deux derniers fongicides sont toujours autorisés, leur diminution laisse penser qu'il y a eu une modification de leur usage (Illustration 27).

L'hexazinon et le diuron sont eux, interdits depuis 2008, en considérant une utilisation jusqu'à leur interdiction, compte-tenu de leur diminution brutale de leur concentration en début 2011, le temps de transfert serait d'environ 3 ans. Néanmoins, n'ayant pas connaissance des pratiques exactes des exploitants, pouvant influencer sur les teneurs en pesticides, il est difficile de conclure avec exactitude sur l'impact temporel de l'épandage de produits phytosanitaires sur l'aquifère.

- Le Monuron, herbicide interdit depuis 1994 qui n'était quantifié que sur la station de Chalvet, a vu ses concentrations diminuer progressivement depuis fin 2010 jusqu'à ne plus être détecté depuis juillet 2011 avec une limite de quantification de 0,005 µg/L. En comparant les molécules de monuron et d'héxazinon, on observe une diminution simultanée en 2011 des concentrations pour les deux molécules avec une date d'interdiction espacée de 14 ans.
- On peut considérer que le maintien des concentrations élevées en monuron durant 14 ans (interdiction en 1994) pourrait être attribué à un temps de dégradation plus élevé. Différentes vitesses de dégradation dans la zone non saturée et/ou différentes zones d'épandage agricole peuvent aussi être à l'origine de ce temps de dégradation plus long.
- L'année 2011 est aussi marquée par une chute des concentrations en métolachlore molécule interdite en 2003. Tout comme pour le monuron cette chute peut être attribuée à une persistance plus longue de cette molécule dans l'environnement. Les pics de concentration enregistrés en 2014 et en 2015 pourraient provenir de la remobilisation d'eau ancienne possédant un fond en métolachlore plus élevé.

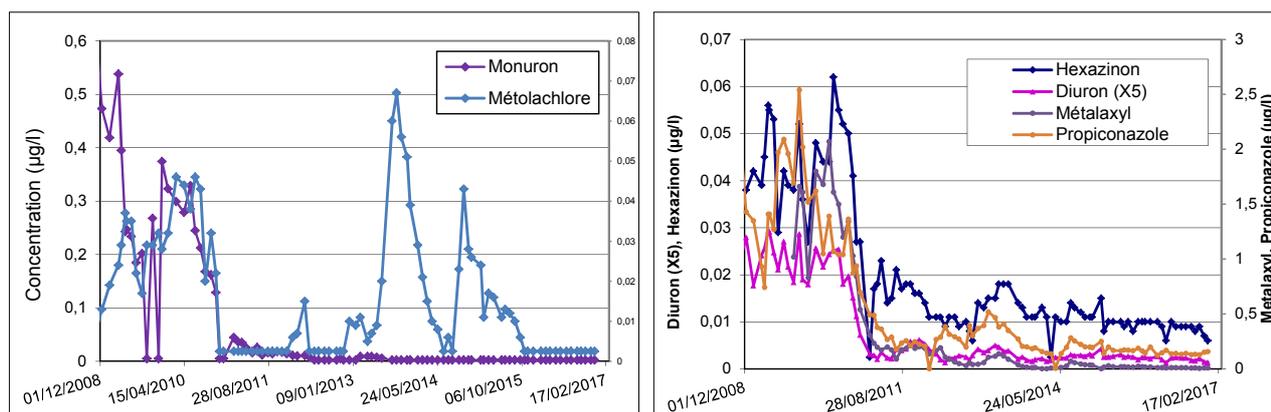


Illustration 27 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe - Chalvet pour différents pesticides (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2)

- La chlordécone 5b-hydro métabolite de la chlordécone, interdite en 1993, est elle aussi retrouvée au sein des deux ouvrages. Son évolution est présentée en Illustration 28 pour Chalvet. On observe une certaine concordance entre ces deux molécules. La concentration en chlordécone semble réagir avec une légère inertie (1 mois environ) par rapport à la concentration en chlordécone 5b-hydro. De plus, en dessous d'une certaine concentration en chlordécone celle de la chlordécone 5b-hydro est inférieure à la limite de quantification.

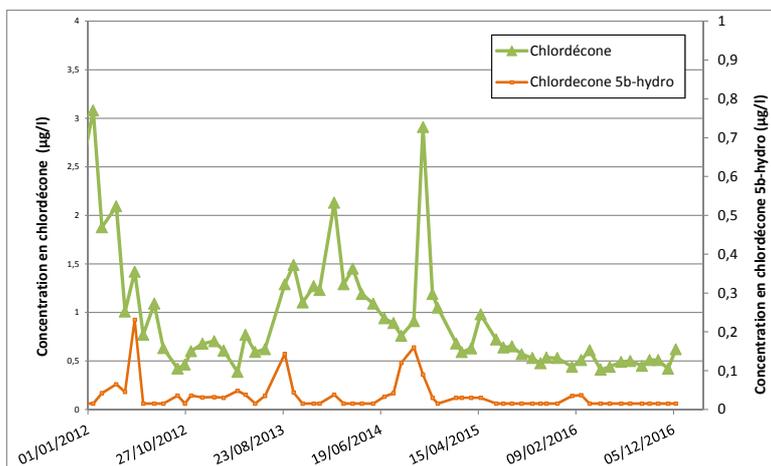


Illustration 28 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe - Chalvet pour la chlordécone et la chlordécone 5b-hydro (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2)

Les autres molécules suivent des évolutions de concentrations propres à chacune (pas de corrélation significative), leurs fluctuations sont représentées en Annexe 6.

Le qualitomètre Basse Pointe Rivière Falaise

- Tout comme sur Chalvet, on peut constater sur la station Rivière Falaise, des similitudes de comportement des molécules telles que le diuron et le bromacil : elles ont tendance à diminuer depuis début 2011. Ponctuellement des concentrations en bromacil se distinguent comme en mai 2012 avec 0,9 µg/L ou en juillet 2014 avec 0,645 µg/L (Illustration 29);
- A Rivière Falaise, le métolachlore et l'hexazinon, tous deux interdits depuis respectivement 2003 et 2008, voient leurs concentrations ré-augmenter progressivement depuis 2013 et 2014, avec un pic commun en février 2015. Depuis cette date ces deux molécules ont tendance à diminuer et leurs concentrations se stabilisent autour de 0,07 µg/l (Illustration 29);

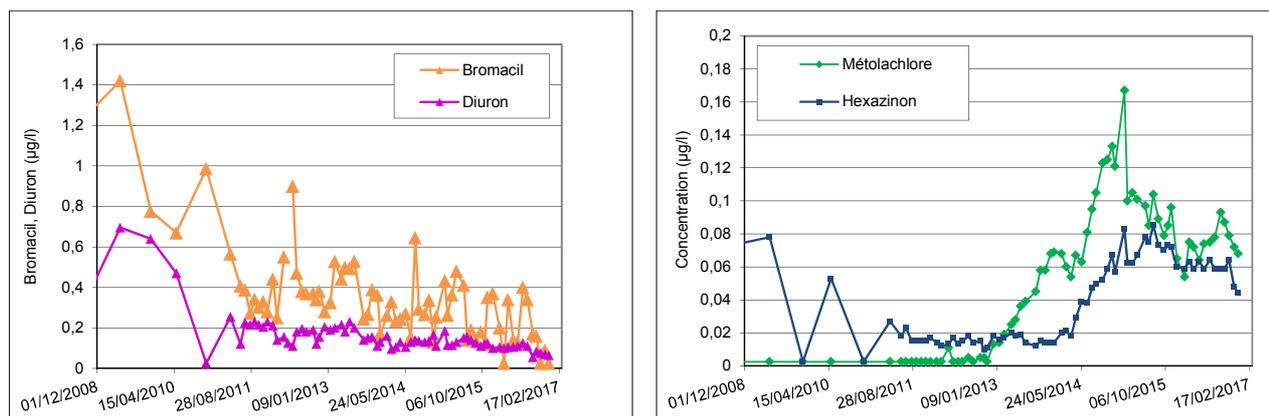


Illustration 29 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe – Rivière Falaise pour différents pesticides (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2)

Les autres molécules suivent des évolutions de concentrations propres à chacune (pas de corrélation significative), leurs fluctuations sont représentées en Annexe 7.

Comparaison des deux qualimètres

- Le même exercice de comparaison des fluctuations mensuelles sur les 2 points suivis a été réalisé pour les 9 molécules communément détectées sur Chalvet et Rivière Falaise, à savoir la chlordécone, la chlordécone 5B-hydro, la dieldrine, l'heptachlore époxyde, l'hexazinon, le bêta HCH, le diuron, le métolachlore et le bromacil (cf. détail en Annexe 8).

De grandes similitudes peuvent être observées sur les deux stations de Basse Pointe notamment pour la chlordécone 5b-hydro, le diuron et le bêta HCH. En Illustration 30, la chlordécone 5b hydro suit la même allure tout au long du suivi avec des concentrations légèrement plus faibles à Rivière Falaise.

La molécule bêta HCH interdite en 1998 présente un comportement similaire pour les deux ouvrages avec des concentrations légèrement plus élevées sur le qualimètre Rivière Falaise. Une légère augmentation des concentrations est notée en 2016 avec un pic en octobre à 0,14 µg/l. Cependant, une chute brutale est observée à la fin de l'année avec une concentration inférieure à la LQ.

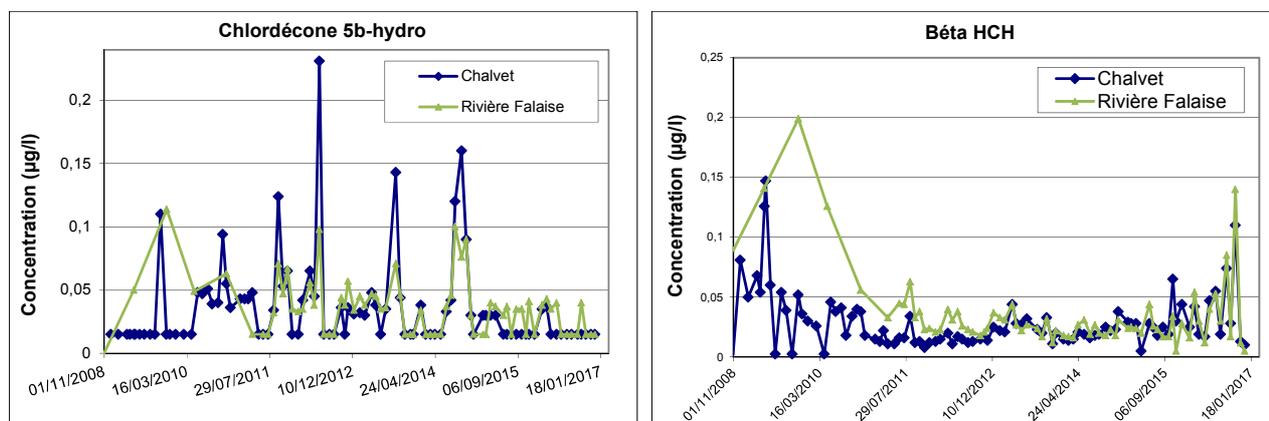


Illustration 30 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe – Rivière Falaise pour la chlordécone 5 b-hydro et le bêta HCH (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2)

- L'illustration 31 présente une comparaison entre les deux stations de Basse Pointe pour la molécule de métolachlore, herbicide interdit en 2003. L'ouvrage Chalvet a été impacté sur la période allant de novembre 2008 à novembre 2010. A partir de cette date, une disparition trompeuse est observée puisqu'en novembre 2013 et octobre 2014 deux pics de respectivement 0,068 µg/l et 0,043 µg/l sont observés.

A l'inverse, à Rivière Falaise les concentrations en métolachlore sont inférieures à la limite de quantification jusqu'à octobre 2012. Par la suite des similitudes sont observables puisqu'en novembre 2013 on observe aussi un premier pic qui atteint 0,068 µg/l. Le second pic est observé en février 2015 avec 0,167 µg/l. Par la suite on observe une diminution des concentrations voir une stabilisation autour de 0,072 µg/l.

La présence de ces pics peut être due à la remobilisation des stocks présents dans les sols, en raison du changement des pratiques agricoles (labour, zones d'épandage).

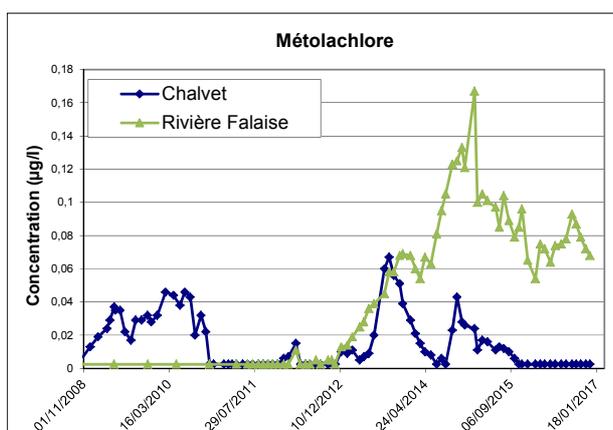


Illustration 31 : Comparaison des fluctuations mensuelles sur Chalvet et Rivière Falaise pour le métolachlore (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à LQ/2)

Les différences de fluctuations difficiles à expliquer sont issues de l'interaction de plusieurs facteurs :

- Les propriétés physico-chimiques des molécules qui vont dicter les phénomènes d'adsorption et de dégradation ;
- L'historique des pratiques agricoles concernant l'application de chaque produit. Cela est bien souligné par les résultats obtenus puisque toutes les molécules d'usage récent sont mesurées avec des concentrations bien corrélées entre elles ;
- La nature des sols et des terrains constituant la zone non saturée, potentiellement variables sur le bassin d'alimentation du forage qui peuvent jouer sur les modalités de transfert.

8.5. RELATION PIÉZOMÉTRIE-CONCENTRATIONS EN PESTICIDES

La relation entre la piézométrie d'un forage et la concentration entre différents pesticides dans l'eau souterraine varie selon les paramètres hydrodynamiques et physico-chimiques de l'aquifère capté. Les résultats sont présentés en Illustration 32.

- A Chalvet, le bêta HCH montre des variations inverses au niveau piézométrique, les périodes de basses eaux correspondent aux concentrations les plus importantes en décembre 2008 (0,081 µg/L), mai 2009 (0,147 µg/L), octobre 2015 (0,065 µg/L) et octobre 2016 (0,14 µg/l). Un phénomène de dilution en hautes eaux est ainsi probable ;
- La chlordécone à l'inverse, révèle des variations concordantes qui pourraient illustrer un lessivage de la molécule vers les eaux souterraines ;
- Au regard des fluctuations du diuron, il semblerait qu'à la suite de l'interdiction du pesticide en 2008, une baisse des concentrations dans les eaux souterraines se soit fait remarquer à partir de septembre 2010. Une augmentation des concentrations apparaît à la suite des périodes de basses eaux d'août 2011 et avril 2013. Alors que le piézomètre enregistre les valeurs les plus basses depuis le début de son suivi, les teneurs semblent s'être stabilisées autour de 0,017 µg/L. Cette stabilisation se poursuit malgré la recharge qui démarre en août 2016. Ces observations laissent à penser que la présence de diuron dans les sols et les milieux aqueux disparaît progressivement.
- Sur la station de Rivière Falaise présentant des fluctuations piézométriques saisonnières et journalières, il n'est actuellement pas possible de mettre en évidence de relation univoque entre piézométrie et concentrations en pesticides. Seul le bêta HCH semble montrer des variations anti-corrélées de la piézométrie tout comme sur Chalvet mais l'interprétation reste moins évidente.

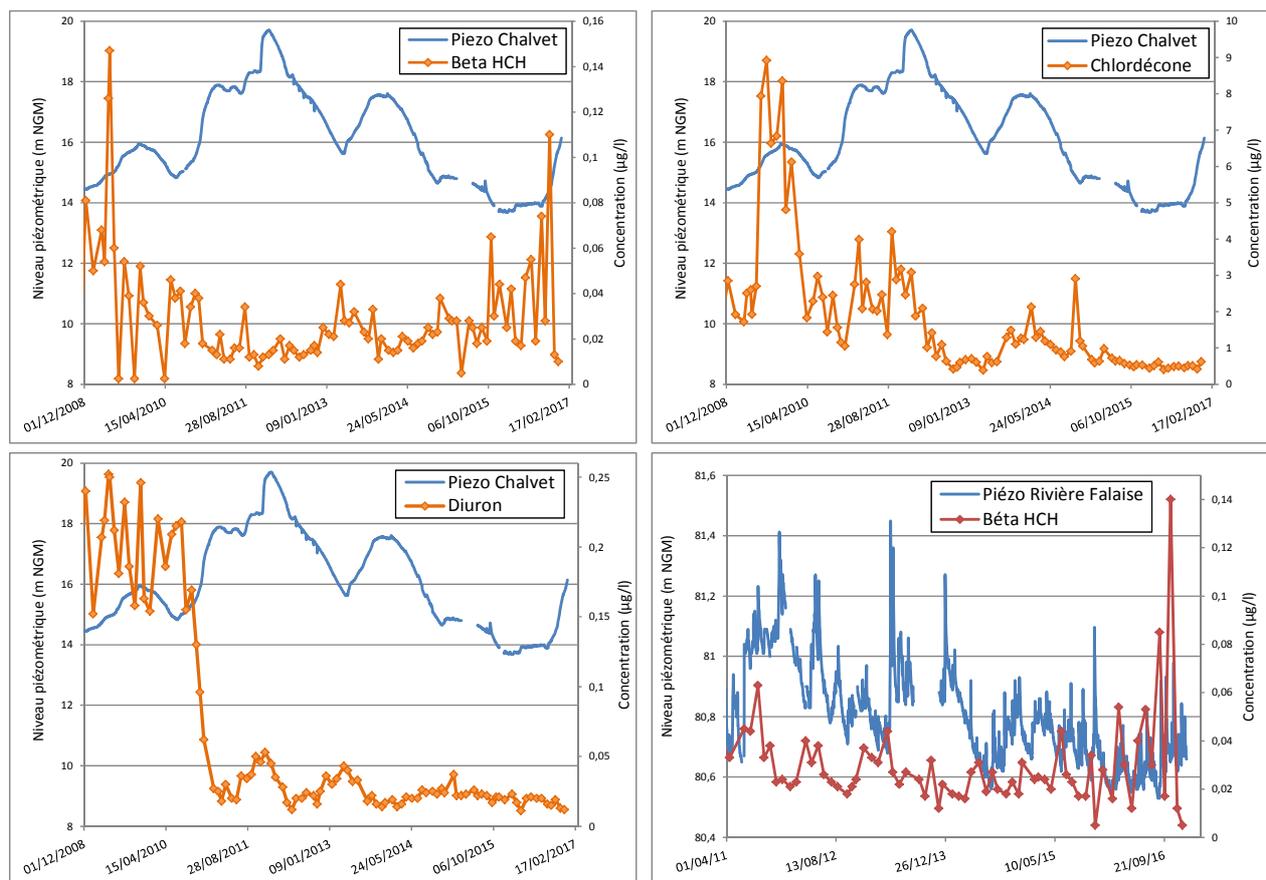


Illustration 32 : Fluctuations des concentrations en pesticides et du niveau piézométrique au droit des forages de Basse Pointe – Chalvet et Rivière Falaise

L'ensemble des relations piézométrie / pesticides sont présentées en Annexe 9 et Annexe 10.

8.6. ÂGE DES EAUX SOUTERRAINES ET CONTAMINATION PAR LES PESTICIDES

Les études menées précédemment ont permis de connaître l'âge moyen des eaux captées à Chalvet et à Rivière Falaise ainsi que la température et l'altitude moyenne de recharge des eaux. Ces informations ont été déterminées en analysant les isotopes stables de la molécule d'eau ; les résultats (cf. rapport Arnaud et al., 2013) aboutissent à une température et une altitude moyenne de recharge identique pour les deux forages ($T_{\text{moy}} = 25^{\circ}\text{C}$; $\text{alt}_{\text{moy}} = 200 \text{ m NGM}$).

Compte-tenu des faibles variations constatées entre 2008 et 2012 pour le CFC-12, CFC-113 et SF₆, la fréquence des analyses sur les deux stations du suivi mensuel est passée en 2013 à deux analyses annuelles en période de basses eaux et de hautes eaux.

Le traitement des données a abouti à une date moyenne de recharge de 2007 (en 2011) et 2008 (en 2012 et début 2013) pour Chalvet.

Sur la période 2012-2013, les concentrations en CFC-12 passent de 1,6 à 1,3 pmol.l⁻¹. L'incertitude analytique pour ce gaz étant de 0,1 pmol.l⁻¹ cette baisse pourrait être significative et indiquerait alors une légère augmentation de l'âge apparent des eaux souterraines.

Les eaux du forage Rivière Falaise présentent une date de recharge moyenne similaire à celle de Chalvet, soit de 2007 (en 2011) et 2008 (en 2012 et début 2013).

Ces eaux souterraines datées de plusieurs années et le modèle de recharge estimé (modèle piston utilisé pour l'interprétation des âges) sont en accord avec un système tamponné présentant de faibles variations des paramètres chimiques.

Les concentrations en nitrates varient faiblement d'un mois à l'autre et de 10 mg/L au maximum sur la période 2011-2014 (Illustration 25). La légère augmentation des concentrations en nitrates observée depuis fin 2011 ne serait donc pas due à un contexte hydrogéologique spécifique (qui se reflèterait sur l'évolution des gaz dissous) mais à une augmentation régulière de la pression (apports azotés aux cultures) depuis quelques années.

8.7. CONCLUSIONS SUR LE SUIVI MENSUEL DES STATIONS DE BASSE POINTE

Malgré une légère recharge à partir de novembre 2014, la vidange de l'aquifère de Basse Pointe – Chalvet se poursuit depuis fin 2013 ; Rivière Falaise montre aussi une tendance à la baisse du niveau piézométrique mais moins marquée en raison de l'influence appuyée de la pluviométrie. Depuis le début du suivi, les deux forages ont révélé à la fin 2015 les niveaux piézométriques les plus bas enregistrés sur chacun d'eux. Une légère tendance à la hausse des niveaux piézométriques pour ces deux ouvrages semble s'être amorcée en 2016.

Une baisse générale des concentrations de molécules phytosanitaires (diuron, hexazinon, métalaxyl, monuron et propiconazole) est observée depuis 2011 au piézomètre de Basse Pointe – Chalvet. Sur le piézomètre de Rivière Falaise, les concentrations en bromacil, diuron et béta HCH diminuent également depuis 2011, tandis que l'hexazinon et le métolachlore voient leur concentration nettement augmentée entre 2013 et 2015. Depuis 2015, les concentrations de ces deux molécules tendent à baisser.

Il serait intéressant de connaître les quantités et périodes d'épandage des produits utilisés par les exploitants agricoles du bassin versant afin d'affiner les corrélations.

L'hypothèse d'une corrélation quasi-systématique entre les fortes concentrations en produits phytosanitaires et les périodes de basses eaux semble moins évidente pour cette année 2016 par rapport aux années précédentes (rapports BRGM/RP-64739-FR et RP-65124-FR).

Le forage de Chalvet n'ayant pas encore une acquisition de données sur un cycle hydrogéologique complet, il est difficile d'établir des corrélations entre des variations piézométriques pluriannuelles et les teneurs en pesticides dans l'aquifère.

Les données apportées par le suivi qualité mensuel permettent de révéler des fluctuations en paramètres organiques et inorganiques impossibles à supposer avec des résultats biannuels. La poursuite de ce suivi est nécessaire à la compréhension des transferts vers les eaux souterraines et du fonctionnement du bassin versant.

Ce rapport met en évidence la complexité des circulations des eaux souterraines et les différents mécanismes et cinétiques de dégradation des pesticides. Il est nécessaire de réduire les incertitudes liées aux pratiques agricoles : concentrations et quantité de produits utilisés, secteurs et périodes d'épandages, rotations des cultures... Autant de pistes de réflexions et de recherches à poursuivre.

9. Conclusion

Conformément à la DCE 2000/60/CE, les 6 masses d'eau souterraine de la Martinique ont été étudiées pour définir leur état quantitatif et qualitatif. Ces évaluations se fondent sur les données du réseau de surveillance de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine (réseau référencé « 0800000015 - FRJSOP - Surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique » sous ADES) ainsi que sur l'ensemble des données « qualité » disponibles sur ce portail national, notamment celles issues des réseaux de contrôle de surveillance RCS (0800000016 - FRJSOS - Contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique) et de contrôle opérationnel RCO (0800000017 - FRJSOO - Contrôles opérationnels de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique).

L'évaluation de l'état quantitatif DCE des masses d'eau souterraine repose sur l'analyse de chroniques piézométriques disposant d'une dizaine d'années de suivi (2005-2016). À l'issue de cette expertise, l'ensemble des masses d'eau souterraine de Martinique apparaît comme étant en bon état quantitatif. Toutefois, le niveau de confiance de cette évaluation est considéré comme moyen en raison du manque de connaissances sur plusieurs paramètres tels que les relations nappes-rivières ou encore l'impact de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine sur les écosystèmes de surface.

Le suivi « qualité » semestriel permet de dénombrier 9 stations en mauvais état DCE aussi bien pour la saison sèche (en avril) que durant la saison humide (en novembre).

De nouvelles molécules actives sont analysées depuis 2015 et sont détectées sur le réseau. Du bisphénol A est retrouvé sur une majorité de points avec une valeur maximale de 5,89 µg/L à la station Saint Pierre - CDST ; ainsi que le benzotriazole détecté 12 fois en saison sèche et 6 fois en saison humide avec un maximum mesuré à la station Vatable avec 14,22 µg/l.

Les données acquises en 2016 permettent de baser l'évaluation de l'état qualitatif, comme recommandé par la DCE, sur un cycle de 6 ans soit de 2011 à 2016.

Pour chaque paramètre de chaque point d'eau « suivi qualité » du bassin Martinique, des calculs répondant aux exigences de la DCE ont été réalisés afin de mettre en évidence les critères de classement en bon ou mauvais état qualitatif DCE. Chacune des 6 masses d'eau souterraine a fait l'objet d'une enquête appropriée complète (tests AEP, ESO-ESU, ESO-ZH, intrusion saline). Le niveau de confiance de cette évaluation est faible compte-tenu du manque de connaissance sur les relations nappes-rivières et sur l'impact de l'état qualitatif sur les écosystèmes terrestres associés.

Ainsi, la moitié des masses d'eau apparaît en bon état ; il s'agit des masses d'eau Nord Caraïbes, Sud Caraïbes et Sud Atlantique. Les autres masses d'eau (Nord, Nord Atlantique et Centre) présentent des contaminations étendues aux pesticides organochlorés (surfaces dégradées supérieures à 20 %).

La poursuite du suivi mensuel reste essentiel comparativement à l'apport semestriel et met en évidence de nouveaux questionnements sur les variations des produits phytosanitaires et leurs

transferts vers les eaux souterraines. Les fluctuations en certains pesticides peuvent être totalement différentes d'une station à l'autre mais révèlent globalement une tendance à la diminution des concentrations depuis l'année 2011. Il est probable que les cycles pluri-annuels des nappes jouent un rôle primordial sur les concentrations en pesticides mesurées dans les eaux souterraines, néanmoins, la validation de cette hypothèse nécessite de pérenniser l'acquisition de données sur le long terme.

10. Bibliographie

G. Verbièse, A.-L. Taïlamé (2017) - Réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique – Rapport de gestion 2016, rapport BRGM/RP-66743-FR

A.-L. Taïlamé - (2016) - Réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique – Rapport de gestion 2015, rapport BRGM/RP-65513-FR.

Taïlamé A.-L. et Verbièse G. (2016) – Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2015. Rapport BRGM/RP-65851-FR

Taïlamé A.-L. et P. Subra (2015) – Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2014. Rapport BRGM/RP-65124-FR.

Charlier J.-B., Arnaud L., Ducreux L., Ladouche B., Dewandel B. (2014) – CHLOR-EAU-SOL – volet EAU Caractérisation de la contamination par la chlordécone des eaux et des sols des bassins versants pilotes guadeloupéen et martiniquais. Rapport final. BRGM/RP-64142-FR,

Lopez B., Laurent A., Ghestem J.P. *et al.* (2013) – Recherche de contaminants organiques dans les eaux souterraines des DOM – Synthèse des travaux 2012-2013. BRGM/RP-62810-FR.

Michou M. et Taïlamé A.-L. (2013) – Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2013. Rapport BRGM/RP-64739-FR.

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

L. Gourcy, L. Arnaud, A.-L. Taïlamé (2013) - Contrôle de surveillance et contrôle opérationnel de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique – Rapport annuel 2012 Rapport BRGM/RP-62635-FR.

L. Arnaud, N. Baran, L. Gourcy, A.-L. Taïlamé, M. Senergues (2012) - Étude du transfert de la chlordécone vers les eaux souterraines en Martinique - Rapport BRGM/RP-61767-FR.

M. Senergues, A.-L. Taïlamé (2012) Contrôle de surveillance et contrôle opérationnel de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique – saison sèche 2012 - Rapport BRGM/RP-61610-FR.

Arnaud L., Tailame A.-L. (2012) – Contrôle de surveillance et contrôle opérationnel de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique – Rapport annuel 2011. Rapport BRGM/RP-61283-FR.

Arnaud L., Tailame A.-L. (2011) – Contrôle de surveillance et contrôle opérationnel de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique – Rapport annuel 2010. Rapport BRGM/RP-60232-FR.

De Béchillon M., Arnaud L. (2011) – Contrôle de surveillance et contrôle opérationnel de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique – saison des pluies 2010. Evaluation préliminaire de l'état des masses d'eau souterraine. Rapport BRGM/RP-60014-FR.

Arnaud L., Wiart N. (2010) – Contrôle de surveillance et contrôle opérationnel de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique – saison des pluies 2009. Evaluation préliminaire de l'état des masses d'eau souterraine. Rapport BRGM/RP-58761-FR.

Baran N., Mouvet C., Négrel P., 2007. Hydrodynamic and geochemical constraints on pesticide concentrations in the groundwater of an agricultural catchment (Brévilles, France). *Environmental Pollution*, 148,729-738.

Baran N., Gutierrez A., Lopez B., Surdyk N., Gourcy L., 2011. Transfert de nitrates à l'échelle du bassin d'alimentation de captages d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne : modélisation et datation. Rapport BRGM/RP-60280-FR.

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

Brenot A., Vittecoq B., Négrel P., Mardhel V., (2008) Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Caractérisations physico-chimique naturelle des eaux souterraines. BRGM/RP-56266-FR.

Bocquené G., Franco A., 2005- Pesticide contamination of the coastline of Martinique. *Marine Pollution Bulletin*, 51: 612-619.

Busenberg, E., Plummer, L.N., 1992 - Use of Chlorofluoromethanes (CCl₃F and CCl₂F₂) as hydrologic tracers and age-dating tools: Example- The alluvium and terrace system of Central Oklahoma, *Water Resources Research*, 28: 2257-2283.

Desprats J-F. (2010) – Conception et mise en place d'un SIG sur la contamination des sols de Guadeloupe et Martinique par la Chlordécone – phase 1. Rapport BRGM/RP-58769-FR.

Gourcy L., Baran N., Vittecoq B., 2009 - Improving the knowledge of pesticide and nitrate transfer processes using age dating tools (CFC, SF₆, ³H) in a volcanic island. *Journal of Contaminant Hydrology*, 108(3-4), 107-117

IAEA, 2006 – Use of Chlorofluorocarbons in hydrology: A guidebook. STI/PUB 1238, IAEA, Vienna.277p.

Koh D.C, Plummer L.N., Solomon K., Busenberg E., Kim Y-J., Chang H.W., 2006 - Application of environmental tracers to mixing, evolution, and nitrate contamination of groundwater in Jeju Island, Korea. *Journal of Hydrology* 327: 258-275.

MacCarthy R.L., Bower F.A., Jesson J.P., 1977 - The fluorocarbon-ozone theory, 1. Production and release – world production and release of CCl₃F and CCl₂F₂ (fluorocarbons 11 and 12) through 1975. *Atmospheric Environment*, 11, 491-497.

Pinson S., Vittecoq B., Allier D., Mardhel V. (2008) – Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : synthèse cartographique. Rapport BRGM/RP-56242-FR.

Prinn R.G., Weiss R.F., Fraser P.J., Simmonds P.G., Cunnold D.M., Alyea F.N., O'Doherty S., Salameh P.

Miller B.R., Huang J., Wang R.H.J., Hartley D.E., Harth C., Steele L.P., Sturrock G., Midgley P.M., McCulloch A., 2000 - A History of Chemically and Radiatively Important Gases in Air deduced from ALE/GAGE/AGAGE, *Journal of Geophysical Research*, 105: 17751-17792.

Schultz, T.R., Randall, J.H., Wilson, L.G., Davis, S.N., 1976 – Tracing sewage effluent recharge – Tucson, Arizona. *Groundwater*, 14: 463-470.

Tesoriero A.J., Saad D.A., Burow K.R., Frick E.A., Puckett L.J., Barbarsh J.E., 2007 - Linking ground-water age and chemistry data along flow paths: implications for trends and transformations of nitrate and pesticides. *Journal of Contaminant Hydrology*, 94: 139-155.

Vittecoq B. (2006) – Définition des réseaux de suivi de l'état quantitatif et du contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique, conforme aux prescriptions de la Directive Cadre sur l'Eau. Rapport BRGM/RP-55098-FR.

Vittecoq B., Gourcy L., Baran N., 2007 - Datation des eaux souterraines de Martinique par l'analyse conjointe des CFC, SF6 et tritium et relation avec les concentrations en nitrates et produits phytosanitaires. Rapport final. BRGM/RP-55844-FR.

Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini S., Ladouche B., Marechal J.C., Petit V., 2007 - Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : identification et caractérisations quantitatives. Rapport BRGM/RP-55099-FR.

Warner K.L., Morrow W.S., 2007 - Pesticide and transformation product detections and age-dating relations from till and sand deposits. *Journal of American Water*,

TEXTES RÉGLEMENTAIRES

ARRÊTÉ du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.

ARRÊTÉ du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines.

ARRÊTÉ du 27 janvier 2009 modifiant l'arrêté du 17 mars 2006 relatif au contenu des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux.

ARRÊTÉ du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R.212-3 du code de l'environnement.

ARRÊTÉ du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R.212-22 du code de l'environnement.

ARRÊTÉ du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

Arrêté préfectoral n° 201611-0011 du 28 novembre 2016 pour le programme de surveillance de l'état des eaux du bassin de la Martinique pour le cycle 2016-2021

CIRCULAIRE DCE 2006/18 du 21 décembre 2006 relative à la définition du « bon état » pour les eaux souterraines, en application de la directive 2000/60/DCE.

CIS guidance document n°18, « Groundwater status and trend assessment »

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

DÉCRET n° 2005-475 du 16 mai 2005 relatif aux schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux

DIRECTIVE 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

DIRECTIVE 2000/60/CE (DCE) du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

DIRECTIVE 2006/118/CE (GWD) du parlement européen et du conseil du 12 décembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration.

DIRECTIVE 2009/90/CE DE LA COMMISSION DU 31 juillet 2009 établissant, conformément à la Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil, des spécifications techniques pour l'analyse chimique et la surveillance de l'état des eaux.

Annexe 1

Liste des paramètres analysés et laboratoires respectifs

LABORATOIRE BRGM ORLÉANS

Inorganique			
Code	Sandre Paramètres	LQ	Unités
1374	Ca (Calcium)	0,5	mg/l
1337	Cl (Chlorures)	0,5	mg/l
1328	CO3 (Carbonates)	10	mg/l
1841	COT (Carbone organique total)	0,5	mg/l
1393	Fe (Fer)	0,02	mg/l
1366	Fe t (Fer total)	0,02	mg/l
1327	HCO3 (Bicarbonates)	10	mg/l
1367	K (Potassium)	0,5	mg/l
1372	Mg (Magnésium)	0,5	mg/l
1394	Mn t (Manganèse total)	5	µg/l
1375	Na (Sodium)	0,5	mg/l
1335	NH4 (Ammonium exprimé en NH)	0,05	mg/l
1339	NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	0,01	mg/l
1340	NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	0,5	mg/l
1433	PO4 (OrthoPhosphates)	0,05	mg/l
1350	PTOT (Phosphore Total)	0,05	mg/l
1348	SiO2 (Silice)	0,5	mg/l
1338	SO4 (Sulfates)	0,5	mg/l
1347	TAC (Titre alcalimétrique comple	0,05	me/l
7073	Fluorure	0,1	mg/l

Organique			
Code Sandre	Paramètres	LQ	Unités
1104	Amétryne	0,005	µg/l
1907	AMPA	0,03	µg/l
1107	Atrazine	0,005	µg/l
7543	Benzotriazole	10	ng/l
2766	Bisphenol A	20	ng/l
7527	Chlordecol	0,03	µg/l
1866	Chlordécone	0,03	µg/l
6577	Chlordecone 5b-hydro	0,03	µg/l
1108	Déséthylatrazine	0,005	µg/l
1109	Désisopropylatrazine	0,005	µg/l
1177	Diuron	0,01	µg/l
1506	Glyphosate	0,03	µg/l
1673	Hexazinon	0,005	µg/l
1704	Imazalil	0,005	µg/l
1911	Imazaméthabenz methyl	0,005	µg/l
2847	Isoproturon-2CH3	0,01	µg/l
1706	Métalaxyl	0,005	µg/l
1221	Métolachlor	0,005	µg/l
6854	Métolachlore éthane sulfonique	0,01	µg/l
6853	Métolachlore oxanilique acide	0,01	µg/l
1222	Métoxuron	0,005	µg/l
1227	Monolinuron	0,005	µg/l
1228	Monuron	0,005	µg/l
1257	Propiconazole	0,005	µg/l
1263	Simazine	0,005	µg/l
6660	Tolytriazole	0,02	µg/l

LABORATOIRE LDA26 La Drôme

Organique			
Code sandre	Paramètres	LQ	Unités
1832	Desethyl Atrazine (2-Hydroxy)	0,1	µg/L
6830	Perfluorohexanesulfonic Acid (PFHS)	0,1	µg/L
1965	Asulame	0,1	µg/L
1113	Bentazone	0,02	µg/L
1686	Bromacil	0,05	µg/L
1129	Carbendazime	0,1	µg/L
1464	Chlorfenvinphos	0,02	µg/L
6616	DEHP (Di (2Ethyl Hexyl) Phtalate)	1	µg/L
1173	Dieldrine	0,01	µg/L
1190	Fenthion	0,04	µg/L
1676	Flufenoxuron	0,05	µg/L
1200	HCH Alpha	0,01	µg/L
1201	HCH Beta	0,01	µg/L
1202	HCH Delta	0,01	µg/L
2046	HCH Epsilon	0,01	µg/L
1203	HCH Gamm	0,01	µg/L
1749	Heptachlore Endo Epoxyde	0,01	µg/L
1405	Hexaconazole	0,05	µg/L
3159	Hydroxyatrazine (2 Hydroxy)	0,04	µg/L
1954	Hydroxyterbutylazine	0,02	µg/L
1209	Linuron	0,02	µg/L
1214	Mécoprop	0,02	µg/L
2076	Mésotrione	0,02	µg/L
1216	Méthabenzthiazuron	0,04	µg/L
1511	Méthoxychlore	0,02	µg/L
5977	Perfluoroheptanoic Acid (PFHPA)	0,5	µg/L
5978	Perfluorohexanoic Acid (PFHXA)	0,1	µg/L
6560	Perfluorooctane Sulfonate (PFOS)	0,1	µg/L
5347	Perfluorooctanoïque Acid (PFOA)	0,1	µg/L
1694	Tébuconazole	0,06	µg/L
1143	2,4' DDD	0,01	µg/L
1141	2,4-D	0,02	µg/L
1212	2,4-MCPA	0,02	µg/L
1958	4 Nonylphénols Ramifiés	0,04	µg/L

Paramètres In Situ

Paramètres In Situ	
Paramètres	Code Sandre
Turbidité	1295
Température	1301
pH	1302
Conductivité (25°)	1303
O2 dissous	1311
taux de saturation en O2	1312
Potentiel redox	1330

LABORATOIRE SPURENSTOFFLABOR Wachenheim Allemagne

Analyses spécifiques aux campagnes saisonnières

Analyses spécifiques	
Paramètres	
CFC-11	
CFC-12	
CFC-113	
SF6	

Ces analyses sont effectuées tous les 6 mois uniquement pour les deux points du suivi mensuel Chalvet et Rivière Falaise

Annexe 2

Produits phytosanitaires détectés sur le réseau qualitatif de Martinique

Type	Molécules	Statut / Date d'interdiction	Usages
Insecticides	Aldrine	1994	Divers
	Asulam	2012	Canne à sucre
	Chlordécone	1993	Banane
	Chlordécone 5B-hydro	métabolite CLD	
	Chlordécol	métabolite CLD	
	Chlorfenvinphos	2007	
	Dieldrine	1972	Divers
	Fenthion	2004	Agriculture, Maraîchage
	Flufenoxuron	2012	
	Heptachlore époxyde	1973	
	Lindane	1998	Divers
	Alpha HCH	métabolite Lindane	
	Beta HCH	métabolite Lindane	
	Epsilon HCH	métabolite Lindane	
	Propoxur	2010	Divers
2,4 D	Autorisé	Canne à sucre, ZNA	
Herbicides	Amétryne	2003	Ananas, banane, canne à sucre
	Atrazine	2003	Divers
	Déisopropylatrazine	métabolite Atrazine	
	Bromacil	2003	Agrumes, ananas, ZNA
	Diuron	2008	Ananas, banane, canne à sucre, ZNA
	Glyphosate AMPA	Autorisé métabolite Glyphosate	Banane, maraîchage, ZNA
	Glufosinate d'ammonium	Autorisé	Banane, maraîchage, ZNA
	Hexazinon	2008	Canne à sucre
	Imazaméthabenz méthyle	2006	
	Isoproturon 2CH3	Autorisé	Grandes cultures
	Linuron	Autorisé	Maraîchage
	Mécoprop	Autorisé	Gazon
	Métolachlore	2003	Canne à sucre
	Métolachlor ESA	métabolite Métolachlore	
	Métolachlor OXA	métabolite Métolachlore	
	Métoxuron	2007	
	Monuron	1994	Canne à sucre
	Mono-linuron	1988	
Terbutylazine	2004	Vigne	
Hydroxyterbutylazine	métabolite Terbutylazine		
Fongicides	Biphényl	1987	
	Carbendazime	2008	Multiples cultures, ZNA
	Congénère 138	1987	
	Métalaxyl	Autorisé	Maraîchage
	Propiconazole	Autorisé	Banane
	Imazalil	Autorisé	Agrume, banane
	Tébuconazole	Autorisé	Maraîchage
Triclocarban	2010	Divers	
Nématicide	Aldicarbe	2007	Banane, divers
Autres	Piperonyl butoxide	Autorisé	Divers

ZNA : zone non-agricole

Annexe 3
Résultats d'analyses en produits phytosanitaires du
réseau qualitatif de Martinique
sur la période 2011 - 2016

Annexe 4

Moyennes des moyennes annuelles (Mma) en produits phytosanitaires pour la période de 2011 à 2016

Masse d'eau	Communes	Lieu dit	n° BSS	Moyenne 2011	Moyenne 2012	Moyenne 2013	Moyenne 2014	Moyenne 2015	Moyenne 2016	Moyenne des moyennes Mma 2011-2016	
Nord - FRJG201	Basse Pointe	Chalvet	1166ZZ0026	0,364	0,086	0,123	0,099	0,087	0,052	0,135	
	Basse Pointe	Socco Gradis	1166ZZ0019	1,306	0,799					1,052	
	Basse Pointe	Socco Gradis Amont	1166ZZ0032		0,219	0,894	0,835	0,816		0,691	
	Basse Pointe	Source Hauteurs Bourdon	1166ZZ0020						0,000	0,000	
Nord Atlantique - FRJG202	Macouba	Nord Plage	1166ZZ0023	0,406	0,409	0,485	0,518	0,565	0,580	0,494	
	Basse Pointe	Rivière Falaise	1168ZZ0054	0,102	0,103	0,095	0,080	0,102	0,070	0,092	
	Marigot	Anse Charpentier	1169ZZ0006	0,157	0,117	0,165	0,066			0,126	
	Marigot	Anse Charpentier 2	1169ZZ0184					0,093	0,043	0,068	
	Trinité	Bassignac	1175ZZ0190					3,057	3,232	3,144	
	Lorrain	Fond Brulé	1169ZZ0084	5,041	4,360	4,530	3,566	3,057	3,734	4,048	
	Gros Morne	La Borelli	1174ZZ0088	0,016	0,014	0,025	0,022	0,018	0,018	0,019	
Nord Caraïbes - FRJG203	Trinité	Morne Figue	1175ZZ0153	0,904	0,946	1,003	0,916	1,234	1,031	1,006	
	Saint Pierre	GDST	1167ZZ0045	0,005	0,010	0,008	0,008	0,017	0,040	0,015	
	Schoelcher	Fond Lahaye	1177ZZ0177	0,015	0,012	0,016	0,013	0,099	0,008	0,027	
	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	1167ZZ0024	0,005	0,025	0,005	0,005	0,010	0,010	0,010	
	Carbet	Fond Canal	1172ZZ0063	0,006	0,020	0,006	0,009	0,017	0,016	0,012	
	Robert	Vert Pré	1175ZZ0106	0,233	0,277	0,241	0,299	0,300	0,215	0,261	
Centre - FRJG204	Lamentin	Habitation Ressource	1179ZZ0070	0,004	0,009	0,012	0,011	0,008	0,008	0,009	
	Rivière Salée	Nouvelle Cité	1182ZZ0160	0,006	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
	Marin	Grand Fond	1186ZZ0118	0,023	0,015	0,015	0,015	0,012	0,009	0,015	
Sud Atlantique - FRJG205	François	Habitation Victoire	1179ZZ0228	0,039	0,052	0,057	0,036	0,050	0,037	0,045	
	Rivière Pilote	Fougainville	1183ZZ0052	0,384	0,564	0,464	0,345	0,300	0,328	0,398	
Sud Caraïbes - FRJG206	Trois Ilets	Vatable	1181ZZ0132	0,015	0,050	0,059	0,021	0,173	0,021	0,056	
	Diamant	Habitation Dizac	1184ZZ0001	0,011	0,009	0,010	0,029	0,013	0,006	0,013	
				Moyenne des concentrations en produits phytosanitaires inférieure à 0,1 µg/l							
				Moyenne des concentrations en produits phytosanitaires supérieure à 0,1 µg/l							
				Les concentrations sont en µg/l							

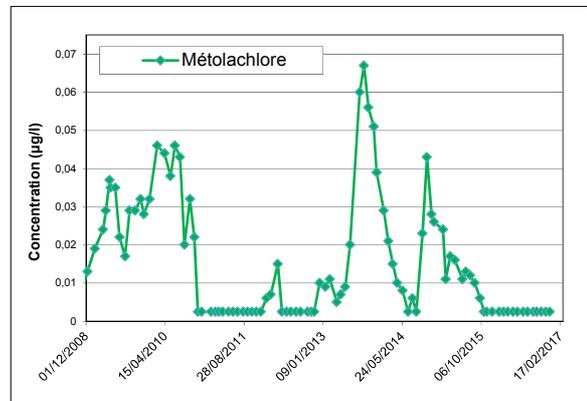
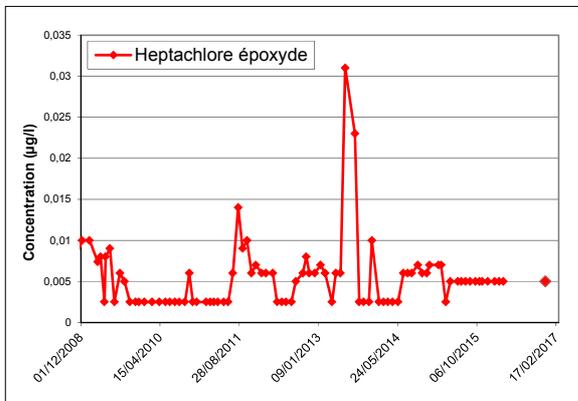
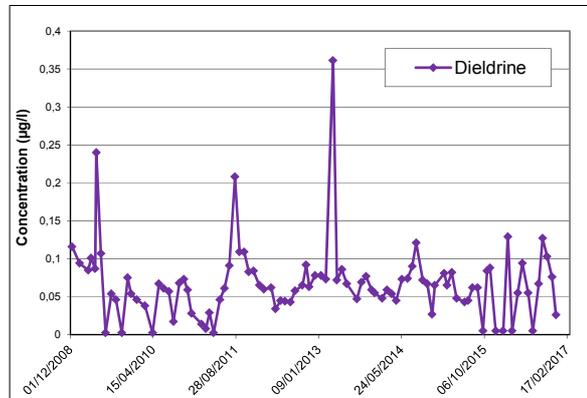
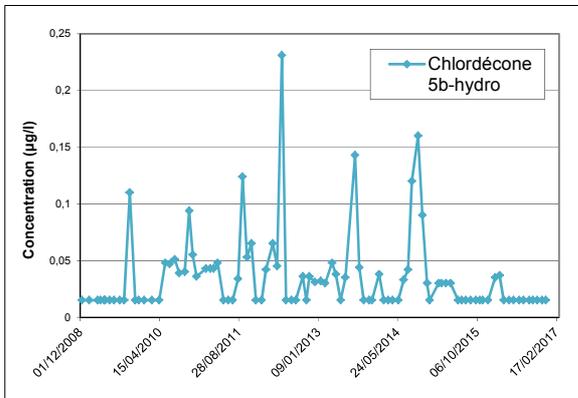
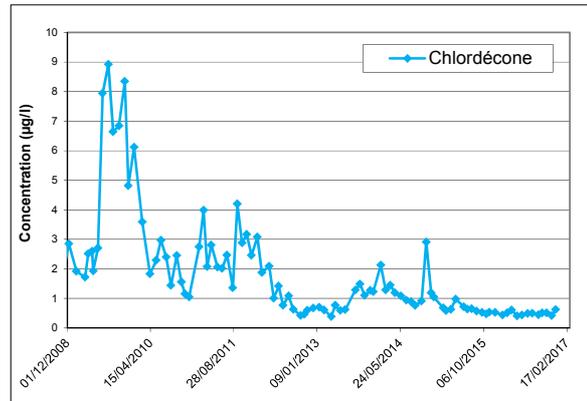
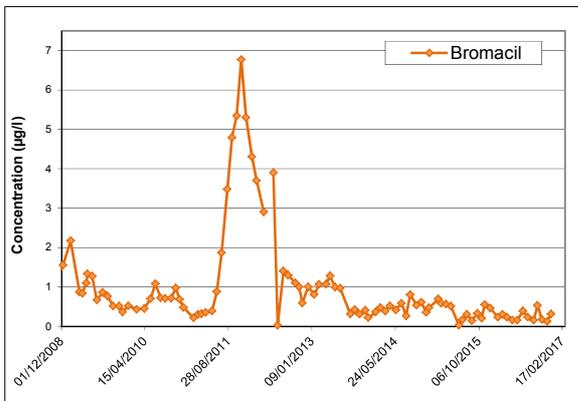
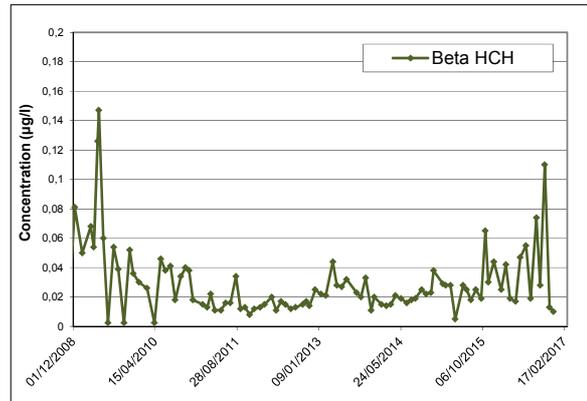
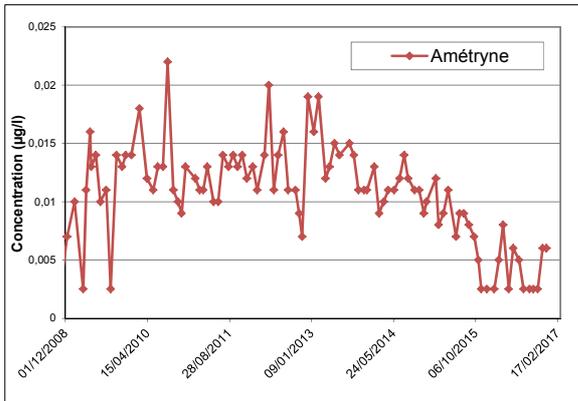
Annexe 5

Sommes annuelles en produits phytosanitaires pour la période de 2011 à 2016

Masse d'eau	Communes	Lieu dit	n° BSS	Somme 2011	Somme 2012	Somme 2013	Somme 2014	Somme 2015	Somme 2016	Moyenne des sommes 2011-2016	
Nord - FRJG201	Basse Pointe	Chalvet	1166ZZ0026	7,273	1,685	2,435	1,972	1,797	0,879	2,674	
	Basse Pointe	Socco Gradis	1166ZZ0019	19,548	11,917					15,732	
	Basse Pointe	Socco Gradis Amont	1166ZZ0032		1,480	6,258	6,657	7,377		5,443	
	Basse Pointe	Source Hauteurs Bourdon	1166ZZ0020						0,000	0,000	
	Macouba	Nord Plage	1166ZZ0023	4,053	4,077	4,844	5,683	6,717	5,731	5,184	
	Basse Pointe	Rivière Falaise	1168ZZ0054	1,321	1,313	1,231	1,037	1,537	0,967	1,234	
Nord Atlantique - FRJG202	Marigot	Anse Charpentier	1169ZZ0006	1,241	0,909	1,293	0,500			0,986	
	Marigot	Anse Charpentier 2	1169ZZ0184					0,185	0,070	0,128	
	Trinité	Bassignac	1175ZZ0190					9,171	9,695	9,433	
	Lorrain	Fond Brulé	1169ZZ0084	35,282	30,516	31,703	28,524	27,494	33,593	31,185	
	Gros Morne	La Borelli	1174ZZ0088	0,030	0,013	0,079	0,068	0,000	0,000	0,032	
	Trinité	Morne Figue	1175ZZ0153	4,516	4,734	5,017	5,492	8,630	5,149	5,589	
Nord Caraïbes - FRJG203	Saint Pierre	CDST	1167ZZ0045	0,019	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	
	Schoelcher	Fond Lahaye	1177ZZ0177	0,021	0,019	0,047	0,033	0,683	0,000	0,134	
	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	1167ZZ0024	0,004	0,151	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	
	Carbet	Fond Canal	1172ZZ0063	0,013	0,076	0,009	0,004	0,000	0,000	0,017	
	Robert	Vert Pré	1175ZZ0106	1,853	2,210	1,903	2,681	2,630	1,866	2,190	
	Lamentin	Habitation Ressource	1179ZZ0070	0,011	0,018	0,073	0,040	0,000	0,000	0,024	
Centre - FRJG204	Rivière Salée	Nouvelle Cité	1182ZZ0160	0,021	0,019	0,000	0,000	0,004	0,000	0,007	
	Marin	Grand Fond	1186ZZ0118	0,023	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,005	
	François	Habitation Victoire	1179ZZ0228	0,367	0,480	0,529	0,319	0,437	0,299	0,405	
Sud Atlantique - FRJG205	Rivière Pilote	Fougainville	1183ZZ0052	1,919	2,816	2,302	2,025	1,775	1,930	2,128	
	Trois Îlets	Vatable	1181ZZ0132	0,000	0,173	0,198	0,051	0,848	0,000	0,212	
Sud Caraïbes - FRJG206	Diamant	Habitation Dizac	1184ZZ0001	0,026	0,005	0,015	0,164	0,030	0,000	0,040	
				Somme des concentrations en produits phytosanitaires inférieure à 0,5 µg/l							
				Somme des concentrations en produits phytosanitaires supérieure à 0,5 µg/l							
				Les concentrations sont en µg/l							

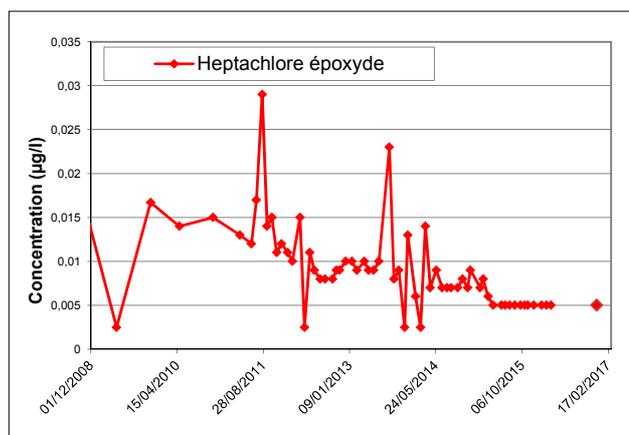
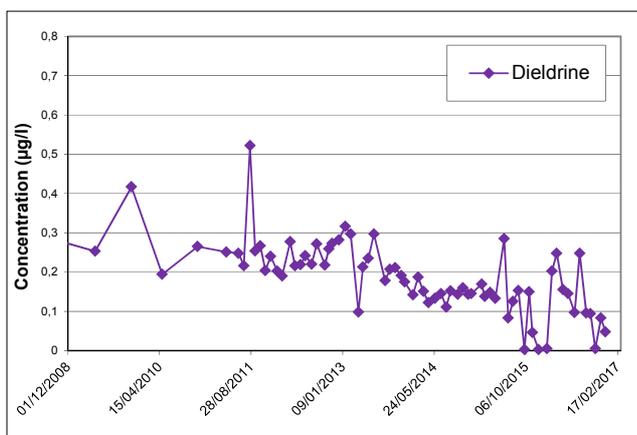
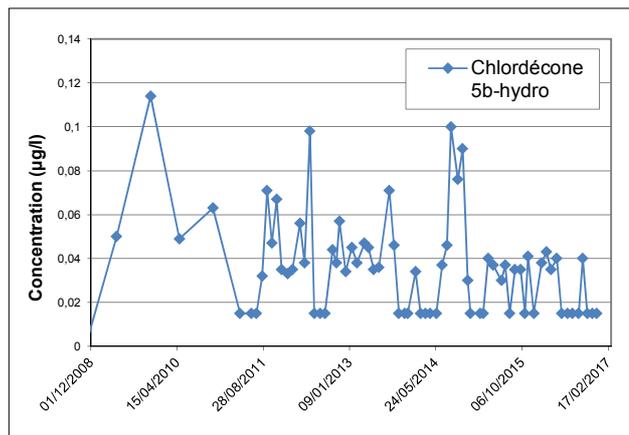
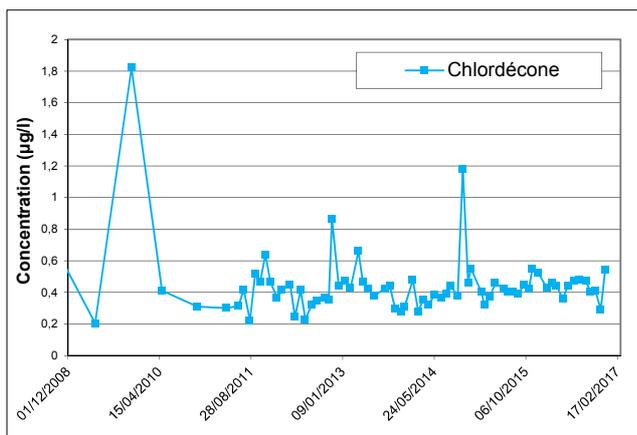
Annexe 6

Fluctuations mensuelles des produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe - Chalvet



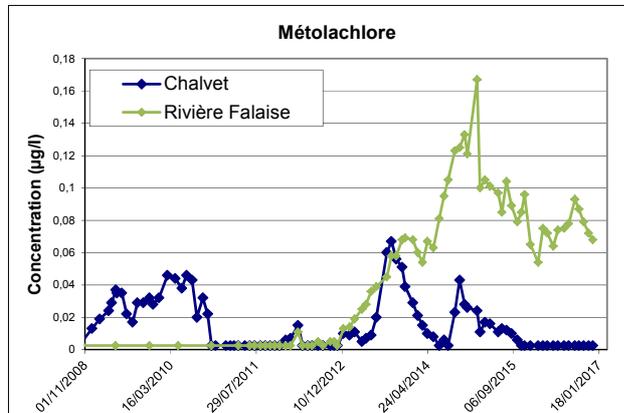
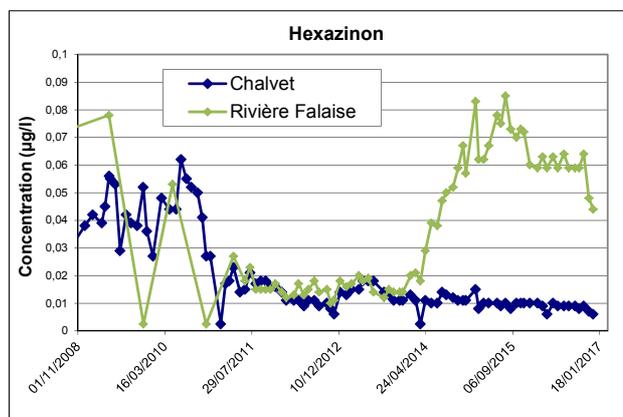
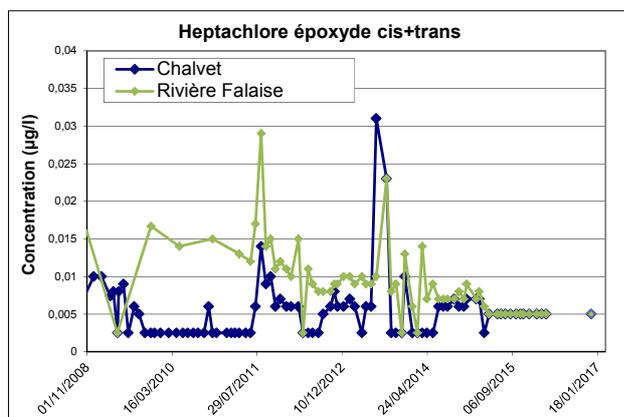
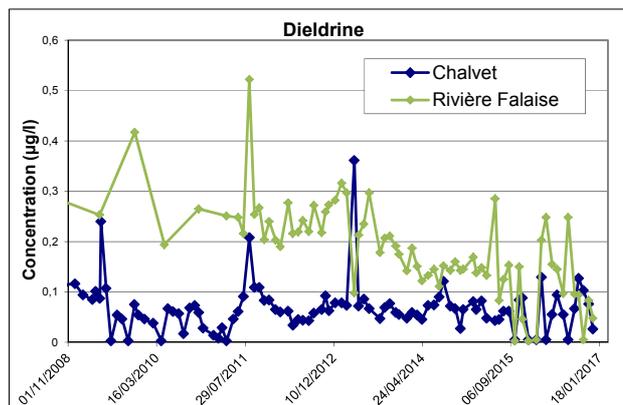
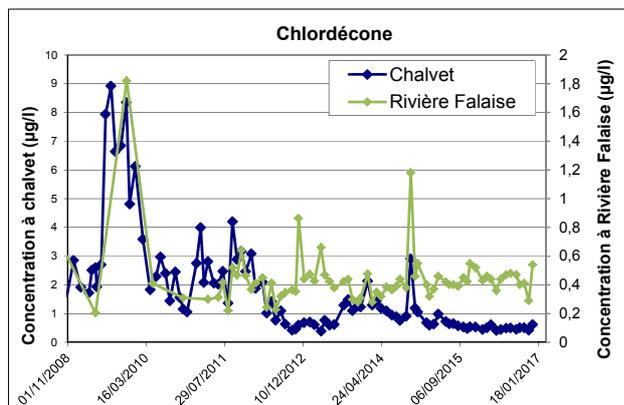
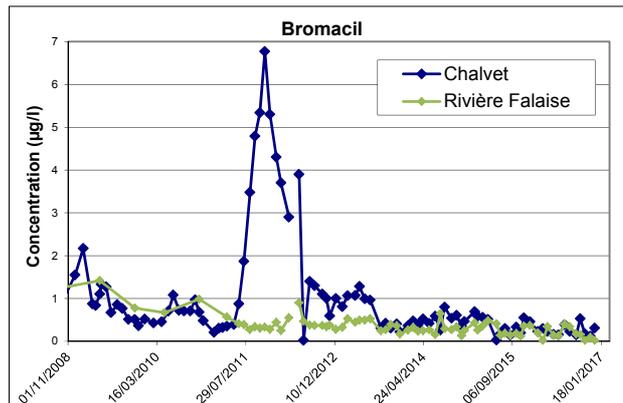
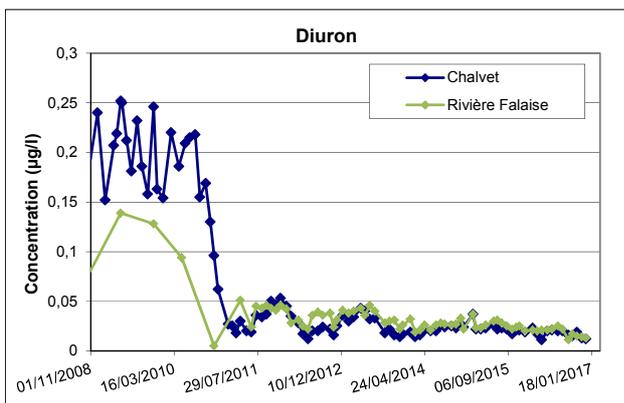
Annexe 7

Fluctuations mensuelles des produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe – Rivière Falaise



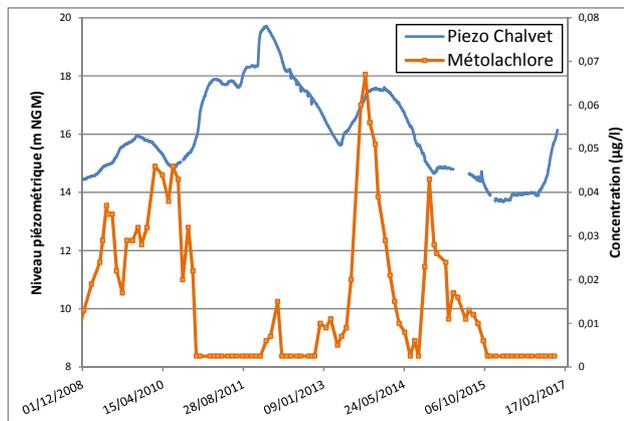
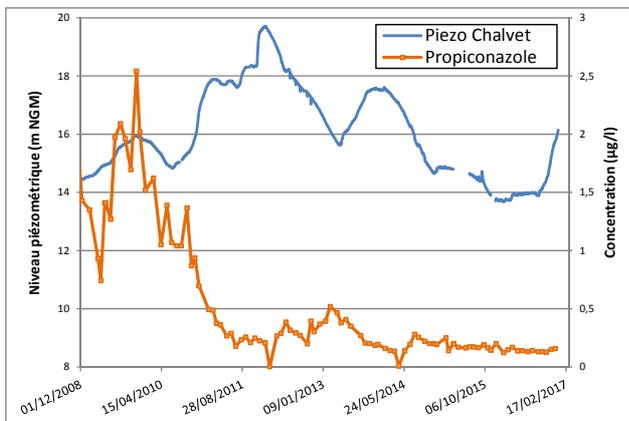
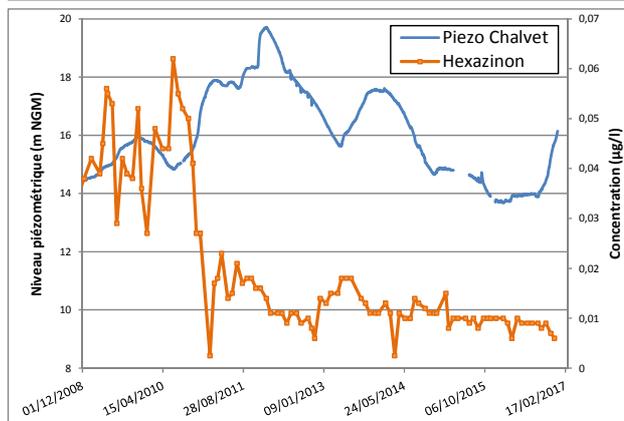
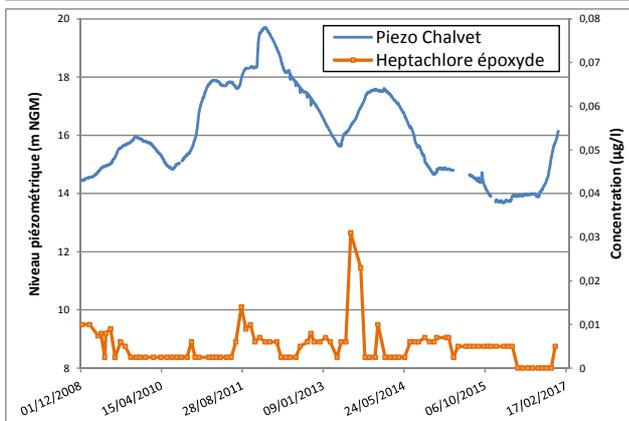
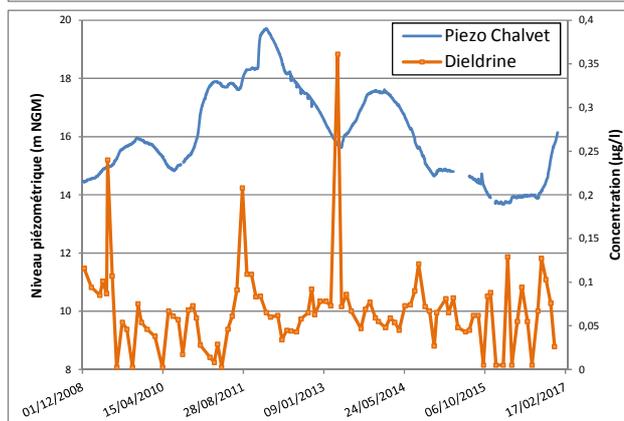
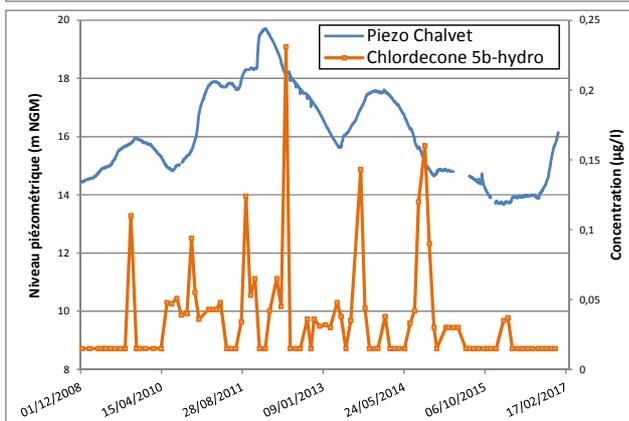
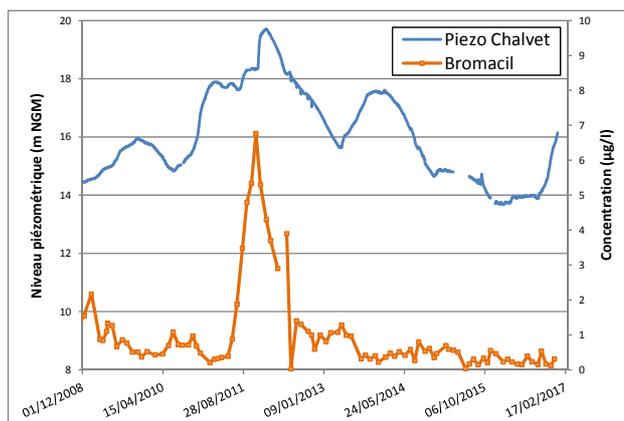
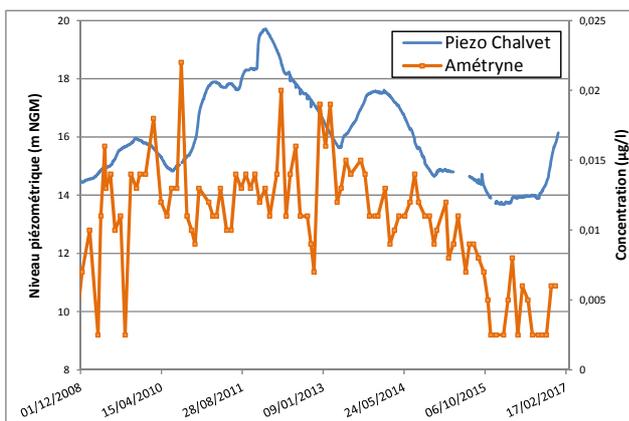
Annexe 8

Comparaison des fluctuations mensuelles des produits phytosanitaires sur les stations de Basse Pointe à Chalvet et Rivière Falaise



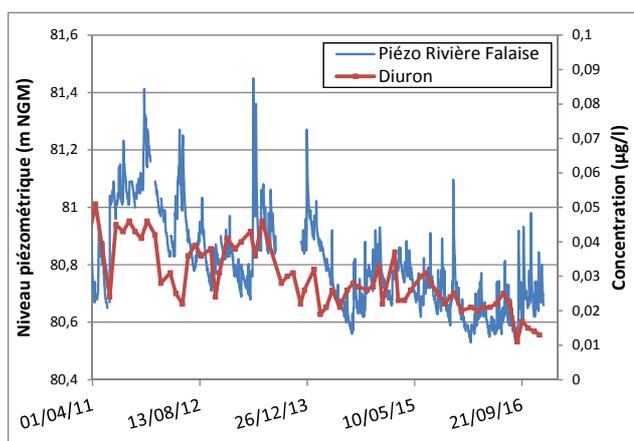
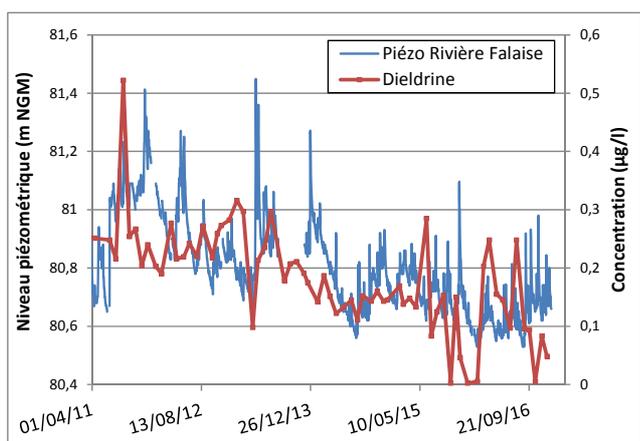
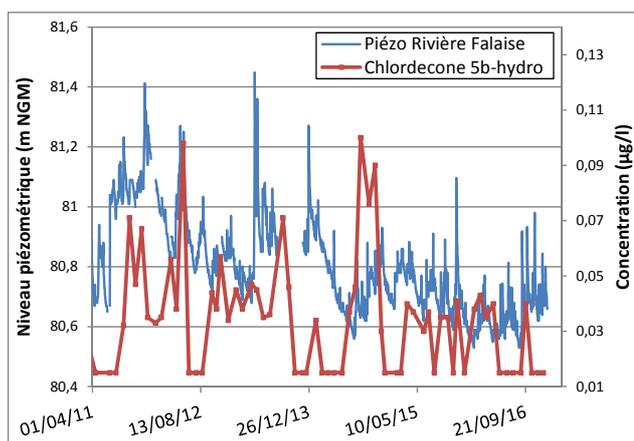
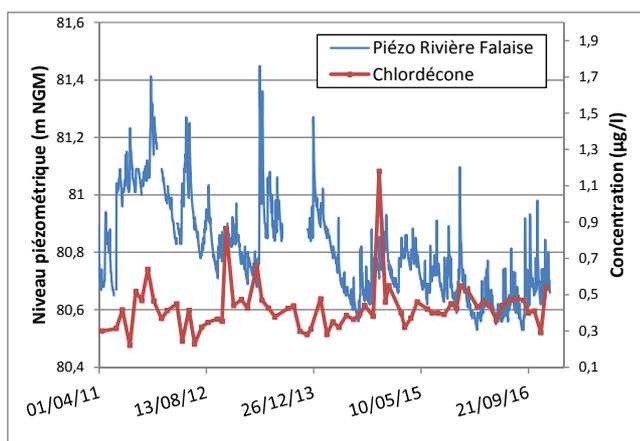
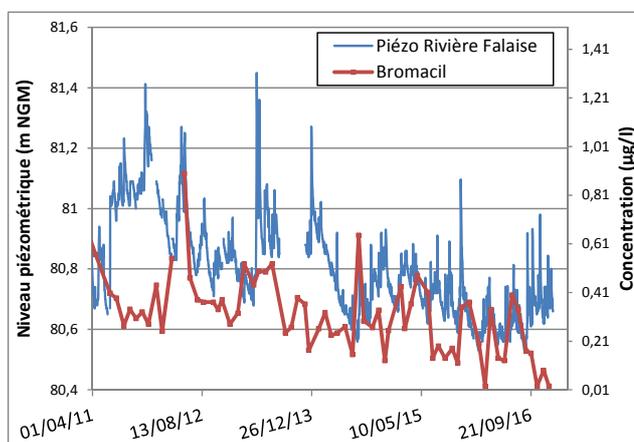
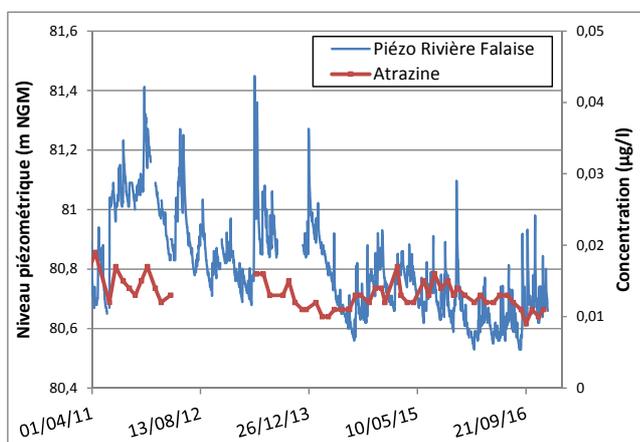
Annexe 9

Relation piézométrique et concentration en produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe - Chalvet



Annexe 10

Relation piézométrique et concentration en produits phytosanitaires sur la station de Basse Pointe - Rivière Falaise





Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale de Martinique
4 lot. Miramar
Route Point des Nègres
97200 – Fort De France - Martinique
Tél. : 05 96 71 17 70