



Evaluation de l'état des masses d'eau souterraines de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2013

Rapport final

BRGM/RP-64739-FR

Août 2015



Evaluation de l'état des masses d'eau souterraines de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2013

Rapport final

BRGM/RP-64739-FR

Août 2015

Étude réalisée dans le cadre du projet
d'appui aux politiques publiques du BRGM 13OBS0842

M. Michou, A.-L. Taïlamé

Vérificateur :

Nom : L. Gourcy

Date :

Approbateur :

Nom : J.-C. Audru

Date :

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



Mots clés : Réseau de surveillance, Directive Cadre sur l'Eau, État masse d'eau, 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 :

Michou M. et Taïlamé A.-L. (2013) – Evaluation de l'état des masses d'eau souterraines de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2013. Rapport BRGM/RP-64739-FR, 107 p., 58 ill., 8 ann.

© BRGM, 2013. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La directive cadre européenne sur l'eau (Directive 2000/60/CE ou 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 pour l'année 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 de 18 points au titre du contrôle de surveillance et du contrôle opérationnel et de 2 points au titre du contrôle opérationnel. Depuis décembre 2008, il est complété par un suivi mensuel sur 2 points de surveillance.

L'année 2013 marque la 6^{ème} année du programme de surveillance et fait donc l'objet d'une révision de l'état des lieux des masses d'eau souterraine.

La procédure d'évaluation de l'état des masses d'eau, intégrant les tests de l'enquête appropriée (lors d'un dépassement des valeurs seuils), 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 chimique des masses d'eau souterraines.

L'appréciation de l'état quantitatif s'appuie sur l'exploitation des données issues du réseau piézométrique de Martinique qui compte 29 ouvrages. Dans un souci de représentativité temporelle des chroniques, la période 2005-2013 a été retenue pour définir les états quantitatifs.

L'évaluation de l'état qualitatif repose d'une part sur le traitement des données acquises dans le cadre du réseau de surveillance DCE de la Martinique (réseau de contrôle de surveillance (RCS) et de contrôle opérationnel (RCO)), et d'autre part sur toutes les données de surveillance issues de réseaux autres que DCE et disponibles via la banque de données ADES. La période de référence commune proposée pour cette évaluation s'étend de 2007 à 2010 (d'après la circulaire du 23 octobre 2012 relative à l'arrêté du 17 septembre 2008). Toutefois les données jusqu'à 2013 ont été consultées pour affiner le diagnostic.

A l'issue de cette expertise, la totalité des masses d'eau souterraines 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 sur six apparaissent classées en bon état. Il s'agit des masses d'eau Nord Caraïbes (FRJG203), Sud Atlantique (FRJG205) et Sud Caraïbes (FRJG206). Les autres, masse d'eau Nord (FRJG201), Nord Atlantique (FRJG202) et Centre (FRJG204) sont classées en mauvais état en raison d'une contamination étendue aux pesticides organochlorés.

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

La poursuite d'un suivi mensuel sur 2 des points du réseau sur un nouveau cycle hydrologique a permis d'apprécier les différences existant d'un cycle à l'autre (variations saisonnières plus modérées en 2011-2012 puis 2012-2013 vs. 2009-2011). L'apport de mesures à fréquence mensuelle est indéniable d'une part pour valider les résultats des analyses semestrielles et d'autre part pour caractériser les variations observées et tenter de les expliquer.

Au regard des nouvelles données disponibles, il est probable que les cycles pluri-annuels se surimposant aux cycles intra-annuels des nappes jouent un rôle primordial sur les concentrations en pesticides mesurées dans les eaux. Compte tenu de l'inertie des nappes, la validation de cette hypothèse nécessite cependant une acquisition de données sur le long terme.

Une étude complémentaire sur les sources des masses d'eau Centre et Sud Atlantique ont permis de mettre en évidence la nécessité de mise à jour de l'estimation de la représentativité spatiale des points de mesure pour certaines masses d'eau potentiellement à risque phytosanitaires.

L'analyse de diagraphies physico-chimiques sur plusieurs forages notamment sur certains appartenant au réseau DCE, permet une meilleure compréhension des aquifères captés et une mise à jour des méthodes de prélèvement employées.

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. Synthèse des données acquises	20
2.2. RECENSEMENT DES DONNÉES « QUALITÉ »	21
2.2.1. Fonctionnement des réseaux de contrôle	21
<u>Surveillance semestrielle</u>	24
<u>Surveillance mensuelle</u>	25
2.2.2. Mise à disposition des données	25
3. Les procédures d'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine	27
3.1. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUANTITATIF	27
3.1.1. Définition du « bon état quantitatif »	27
3.1.2. Procédure générale : description des tests de classification pour l'évaluation de l'état quantitatif	27
3.1.3. Période de référence	30
3.2. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUALITATIF	30
3.2.1. Définition du « bon état chimique »	30
3.2.2. Procédure générale	31
3.2.3. Période de référence	37
3.2.4. Valeurs seuils et normes de qualité	37
3.2.5. Limite de quantification	37
3.2.6. Niveau de confiance de l'évaluation	38
4. Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique	41
4.1. ÉVALUATION DU BON ÉTAT QUANTITATIF	41
4.1.1. Présentation des résultats	41
4.1.2. Évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraines dans le cadre de la révision 2013	42

4.2. ÉVALUATION DU BON ÉTAT QUALITATIF	43
4.2.1. Masse d'eau Nord – FRJG201	43
4.2.2. Masse d'eau Nord Atlantique – FRJG202.....	45
4.2.3. Masse d'eau Nord Caraïbe – FRJG203.....	47
4.2.4. Masse d'eau Centre – FRJG204	48
4.2.5. Masse d'eau Sud Atlantique – FRJG205	50
4.2.6. Masse d'eau Sud Caraïbes – FRJG206	50
4.2.7. Réalisation des enquêtes appropriées et niveau de confiance	52
5. Dossiers complémentaires : Suivi mensuel de la contamination par les produits phytosanitaires.....	57
5.1. MÉTHODOLOGIE	57
5.2. PRÉSENTATION DES DEUX POINTS DE SURVEILLANCE CONCERNÉS PAR LE SUIVI MENSUEL	57
5.2.1. Contexte géologique et hydrogéologique.....	57
5.2.2. Pressions agricoles et contamination	61
5.3. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX ET VARIABILITÉ TEMPORELLE	63
5.4. ÉVOLUTION MENSUELLE DES CONCENTRATIONS EN PESTICIDES	64
5.4.1. Apport de la fréquence mensuelle	64
5.4.2. Fluctuations mensuelles par molécule.....	65
5.5. RELATION PIÉZOMETRIE-CONCENTRATIONS EN PESTICIDES	68
5.5.1. À Chalvet.....	68
5.5.2. Chez Lélène	70
5.6. RELATION PIÉZOMETRIE – CONCENTRATION EN NITRATES.....	71
5.7. ÂGE DES EAUX SOUTERRAINES ET CONTAMINATION PAR LES PESTICIDES	71
5.7.1. À Chalvet.....	71
5.7.2. Chez Lélène	72
5.8. CONCLUSIONS SUR LE SUIVI MENSUEL DE DEUX POINTS D'EAU	74
6. Dossiers complémentaires : Sources complémentaires.....	75
6.1. SOURCES COMPLÉMENTAIRES	75
6.2. LES ÉLÉMENTS PHYSICO-CHIMIQUES, MAJEURS ET ÉLÉMENTS EN TRACES.....	78

6.2.1. Les paramètres physico-chimiques mesurés sur place	78
6.2.2. Les éléments majeurs	79
6.3. NITRATES (NO ₃ ⁻).....	80
6.4. PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	83
7. Dossiers complémentaires : Diagraphies physico-chimiques.....	86
7.1.1. Présentation du principe de mesure	86
7.1.2. Interprétation des résultats obtenus	90
8. Conclusions	103
9. Bibliographie	105

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de répartition des stations du réseau piézométrique de Martinique (décembre 2013)	19
Illustration 2 : Taux d'acquisition des mesures et nombre de points du réseau.....	20
Illustration 3 : Stations constituant le réseau unitaire RDESOUPMAR du BRGM Martinique	21
Illustration 4 : Liste des points de surveillance du réseau DCE en 2013 (Cs = contrôle de surveillance, Co = contrôle opérationnel)	22
Illustration 5 : Situation géographique des ouvrages du réseau DCE en 2013.....	23
Illustration 6 : Paramètres analysés dans le cadre de la surveillance semestrielle 2013	25
Illustration 7 : Tests de classification pour l'évaluation de l'état quantitatif et l'application de l'enquête appropriée au titre de l'évaluation de l'état chimique	28
Illustration 8 : Définition du bon état chimique des masses d'eau souterraines – Extrait de la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE, annexe V.2.3.2.....	31
Illustration 9 : Procédure générale pour l'évaluation du bon état chimique d'une masse d'eau souterraine	33
Illustration 10 : Test qualité général permettant d'évaluer la proportion de la masse d'eau en bon état.....	35
Illustration 11 : Tableau des paramètres à analyser avec une fréquence de 1 à 2 fois par an (arrêté du 25 janvier 2010 sur la surveillance de l'état des eaux).....	38
Illustration 12 : Types de fluctuations piézométriques rencontrées en Martinique.....	42
Illustration 13 : Tableau récapitulatif des nouvelles valeurs seuils proposées pour la Martinique	46
Illustration 14 : Évolution des concentrations en chlordécone depuis 2006.....	47
Illustration 15 : Carte de risque de contamination des eaux souterraines par les intrants agricoles et pourcentage des superficies concernées par masse d'eau (avec et sans hiérarchisation de la pression associée à chaque type de culture) ; Arnaud et Wiat (2010).....	53
Illustration 15 : Résultats de l'enquête appropriée pour l'évaluation de l'état qualitatif des 6 masses d'eau souterraine de la Martinique, dans le cadre de la révision de l'état des lieux 2013.....	55
Illustration 17 : Carte de l'état qualitatif des points d'eau et masse d'eau souterraine évalué dans le cadre de la révision de l'état des lieux 2013	56
Illustration 18 : Carte géologique (Westercamp et al., 1990)	58
Illustration 19 : Coupes géologiques et techniques des forages de Chalvet (à gauche) et Chez Lélène (à droite)	59
Illustration 20 : Chronique piézométrique du forage de Chalvet au pas de temps journalier (juillet 2006 – décembre 2013)	60

Illustration 21 : Chronique piézométrique du forage Chez Lélène au pas de temps journalier (janvier 2006 – décembre 2013)	60
Illustration 22 : Chronique piézométrique de Chez Lélène au pas de temps horaire (du 7 au 14 mai 2012)	61
Illustration 23 : Délimitation approximative des bassins d'alimentation des forages Chez Lélène et Chalvet (les zones hachurées correspondent aux principales zones de recharge) (Arnaud et al., 2013)	61
Illustration 24 : Carte de l'occupation du sol (CNASEA, 2006)	62
Illustration 25 : Récapitulatif des principales molécules détectées dans les eaux souterraines pour Chalvet et Chez Lélène	63
Illustration 26 : Évolution de la conductivité électrique de l'eau à Chalvet et Chez Lélène	64
Illustration 27 : Évolution des concentrations en silice et potassium à Chalvet et Chez Lélène	64
Illustration 28 : Évolution des concentrations en beta HCH à Chalvet depuis décembre 2005 et des teneurs en chlordécone-5b-hydro à Chez Lélène depuis avril 2009	65
Illustration 29 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe_Chalvet pour différents pesticides (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont arbitrairement représentées comme égales à LQ/2)	66
Illustration 30: Comparaison des fluctuations mensuelles sur Chalvet et Chez Lélène pour la chlordécone, la chlordécone 5B-hydro, la dieldrine, l'heptachlore époxyde, le beta HCH, le diuron et le bromacil	68
Illustration 31 : Fluctuations des concentrations en chlordécone et bromacil et du niveau piézométrique au droit du forage de Basse Pointe_Chalvet	69
Illustration 32 : Fluctuations des concentrations en diuron, propiconazole, beta HCH et hexazinon et du niveau piézométrique au droit du forage de Basse Pointe_Chalvet	69
Illustration 33 : Fluctuations des concentrations en dieldrine, beta HCH, bromacil, chlordécone, diuron et hexazinon et du niveau piézométrique au droit du forage de Basse-Pointe_Chez Lélène	70
Illustration 34 : Fluctuations des concentrations en nitrates et du niveau piézométrique au droit des forages de Chalvet et de Chez Lélène	71
Illustration 35 : Variations des CFC-12, CFC-113 et NO3 au forage Chalvet	72
Illustration 36 : Variations des CFC-12, CFC-113 et NO3 au forage Chez Lélène	73
Illustration 37 : Liste des sources complémentaires et dates de prélèvements	76
Illustration 38 : Localisation des sources complémentaires	77
Illustration 39 : Paramètres physico-chimiques in situ des 24 sources	79
Illustration 40 : Diagramme de Piper des sources complémentaires	80
Illustration 41 : Concentrations en nitrates des sources échantillonnées sur la masse d'eau Centre	81
Illustration 42 : Concentrations en nitrates des sources échantillonnées sur la masse d'eau Sud Atlantique	82
Illustration 43 : Produits phytosanitaires quantifiés sur la masse d'eau Centre	84

Illustration 44 : Produits phytosanitaires quantifiés sur la masse d'eau Sud Atlantique	85
Illustration 45 : Dispositif d'acquisition d'un logging géochimique	87
Illustration 46 : Liste des points sondés.....	88
Illustration 47 : Carte de répartition des points sondés	89
Illustration 48 : Résultat d'un logging géochimique	90
Illustration 49 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Rivière Pilote - Fougainville (pour le logging, la profondeur 0 correspond au toit de la nappe)	91
Illustration 50 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Saint Joseph - Coeur Bouliki	92
Illustration 51 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage du Carbet – Fond Canal.....	94
Illustration 52 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Schoelcher – Fond Lahaye.....	95
Illustration 53 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage des Trois Ilets - Vatable	96
Illustration 54 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage du Robert - Pontaléry.....	97
Illustration 55 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Basse Pointe – Chez Lélène	98
Illustration 56 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Rivière Salée – Nouvelle Cité.....	99
Illustration 57 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Lorrain – Fond Brulé	100
Illustration 58 : Tableau de proposition des nouvelles profondeurs de pompe durant les campagnes DCE.....	102

Liste des annexes

Annexe 1 Synthèse du nombre de données existantes sur ADES, par paramètres, sur la période 2007-2013	109
Annexe 2 Moyennes des moyennes annuelles (<i>Mma</i>) et fréquence de dépassement supérieure à 20 % (<i>Freq</i>) pour la masse d'eau Nord – FRJ201	113
Annexe 3 Moyennes des moyennes annuelles (<i>Mma</i>) et fréquence de dépassement (<i>Freq</i>) pour la masse d'eau Nord Atlantique – FRJ202	117
Annexe 4 Moyennes des moyennes annuelles (<i>Mma</i>) et fréquence de dépassement (<i>Freq</i>) pour la masse d'eau Nord Caraïbes – FRJ203.....	121
Annexe 5 Moyennes des moyennes annuelles (<i>Mma</i>) et fréquence de dépassement (<i>Freq</i>) pour la masse d'eau Centre – FRJ204	125
Annexe 6 Moyennes des moyennes annuelles (<i>Mma</i>) et Atlantique – FRJ205.....	129
Annexe 7 Moyennes des moyennes annuelles (<i>Mma</i>) et fréquence de dépassement (<i>Freq</i>) pour la masse d'eau Sud Caraïbes – FRJ206	133
Annexe 8 Diagraphies.....	137

1. Introduction

La directive cadre européenne sur l'eau (Directive 2000/60/CE ou 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 Martinique (ODE) et le BRGM financent un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines de Martinique qui se traduit depuis 2008 par le suivi de 18 points au titre du contrôle de surveillance et du contrôle opérationnel, et de 2 points au titre du contrôle opérationnel. Ce suivi est basé sur 2 campagnes de prélèvements par an (en avril pour la saison sèche et en novembre pour la saison des pluies). Depuis décembre 2008, il est complété par un suivi mensuel sur 2 points de surveillance.

Les objectifs assignés aux masses d'eau constituent les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et sont rédigés par le Comité de Bassin. Quant aux types d'actions clés à engager pour atteindre ces objectifs environnementaux, elles sont regroupées dans les programmes de mesures (PDM) préparés par le préfet coordonnateur de bassin et ont été approuvées fin 2009 pour la période 2009-2015.

La DCE établissant des cycles de travail de 6 ans, les SDAGE sont également révisés à ce pas temporel. 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 achevé en 2004 et a été mis à jour en 2013.

Selon l'article R212-3 du code de l'environnement, l'état des lieux comprend trois volets :

- Une analyse des caractéristiques du bassin ou du groupement de bassins qui inclue notamment la présentation des masses d'eau du bassin et l'évaluation de leur état ;
- Une analyse des impacts des activités humaines sur l'état des eaux comportant une évaluation des pressions et du risque de non atteinte des objectifs environnementaux à l'horizon 2015 ;
- Une analyse économique de l'utilisation de l'eau présentant les activités utilisatrices de l'eau, les prix moyens et modalités de tarification des services collectifs de distribution d'eau et d'irrigation ainsi qu'une évaluation du coût des utilisations de l'eau.

Le présent rapport s'intéresse à l'évaluation de l'état des masses d'eau qui prend appui sur les données issues du réseau piézométrique de Martinique ainsi que 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. Puis, 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 et permet ainsi d'établir une carte générale de cet état. Dans une quatrième partie, une attention particulière est portée au suivi mensuel réalisé sur deux

points de surveillance fortement contaminés par les produits phytosanitaires. Enfin, le dernier point rassemble les résultats obtenus suite aux diagraphies réalisées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer l'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine, ainsi que ceux ayant pour objectif d'affiner nos connaissances sur les zones supposées dégradées. Ces derniers correspondent à des résultats d'analyses d'échantillons provenant de 27 sources judicieusement sélectionnées.

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 2013, 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 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**).

Ce réseau a ainsi pour fonction d'acquérir des données piézométriques et hydrométriques (lorsque les débits mesurés ont une représentativité hydrogéologique – ex : 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.

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 entraînent 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 2003, les observations périodiques (manuelles) étaient bimestrielles. En 2003-2004, le réseau a été optimisé et complété par la mise en place de 9 nouveaux piézomètres.

En 2004, 10 sites sélectionnés ont été modernisés et équipés d'appareils de mesure (« Thalimèdes » et « Logosens » de OTT à télétransmission), 16 sites ont été nivelés et des travaux d'entretien ont été réalisés sur certains points du réseau.

En 2005, 8 forages ont été réalisés et 10 nouveaux points du réseau ont été équipés d'appareils de mesure (« Thalimèdes » et « Logosens » de OTT à télétransmission).

En 2006, 13 sites ont été équipés d'appareils de mesure, 14 nivelés et des travaux d'entretien ont été réalisés sur certains points du réseau. Fin 2006, le réseau piézométrique est constitué de 33 points suivis en continu, nivelés, protégés et entretenus.

En 2007, 4 sites sont abandonnés, du fait du caractère redondant de leur chronique piézométrique avec celles d'autres sites du réseau situés à proximité. Le réseau est alors constitué de 29 ouvrages, tous équipés de dispositifs de télétransmission des données.

Depuis 2007, le réseau n'a pas subi de changements importants et l'effectif est toujours de 29 points de suivi.

Une carte recensant les stations du réseau unitaire est présentée en Illustration 1.

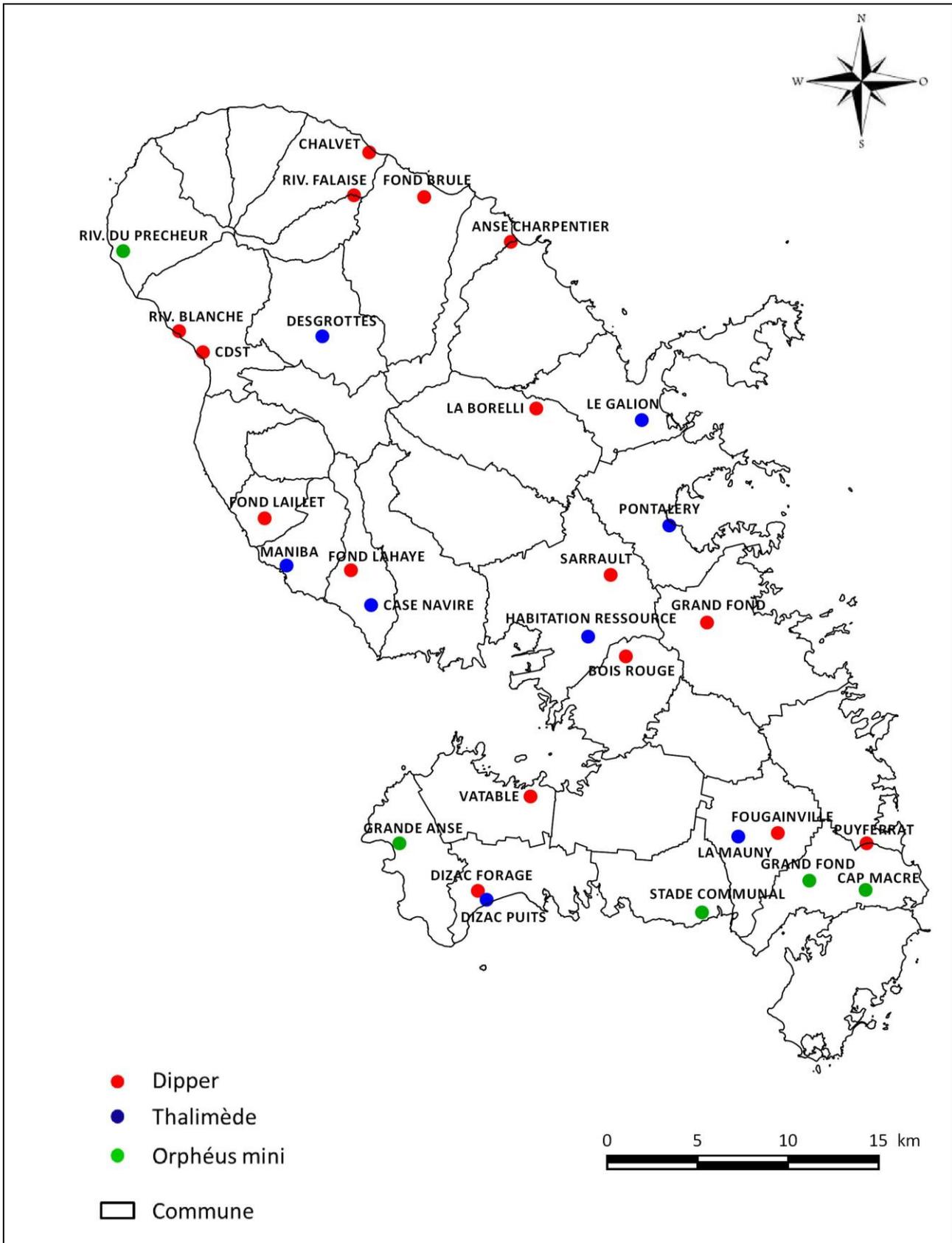


Illustration 1 : Carte de répartition des stations du réseau piézométrique de Martinique (décembre 2013)

2.1.2. Synthèse 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.

L'exercice 2013 montre un taux d'acquisition global des données d'environ 92%. Comme le souligne l'illustration 2, ce taux d'acquisition est en amélioration depuis 2007, grâce à une meilleure connaissance du matériel, son renouvellement ainsi qu'aux retours d'expérience de ces dernières années.

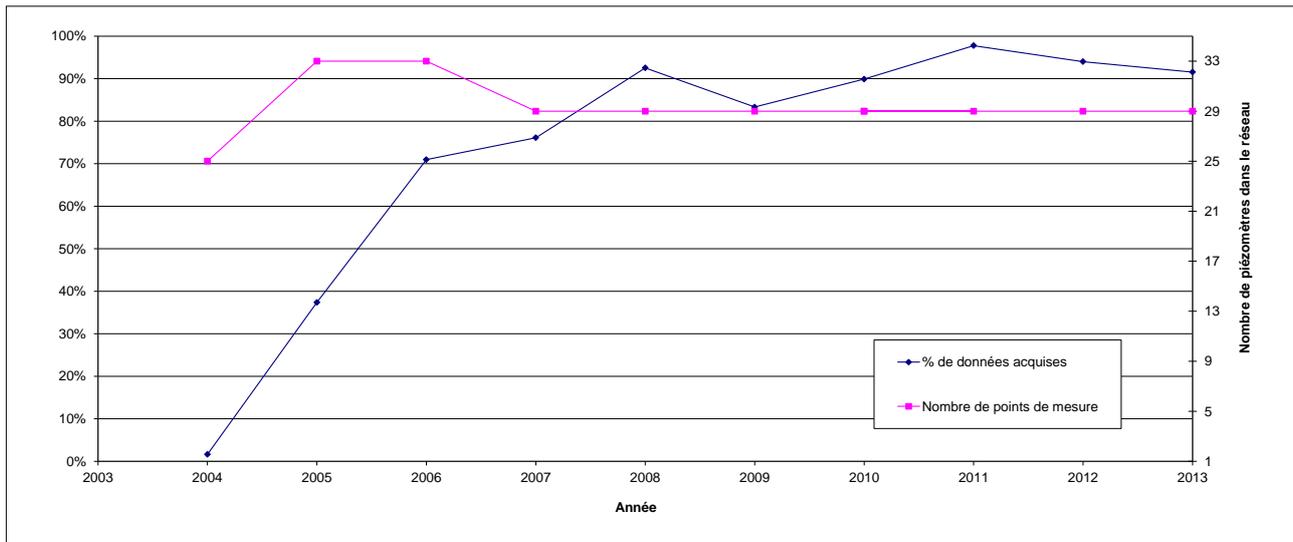


Illustration 2 : Taux d'acquisition des mesures et nombre de points du réseau

L'illustration 3 présente les 29 stations composant le réseau de surveillance des eaux souterraines de Martinique, leur identifiant national (code BSS) ainsi que le nombre de données disponibles sur la période 2004-2013.

Cet intervalle de temps a été défini arbitrairement suite à un souci de représentativité temporelle. En effet, les dates de début d'acquisition sur les points d'eau du réseau sont très variables (1976 à 2008). Par ailleurs, les premières données recensées sont relativement sporadiques (fréquences de mesures irrégulières). Ainsi, en sachant également que les chroniques doivent être de longue durée pour pouvoir apprécier l'état quantitatif d'une nappe d'eau et notamment les tendances d'évolution, les données ont été prises en compte à partir de l'année 2004.

NOM DU POINT D'EAU	CODE BSS	NOMBRE DE DONNÉES
Chalvet	1166ZZ0026/NF8	2713
Rivière Blanche	1167ZZ0023/RBS1	3037
Rivière du Prêcheur	1167ZZ0024/PRS1	2167
CDST	1167ZZ0045/NF6	2582
Desgrottes	1168ZZ0037/F1	3175
Rivière Falaise	1168ZZ0054/PZ	3096
Anse Charpentier	1169ZZ0006/F	2627
Fond Brûlé	1169ZZ0084/NF7	2511
Fond Laillet	1173ZZ0082/NF5	2553
La Borelli	1174ZZ0088/PZ	2832
Le Galion	1175ZZ0154/NF4	2846
Case Navire	1177ZZ0165/CNF2	3039
Maniba	1177ZZ0173/PZ	3033
Fond Lahaye	1177ZZ0177/PZ2	1978
Habitation Ressource	1179ZZ0039/P.6	2909
Bois Rouge	1179ZZ0157/CR-S2	2797
Sarrault	1179ZZ0158/PR-S1	2302
Grand Fond	1179ZZ0299/NF2	2853
Pontaléry	1179ZZ0300/NF3	2858
Grande Anse	1181ZZ0131/PZ	2560
Vatable	1181ZZ0132/PZ	2463
La Mauny	1183ZZ0024/S2	2613
Puyferrat	1183ZZ0026/S1	2233
Fougainville	1183ZZ0052/PZ	2586
Forage Dizac	1184ZZ0001/S1	2769
Puits Habitation Dizac	1184ZZ0028/N-3	2414
Stade communal	1185ZZ0120/PZ	2685
Grand Fond	1186ZZ0118/SMA4	2173
Cap macré	1186ZZ0119/CMF1	2341

Illustration 3 : Stations constituant le réseau unitaire RDESOUPMAR du BRGM Martinique

2.2. RECENSEMENT DES DONNÉES « QUALITÉ »

2.2.1. Fonctionnement des réseaux de contrôle

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 ainsi 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 ainsi 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 étant 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 2 autres points définis en 2007, le réseau de contrôle opérationnel 2008, qui devra être maintenu jusqu'au retour au bon état chimique pour les masses d'eau concernées.

L'illustration 4 et l'illustration 5 précisent les caractéristiques géographiques et typologiques des 20 stations des réseaux de contrôle de surveillance et de contrôle opérationnel des eaux souterraines de Martinique, suivies durant l'année 2013.

Masse d'eau souterraine		Indice BSS / Code SANDRE	Code ODE	Commune	Lieu dit	Typologie	Réseau
Intitulé	Code DCE						
Nord	FRJG201	1166ZZ0026NF8	08107301	Basse Pointe	Chalvet	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1166ZZ0019S		Basse Pointe	Source Socco Gradis	Source	Cs + Co
		1166ZZ0023S	08103001	Macouba	Source Nord Plage	Source	Cs + Co
		1168ZZ0054PZ	08117301	Basse Pointe	Rivière Falaise	Piézomètre BRGM	Co
Nord Atlantique	FRJG202	1169ZZ0006F	08216301	Marigot	Anse Charpentier	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1169ZZ0084NF7	08207301	Lorrain	Fond Brulé	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1174ZZ0088PZ	08222301	Gros Morne	La Borelli	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1175ZZ0153S	08228002	Trinité	Morne Figue	Source	Cs + Co
Nord Caraïbes	FRJG203	1167ZZ0045NF6	08001301	St Pierre	CDST	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1177ZZ0177PZ2		Schoelcher	Fond Lahaye	Forage	Cs + Co
		1177ZZ0161FLF1		Schoelcher	Fond Lahaye	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1167ZZ0024PRS1	08012301	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1172ZZ0063SD6	08318301	Carbet	Fond Canal	Forage SCCCNO	Cs + Co
Centre	FRJG204	1175ZZ0106F	08531301	Robert	Vert Pré	Forage industriel	Co
		1179ZZ00702F02	08533301	Lamentin	Habitation Ressource	Forage CACEM	Cs + Co
		1182ZZ0160F2	08804301	Rivière salée	Nouvelle citée	Forage DAAF	Cs + Co
Sud Atlantique	FRJG205	1186ZZ0118SMA4	08732301	Marin	Grand Fond	Forage agricole	Cs + Co
		1179ZZ0228S11	08613301	François	Habitation Victoire	Forage agricole	Cs + Co
Sud Caraïbes	FRJG206	1183ZZ0052PZ	08813301	Rivière Pilote	Fougainville	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1181ZZ0132PZ	08921301	Trois llets	Vatable	Piézomètre BRGM	Cs + Co
		1184ZZ0001S1	08901301	Diamant	Habitation Dizac	Piézomètre BRGM	Cs + Co

Forage abandonné fin 2010

Illustration 4 : Liste des points de surveillance du réseau DCE en 2013 (Cs = contrôle de surveillance, Co = contrôle opérationnel)

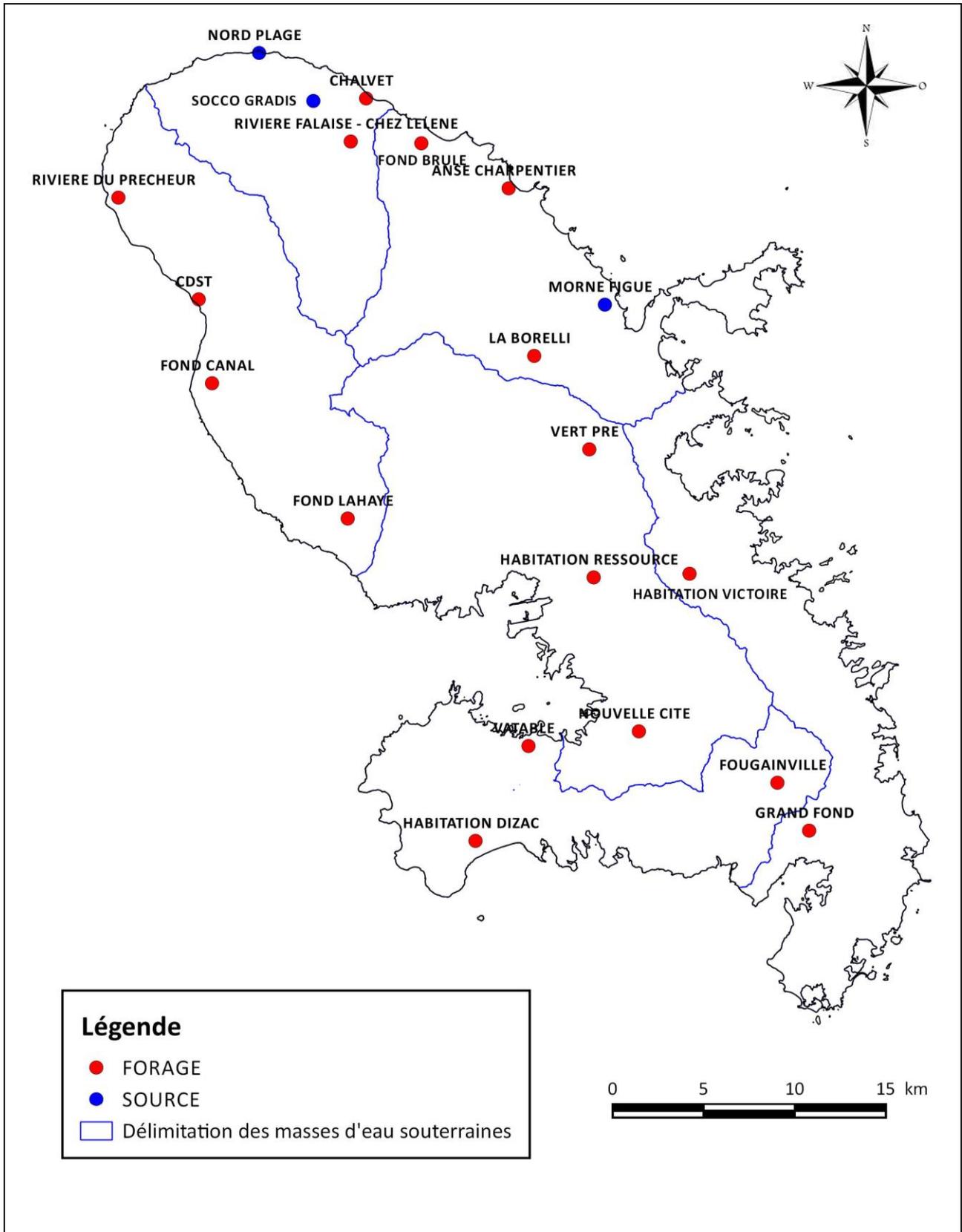


Illustration 5 : Situation géographique des ouvrages du réseau DCE en 2013

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 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 paramètres analysés sont regroupés dans le tableau de l'illustration 6 et présentés de façon exhaustive en annexe des rapports saisonniers.

Toutes les analyses sont effectuées par la Direction des Laboratoires (LAB) du BRGM à Orléans, selon les normes NF EN ISO/CEI 17025 et le document COFRAC LAB REF 02, référence des laboratoires et de l'ISO 9001-2000.

Le BRGM est, par ailleurs, agréé par le Ministère de l'Ecologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, pour certaines analyses d'eaux (la liste des agréments est disponible sur le site www.labeau.fr). Depuis 2009, les analyses du glyphosate et de l'AMPA sont sous-traitées au Laboratoire Départemental de la Sarthe.

Famille de paramètres	Paramètres
Physico-chimie in situ	Température, Conductivité, pH, Potentiel d'oxydo-réduction (Eh), Oxygène dissous
Éléments majeurs	Hydrogène carbonates (HCO_3^-), Carbonates (CO_3^{2-}), Chlorures (Cl^-), Sulfates (SO_4^{2-}), Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Sodium (Na^+), Potassium (K^+)
Matières organiques oxydables	Oxydabilité au KMnO_4 à chaud en milieu acide, Carbone Organique Dissous (COD)
Matières en suspension	Fer total et Manganèse total
Minéralisation et salinité	Dureté totale, Silicates (SiO_2)
Composés azotés	Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) Ammonium (NH_4^+)
Micropolluants minéraux	Arsenic (As), Bore (B), Aluminium (Al), Lithium (Li), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Fer (Fe), Manganèse (Mn)
Polluants organiques	142 molécules (pesticides organophosphorés, pesticides organochlorés, PCB, phenoxyacides)

Illustration 6 : Paramètres analysés dans le cadre de la surveillance semestrielle 2013

Surveillance mensuelle

En décembre 2008, en concertation et collaboration avec l'ODE, il a été décidé de compléter la surveillance 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_Chez Lélène 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 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 est proposée au chapitre 5.

2.2.2. Mise à disposition des données

Les résultats d'analyse acquis dans le cadre des réseaux DCE sont bancarisés sur ADES.

Comme stipulé dans le guide d'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine et d'établissement des valeurs seuils (Annexe III de la circulaire relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 - septembre 2012), pour l'évaluation de l'état des masses d'eau souterraines, les États membres doivent tenir compte :

- « des informations recueillies dans le cadre de la caractérisation effectuée en vertu de l'article 5 » et de l'annexe II de la DCE (i.e. caractérisation initiale, caractérisation détaillée et révision de l'incidence) ;

- « des résultats obtenus par le réseau de surveillance des eaux souterraines conformément à l'annexe V, point 2.4 » de la DCE (i.e. réseau de contrôle de surveillance RCS et de contrôle opérationnel RCO) ;
- « de toute autre information pertinente, y compris une comparaison de la moyenne arithmétique annuelle de la concentration des polluants concernés à un point de surveillance avec les normes de qualité des eaux souterraines [...] et les valeurs seuils fixées par les États membres ».

Ainsi, dans la mesure du possible, les données à considérer lors de l'enquête appropriée sont d'une part celles fournies par le RSC et le RCO, et d'autre part toutes les autres données de surveillance disponibles sur la masse d'eau. Concernant les masses d'eau souterraine de Martinique, les différents réseaux de mesures existants sont :

- Le réseau départemental de suivi qualitatif des eaux souterraines de Martinique – RDESOUQMAR – 0800000018 ;
- Le Métaréseau de suivi de la directive Nitrates pour les eaux souterraines du bassin Martinique – RBESOUNO3MAR – 0800000034 ;
- Le réseau qualitatif des eaux souterraines pour le suivi des installations classées de la Martinique – RRICQMAR – 0800000036 ;
- Le réseau de mesure de la campagne exceptionnelle d'analyse dans les eaux souterraines du bassin Martinique – RBESOUARCAMPEX – 0800000037 ;
- Le contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique – FRJSOS – 0800000016 ;
- Le contrôle opérationnel de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique – FRJSOSO – 0800000017.

Une synthèse du nombre de données existantes par paramètre est présentée en Annexe 1. La période considérée est 2007-2013, 2007 étant l'année de mise en place des réseaux DCE de Martinique. Dans le tableau, le ratio « paramètre/mesure » est renseigné permettant ainsi de visualiser la fiabilité des analyses. En effet, plus le ratio est faible, plus les analyses seront pertinentes au vu du nombre élevé de mesures par paramètre.

3. Les procédures d'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine

3.1. ÉVALUATION DE L'ÉTAT QUANTITATIF

3.1.1. Définition 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 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 7, 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 et état quantitatif médiocre.

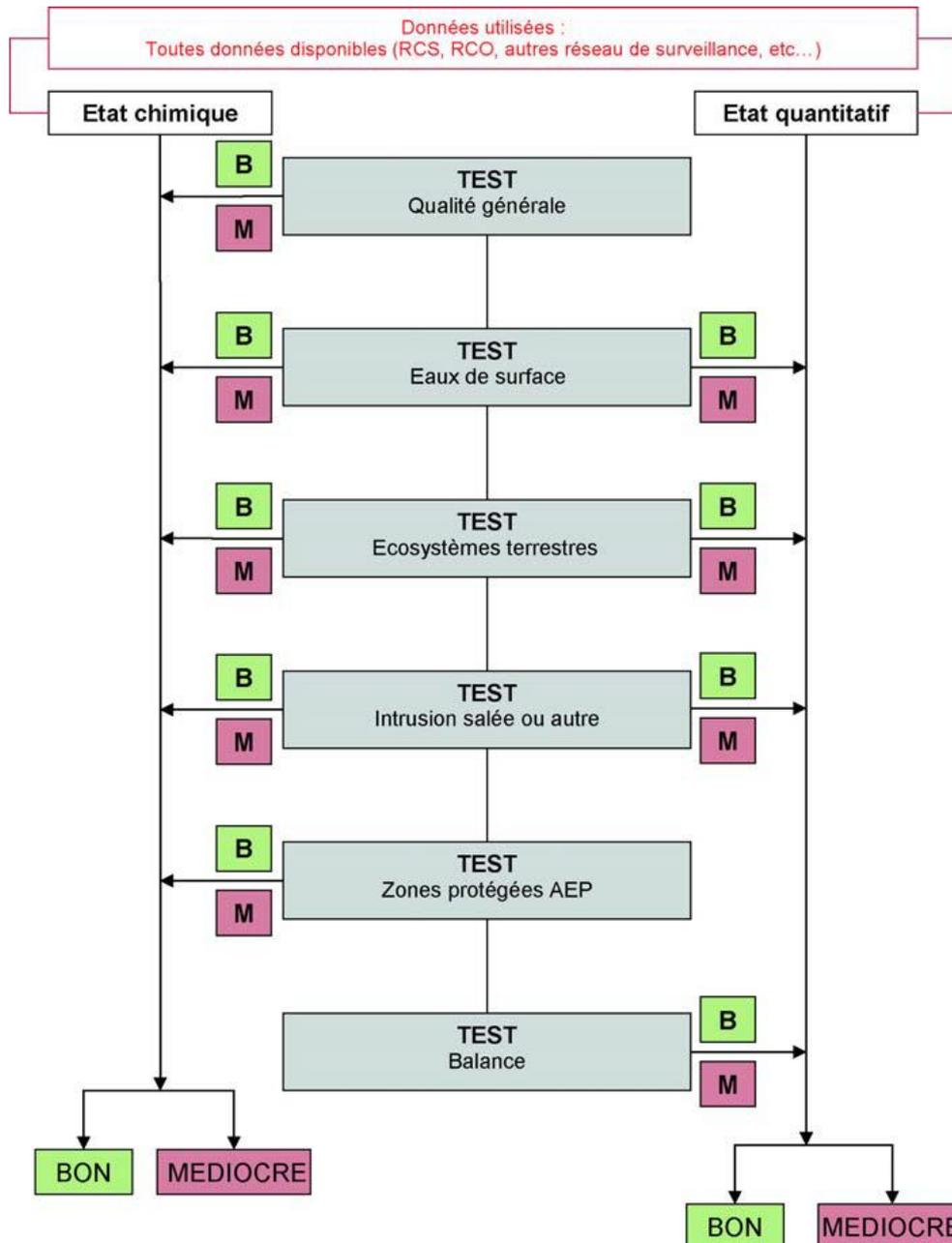


Illustration 7 : Tests de classification pour l'évaluation de l'état quantitatif et qualitatif et l'application de l'enquête appropriée au titre de l'évaluation de l'état chimique

Comme le suggère l'illustration 7, les tests « Eaux de surface », « Ecosystèmes terrestres » et « Intrusion salée ou autre », concernent également l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau. Pour les 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. Il comprend une condition initiale suivie de 4 étapes de calcul ou d'estimation à réaliser ainsi qu'une condition finale ; 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 terrestre 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.

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.

Actuellement, les connaissances sur les relations nappes-rivières en Martinique sont insuffisantes pour répondre de manière pertinente à ce test. Ainsi, le dire d'expert semble donc inévitable 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. Période de référence

Les chroniques piézométriques peuvent couvrir des périodes très variables. Dans la mesure du possible, des chroniques supérieures à 10 ans sont attendues. En Martinique, la majeure partie d'entre elles sont d'une durée de 9 ans.

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 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 (Illustration 8) ; 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 ; ou que
- 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 8 : Définition du bon état chimique des masses d'eau souterraines – Extrait de la Directive Cadre 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 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 9. 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.

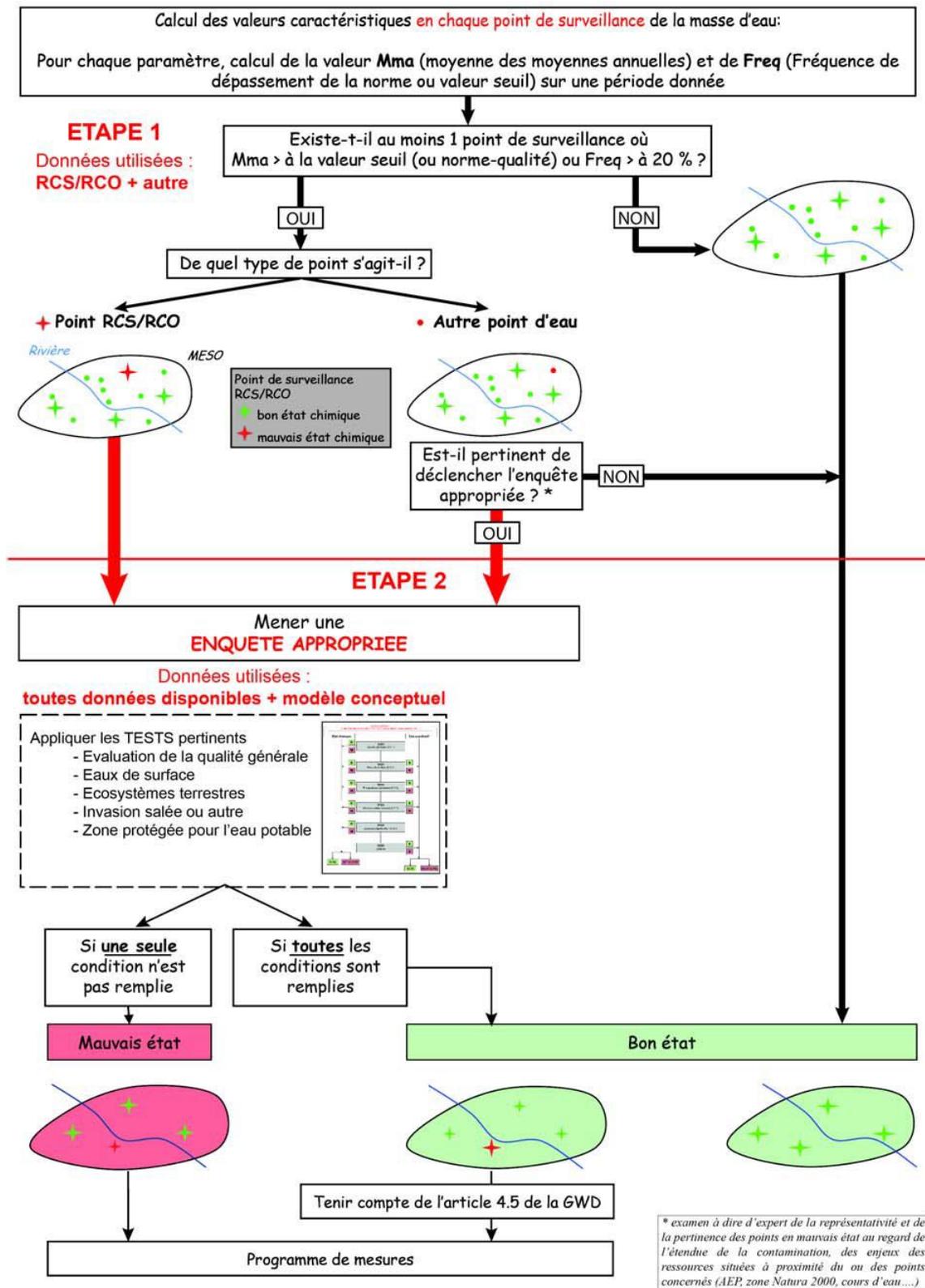


Illustration 9 : Procédure générale pour l'évaluation du bon état chimique d'une masse d'eau souterraine

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 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 RCS ou RCO, « l'enquête appropriée » doit être menée.

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 ».

« 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 dans son ensemble. Il s'effectue en deux temps et s'applique individuellement à chaque paramètre (Illustration 10) :

- **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.

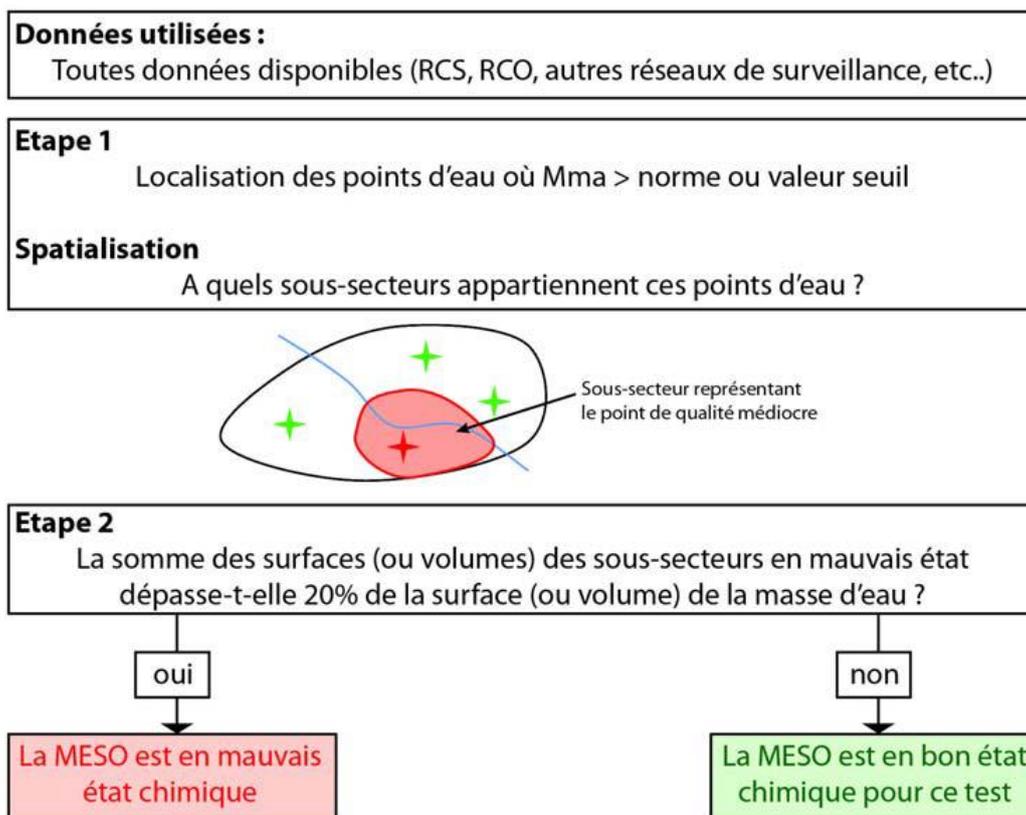


Illustration 10 : Test qualité général permettant d'évaluer la proportion de la masse d'eau en bon état

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 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 masses 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 10m³/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 10m³/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. Période de référence

La période de référence pour l'évaluation de l'état des masses d'eau au titre de la DCE est de six ans. Sachant que les réseaux de suivi de l'état chimique des eaux souterraines (RCS et RCO) ne sont en place que depuis 2007 et 2008 respectivement, la présente évaluation de l'état portera sur une **période commune à tous : 2007-2010**. En effet, compte tenu des délais d'analyse des échantillons, de récupération, de validation et d'exploitation des résultats analytiques, l'évaluation ne portera pas sur la totalité du premier cycle du programme de surveillance.

3.2.4. 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 menées 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 sont concernés pour l'attribution de nouvelles valeurs seuils.

3.2.5. 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.

3.2.6. Niveau de confiance de l'évaluation

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 2007-2010, 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 (Illustration 11) 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.

Physico-chimie <i>in situ</i>	Température
	Conductivité
	pH
	Potentiel d'oxydo-réduction (Eh)
<i>Eléments majeurs</i>	Oxygène dissous
	Hydrogène carbonates (HCO ₃ ⁻)
	Carbonates (CO ₃ ²⁻)
	Chlorures (Cl ⁻)
	Sulfates (SO ₄ ²⁻)
	Calcium (Ca ²⁺)
	Magnésium (Mg ²⁺)
	Sodium (Na ⁺)
	Potassium (K ⁺)
	<i>Matières organiques oxydables</i>
Carbone organique dissous (COD)	
<i>Matières en suspension</i>	Turbidité
	Fer total
	Manganèse total
<i>Minéralisation et salinité</i>	Dureté totale
	Silicates (SiO ₂)
<i>Composés azotés</i>	Nitrates (NO ₃ ⁻)
	Ammonium (NH ₄ ⁺)
<i>Micropolluants organiques</i>	- Famille des triazines (+ métabolites) - Famille des urées substituées - Substances identifiées au niveau régional

Illustration 11 : Tableau des paramètres à analyser avec une fréquence de 1 à 2 fois par an (arrêté du 25 janvier 2010 sur la surveillance de l'état des eaux)

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 2007-2010. Ainsi, si une seule mesure venait à manquer au cours d'une seule année pendant la période 2007-2010, le niveau de confiance serait faible. Sachant que le réseau RCO a été mis en place en 2008, le niveau de confiance de ses points d'eau est par conséquent faible puisqu'aucune donnée n'est disponible pour l'année 2007.

4. Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique

4.1. ÉVALUATION DU BON ÉTAT QUANTITATIF

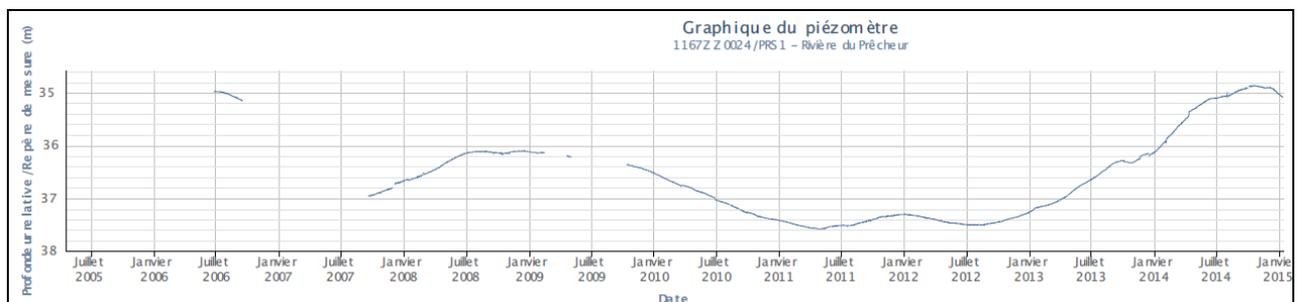
4.1.1. Présentation des résultats

L'évaluation du bon état quantitatif des masses d'eau souterraine prend appui sur les données issues du réseau de surveillance référencé FRJSOP – 0800000015 sous ADES. Sur ces graphiques, des grandes tendances ont été tracées afin de décrire l'évolution générale des niveaux d'eau (augmentation – diminution).

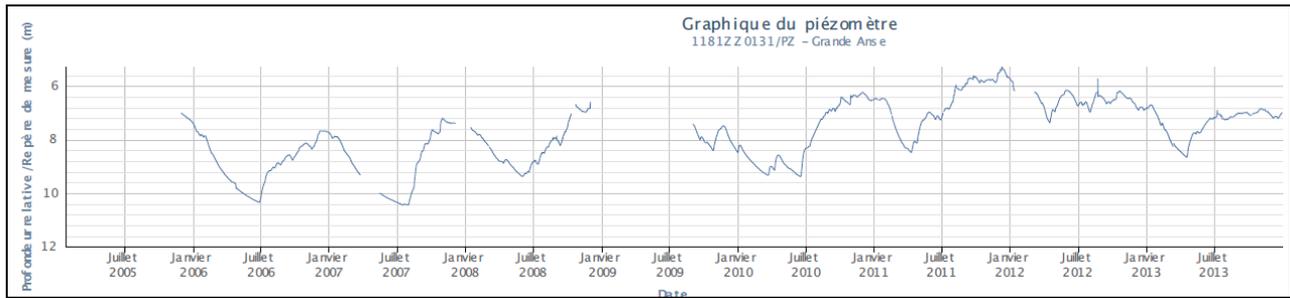
En Martinique, quatre types de fluctuations piézométriques sont mises en évidence (Illustration 12) :

- Pluriannuelles, avec un cycle de recharge et de décharge de l'aquifère qui s'effectue sur plusieurs années, caractéristiques d'un aquifère à fonction capacitive (à forte inertie), peu transmissif, d'une nappe profonde et généralement éloigné des exutoires ;
- 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 pluviométriques, composées de remontées piézométriques brutales et éphémères, dictées par la pluviométrie des jours précédents et du secteur ; elles possèdent une très faible inertie, sont très transmissives, et ont une nappe de surface proche des exutoires.

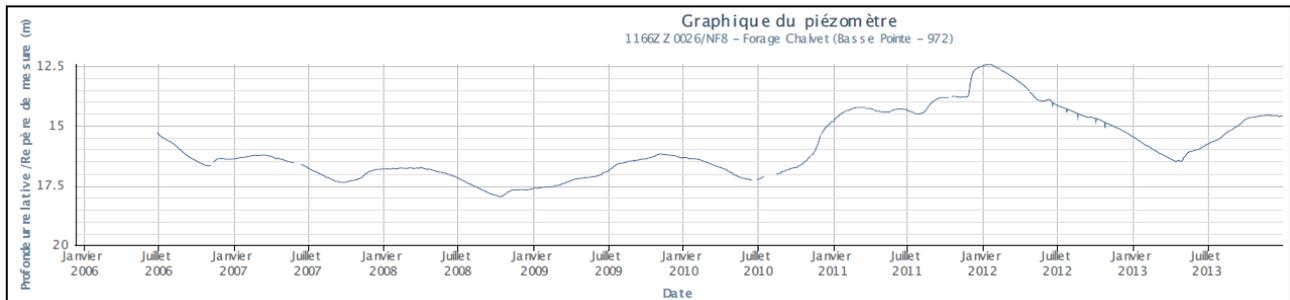
Fluctuations pluriannuelles



Fluctuations saisonnières



Fluctuations pluriannuelles et saisonnières



Fluctuations saisonnières et pluviométrique

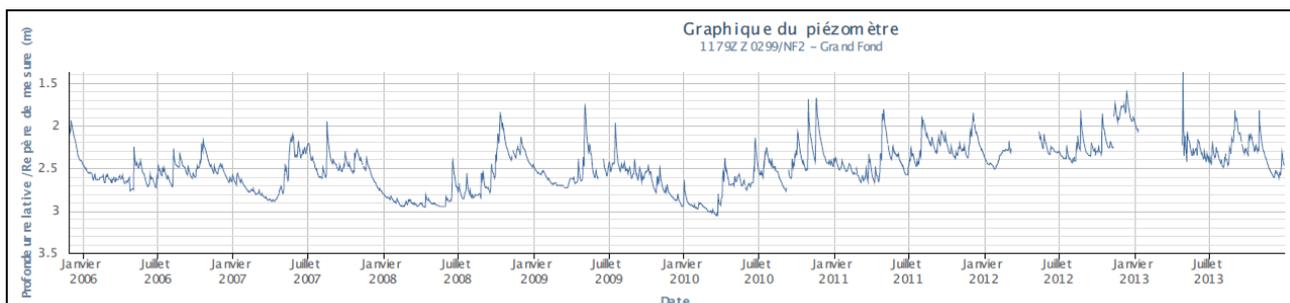


Illustration 12 : Types de fluctuations piézométriques rencontrées en Martinique

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 décrit dans le guide européen. 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 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.

Cependant, la collecte et l'interprétation de certaines de ces données peut s'avérer ardue, puisque celles-ci sont : soit non disponibles, soit non exhaustives.

4.1.2. Évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraines dans le cadre de la révision de l'état des lieux 2013

La DCE ne précisant pas si l'évaluation de l'état quantitatif doit s'appliquer à toutes les masses d'eau ou uniquement à celles identifiées en 2005 comme risquant de ne pas atteindre le bon état

en 2015, dans le cadre de la mise à jour de l'état des lieux 2013, l'évaluation de l'état est réalisée pour l'ensemble des masses d'eau.

a) 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 ouvrages et 1 captage. Toutefois, ces forages ne sont mis en service qu'en période de sécheresse pour venir en soutien des eaux superficielles qui constitue la principale ressource. Les débits de prélèvements sont de 1200m³/j pour le forage de Pécol 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 recharge annuelle des nappes. Ainsi, l'ensemble des masses d'eau peut être considéré en bon état pour le test « balance prélèvements/ressource ».

b) Test : eau de surface

A l'heure actuelle, 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 inexistant dans le secteur, ils ne peuvent être la cause de la non atteinte du bon état des masses d'eau de surface.

a) 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.

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

Il n'a pas été identifié de zones dans lesquelles des pompages exerceraient une pression telle qu'ils entraîneraient une intrusion salée ou autre.

Ainsi, du point de vue quantitatif, sur la base des données existantes et exploitées dans le cadre de l'état des lieux 2013, l'ensemble des masses d'eau de Martinique (FRJG201, FRJG202, FRJG203, FRJG204, FRJG205) 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.

4.2. ÉVALUATION DU BON ÉTAT QUALITATIF (ÉTAPE 1)

4.2.1. Masse d'eau Nord – FRJG201

La masse d'eau Nord est suivi par deux sources et deux forages ; la qualité des données disponibles pour ces points est essentielle pour juger des résultats.

Sur la période de 2007-2013, en moyenne 171 paramètres ont été mesurés au moins une fois sur l'ensemble des stations de la masse d'eau Nord comportant la station de Chalvet (1166ZZ0026), le forage de Chez Lélène (1168ZZ0054), la source de Nord Plage (1166ZZ0023), celle de Socco Gradis (1166ZZ0019) et de Socco Gradis amont (1166ZZ0032) (Annexe 1).

Parmi les paramètres devant être étudiés selon l'arrêté du 25 janvier 2010 (Illustration 11), tous sont suivis avec la fréquence nécessaire excepté le potentiel d'oxydoréduction et la turbidité.

D'un point de vue des dépassements des valeurs seuil DCE ou des normes AEP, l'Annexe 2 rassemble les points et les substances dont la *Mma* dépasse la réglementation et dont les fréquences de dépassement (*Freq*) sont supérieures à 20%.

a) Physico-chimie *in situ*

La température est un paramètre déclassant pour cette masse d'eau. 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 26°C, la valeur seuil nationale ne peut être appliquée.

b) 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 les deux forages de Basses Pointe en saison des pluies 2008 avec des teneurs à 53,3 mg/L et à 56,5 mg/L respectivement mesurées à Chalvet et Chez Lélène et dépassant ainsi le seuil DCE fixé à 50 mg/L. De même, en 2010, 2011 et saison sèche 2012, des concentrations excessives en nitrates ont été mesurées sur le forage de Chalvet allant jusqu'à 59,8 mg/L en période d'Hivernage 2011. Ces fortes concentrations sont révélatrices d'une contamination d'origine anthropique.

c) Produits phytosanitaires

Sur les 4 stations du réseau appartenant à la masse d'eau Nord, toutes affichent des concentrations en produits phytosanitaires non conformes aux exigences de la DCE en termes de valeurs seuils. Rappelons que la DCE exige une concentration inférieure à 0,1 µg/L pour l'ensemble des substances actives et la restreint à 0,03 µg/L pour trois molécules qui sont : la dieldrine, l'adrine et l'heptachlore. Pour la masse d'eau Nord, les molécules affichant des *Mma* qui dépassent ces exigences sont, par ordre décroissant, la chlordécone pour toutes les stations, le bromacil pour 4, le beta HCH, la dieldrine, la chlordécone 5b-hydro pour 3 points et enfin le monuron, le métalaxyl, le propiconazole pour 1 station.

Les concentrations importantes en chlordécone proviennent des pratiques agricoles anciennes et sont en lien avec l'occupation des sols. En effet, dans ce secteur, les bananeraies sont très présentes. Dans les années 80 et jusqu'en 1993, cet insecticide organochloré a été couramment utilisé pour lutter contre le charançon du bananier. Compte tenu de la persistance de cette molécule dans les sols pendant des dizaines d'années et de la percolation vers les nappes d'eau souterraines, les teneurs mesurées dépassent toujours, plus de 20 ans après son interdiction, l'exigence DCE.

La chlordécone n'a pas été l'unique recours dans la lutte contre ce parasite, d'autres insecticides et nématicides de la famille des organochlorés ont également été utilisés. Parmi eux, les produits phytosanitaires intégrant notamment le beta HCH ou la dieldrine comme substances actives. Bien qu'interdit depuis le milieu des années 90, en raison de leur toxicité et de leur rémanence, ces substances se retrouvent encore dans les eaux souterraines.

d) 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.

4.2.2. Masse d'eau Nord Atlantique – FRJG202

La masse d'eau Nord Atlantique est contrôlée via 3 forages et 1 source ; tous font partie à la fois du réseau de contrôle de surveillance (RCS) et du réseau de contrôle opérationnel (RCO).

Entre 2007 et 2013, en moyenne 174 paramètres ont été mesurés sur les forages du Marigot (1169ZZ0006), du Gros Morne (1174ZZ0088), du Lorrain (1169ZZ0084) et de la source de Trinité (Annexe 2).

Parmi les obligatoires, mentionnés dans l'arrêté du 25 janvier 2010 (Illustration 11) seuls le potentiel rédox et la turbidité n'ont pas été mesurés comme requis.

Les *Mma* et des *Freq* calculées pour la masse d'eau Nord Atlantique sont présentées en Annexe 3.

a) Physico-chimie *in situ*

Parmi les paramètres physico-chimiques mesurés, seule la température affiche des valeurs supérieures à la valeur seuil fixée au niveau nationale. Toutefois, celle-ci ne peut être appliquée en Martinique en raison des conditions climatiques nettement différentes de celles de la métropole.

b) Molécules inorganiques

Plusieurs éléments majeurs ont été retrouvés à des concentrations supérieures à leurs valeurs seuils respectives. La station du Marigot est la principale concernée avec 3 paramètres présentant des *Mma* supérieures à la réglementation : l'arsenic avec une *Mma* à 24,42 µg/L pour une valeur seuil établie à 10 µg/L, le fer avec une *Mma* avoisinant le 0,85 mg/L pour une norme à 0,2 mg/L et enfin le manganèse également très supérieur : 133,73 µg/L sachant que la valeur seuil est fixée à 50 µg/L.

Le forage de Gros Morne affiche lui aussi un paramètre déclassant, le manganèse, avec une *Mma* de 302,59 µg/L.

Ces concentrations excessives ne sont pas liées à des pollutions anthropiques mais s'expliquent par le fond géochimique naturel des eaux. Une étude de fond géochimique des eaux souterraine 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. 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. Ces nouvelles valeurs seuils, qui n'ont cependant pas de valeur réglementaire aujourd'hui, sont récapitulées dans l'illustration 13. Comme précisé dans ce tableau, à chaque valeur seuil proposée est associée une zone d'emprise.

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 13 : Tableau récapitulatif des nouvelles valeurs seuils proposées pour la Martinique

Ainsi, comme le souligne l'illustration 13, il existe un risque de fond géochimique élevé en arsenic et en fer au droit du forage de Marigot - Anse Charpentier expliquant ainsi les fortes teneurs rencontrés en ces éléments. Par ailleurs, un risque de fond géochimique élevé en manganèse a été mis en évidence pour toutes les masses d'eau.

Une attention particulière doit également être portée aux nitrates car l'utilisation de ces macropolluants dans les pratiques agricoles a pendant longtemps été massive. À l'heure actuelle, aucun dépassement de la valeur seuil n'a été identifié sur les stations de la masse d'eau Nord Atlantique. Seul le piézomètre du Lorrain est à surveiller plus particulièrement en raison des fortes teneurs mesurées qui varient entre 20,4 mg/L et 48,6 mg/L.

c) Produits phytosanitaires

Parmi les molécules phytosanitaires retrouvées dans les aquifères de la masse d'eau Nord Atlantique à des concentrations dépassant les exigences DCE, la chlordécone et le beta HCH sont en tête de liste. En effet, trois points présentent des teneurs excessives en chlordécone et deux en beta HCH. À noter que le forage du Lorrain affiche les concentrations les plus importantes en ces deux substances actives : 31,11 µg/L pour la chlordécone et 5,55 µg/L pour le beta HCH.

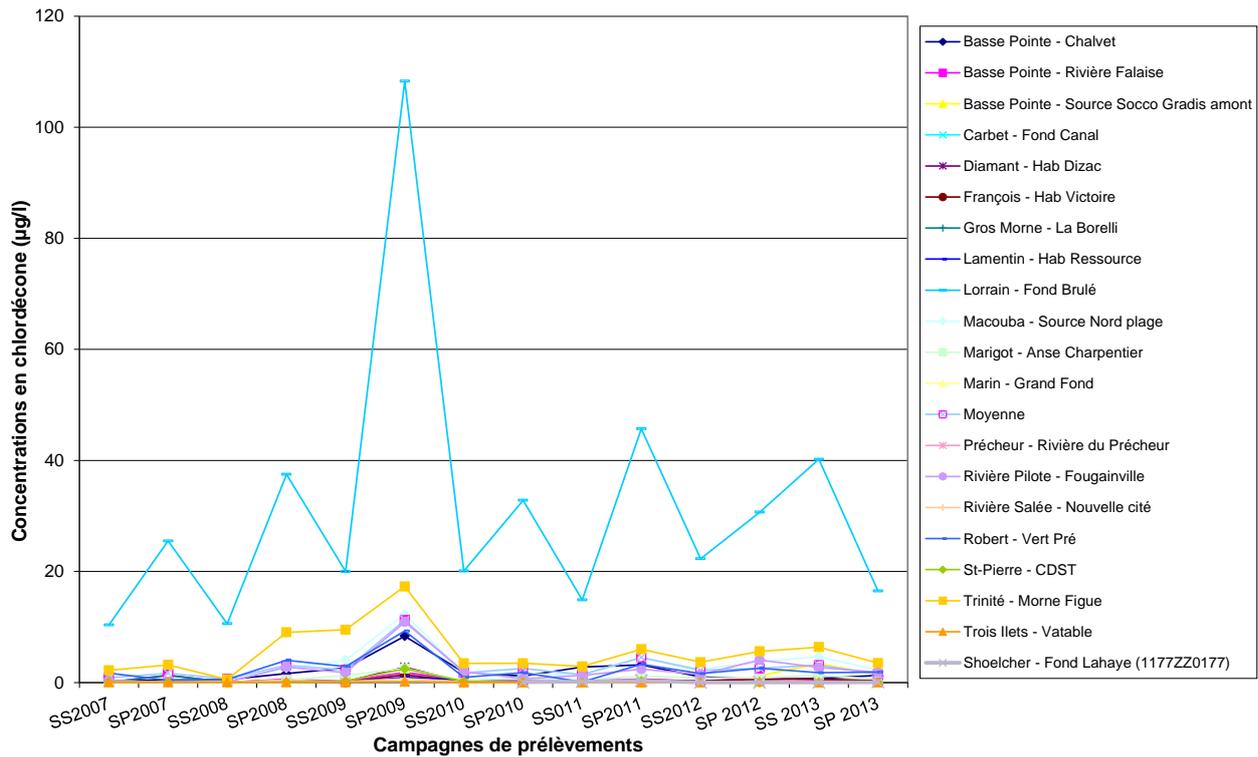


Illustration 14 : Évolution des concentrations en chlordécone depuis 2006

Deux autres molécules affichent des concentrations supérieures aux exigences DCE, la chlordécone 5B hydro, un métabolite de la chlordécone, sur le point du Lorrain et le carbendazime, une substance active de produit phytosanitaire qui présente un effet fongicide. Comme les précédentes, le carbendazime est aujourd'hui interdit dans l'Union Européenne.

d) Conclusion

La masse d'eau Nord Atlantique présentent des dépassements de valeurs seuils pour 3 éléments majeurs (Manganèse et fer), 1 élément en trace toxique (As) et 4 substances actives de produit phytosanitaire (chlordécone, beta HCH, chlordécone 5B hydro, carbendazime). Toutefois, comme mentionné précédemment, les dépassements pour les molécules inorganiques sont liés à un risque de fond géochimique élevé pour ces éléments. Ainsi, un questionnement quant à l'ouverture d'une enquête appropriée peut se poser en ne considérant que les paramètres inorganiques. Toutefois, sachant que 4 molécules phytosanitaires présentent également des dépassements, la mise en œuvre d'une enquête appropriée est inévitable pour cette masse d'eau.

4.2.3. Masse d'eau Nord Caraïbe – FRJG203

Sur la période 2007-2013, cinq forages permettaient de suivre l'état chimique de la masse d'eau Nord Caraïbe : St Pierre - CDST et Prêcheur - Rivière du Prêcheur, Carbet - Fond Canal, enfin deux forages sur la commune de Schœlcher : 1177ZZ0161 de 2007 à 2010 et 1177ZZ0177 depuis 2010 avec une moyenne de 161 paramètres analysés sur l'ensemble de ces stations (Annexe 1).

Parmi les paramètres inclus dans l'arrêté du 25 janvier 2010 sur la surveillance de l'état des eaux, excepté pour le point 1177ZZ0161, seuls le potentiel d'oxydoréduction et la turbidité n'ont

pas été mesuré avec une fréquence de 2 fois par an. Pour le point en question, en plus de ces paramètres, le pH n'a pas été mesuré en saison sèche 2007 et la température en saison des pluies 2009.

Les *Mma* et les *Freq* calculées pour la masse d'eau Nord Caraïbe sont présentées en Annexe 4. Seuls les points et les substances affichant un dépassement avec une fréquence supérieure à 20% sont répertoriés.

a) **Physico-chimie *in situ***

Excepté la température, aucun paramètre *in situ* mesuré ne présente un dépassement des valeurs seuils nationales.

b) **Molécules inorganiques**

Deux molécules inorganiques présentent des *Mma* supérieures à leur valeur seuil respective : le fer sur les points de Carbet - Fond Canal et de Schœlcher - Fond Lahaye 1177ZZ0161 qui affiche respectivement une *Mma* de 7,49 mg/L et de 0,9 mg/L alors que la valeur seuil est à 0,2 mg/L et le manganèse sur le forage de Fond Canal (880,22µg/L) et les deux de Schœlcher (42,98 µg/L pour le point 1177ZZ0161 et 105,68 µg/L pour le point 1177ZZ0177) pour une norme à 50 µg/L.

Comme il a été souligné pour la masse d'eau Nord Atlantique, un risque de fond géochimique élevé pour le fer et le manganèse a été mis en évidence sur toutes les masses d'eau du territoire, expliquant ainsi la forte teneur rencontrée sur le forage de Schœlcher. Néanmoins, les dépassements de Fe et Mn au droit de l'ouvrage du Carbet_Fond Canal sont probablement d'origine anthropique ; cet ancien forage AEP a en effet été abandonné en raison d'une pollution aux hydrocarbures.

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

Produits phytosanitaires

Seul le forage 1177ZZ0161 présente une substance active phytosanitaire dépassant les exigences DCE : l'AMPA, le principal produit de dégradation du glyphosate, avec une *Mma* de 0,13 µg/L.

c) **Conclusion**

Sachant qu'une molécule phytosanitaire a été retrouvée sur le forage 1177ZZ0161 qui à l'époque faisait encore partie des réseaux de contrôle de la qualité des eaux souterraine de Martinique, une enquête appropriée doit être ouverte.

4.2.4. Masse d'eau Centre – FRJG204

Trois stations montrent des dépassements en relation à la qualité chimique des eaux souterraines de la masse d'eau Centre : le forage de Rivière Salée - Nouvelle Cité, celui de Lamentin - Habitation Ressource et enfin l'ouvrage de Robert - Vert Pré. Seul ce dernier fait uniquement parti du réseau de contrôle opérationnel, les deux autres appartiennent également au réseau de contrôle de surveillance.

Le nombre de paramètres mesurés sur la période 2007-2013 pour ces 3 stations est de 175 en moyenne (Annexe 1).

En conformité avec l'arrêté du 25 janvier 2010 sur la surveillance de l'état des eaux, l'ensemble des paramètres DCE ont été mesurés à une fréquence de 2 fois par an excepté le potentiel d'oxydoréduction et la turbidité.

Les *Mma* et les *Freq* pour les points et les paramètres présentant des dépassements sont reportées dans l'Annexe 5.

a) 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%. Sur les 8 campagnes de mesures réalisées à hauteur de 2 par année, la conductivité a toujours été mesurée au-delà de la valeur seuil nationale (1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductivité de l'eau correspond à sa minéralisation ; ainsi plus l'eau est chargée en sels minéraux, plus la valeur de la conductivité est importante. L'étude de fond géochimique réalisée en 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 notamment en évidence une vaste zone à risque de fond géochimique élevé pour le sodium et les chlorures localisée dans le sud et sud caraïbes de la Martinique. L'étude des molécules inorganiques illustre ce constat.

À noter que la température de l'eau est en dépassement sur l'ensemble des stations avec des valeurs comprises entre 26,89°C (Robert) et 30,43°C (Rivière Salée).

b) 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, comme évoqué ci-dessus.

Le manganèse et le fer affichent également des *Mma* dépassant les normes de potabilité nationales pour les 3 stations. Ces dépassements sont liés à un risque de fond géochimique élevé qui a été étendu à l'ensemble des masses d'eau suite à l'étude Arnaud et al. ; 2013.

Enfin, sur le forage de Robert - Vert Pré, l'ammonium dépasse la valeur seuil nationale avec une *Mma* de 0,71 mg/L pour une norme à 0,5 mg/L. Ce dépassement s'explique par des apports importants en ammonium d'origine anthropique ou naturelle qui, du fait de faibles concentrations en oxygène dissous, ne peuvent être transformées en nitrates.

Les concentrations en nitrates sont largement inférieures à la norme de qualité : 50 mg/L.

c) Produits phytosanitaires

La chlordécone est la seule substance active phytosanitaires retrouvée dans des concentrations dépassant les exigences DCE dans les aquifères de la masse d'eau Centre. En effet, le centre de la Martinique, accueille de nombreuses bananeraies et a donc été contaminé par ces insecticides.

d) Conclusion

En raison de la présence de substances actives de produits phytosanitaires et de dépassements des concentrations en NH_4 , une enquête appropriée doit être menée sur la masse d'eau Centre afin de définir son état chimique général.

4.2.5. Masse d'eau Sud Atlantique – FRJG205

La masse d'eau Sud Atlantique est suivie par deux stations : Marin- Grand Fond et François - Habitation Victoire. Le nombre de paramètres mesurés sur la période 2007-2013 sur ces forages est sensiblement similaire est de 182 paramètres en moyenne (Annexe 1).

Les paramètres devant être suivis selon l'arrêté du 25 janvier 2010 (Illustration 11), ont pour la majeure partie respectés les préconisations. Seuls le potentiel d'oxydo-réduction et la turbidité n'ont pas été analysés à hauteur de 2 fois par an. Par ailleurs, pour le forage du François, le pH n'a pas été mesuré en saison des pluies 2010.

Les *Mma* et *Freq* sont regroupés dans l'Annexe 6 et ne concerne que les stations et les paramètres présentant un dépassement.

a) Physico-chimie *in situ*

Parmi les paramètres physico-chimiques, excepté la température qui est en dépassement pour l'ensemble des stations de la Martinique, seule la conductivité affiche une *Mma* nettement supérieure à la valeur seuil nationale pour le point Marin - Grand Fond : 1537 $\mu\text{S/cm}$ pour une valeur seuil à 1100 $\mu\text{S/cm}$. Ceci provient de la forte minéralisation de l'eau au droit du forage, notamment en chlorure.

b) Molécules inorganiques

Aucun dépassement de *Mma* n'est constaté pour les paramètres inorganiques. D'un point de vue des nitrates, les *Mma* déterminées sont inférieures à la valeur seuil.

c) Produits phytosanitaires

Deux produits phytosanitaires montrent des *Mma* au-delà des exigences DCE : le glyphosate sur la station du Marin, la chlordécone sur le forage du François.

Enfin, le dépassement sur le glyphosate provient de deux analyses : l'une en saison sèche 2007 qui affiche une valeur à 0,323 $\mu\text{g/L}$ et la seconde en saison des pluies 2008 avec 1,054 $\mu\text{g/L}$. La *Mma* qui en découle est de 0,11 $\mu\text{g/L}$, néanmoins toutes les analyses qui ont suivies ont connues des concentrations inférieures à la LQ, la méthode de prélèvement peut éventuellement être remise en cause.

d) Conclusion

Sachant que plusieurs substances actives phytosanitaires se retrouvent à des concentrations supérieures aux exigences DCE, la masse d'eau Sud Atlantique doit faire l'objet d'une enquête appropriée.

4.2.6. Masse d'eau Sud Caraïbes – FRJG206

La masse d'eau Sud Caraïbes est étudiée par le biais de trois forages : Rivière Pilote - Fougainville, Trois Ilets - Vatable et Diamant - Habitation Dizac où 179 paramètres sont étudiés en moyenne depuis 2007 (Annexe 1).

Tout comme pour les masses d'eau précédentes, parmi les paramètres à analyser impérativement selon l'arrêté du 25 janvier 2010, la turbidité et le potentiel rédox n'ont pas été

mesurés à chaque campagne semestrielle. Par ailleurs, sur le point du Diamant, l'oxygène dissous n'a pas été déterminé pour la saison des pluies 2009.

D'un point de vue des dépassements des valeurs seuil ou des normes DCE, l'Annexe 7 rassemble les points et les substances dont la *Mma* dépasse la réglementation. Par ailleurs, dans ce tableau sont reportées les fréquences de dépassement supérieures à 20 % (*Freq*).

a) 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 1969 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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.

b) Molécules inorganiques

Depuis 2007, le point des Trois Ilets enregistre des dépassements des valeurs seuils pour les éléments majeurs chlorures et sodium lors de chaque campagne de mesure. Les *Mma* calculées s'élèvent à 355,03 mg/L pour les chlorures et à 269,52 mg/L pour le sodium sachant que les valeurs seuils respectives sont 250mg/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 0,46 mg/L et de 90,18 $\mu\text{g}/\text{L}$. Comme vu 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 quant à elles inférieures à la norme de qualité fixée au niveau européen qui est de 50 mg/L.

c) Produits phytosanitaires

Seul le piézomètre de Rivière Pilote montre une non-conformité DCE et ceci pour un seul paramètre : la chlordécone, avec un pic atteint en saison des pluies 2009 (10,9 $\mu\text{g}/\text{L}$) (Illustration 14).

d) Conclusion

La masse d'eau Sud Caraïbes est en dépassement pour 6 paramètres DCE. Toutefois, l'étude de fond géochimique a permis de mettre en évidence un fond géochimique élevé pour les paramètres conductivité, chlorure, sodium, fer et manganèse pour la masse d'eau étudiée. Les dépassements ne sont donc pas d'origine anthropique mais s'expliquent par le fond géochimique naturel des eaux.

Les concentrations excessives en chlorure et en fer sont responsables de la forte conductivité rencontrée au droit du forage des Trois Ilets.

Ainsi, en ne considérant que ces 5 paramètres, l'ouverture d'une enquête appropriée pourrait porter à questionnement. Toutefois, sachant qu'une substance active est non conforme aux exigences DCC, cette enquête est inévitable.

4.2.7. Réalisation des enquêtes appropriées et niveau de confiance

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

Etape 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 SIESMAR (Vittecoq, 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 15 fournit une représentation cartographique de ces zones à risques. Rapporté au bassin en entier, 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 (§ 6.4).

La surface supposée dégradée de la masse d'eau Centre initialement évaluée à 19% de la superficie totale a été revue à la hausse après prise en compte du SIG chlordécone (BRGM/RP-60014-FR) et à la suite de l'étude de pollution des sources complémentaires détaillée à la suite du rapport (§ 6.4). 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 mauvaise, 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.

Test : eaux de surface

Actuellement, les connaissances sur les relations nappes-rivières sont insuffisantes pour répondre de manière pertinente à ce test sur le bassin Martinique ; à l'exception de la masse d'eau Nord Atlantique. En effet, 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.

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	19%
SUD ATLANTIQUE - FRJG 205	19%
SUD CARAIBES - FRJG206	6%

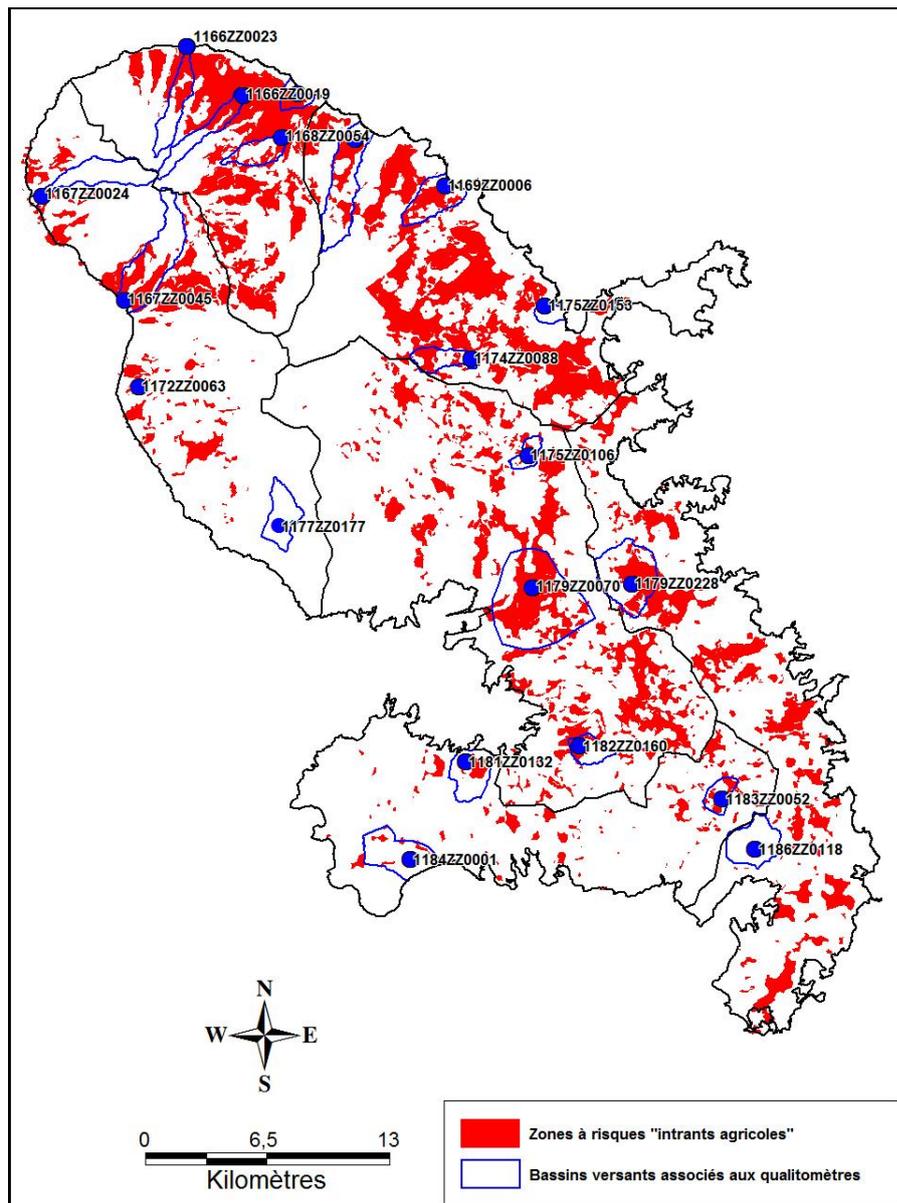


Illustration 15 : Tableau des pourcentages des superficies concernées par masse d'eau (avec et sans hiérarchisation de la pression associée à chaque type de culture) et carte de risque de contamination des eaux souterraines par les intrants agricoles correspondante; Arnaud et Wiat (2010)

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 (§4.1.2), 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 10m³/j, néanmoins aucune augmentation du niveau de traitement ou de détérioration de la qualité de la ressource imputable aux activités humaines n'a été nécessaire jusqu'alors.

Les résultats des différents tests sont regroupés dans l'illustration 16.

A la suite des différents tests de classification des masses d'eau souterraine, une carte de synthèse de l'évaluation de l'état qualitatif est réalisée illustration 17.

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 de points présentant une qualité médiocre sur chacune des masses d'eau Nord Caraïbes (FRJG203) et Sud Caraïbes (FRJG205), les surfaces dégradées sont inférieures à 20% de la superficie des masses d'eau. Ces dernières sont donc considérées en bon état chimique.

Masse d'eau	Superficie Masse d'eau, en km ²	Nb points supérieurs aux valeurs seuils	Existe-t-il au moins 1 point supérieur aux valeurs seuils ?	Paramètres déclassants	Surface dégradée supérieure à 20% de la surf de la MESO	Usages humains potentiellement compromis	Présence d'un captage AEP > 10 m3/jour dans la zone dégradée	SI AEP nécessité d'un traitement supplémentaire excessif...	Incidence sur les cours d'eau associés	Incidence sur les écosystèmes associés	Intrusion saline anthropique observée	Niveau de confiance de l'évaluation	Etat de la Masse d'eau
Nord - FRJG201	115	4/4	Oui	Pesticides	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	?	Non	Moyen	Nord - FRJG201
Nord Atlantique - FRJG202	175	4/4	Oui	Pesticides	Oui	Oui	Oui	Non	?	?	Non	Faible	Nord Atlantique - FRJG202
Nord Caraïbes - FRJG203	174	0/4	Oui	Pesticides	Non	Non	Non	Non	?	?	Non	Faible	Nord Caraïbes - FRJG203 *
Centre - FRJG204	286	2/3	Oui	Pesticides	Oui	Oui	Non	Non	?	?	Non	Faible	Centre - FRJG204 *
Sud Atlantique - FRJG205	180	2/2	Oui	Pesticides	Non	Non	Non	Non	?	?	Non	Faible	Sud Atlantique - FRJG205 *
Sud Caraïbes - FRJG206	151	1/3	Oui	Pesticides	Non	Non	Non	Non	?	?	Non	Faible	Sud Caraïbes - FRJG206 *

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

* Si la masse d'eau est en "bon état" mais que des points de mesure sont en "mauvais état", des mesures doivent être mises en place pour améliorer la qualité de l'eau en ces points (Article 4.5 de la "GWD" = Directive fille 2006/118/CE du 12 décembre 2006)

? Manque de connaissances

bon état
mauvais état

Illustration 16 : Résultats de l'enquête appropriée pour l'évaluation de l'état qualitatif des 6 masses d'eau souterraine de la Martinique, dans le cadre de la révision de l'état des lieux 2013

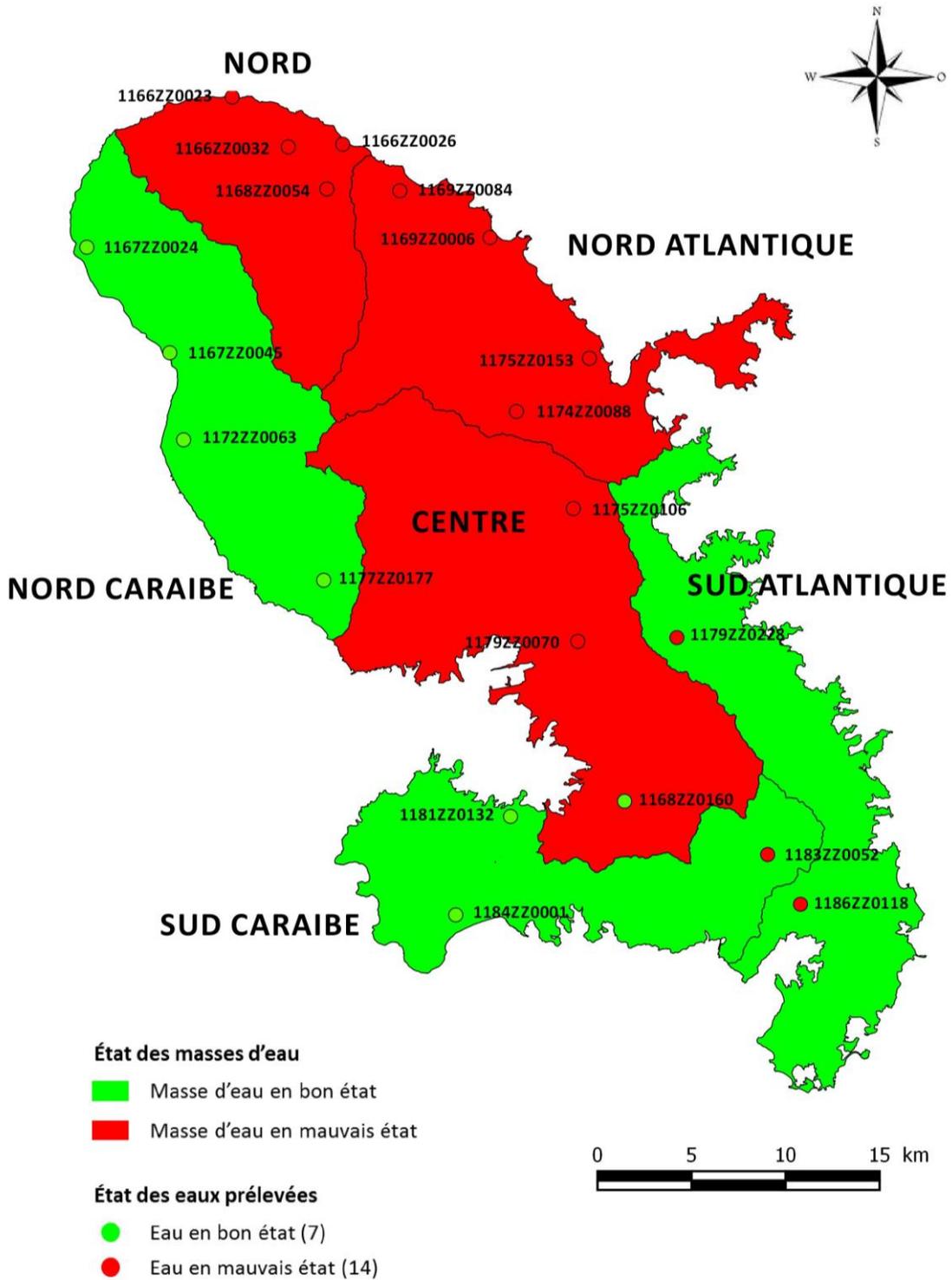


Illustration 17 : Carte de l'état qualitatif des points d'eau et masse d'eau souterraine dans le cadre de l'évaluation 2013

5. Dossiers complémentaires : Suivi mensuel de la contamination par les produits phytosanitaires

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 et sur la source de Trinité - Morne Figue. 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.

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 accord avec l'ODE, il a été transféré sur le piézomètre de Basse Pointe - Chez Lélène.

5.1. 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 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 NGF 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.

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

Les forages de Chalvet et Chez Lélène 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.

5.2.1. Contexte géologique et hydrogéologique

D'un point de vue géologique, ces forages interceptent des écoulements pyroclastiques (coulées de ponce et nuées ardentes, Illustration 18 et Illustration 19) du volcan de la Montagne Pelée.

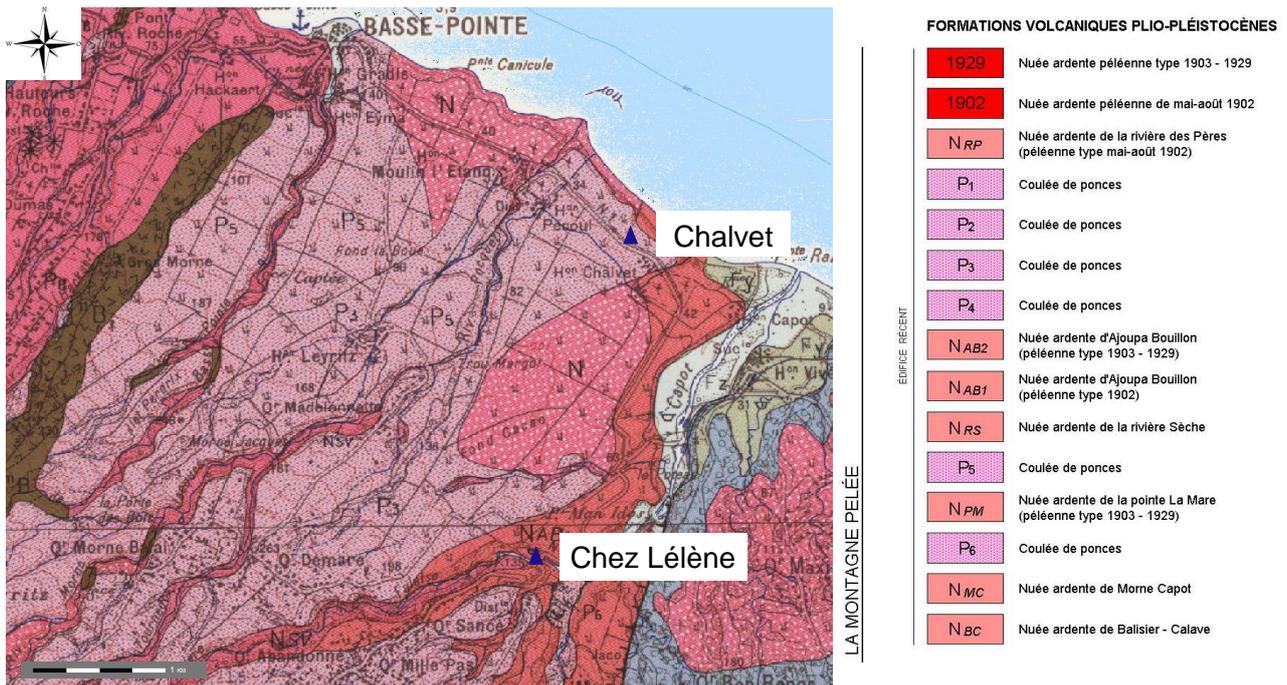


Illustration 18 : Carte géologique (Westercamp et al., 1990)

La coupe géologique du forage de Chalvet (Illustration 19) souligne une altération importante avec une épaisseur d'argiles d'altération avoisinant les 17 mètres. Un horizon aquifère, à porosité de matrice (graviers et cailloux emballés dans une matrice sableuse) est rencontré entre 17m et 29m. Le débit, au soufflage, avait été estimé entre 20 et 30 m³/h en fin de foration.

Quant à l'ouvrage de Chez Lélène, il est implanté dans une coulée de ponces dont la description détaillée n'est pas connue, notamment leur niveau d'altération ou de fissuration. 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 14 m et 18 m à Chalvet (Illustration 20) et entre 3 m et 3,8 m à Chez Lélène (Illustration 21).

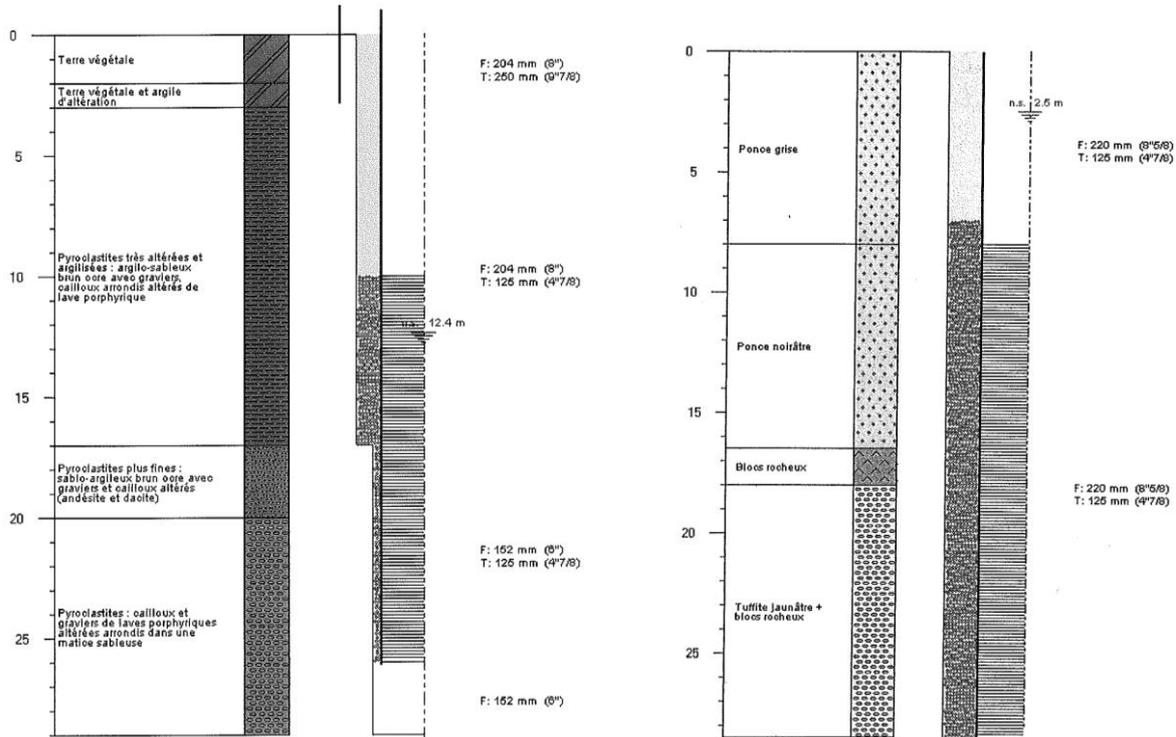


Illustration 19 : Coupes géologiques et techniques des forages de Chalvet (à gauche) et Chez Lélène (à droite)

Les fluctuations piézométriques enregistrées au droit de l'ouvrage de Chalvet figurent en Illustration 20. Elles présentent un régime saisonnier dominant qui tend cependant à disparaître ces dernières années. En effet, alors que les 3 premières années du suivi étaient concernées par une période de recharge et une période de vidange, à partir de 2009, ce régime s'est retrouvé perturbé avec une recharge de 13 mois qui s'est étalée de mi-septembre 2008 à mi-octobre 2009, puis une longue période de vidange entre décembre 2011 et mai 2013 où une nouvelle recharge s'est amorcée jusqu'à mi-novembre. Depuis, l'aquifère est de nouveau en période de vidange.

À ces fluctuations saisonnières, semble se superposer un régime pluriannuel : tendance pluriannuelle à la baisse de juillet 2006 à septembre 2009 suivie d'une tendance à la hausse jusqu'en janvier 2012. Depuis, la chronique piézométrique souligne une tendance à la baisse.

Ce type de fluctuations traduit un aquifère à la fois transmissif et à fonction capacitive. Ce comportement est en accord avec la porosité de matrice des coulées de ponce et nuées ardentes. Une porosité de fissure reste bien entendu possible.

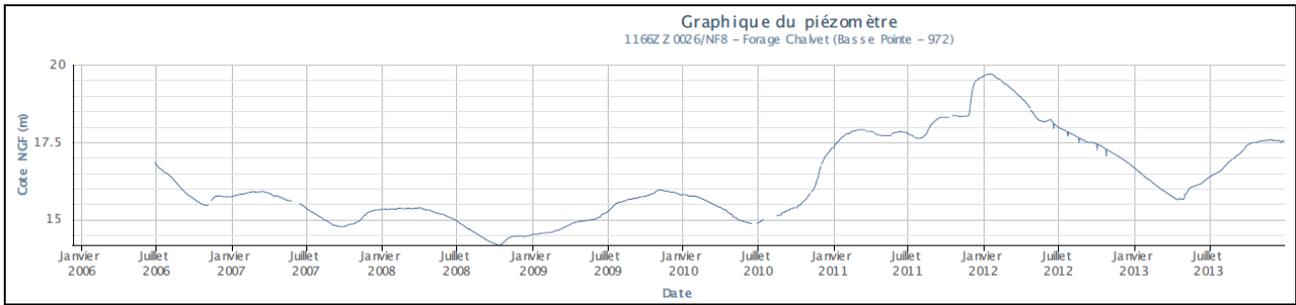


Illustration 20 : Chronique piézométrique du forage de Chalvet au pas de temps journalier (juillet 2006 – décembre 2013)

La chronique enregistrée à Chez Lélène est présentée en Illustration 21. Elle affiche des fluctuations piézométriques beaucoup plus réactives aux précipitations que celle de Chalvet ; ce phénomène est particulièrement visible au pas de temps horaire (Illustration 22). 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 en période de crue. En effet, il est important de mentionner la proximité de la rivière Falaise qui localement constitue *a priori* 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 Chez Lélène qu'à Chalvet.

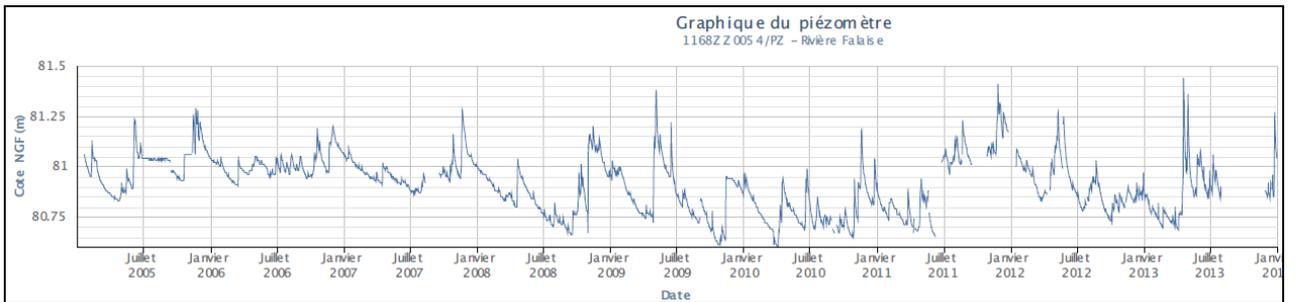


Illustration 21 : Chronique piézométrique du forage Chez Lélène au pas de temps journalier (janvier 2006 – décembre 2013)

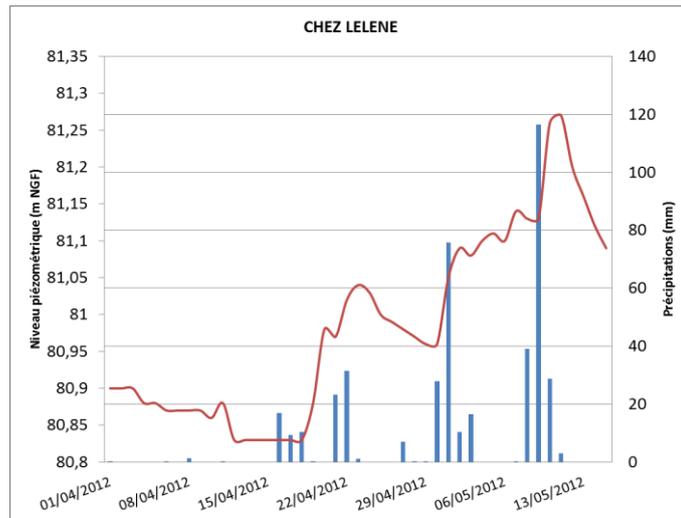


Illustration 22 : Chronique piézométrique de Chez Lélène au pas de temps horaire (du 7 au 14 mai 2012)

5.2.2. Pressions agricoles et contamination

L'étude réalisée en 2011-2012 a permis de délimiter les bassins d'alimentation des deux forages situés sur la commune de Basse Pointe (Illustration 23).

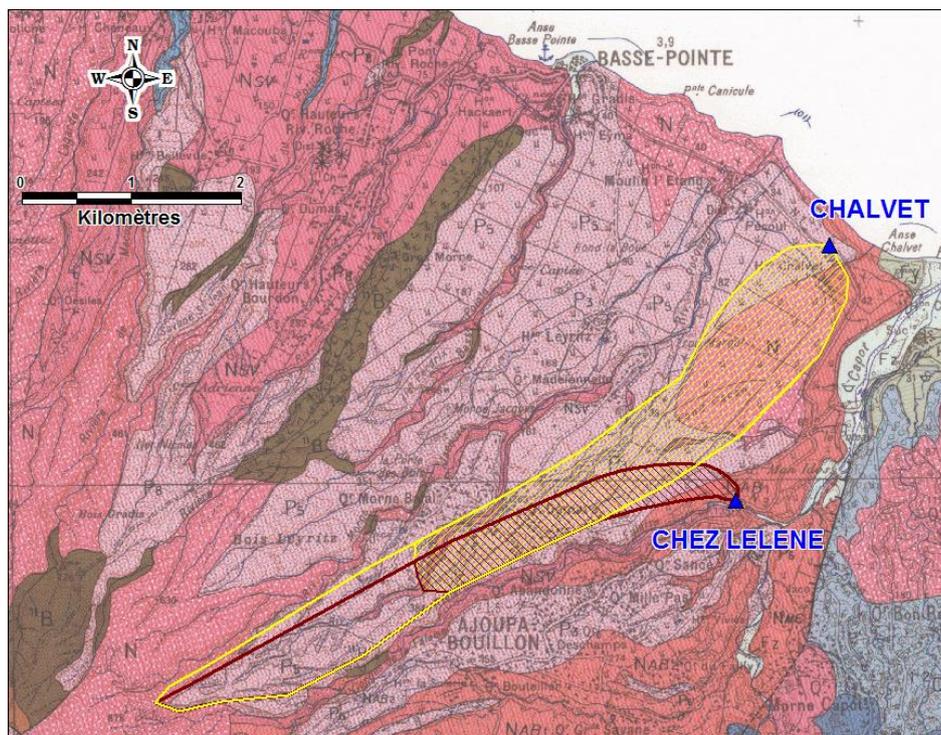


Illustration 23 : Délimitation approximative des bassins d'alimentation des forages Chez Lélène et Chalvet (les zones hachurées correspondent aux principales zones de recharge) (Arnaud et al., 2013)

Par ailleurs, elle a mis en avant l'altitude des zones principales de recharge qui sont comprises entre 30 et 350 m NGF pour le forage de Chalvet et entre 90 et 350 m NGF pour le piézomètre de Chez Lélène. Ainsi, en recoupant avec la carte d'occupation du sol (Illustration 24), et sachant

que la contribution de l'amont non contaminé est minime, la prédominance d'une recharge à ces altitudes moyennes recouvertes de bananeraies explique 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 Chez Lélène (Illustration 24).

L'illustration 25 rassemble les principales molécules phytosanitaires détectées dans les eaux souterraines prélevées à Chalvet et à Chez Lélène sur la période 2007-2013. Comme le souligne le tableau, les fortes concentrations proviennent de pesticides utilisés dans la culture de la banane et sont à ce jour presque tous interdits.

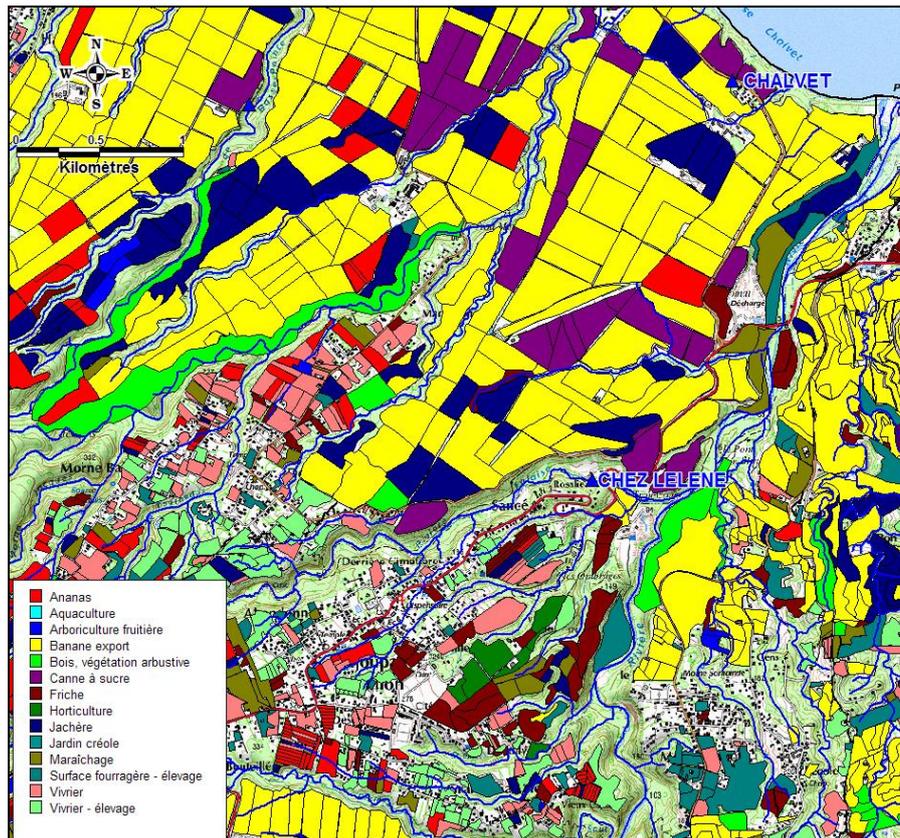


Illustration 24 : Carte de l'occupation du sol (CNASEA, 2006)

Produits phytosanitaires				Concentrations moyennes ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	
Type	Molécules	Statut européen (Annexe I)	Date d'interdiction	Chalvet	Chez Lélène
Insecticides	Beta HCH	Non autorisé	1998	0.03	0.046
	Chlordécone	Non autorisé	1993	2.25	0.415
	Chlordécone 5B-hydro		métabolite CLD	0.038	0.042
	Dieldrine	Non autorisé	1994	0.072	0.26
	Heptachlore époxyde	Non autorisé	1973	0.007	0.012
Herbicides	Amétryne		30/09/2003	0.012	0.003
	Atrazine		30/09/2003	non détecté	0.019
	Bromacil		2003	1.446	1.081
	Diuron	Autorisé jusqu'au 30/09/2018	13/12/2008	0.09	0.050
	Hexazinon	Non autorisé	31/08/2008	0.025	0.052
	Monuron	Non autorisé		0.114	0.006
	Metolachlore / S-metolachlore	Non autorisé / jusqu'au 31/03/2015		0.018	0.017
Fongicides	Métalaxyl / métalaxyl-M	30/06/2020 / 31/12/2015		0.469	0.003
	Propiconazole	Autorisé jusqu'au 31/05/2014		0.735	0.008

Illustration 25 : Récapitulatif des principales molécules détectées dans les eaux souterraines pour Chalvet et Chez Lélène

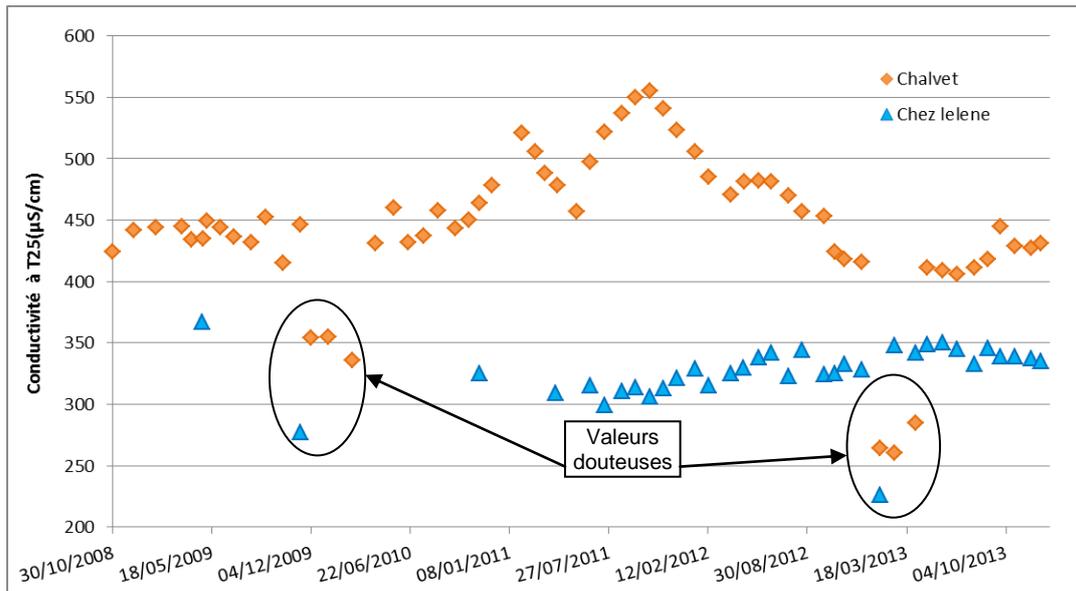
Il est rappelé que le statut des molécules au niveau européen (inscription à l'Annexe I) est complété au niveau national (pour chaque état membre) d'une évaluation des produits commerciaux. Ainsi, une molécule inscrite à l'Annexe I n'a pas nécessairement d'usages autorisés en France (pas d'autorisation de mise sur le marché d'un produit commercial contenant cette substance).

5.3. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX ET VARIABILITÉ TEMPORELLE

Les eaux de Chalvet présentent une minéralisation plus importante que celles de Chez Lélène. Les variations de la conductivité électrique de l'eau restent modérées dans les deux cas, plus particulièrement à Chez Lélène (entre 299 et 367 $\mu\text{S/cm}$) (Illustration 26). À Chalvet, sur la période plus récente, les évolutions semblent structurées à l'échelle intra-annuelle.

Dans les deux cas, les eaux sont chlorurées et sulfatées, calciques et magnésiennes. Au regard de la contamination en pesticides et en nitrates, l'origine anthropique (engrais) des plus fortes teneurs en chlorures et sulfates est avérée (en relation avec les concentrations en nitrates).

Un temps de transit plus important de l'eau (interactions eau-roche) ainsi qu'un impact anthropique plus marqué (nitrates et chlorures) expliqueraient la plus forte minéralisation à Chalvet.



Comme cela est déjà observé sur Chalvet (Arnaud et al., 2011), une faible variabilité temporelle est également à noter à Chez Lélène pour les concentrations en silice et potassium, deux traceurs de la lithologie (Illustration 27).

Une grande stabilité des concentrations en potassium est à souligner à Chez Lélène (entre 3,6 et 5,3 mg/l). Les plus fortes concentrations en silice soulignent sans doute des temps de transit plus longs à Chalvet.

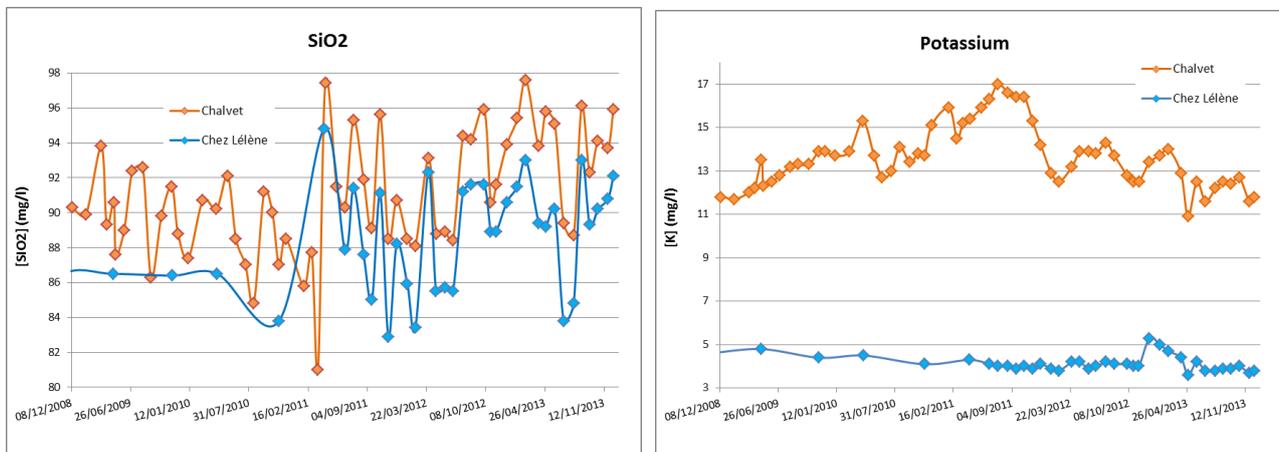


Illustration 27 : Évolution des concentrations en silice et potassium à Chalvet et Chez Lélène

5.4. ÉVOLUTION MENSUELLE DES CONCENTRATIONS EN PESTICIDES

5.4.1. Apport de la fréquence mensuelle

L'illustration 28 met en parallèle le suivi semestriel et le suivi mensuel de la molécule chlordécone-5b-hydro pour le piézomètre de Chez Lélène et du beta HCH pour celui de Chalvet.

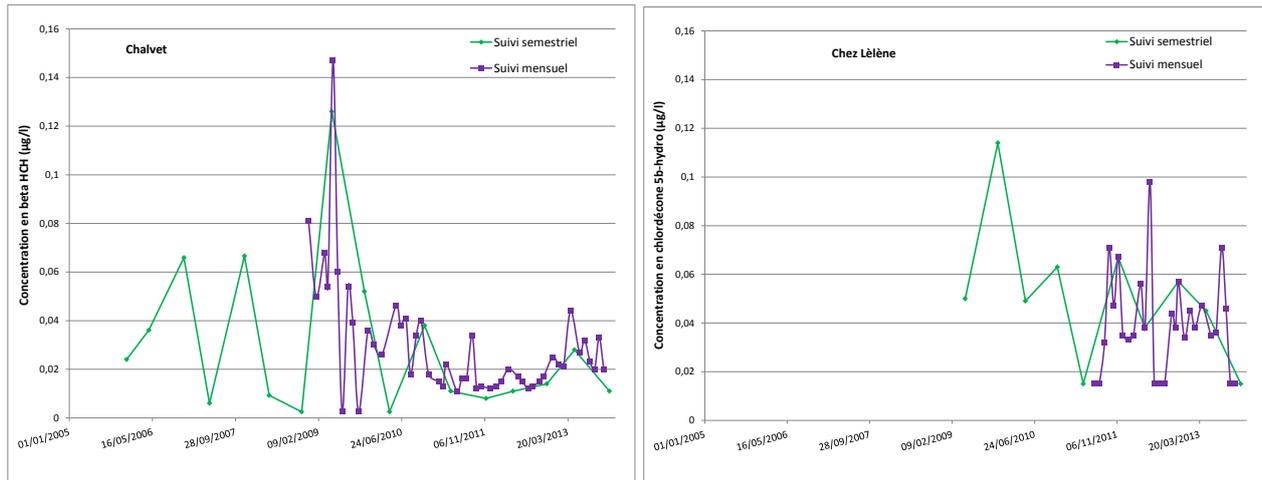


Illustration 28 : Évolution des concentrations en beta HCH à Chalvet depuis décembre 2005 et des teneurs en chlordécone-5b-hydro à Chez Lélène depuis avril 2009

Comme cela a été souligné dans les rapports annuels précédents, les chroniques du suivi mensuel et du semestriel présentent des fluctuations différentes. En effet, plusieurs pics de concentrations ne peuvent être mis en évidence par un suivi à la fréquence semestrielle alors qu'ils sont nettement identifiables avec une fréquence de mesure plus élevée, et ce, aussi bien sur Chalvet, que sur Chez Lélène.

Le suivi mensuel apporte ainsi des indications sur la durée des pics de contamination et sa cinétique de disparition. Il apparaît 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 - Chez Lélène (Arnaud et al., 2013). Sans mesure fine des débits de la rivière Falaise en parallèle, un suivi plus resserré ne semble pas pertinent.

5.4.2. 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 29).

Le recul d'une année supplémentaire de suivi apporte des précisions complémentaires :

- Depuis l'année 2011, les concentrations des différentes molécules phytosanitaires sont en forte baisse et ont tendance à se stabiliser. Seule la molécule de métolachlore affiche un pic de concentration en septembre 2013 avec une teneur mesurée de $0,067\mu\text{g/l}$. Cette diminution qui perdure en 2013 ne peut être reliée au changement de matériel de pompage (tuyauterie) puisque ce suivi a débuté en avril 2012 et ne concerne que les campagnes semestrielles ;
- Le diuron, l'hexazinon, le métalaxyl et le propiconazole suivent un schéma d'évolution similaire avec des fluctuations globalement moins marquées depuis fin 2010. La concordance des fluctuations est en revanche moins évidente pour la molécule de métolachlore qui affiche plusieurs pics de concentrations (mars 2012, février 2013 et septembre 2013) ;

- La dieldrine, le beta HCH ainsi que l'heptachlore époxyde affichent des fluctuations similaires jusqu'en été 2013 où l'heptachlore époxyde connaît un pic de concentration qui ne se retrouve pas pour les deux autres molécules ;
- La chlordécone (interdite en 1993), l'amétryne, le bromacil et le monuron suivent des évolutions de concentration propres à chacun (aucune corrélation significative avec d'autres molécules). Il est à noter l'évolution du monuron qui depuis 2011 avoisine la limite de quantification, ainsi que celle du bromacil qui a pourtant connu un large pic de concentration en novembre 2011 (6.77µg/l) ainsi qu'un pic au mois de mai 2012.

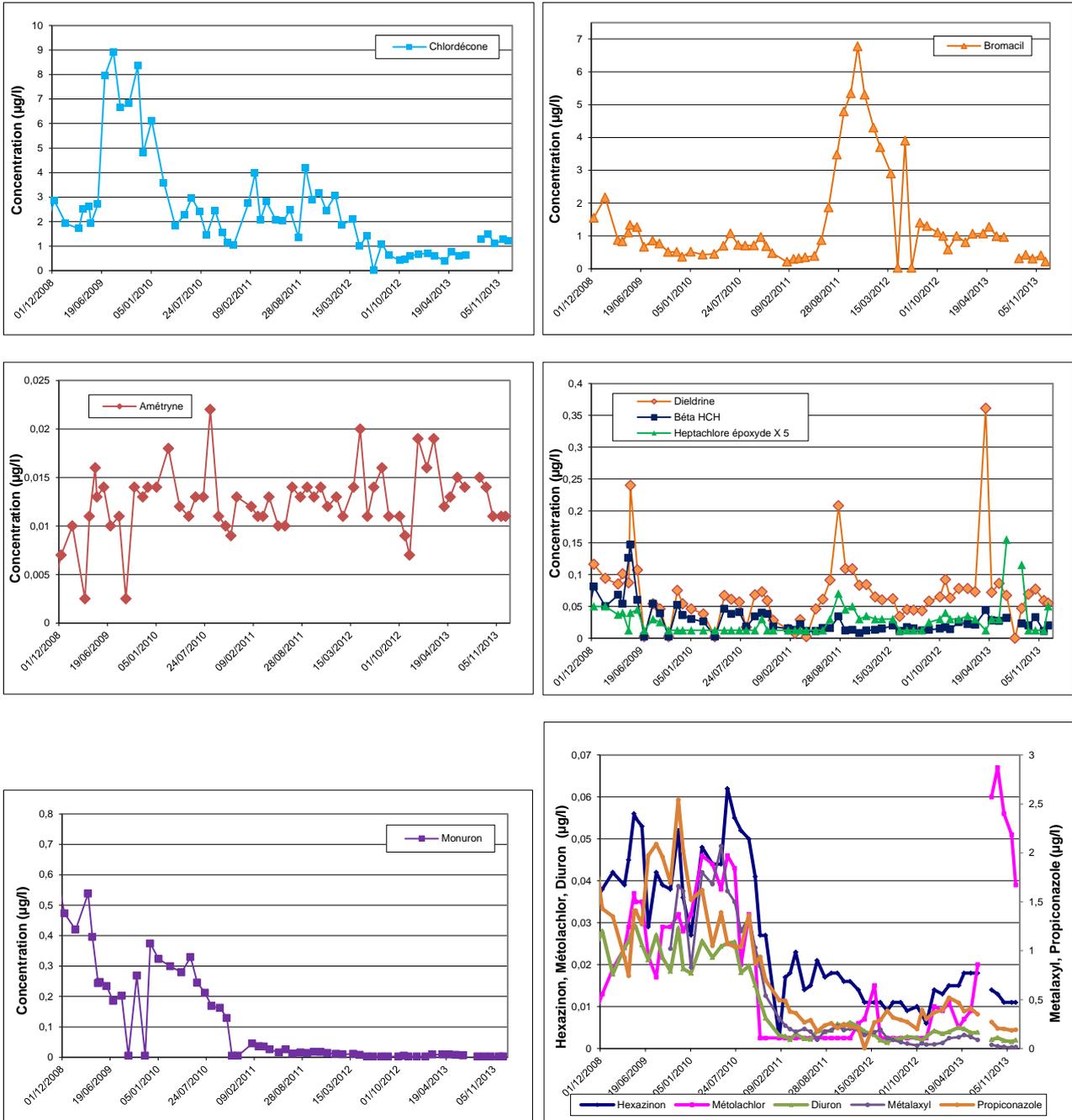


Illustration 29 : Fluctuations mensuelles mesurées sur Basse Pointe_Chalvet pour différents pesticides (les valeurs inférieures à la limite de quantification sont arbitrairement représentées comme égales à LQ/2)

En comparant les fluctuations observées sur Chalvet et sur la source de Morne Figue dont le suivi mensuel a été abandonné au profit de celui à Chez Lélène, il avait été constaté que les concentrations suivaient globalement les mêmes évolutions pour les 3 molécules communément détectées : la chlordécone, le beta HCH et la dieldrine.

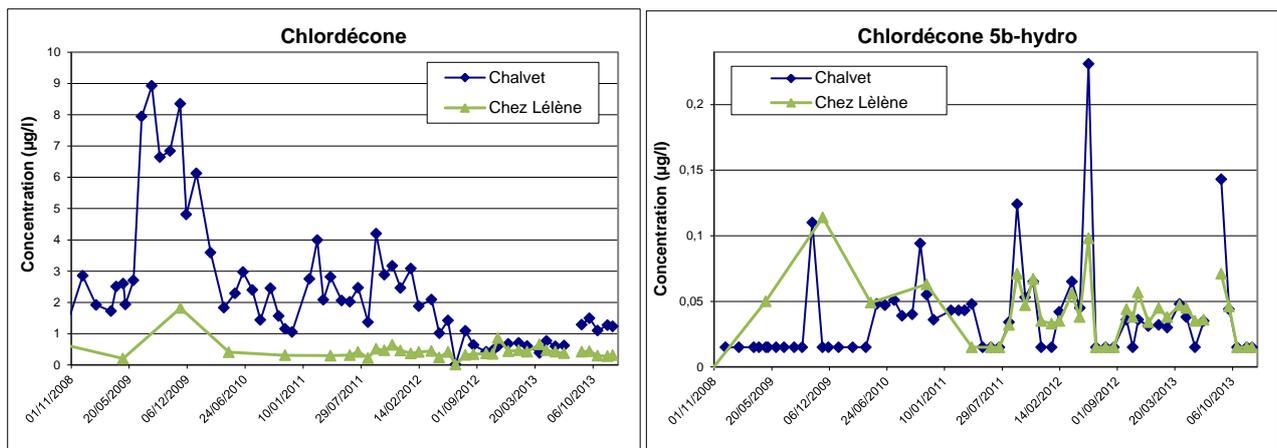
Le même exercice a été réalisé pour les 8 molécules communément détectées sur Chalvet et Chez Lélène, à savoir la chlordécone, la chlordécone 5B-hydro, la dieldrine, l'heptachlore époxyde, l'hexazinone, le beta HCH, le diuron et le bromacil (Illustration 30).

Toutes ces molécules connaissent des fluctuations similaires sur les deux stations à l'exception du bromacil qui affiche une très forte augmentation de sa concentration entre les mois de juin et novembre 2011 sur Chalvet alors que le piézomètre de Chez Lélène montre une stabilité dans ses concentrations. Cette forte concentration à Chalvet pourrait s'expliquer par le transfert d'un stock lié à un usage passé, ponctuellement conséquent.

Par ailleurs, plusieurs inversions dans les concentrations de certaines molécules ont été identifiées. Ainsi, alors que le taux de chlordécone est habituellement plus élevé au droit du forage de Chalvet, situé plus en aval, en novembre 2012, les eaux prélevées à Chez Lélène étaient plus riches en chlordécone avec une concentration de 0,863 µg/l contre 0,6 µg/l pour Chalvet. De même, la dieldrine et l'heptachlore époxyde, qui affichent généralement des teneurs plus importantes à Chez Lélène, ont été mesurées à des taux plus faibles qu'à Chalvet en avril et juin 2013.

Ces différents comportements peuvent s'expliquer par 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.



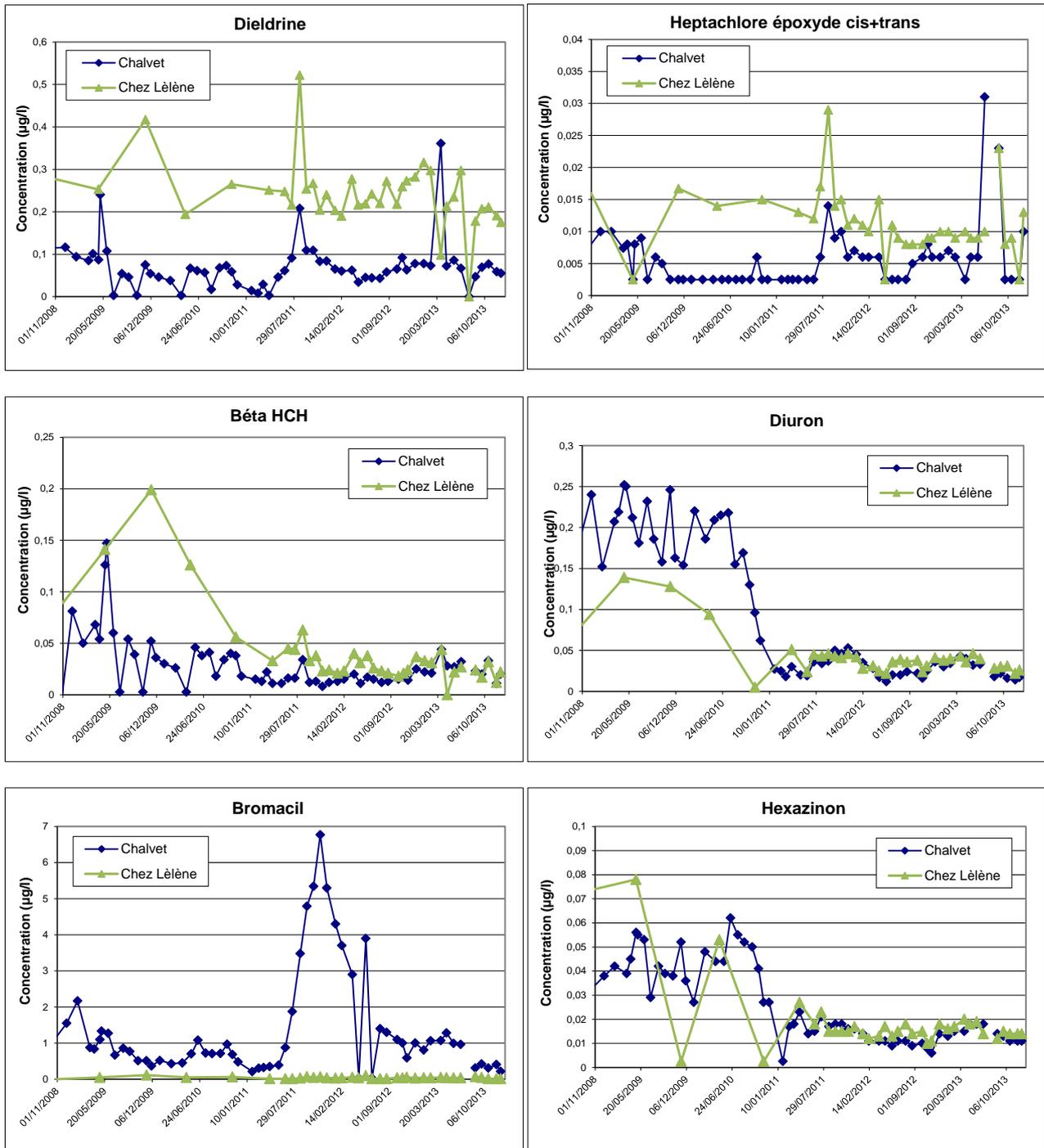


Illustration 30: Comparaison des fluctuations mensuelles sur Chalvet et Chez Lèlène pour la chlordécone, la chlordécone 5B-hydro, la dieldrine, l'heptachlore époxyde, le beta HCH, le diuron et le bromacil

5.5. RELATION PIÉZOMETRIE-CONCENTRATIONS EN PESTICIDES

5.5.1. À Chalvet

Certaines molécules phytosanitaires affichent des concentrations qui semblent être corrélées avec la chronique du niveau piézométrique enregistrée à Chalvet. Ceci est le cas du bromacil et de la chlordécone qui sont présentées en Illustration 31.

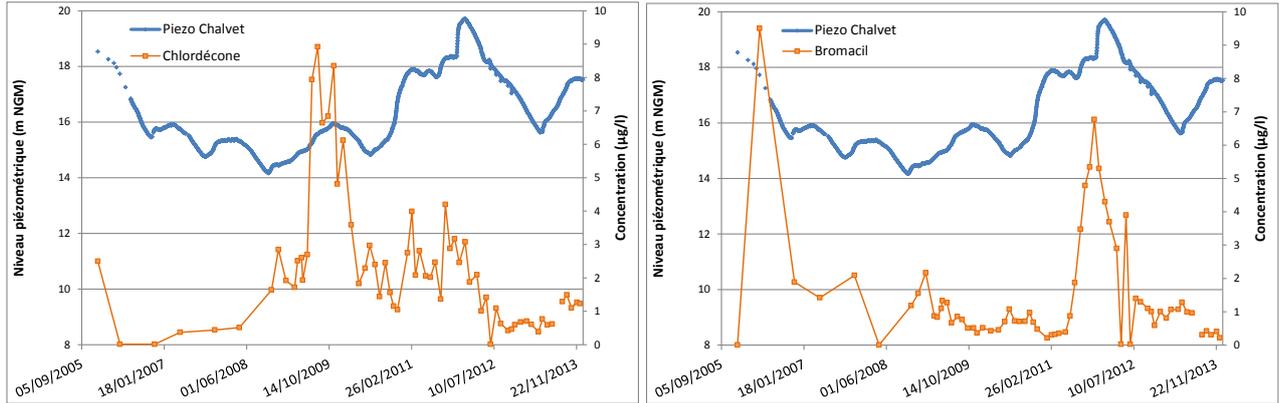


Illustration 31 : Fluctuations des concentrations en chlordécone et bromacil et du niveau piézométrique au droit du forage de Basse Pointe_Chalvet

À l'inverse, les concentrations et le niveau piézométrique sont anti-corrélés pour les molécules de diuron, de propiconazole, d'hexazinon, et du beta HCH (Illustration 32).

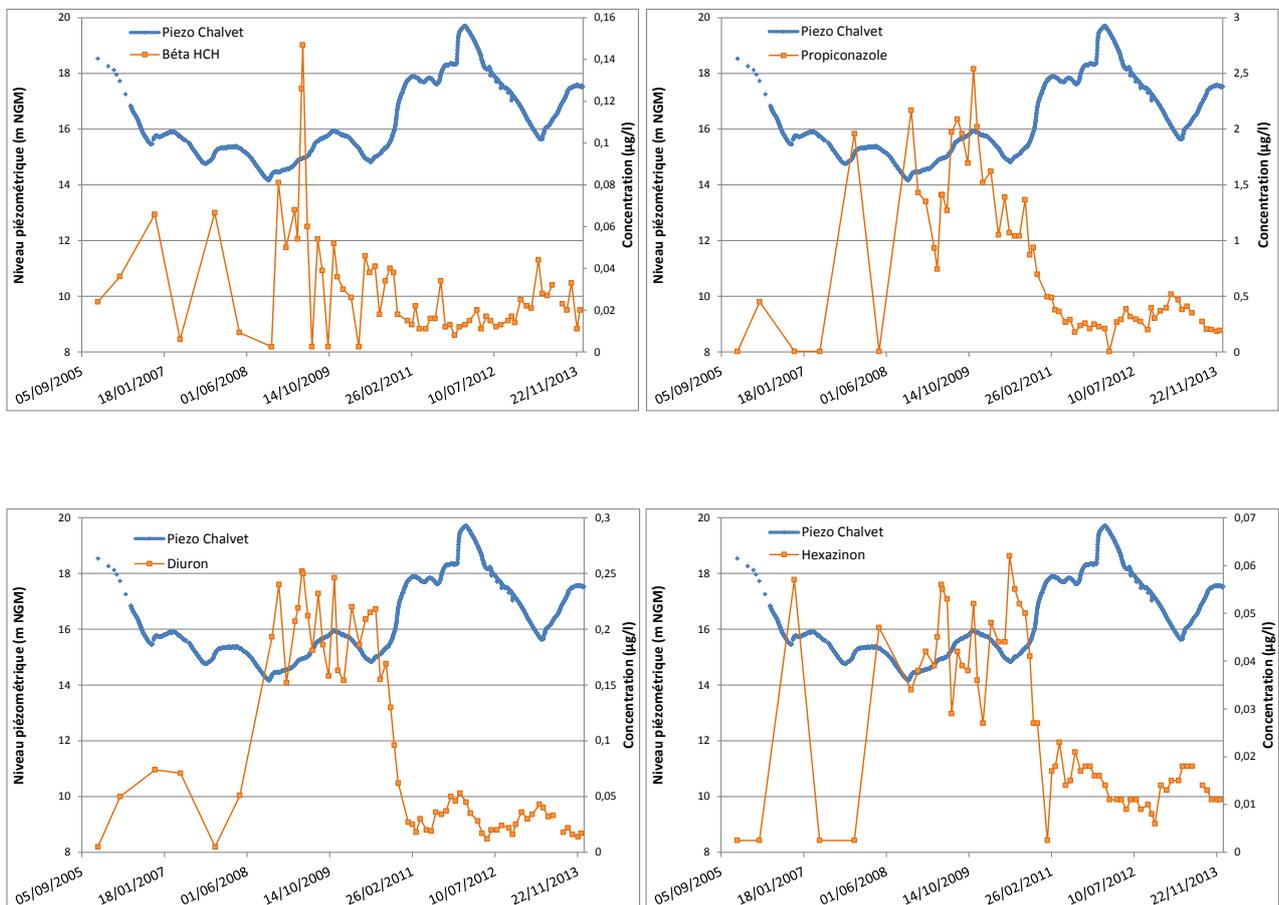


Illustration 32 : Fluctuations des concentrations en diuron, propiconazole, beta HCH et hexazinon et du niveau piézométrique au droit du forage de Basse Pointe_Chalvet

Par ailleurs, il est intéressant de souligner la baisse continue des concentrations en parallèle de la recharge annuelle 2010-2011. Ainsi, l'hypothèse d'une influence prédominante des fluctuations piézométriques pluri-annuelles sur les concentrations de la majorité des molécules détectées semble pouvoir être avancée. Pour la chlordécone, un contrôle par les fluctuations

piézométriques pluri-annuelles n'est pas impossible (Illustration 31) mais très probablement à combiner avec d'autres conditions hydro-climatiques (Arnaud et al., 2013).

5.5.2. Chez Lélène

Au regard des fluctuations piézométriques saisonnières, il n'apparaît actuellement pas possible de mettre en évidence de relation univoque entre piézométrie et concentrations en pesticides.

À titre indicatif, l'illustration 33 met en parallèle les fluctuations piézométriques et les variations de concentrations pour plusieurs molécules sur la période 2010-2013.

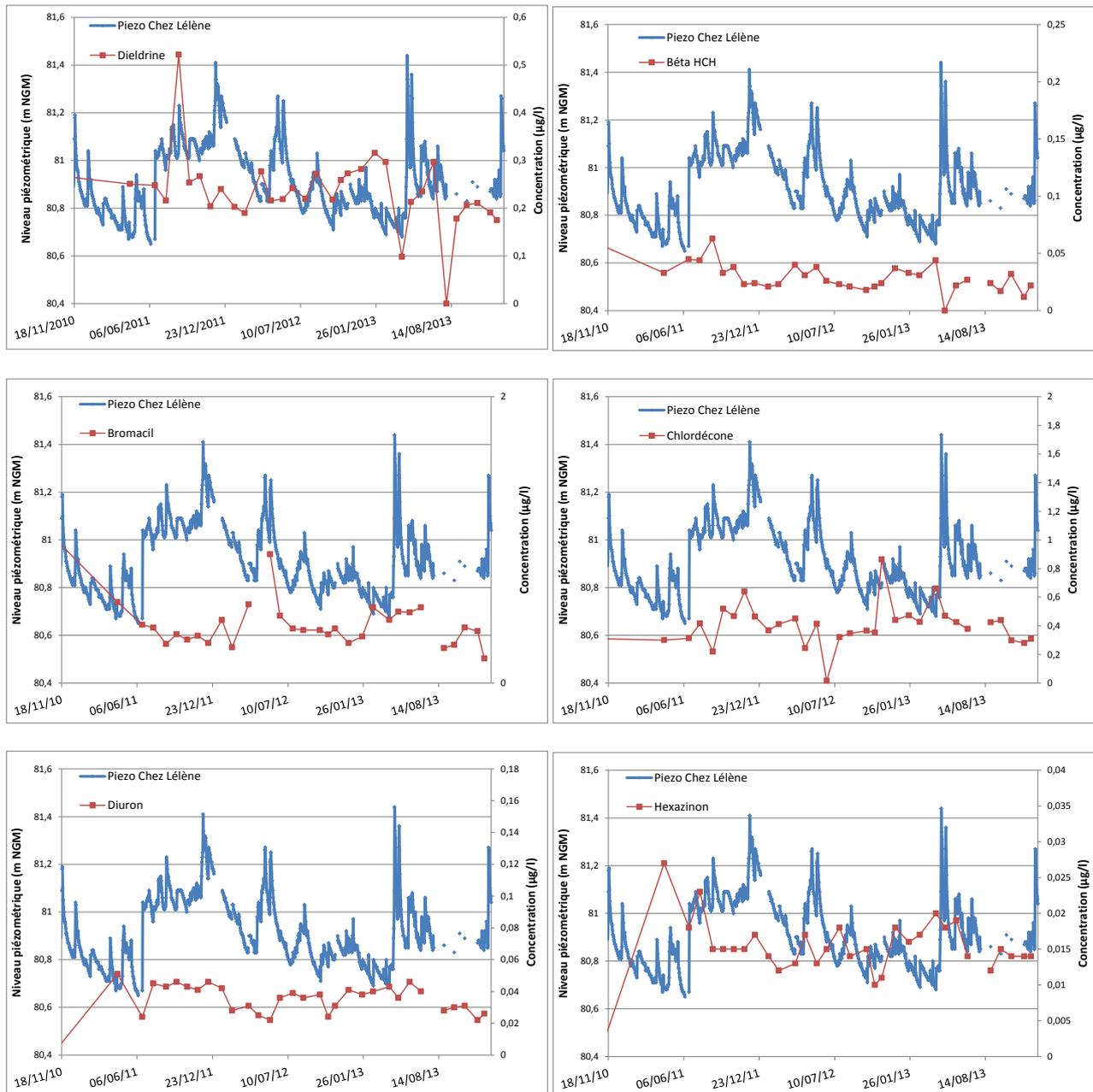


Illustration 33 : Fluctuations des concentrations en dieldrine, beta HCH, bromacil, chlordécone, diuron et hexazinon et du niveau piézométrique au droit du forage de Basse-Pointe_Chez Lélène

5.6. RELATION PIÉZOMETRIE – CONCENTRATION EN NITRATES

L'illustration 34, met en relation l'évolution de la concentration des nitrates et celle de la piézométrie sur les deux stations suivies mensuellement.

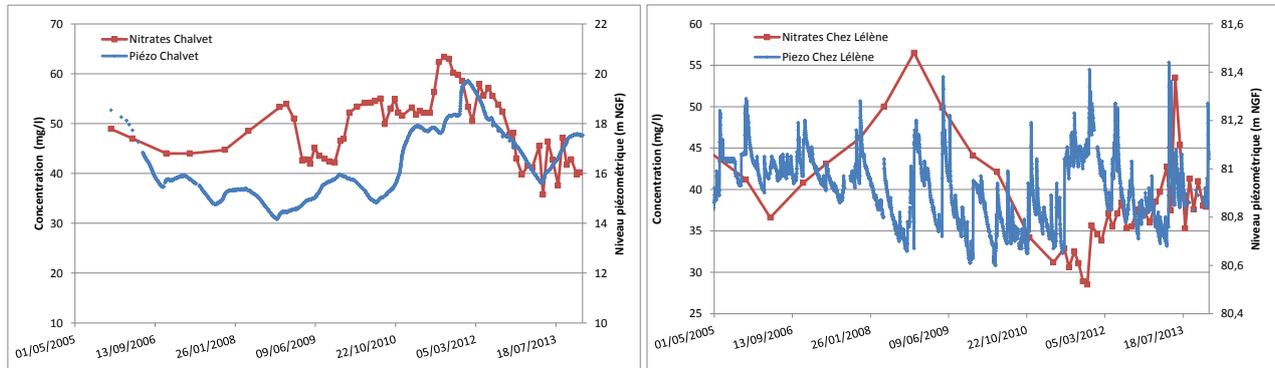


Illustration 34 : Fluctuations des concentrations en nitrates et du niveau piézométrique au droit des forages de Chalvet et de Chez Lélène

Concernant la station de Chalvet, il semblerait que la correspondance négative entre la piézométrie et les concentrations en nitrates nettement identifiée jusqu'en mars 2012, s'atténue depuis. En effet, après une forte baisse des teneurs mesurées (57,9 mg/L en février 2012 et 39,8 mg/L en décembre 2012), en parallèle d'une vidange de l'aquifère, la concentration en nitrates oscille autour de 40mg/L alors qu'une recharge est amorcée depuis fin avril 2013.

Une tendance similaire est identifiée pour le forage de Chez Lélène. Malgré sa forte réactivité face aux épisodes orageux entraînant des pics du niveau piézométrique, une allure générale se dégage de la chronique qui apparaît anti-corrélée à la courbe matérialisant les concentrations en nitrate. Cette anti-corrélation est moins évidente depuis 2013 ; cela renforce l'idée que d'autres facteurs hydro-climatiques contrôlent l'évolution des concentrations.

5.7. 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 Chez Lélène ainsi que la température et l'altitude moyenne de recharge des eaux. Ces informations ont été déterminées en analysant les isotopes stables de la molécules d'eau ; les résultats (rapport Arnaud et al., 2013) aboutissent à une température et une altitude moyenne de recharge identique pour les deux forages ($T_{\text{moy}} = 25^{\circ}\text{C}$; $\text{alt}_{\text{moy}} = 200\text{m}$).

5.7.1. À Chalvet

À partir des CFC-12 et CFC-113 ainsi que de quelques valeurs de SF_6 il est possible d'estimer l'âge apparent des eaux souterraines de Chalvet. Le traitement abouti à une date moyenne de recharge de 2007 (en 2011) et 2008 (en 2012 et début 2013).

Les concentrations enregistrées depuis le début du suivi figurent en Illustration 35. Bien que les variations soient plus importantes qu'à Chez Lélène, elles restent minimes et s'effectuent lentement, soulignant ainsi un système bien tamponné.

Sur la période 2012-2013, les concentrations en CFC-12 passent de 1,6 à 1,3 pmol.l^{-1} (Illustration 35). 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. Il est nécessaire, sur cette période, de corrélérer les concentrations en gaz et éléments dissous avec les données piézométriques.

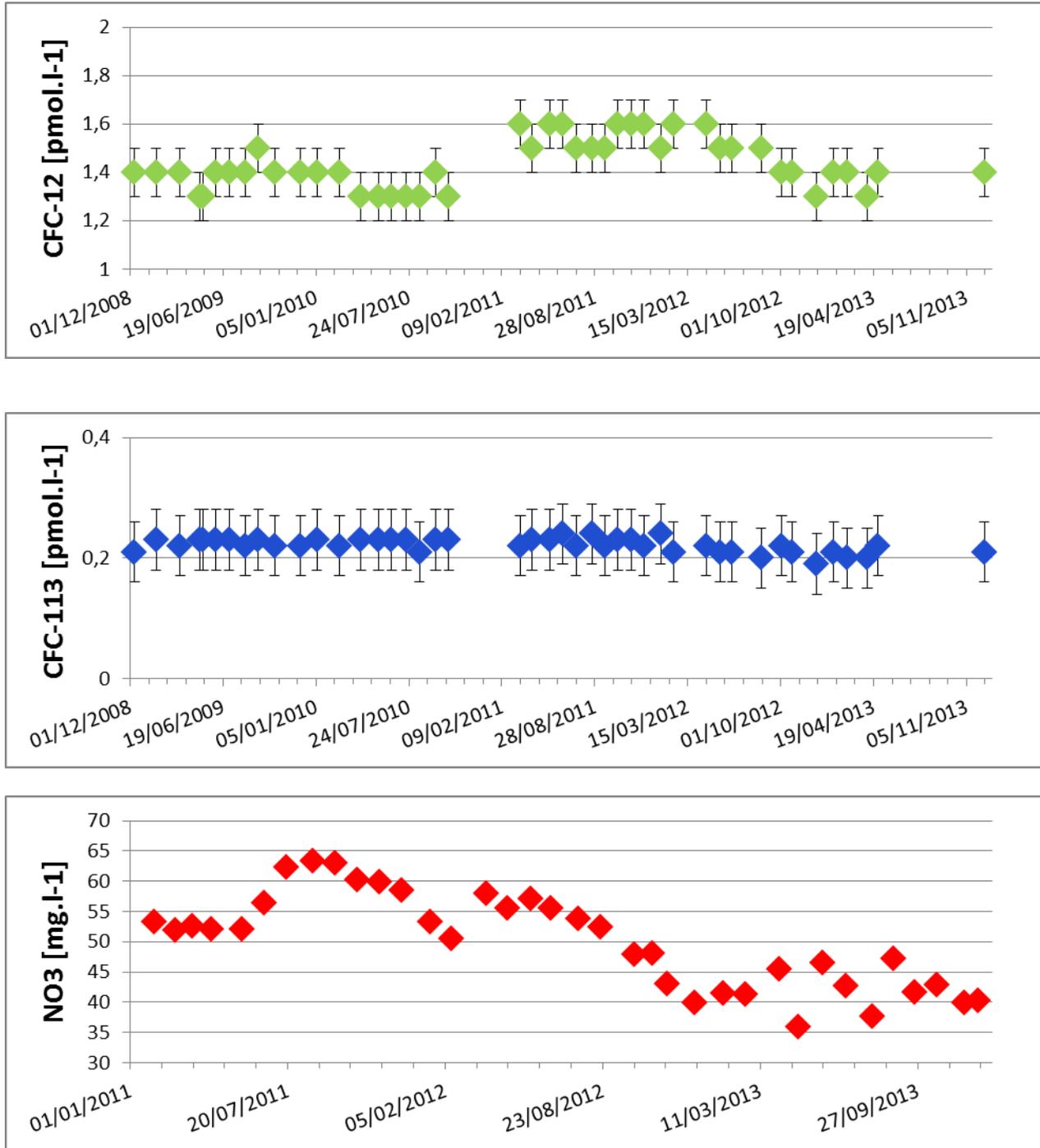


Illustration 35 : Variations des CFC-12 et CFC-113 au forage Chalvet

5.7.2. Chez Lèlène

Les eaux du forage Chez Lèlène 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 de plusieurs années et le modèle de recharge estimé (modèle piston) 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⁻¹ au maximum sur la période 2011-2013 (Illustration 36). La légère augmentation des concentrations en nitrates observée depuis fin 2011 ne serait donc pas due à un contexte hydrologique 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.

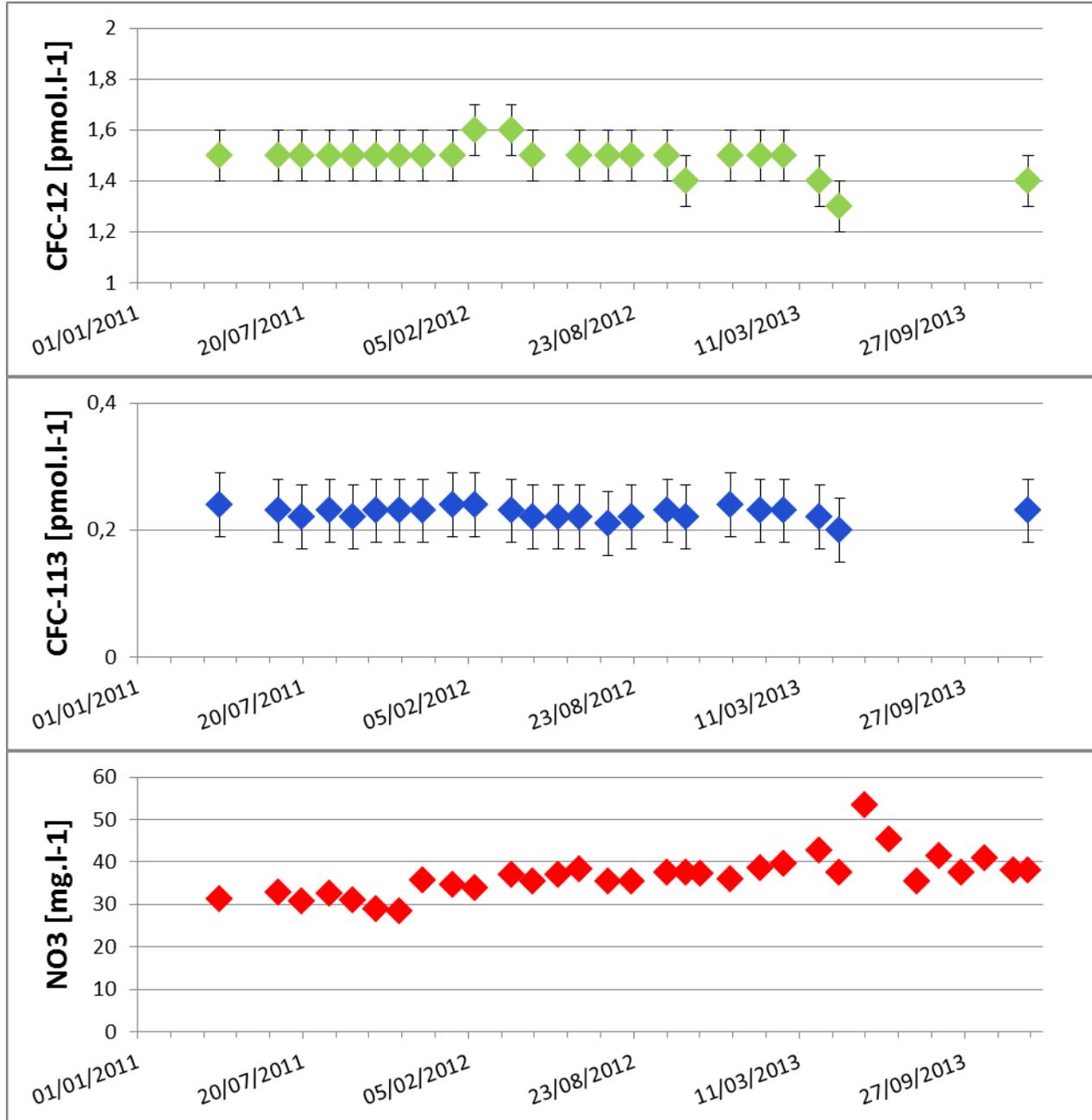


Illustration 36 : Variations des CFC-12, CFC-113 et NO3 au forage Chez Lélène

Compte tenu des faibles variations, en 2013, la fréquence des analyses sur les deux stations du suivi mensuel est passée à deux analyses annuelles en période de basses et hautes eaux.

5.8. CONCLUSIONS SUR LE SUIVI MENSUEL DE DEUX POINTS D'EAU

Après une longue période de vidange des aquifères de Basse Pointe entamée fin 2011, phénomène moins évident sur la chronique de Chez Lélène en raison de sa forte réactivité face aux épisodes pluvieux, les niveaux piézométriques sont de nouveau à la hausse depuis avril 2013. Cette vidange des aquifères a été accompagnée d'une baisse des concentrations de certaines molécules phytosanitaires qui semble se poursuivre depuis 2013.

En revanche, l'hypothèse d'un contrôle des variations des concentrations en pesticides par les cycles hydrodynamiques pluri-annuels semble se dessiner. Il a par exemple été mis en évidence pour la quasi-totalité des molécules que toutes les fortes concentrations mesurées à Chalvet correspondaient à des niveaux de basses eaux. Pour de nombreuses molécules, un pic de concentration, plus ou moins étalé, est observé au sein de la période de basses eaux (fin 2007 à mi-2010) et suivi par une forte baisse des concentrations sur les derniers mois (début de la recharge de l'aquifère).

Cette hypothèse apparaît également cohérente avec les 2 observations suivantes qui plaident en faveur de l'influence des cycles pluri-annuels des nappes :

- pour certaines molécules (majoritairement d'usage ancien), des variations de concentration similaires sont mesurées d'un point à l'autre (Chalvet, Morne Figue et Chez Lélène) présentant pourtant des contextes géologique, pédologique et hydrodynamique différents ;
- malgré des eaux aux caractéristiques physico-chimiques très stables pour Chalvet et Chez Lélène, des variations de concentrations sont observées.

Cette hypothèse ne pourra cependant être validée que par l'acquisition de données supplémentaires (sur la période 2005-2013, un seul cycle pluri-annuel complet a été suivi à Chalvet).

6. Dossiers complémentaires : Analyses sur les sources

6.1. SOURCES COMPLÉMENTAIRES

Dans le cadre de la convention ODE-BRGM 2013, il a été convenu de consolider l'évaluation de l'état des masses d'eaux souterraines, en complétant le programme de surveillance classique par des enquêtes complémentaires dans des secteurs où des interrogations subsistent.

Après six ans de suivi, de nombreuses interrogations persistent sur l'état des masses d'eau Centre et Sud Atlantique. En effet, sur la base des cartes de risque du SIESMAR environ 19% de la superficie est supposé dégradée (cf. test de 20% de l'enquête appropriée DCE). L'objectif du dossier complémentaire est d'affiner les connaissances en ajoutant pour ces masses d'eau un nombre de points d'analyses supplémentaires, notamment en dehors des zones supposées dégradées pour obtenir une meilleur évaluation de la superficie réellement dégradée (supérieur ou non à 20%).

La sélection des points de prélèvements complémentaires a été définie en accord avec l'Office de l'Eau à partir de la localisation des sources, des données d'analyses existantes et des zones présentant des risques de contamination par les produits phytosanitaires. Il faut signaler que peu de sources sont répertoriées au sein de la masse d'eau Sud Atlantique. En définitive, 27 sources ont été retenues.

Au cours de la campagne de prélèvements, les agents se sont heurtés à des difficultés d'accès pour 5 sources, 2 ont pu être remplacées dont une par un forage.

Les illustrations 37 et 38 indiquent les 24 points échantillonnés, leurs dates de prélèvement et leurs localisations.

Masse d'eau	Code européen DCE	Code BSS	Nom de la source	Localisation	Date du prélèvement
CENTRE	FRJG20 4	1174ZZ0141	Source Nove	Saint-Joseph	28/11/2013
		1178ZZ2021	Source Rivière l'Or	Saint-Joseph	09/12/2013
		1178ZZ2018	Source de La Meynard	Fort de France	28/11/2013
		1174ZZ0105	Source Saint Etienne	Gros-Morne	09/12/2013
		1174ZZ0136	Source Duchesneteau	Gros-Morne	28/11/2013
		1174ZZ0104	Source Bellefond	Gros-Morne	28/11/2013
		1182ZZ0156	Source Dédé	Rivière Salée	02/12/2013
		1182ZZ0170	Source Guinée Fleury	Rivière Salée	02/12/2013
		1179ZZ0292	Source Sarrault	Le Lamentin	29/11/2013
		1179ZZ0282	Source la Frédée	Le Lamentin	12/12/2013
		1179ZZ0286	Source Raquil	Le Lamentin	12/12/2013
		1179ZZ0290	Source Corain	Le Lamentin	12/12/2013
		1179ZZ0291	Source Dupuys	Le Lamentin	29/11/2013
		1179ZZ0315	Source Grande Savane	Ducos	12/12/2013
		1183ZZ0063	Source Abondance	Saint-Esprit	02/12/2013
1183ZZ0053	Source Caraïbe	Saint-Esprit	02/12/2013		
1183ZZ0071	Source Moquette	Saint-Esprit	02/12/2013		
SUD ATLANTIQUE	FRJG20 5	1175ZZ0178	Source l'Heureux	Le Robert	29/11/2013
		1175ZZ0176	Source Ananas	Le Robert	29/11/2013
		1179ZZ0314	Source Lan Maison	Le Robert	29/11/2013
		1179ZZ0311	Source Desroses	Le François	10/12/2013
		1180ZZ0130	Source Dos d'âne	Le François	10/12/2013
		1183ZZ0057	Source Goujon	Vaudlin	10/12/2013
		1186ZZ0119	Forage Cap Macré	Marin	10/12/2013

Illustration 37 : Liste des sources complémentaires et dates de prélèvements



Illustration 38 : Localisation des sources complémentaires

Les molécules recherchées au cours de cette campagne sont listées dans le tableau suivant. Elles ont été sélectionnées en concertation avec l'ODE, la priorité a été donnée aux produits phytosanitaires les plus détectés dans les eaux souterraines ainsi qu'à certaines molécules utilisées dans les post-traitements des exploitations bananières et de plus en plus retrouvées dans les cours d'eau:

Les paramètres <i>in situ</i>	Température, pH, conductivité, potentiel redox, oxygène dissous,
Les majeurs	HCO ₃ /CO ₃ , Ca, K, Na, Mg, SiO ₂ , NO ₃ , SO ₄ , Cl, F
Les phytosanitaires les plus détectés dans les eaux souterraines	2,4-D, AMPA, aldicarbe, atrazine, bromacil, chlordécone, chlordécone 5b, dieldrine, diuron, glufosinate d'ammonium, glyphosate, HCH Beta Hydro, carbendazime, hexazinone, métalaxyl, métolachlore, propiconazole, tuconazole, imazalil, monuron

6.2. LES ÉLÉMENTS PHYSICO-CHIMIQUES, MAJEURS ET ÉLÉMENTS EN TRACES

6.2.1. Les paramètres physico-chimiques mesurés sur place

Les valeurs des paramètres physico-chimiques *in situ* sont reportées dans le tableau de l'illustration 39.

Les eaux analysées présentent des teneurs variables en oxygène dissous (de 1,23 à 8,23 mg/L) et affichent des températures comprises entre 23,7 °C et 28,5 °C.

Concernant le pH, il est majoritairement acide pour l'ensemble des sites mesurés avec des valeurs oscillant entre 5,58 et 7,49. Quant aux conductivités, elles sont comprises entre 71,2 et 2280 µS/cm avec une valeur médiane de 313 µS/cm.

Code BSS	Nom de la source	Localisation	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Température (°C)	pH	Potentiel redox mesuré	Oxygène dissous (mg/l)
1174ZZ0141	Source Nove	Saint-Joseph	106,2	25,3	5,76	190,7	4,93
1178ZZ2021	Source Rivière l'Or	Saint-Joseph	188,2	25,5	6,46	216,4	5,74
1178ZZ2018	Source de La Meynard	Fort de France	2140	28,3	6,36	172,8	5,49
1174ZZ0105	Source Saint Etienne	Gros-Morne	124,5	26	5,59	320	6,51
1174ZZ0136	Source Duchesneteau	Gros-Morne	70,9	23,7	7,19	247,7	8,23
1174ZZ0104	Source Bellefond	Gros-Morne	154,5	27,32	6,06	80,9	6,18
1182ZZ0156	Source Dédé	Rivière Salée	219	26,1	6,8	156,5	
1182ZZ0170	Source Guinée Fleury	Rivière Salée	275	26,2	6,05	198,1	
1179ZZ0292	Source Sarrault	Le Lamentin	354	27,3	6,39	200,7	6,55
1179ZZ0282	Source la Frédée	Le Lamentin	381	26,3	6,67	202	6,12
1179ZZ0286	Source Raquil	Le Lamentin	253	26,5	6,13	200,9	3,87
1179ZZ0290	Source Corain	Le Lamentin	456	27,1	6,74	182	5,48
1179ZZ0291	Source Dupuys	Le Lamentin	230	25,1	5,99	196	6
1179ZZ0315	Source Grande Savane	Ducos	311	26,9	5,89	224	3,09
1183ZZ0063	Source Abondance	Saint-Esprit	284	25,4	7,49	236,5	3,09
1183ZZ0053	Source Caraïbe	Saint-Esprit	319	25,4	7,03	172,5	7,7
1183ZZ0071	Source Moquette	Saint-Esprit	496	27	6,64	214,5	
1175ZZ0178	Source l'Heureux	Le Robert	378	26,2	6,54	286,6	
1175ZZ0176	Source Ananas	Le Robert	189,4	26,9	6,16	175,9	3,77
1179ZZ0314	Source Lan Maison	Le Robert	334	25,7	6,14	222,7	3,78
1179ZZ0311	Source Desroses	Le François	568	27,3	6,59	284,4	4,97
1180ZZ0130	Source Dos d'âne	Le François	485	26,3	5,8	206,3	1,23
1183ZZ0057	Source Goujon	Vauclin	350	25,4	6,54	20,7	2,59
1186ZZ0119	Forage Cap Macré	Marin	1183	28,5	6,54	70,8	1,42

Illustration 39 : Paramètres physico-chimiques in situ des 24 sources

6.2.2. Les éléments majeurs

Les sources complémentaires réalisées sont globalement bicarbonatées (HCO_3^-) calciques (Ca^{2+}) et magnésiennes (Mg^{2+}); une tendance chloruré sulfatée calcique et magnésienne se remarque sur la masse d'eau Centre avec les sources Sarrault, Corain, Bellefond et La Meynard.

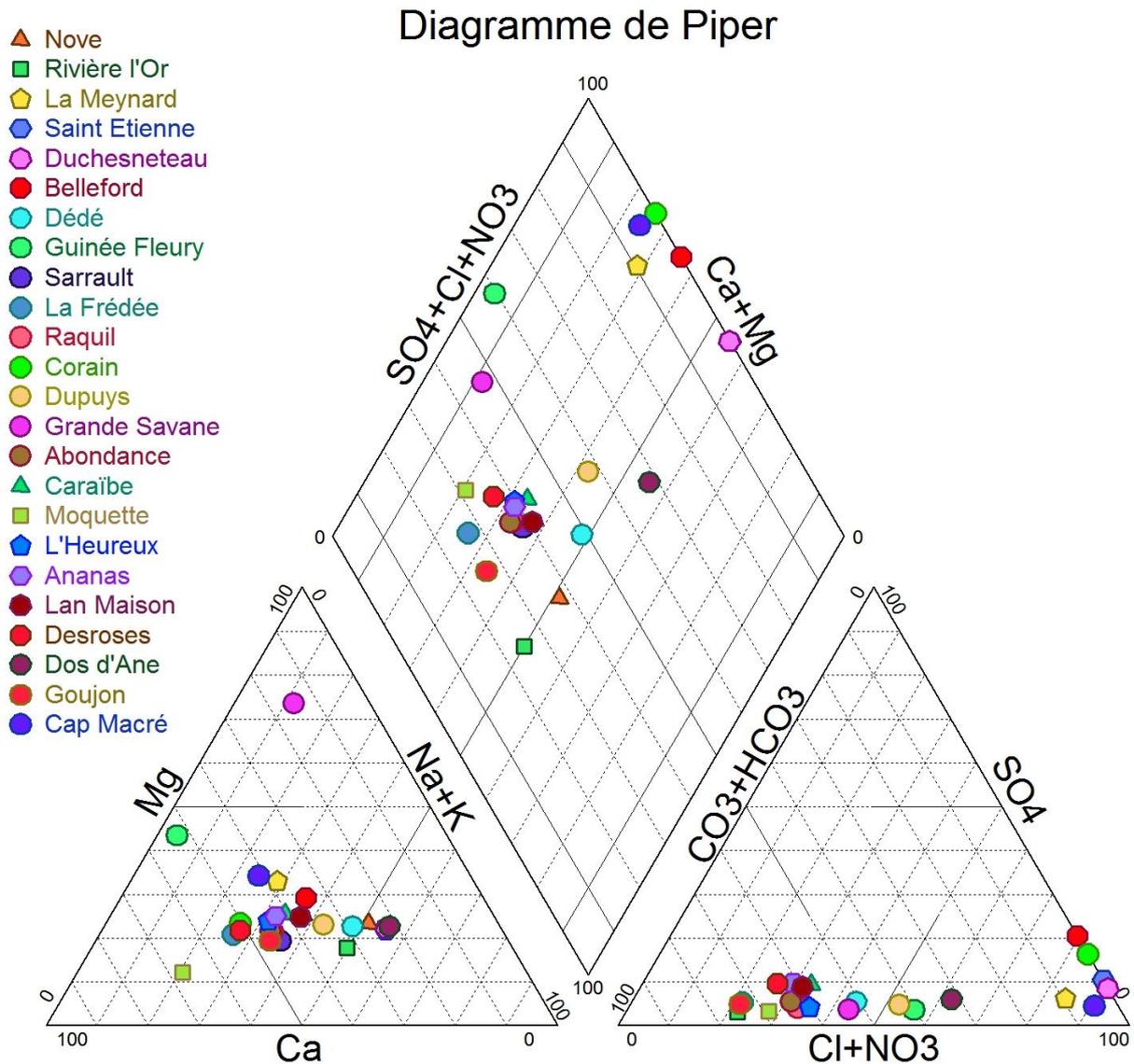


Illustration 40 : Diagramme de Piper des sources complémentaires

6.3. NITRATES (NO₃⁻)

Les analyses des nitrates réalisées dans le cadre de la saison des pluies 2013 montrent toutes des valeurs inférieures au seuil DCE et norme de potabilité fixées à 50 mg/L (Illustration 41 et 42). Les concentrations en nitrates supérieures à 10 mg/L sont indicatrices d'une contamination anthropique probable.

Parmi les 24 sources complémentaires, 21 ont une concentration supérieure au seuil de détection, 15 sur la masse d'eau Centre et 6 sur la masse d'eau Sud Atlantique. Sur la masse d'eau Centre, 5 stations connaissent des valeurs supérieures à 10 mg/L, dont les teneurs maximales se retrouvent sur la source L'Heureux au Robert (21 mg/L), tandis que sur la masse

d'eau Sud Atlantique, deux points connaissent ce dépassement avec une concentration maximale à la source Desroses au François (15 mg/L).

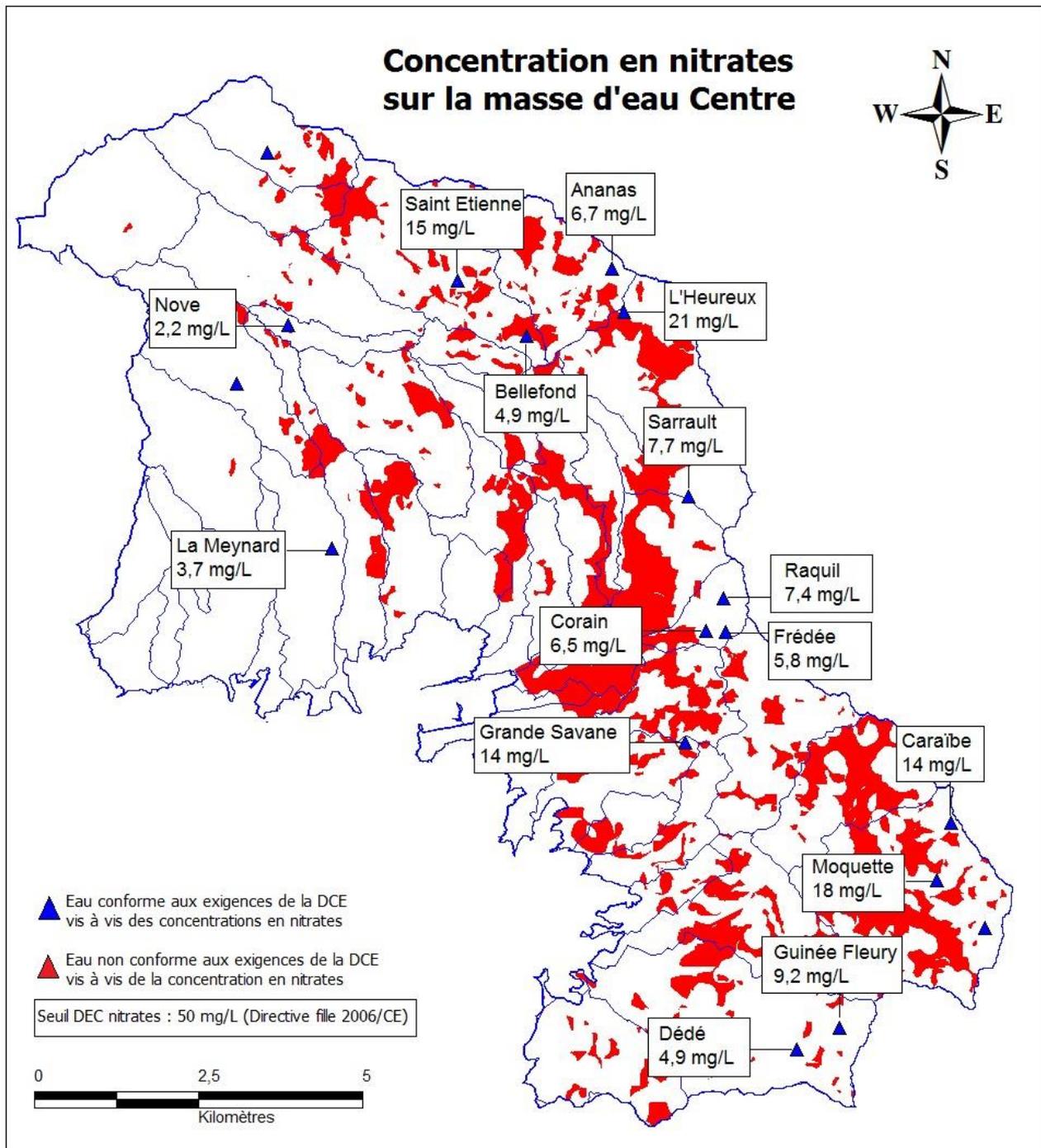


Illustration 41 : Concentrations en nitrates des sources échantillonnées sur la masse d'eau Centre

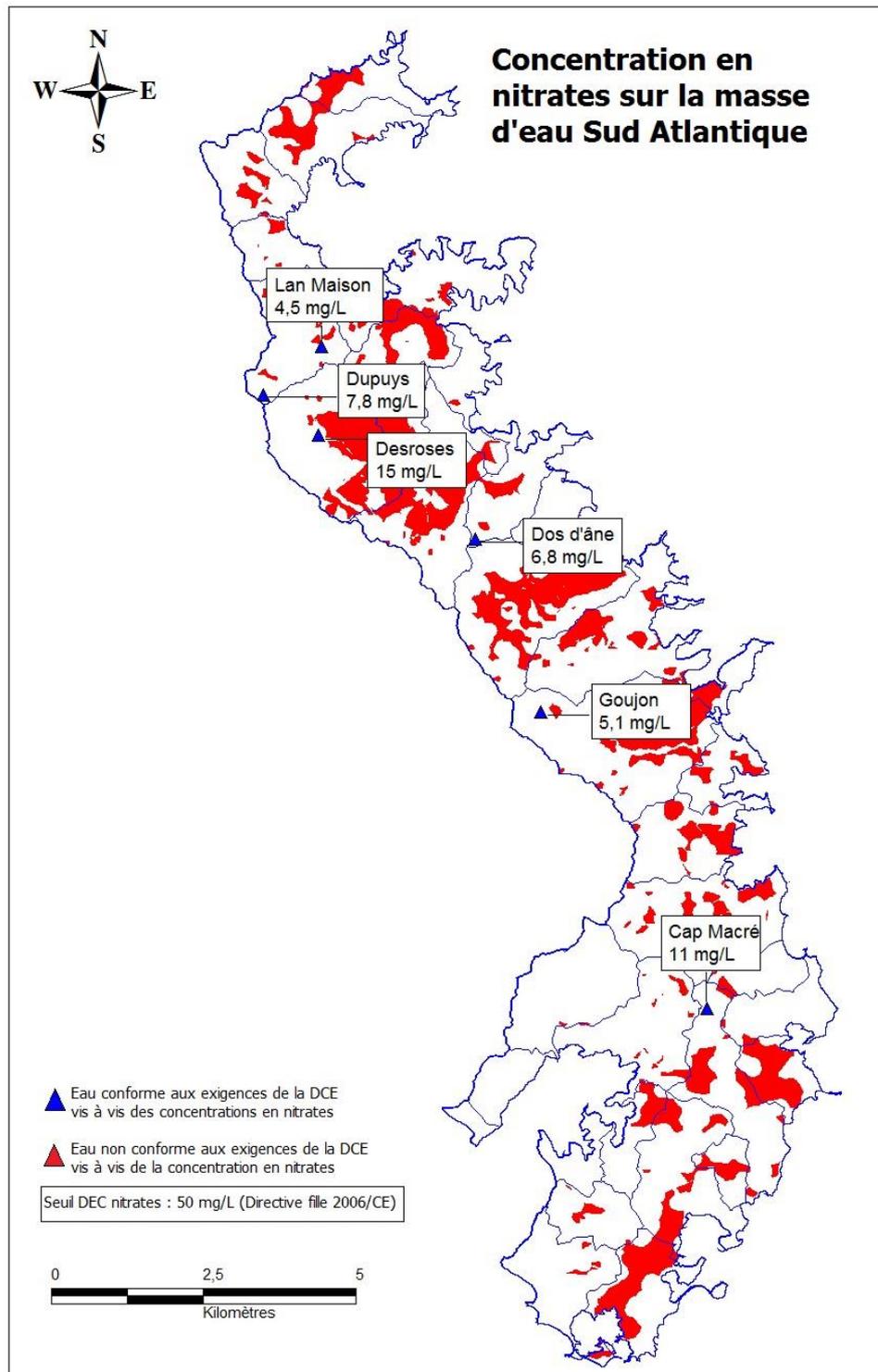


Illustration 42 : Concentrations en nitrates des sources échantillonnées sur la masse d'eau Sud Atlantique

6.4. PRODUITS PHYTOSANITAIRES

La liste des produits phytosanitaires détectés en saison des pluies 2013 ainsi que leurs concentrations sont reportés aux Illustrations 43 & 44.

Sur les 18 sources de la masse d'eau Centre, 9 ont des concentrations en produits phytosanitaires supérieures au seuil de détection ; on retrouve 3 produits organiques : l'Hexazinon (0,07 µg/l) détecté à la source la Meynard, la chlordécone 5b hydro (0,011 µg/l) à la source Moquette et la chlordécone pour 8 d'entre elles allant de 0,014 µg/l à 3,31 µg/l.

5 sources sont non conformes aux exigences DCE et possèdent des dépassements uniquement en chlordécone : la source Sarrault, Abondance, Moquette, Saint Etienne et l'Heureux avec la concentration la plus importante.

Sur les 6 sources de la masse d'eau Sud Atlantique, on recense 3 détections en chlordécone dont 2 qui dépassent les valeurs seuils à la source Lan Maison avec 0,174 µg/L et Desroses avec 0,172 µg/L.

L'ensemble des stations ne répondant pas aux exigences de la DCE se situent en dehors des zones à risque agricole, **une sous-estimation de la superficie des zones dégradées utilisée dans le cadre de l'enquête appropriée (§ 4.2.7) est donc ici mise en évidence.**

Comme évoqué précédemment, ces résultats justifient le choix de ne pas valider le test « qualité générale » pour la masse d'eau Centre du point de vue de l'état chimique ; le nombre de points complémentaires étant limité sur la masse d'eau Sud Atlantique, un doute persiste quant au pourcentage de surface dégradée ; on le considère toujours à 19%.

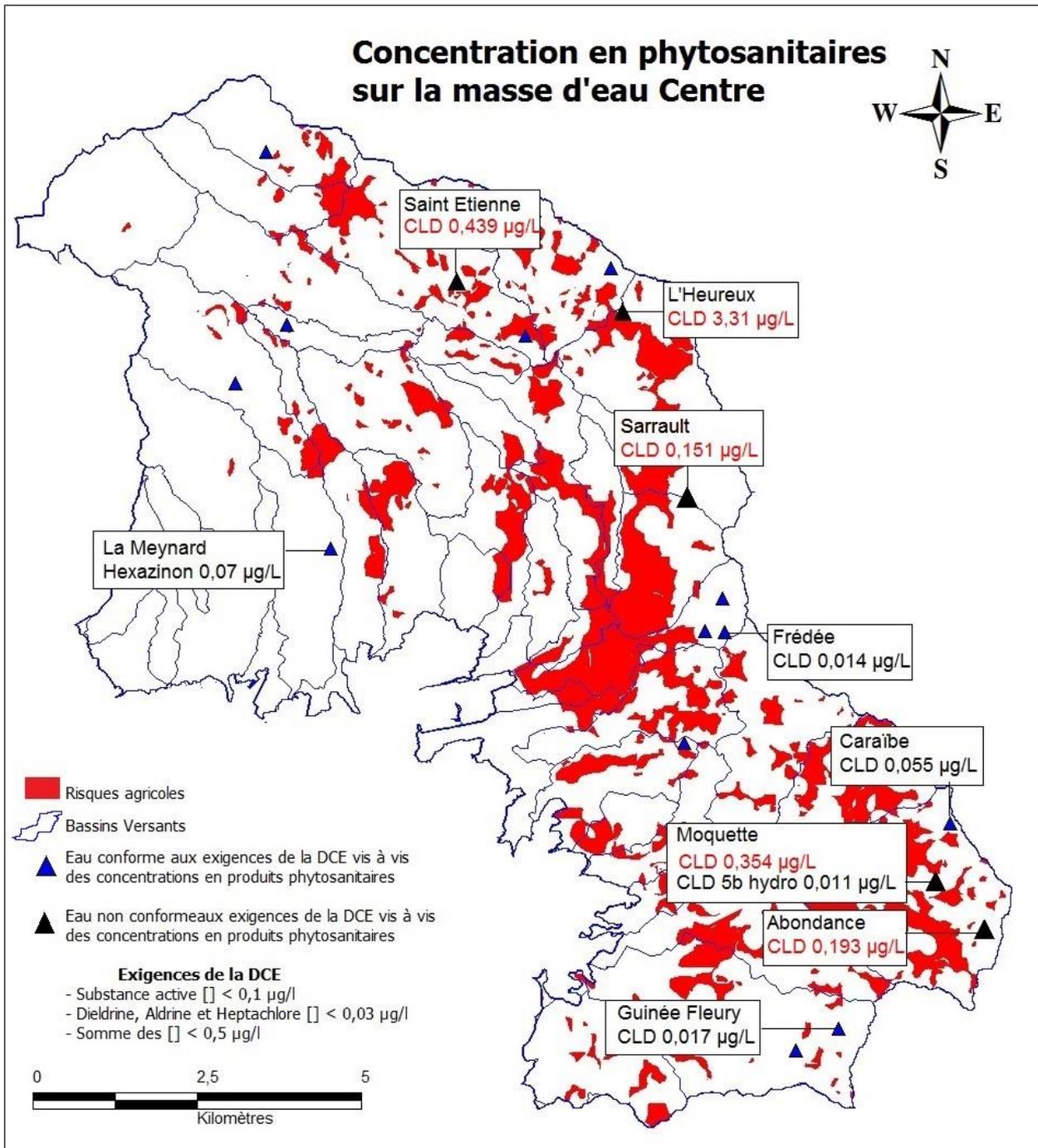


Illustration 43 : Produits phytosanitaires quantifiés sur la masse d'eau Centre

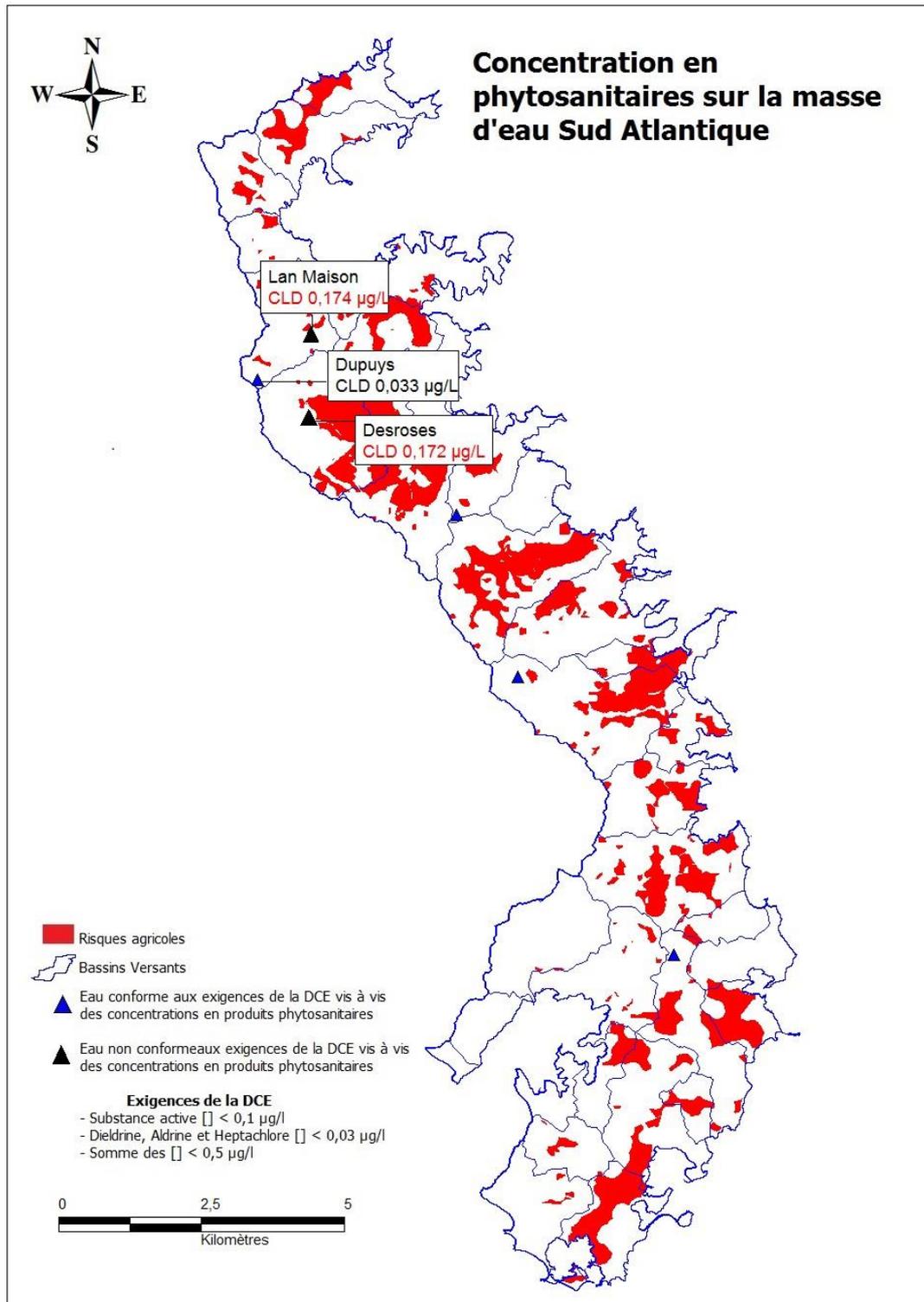


Illustration 44 : Produits phytosanitaires quantifiés sur la masse d'eau Sud Atlantique

7. Dossiers complémentaires : Diagraphies physico-chimiques

Dans le but d'affiner l'évaluation des masses d'eau souterraine, le BRGM, en accord avec l'ODE, a mené une campagne de diagraphies physico-chimiques de la colonne d'eau de différents ouvrages appartenant au réseau de surveillance DCE, en décembre 2013.

L'objectif est d'avoir une meilleure connaissance des forages, des coupes hydrogéologiques afin de réaliser les prélèvements les plus représentatifs possibles.

7.1.1. Présentation du principe de mesure

Le logging géochimique mis en œuvre consiste à mesurer en continu les variations de cinq paramètres physico-chimiques de l'eau en fonction de la profondeur : conductivité électrique à 25°C, le pH, la température, le potentiel d'oxydoréduction et enfin l'oxygène dissous. L'ensemble est collecté par une sonde multi-paramètres en condition non pompée.

Cette méthode permet notamment de repérer le ou les niveaux producteurs dans un ouvrage. Par la suite, il sera ainsi possible de positionner le dispositif de pompage au plus près de la venue d'eau principale et d'obtenir des échantillons les plus représentatifs de la nappe à analyser.

Parmi les autres matériels indispensables à la manipulation, un ordinateur portable permettant une lecture directe des paramètres physico-chimiques. À noter également le dispositif utilisé pour maintenir la sonde dans un axe vertical afin d'assurer un minimum de perturbations dans la colonne d'eau : il s'agit d'un trépied, la sonde étant maintenue par un câble robuste (Illustration 45).

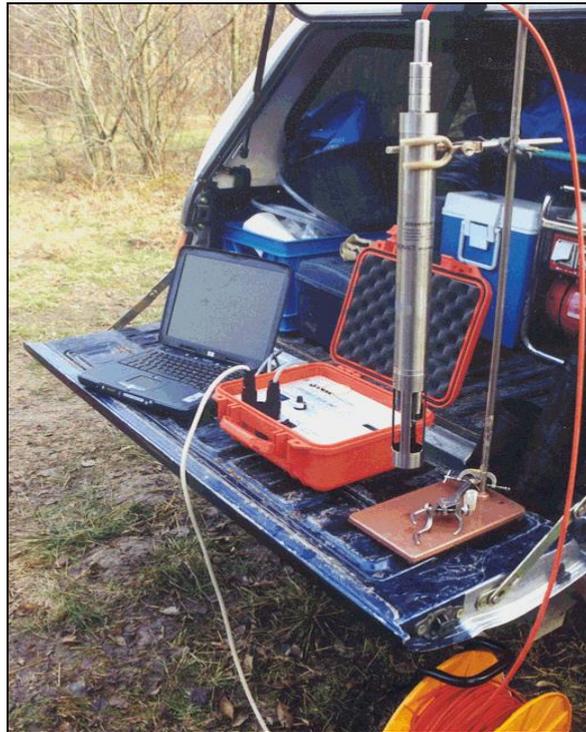


Illustration 45 : Dispositif d'acquisition d'un logging géochimique

La sonde multi-paramètres est descendue lentement sans interruption dans l'ouvrage ; les montées et descentes répétées de l'appareil sont à éviter afin de ne pas perturber l'état initial de la colonne d'eau. Par ailleurs, en procédant ainsi le mélange potentiel des différentes venues d'eau au sein d'un aquifère sensiblement stratifié est minimisé.

D'un point de vue opérationnel, l'objectif est d'appréhender l'éventuelle stratification de la colonne d'eau dans les forages appartenant au réseau DCE et de juger de la représentativité des prélèvements effectués dans le cadre du réseau DCE. Le cas échéant, des préconisations seront faites quant au positionnement de la pompe immergée.

Ces diagraphies physico-chimiques ont été réalisées sur 19 ouvrages : 3 faisant uniquement partie du réseau qualité DCE, 4 appartenant au réseau piézométrique, 11 appartenant aux deux réseaux et un forage destiné à l'AEP. L'illustration 46 rassemble les caractéristiques de ces ouvrages ainsi que la date des mesures.

Date du sondage	Code BSS	Commune	Lieu dit	Typologie	Profondeur du forage (m)	Crépines
Samedi 14 déc	1184ZZ0001	Diamant	Habitation Dizac	Piézo / Cs + Co	45	6,5 à 28 m
	1181ZZ0132	Trois Ilets	Vatable	Piézo / Cs + Co	45	16 à 45 m
	1182ZZ0160	Rivière salée	Nouvelle citée	Cs + Co	78	inconnu
Lundi 16 déc	1168ZZ0054	Basse Pointe	Rivière Falaise	Piézo / Cs + Co	28,5	8 à 28,5 m
	1166ZZ0026	Basse Pointe	Chalvet	Piézo / Cs + Co	26	10 à 26 m
	1169ZZ0084	Lorrain	Fond Brulé	Piézo / Cs + Co	23	7 à 23 m
	1169ZZ0006	Marigot	Anse Charpentier	Piézo / Cs + Co	27	16 à 26 m
Mardi 17 déc	1167ZZ0024	Prêcheur	Rivière du Prêcheur	Piézo / Cs + Co	47	37 à 47 m
	1167ZZ0045	St Pierre	CDST	Piézo / Cs + Co	38,1	26 à 38,1 m
	1167ZZ0024	St Pierre	Rivière Blanche	Piézo	60	30 à 45 m
	1172ZZ0063	Carbet	Fond Canal	Cs + Co	12,5	1 à 12,5 m
	1177ZZ0177	Schoelcher	Fond Lahaye	Piézo / Cs + Co	62	22 à 62 m
Mercredi 18 déc	1183ZZ0052	Rivière Pilote	Fougainville	Piézo / Cs + Co	30	12 à 28 m
	1186ZZ0119	Marin	Cap macré	Piézo	40	5 à 40 m
Jeudi 19 déc	1179ZZ0070	Lamentin	Habitation Ressource	Cs + Co	55	42 à 54 m
	1174ZZ0088	Gros Morne	La Borelli	Piézo / Cs + Co	42,8	22 à 42 m
	1179ZZ0300	Trinité	Le Galion	Piézo	50,1	18 à 50,1 m
	1175ZZ0154	Robert	Pontalery	Piézo	42,1	19 à 42 m
	1174ZZ0133	Saint Joseph	Cœur Bouliki	AEP	68,7	19,8 à 68,7 m

Illustration 46 : Liste des points sondés

Une carte recensant ces différents points est présentée en Illustration 47.

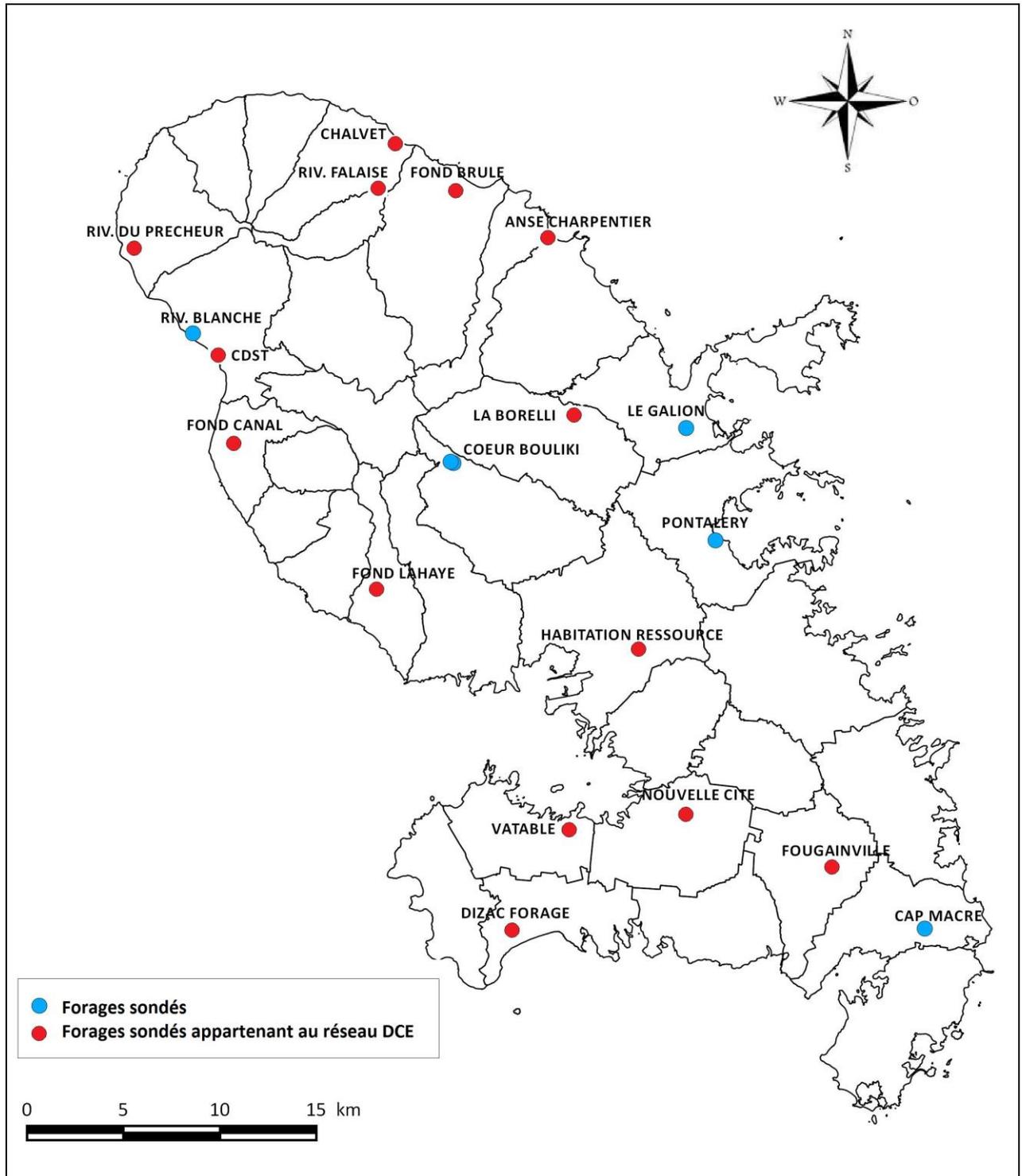


Illustration 47 : Carte de répartition des points sondés

7.1.2. Interprétation des résultats obtenus

Un exemple de fichier de résultats est présenté en Illustration 48. La récupération des données est réalisée par l'intermédiaire du logiciel REDAS.

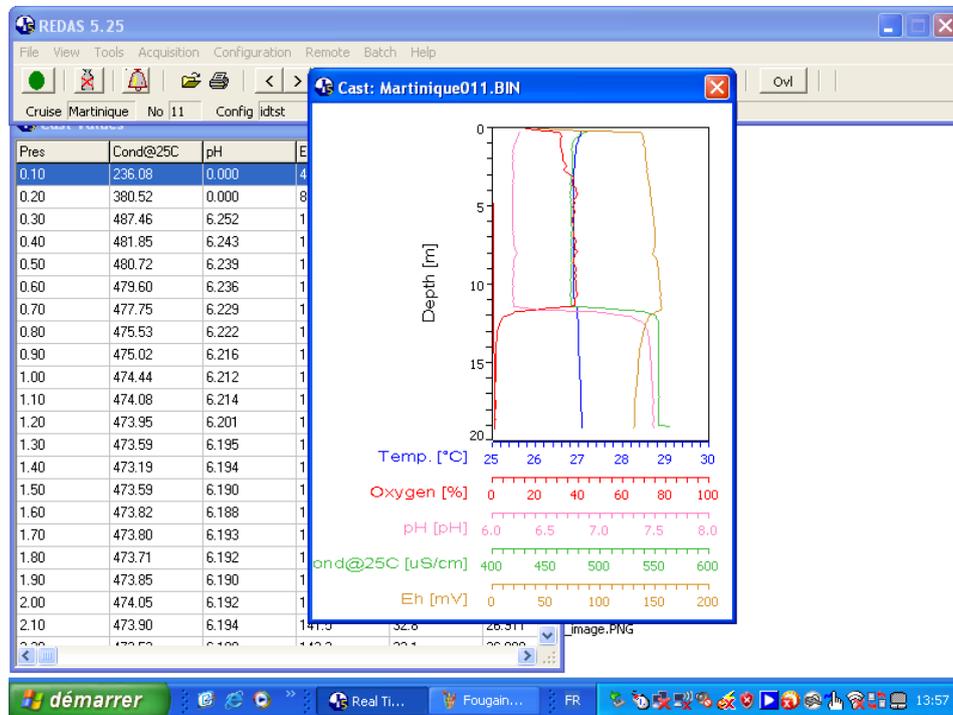


Illustration 48 : Résultat d'un logging géochimique

On s'attachera à décrire les variations observées au droit des crépines, zone de circulation des eaux.

Un défaut d'acquisition est à déplorer pour le forage de Basse Pointe – Chalvet : aucune variation de paramètres n'a été enregistrée.

Les diagraphies présentant des variations des paramètres physico-chimiques sont présentées ci-après.

Rivière Pilote – Fougainville :

L'illustration 49 présente le logging obtenu sur le forage de Rivière Pilote - Fougainville. Les coupes technique et géologique de l'ouvrage ont été représentées afin de comprendre l'évolution des différents paramètres en fonction de la profondeur.

Une variation nette des paramètres physico-chimiques est observée vers 21 m de profondeur (moins sensible pour la température) : augmentation de la conductivité (de 470 à 550 µS/cm) et du pH (de 6,2 à 7,5) accompagnée d'une baisse de l'oxygène dissous (de 40% à 5 %) et du potentiel d'oxydo-réduction (160 à 140 mV).

Deux tranches d'eau homogènes sont ainsi mises en évidence : une première correspond aux eaux circulant au sein d'une formation conglomératique (captée entre 13 et 19 m) et une seconde correspond à l'aquifère andésitique. L'horizon productif des andésites ne débute qu'à partir de 21 m.

En toute rigueur, ce forage n'aurait dû être crépiné qu'au droit des andésites.

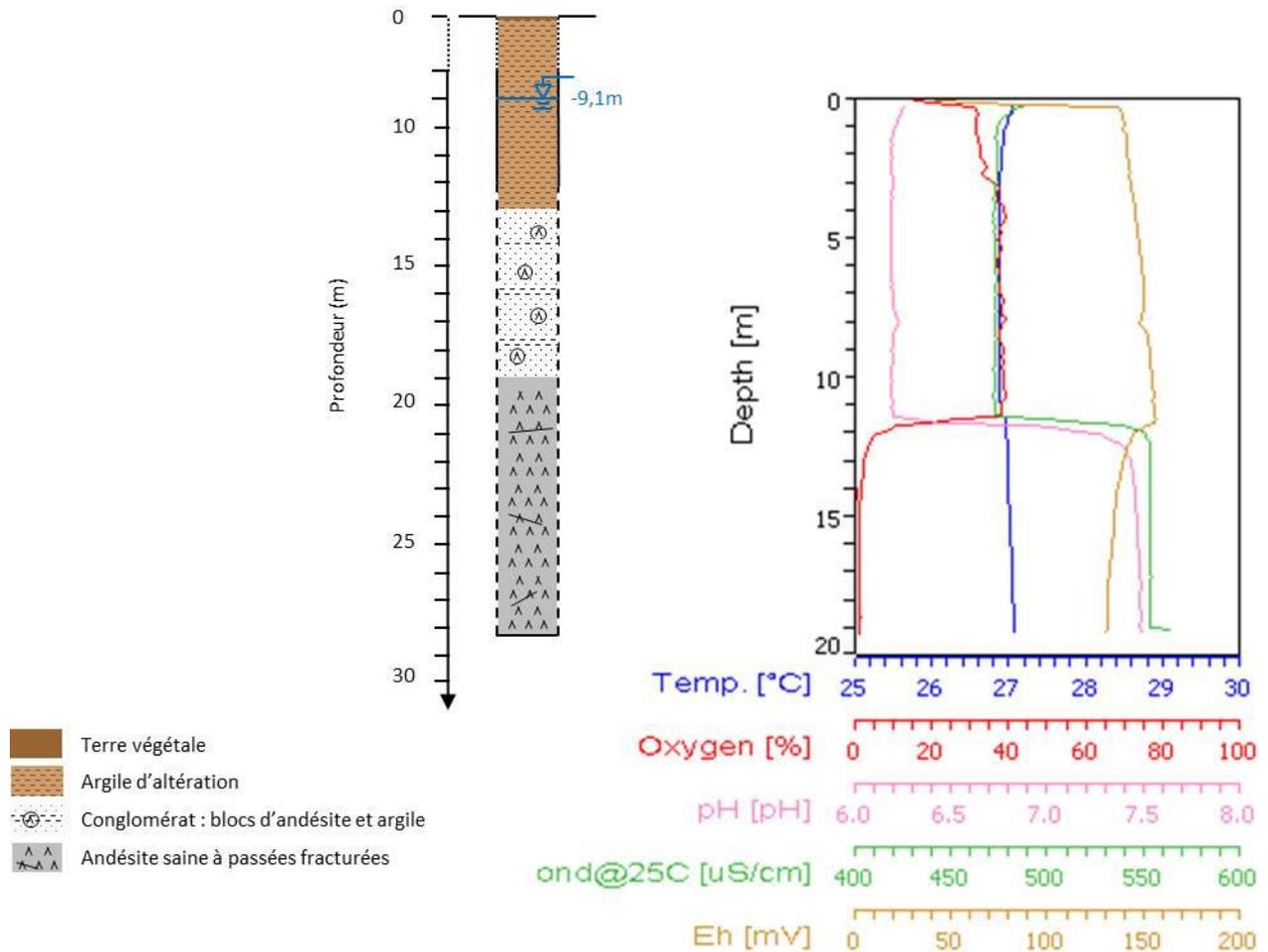


Illustration 49 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Rivière Pilote - Fougainville (pour le logging, la profondeur 0 correspond au toit de la nappe)

Actuellement, la pompe est positionnée à une profondeur de 20m lors des prélèvements réalisés dans le cadre de la surveillance DCE. En comparant les mesures réalisées durant les prélèvements de novembre 2013 après 40 min de pompage et le logging géochimique, on constate que le pH, la conductivité et l'oxygène dissous correspondraient aux venues d'eau supérieures, soit l'horizon conglomératique.

	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Température (°C)	pH	Potentiel redox	Oxygène dissous (%)
Saison pluie 2013	468	27.7	6.13	241	45.6

Par conséquent, si l'on veut privilégier l'étude de l'aquifère andésitique, plus transmissif, un repositionnement un peu plus en profondeur pourrait être envisagé (entre 22 et 24 m).

Saint-Joseph – Cœur Bouliki :

L'illustration 50 représente l'évolution des différents paramètres physico-chimiques mesurés au droit du forage de Cœur Bouliki qui est destiné à l'AEP.

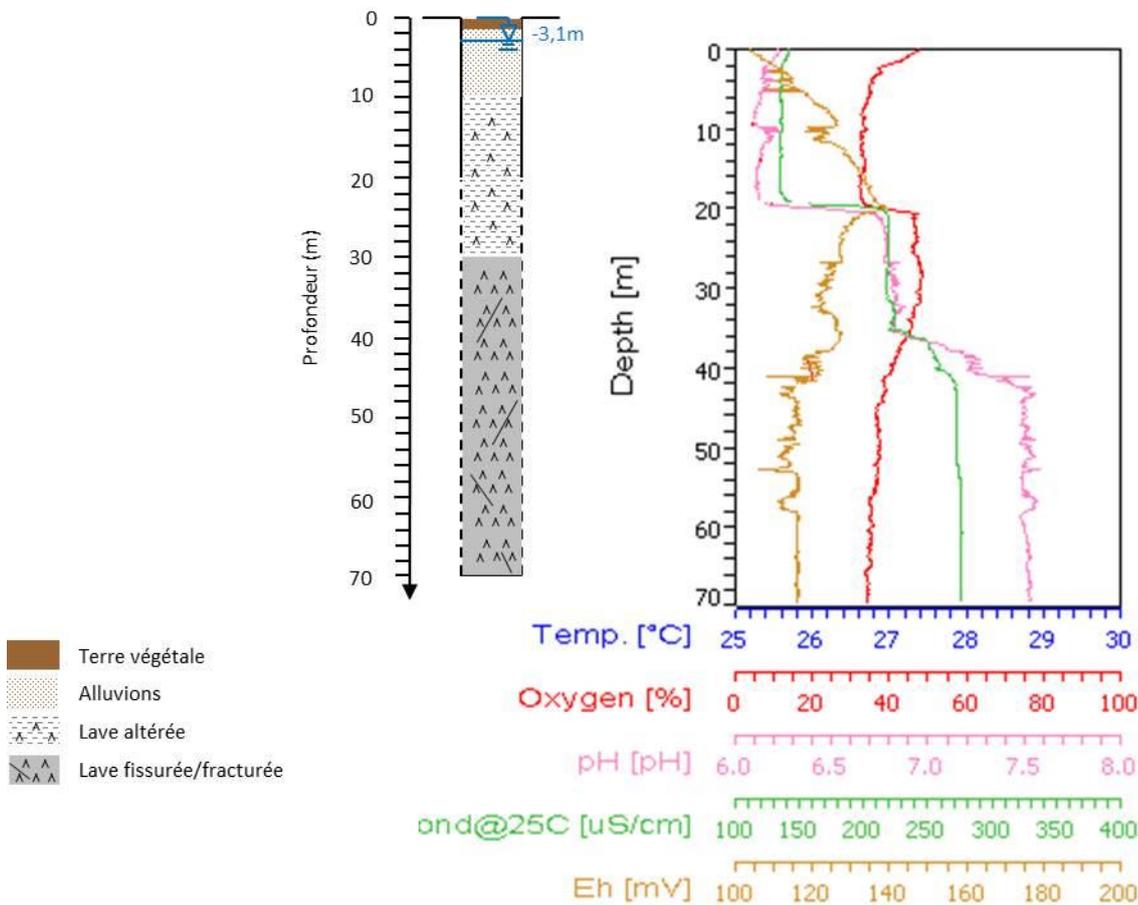


Illustration 50 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Saint Joseph - Coeur Bouliki

Une première tranche homogène est identifiée entre 19 et 39 m de profondeur. La conductivité affiche une valeur de 220 µS/cm, le pH est autour de 6,8 et la teneur en oxygène dissous s'approche de 47%. Quant au potentiel redox, il diminue légèrement en passant de 135 à 120 mV.

À partir de 39 m de profondeur, une augmentation du pH et de la conductivité associée à une baisse de l'oxygène dissous et du potentiel d'oxydoréduction est observé. Ces évolutions se stabilisent vers 44 m de profondeur : la conductivité atteint une valeur de 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le pH est de 7,5, la teneur en oxygène dissous se fixe autour 37% et le potentiel redox est de l'ordre de 120 mV.

Cette évolution des paramètres est cohérente avec la géologie rencontrée au droit du forage. Au sein de l'horizon sain et fissuré, les venues d'eau sont plus minéralisées et moins oxygénées (l'influence des eaux d'infiltration est alors moindre) que dans la formation sus-jacente caractérisée par une lave altérée. La stratification de la colonne d'eau est à relier à la géologie : la première tranche identifiée, entre 19 et 39 m de profondeur, correspond aux venues d'eau de l'interface laves altérées / saines et du sommet des andésites *a priori* plus fissurées.

Les diagraphies de flux en pompage (60 m^3/h) ont montrées la répartition suivante : 39% des venues entre 19 et 21 m, 15 % entre 25 et 26 m, 8% entre 30 et 35 m, 6% entre 38 et 39 m, 5% entre 46 et 49 m et 17 % entre 52 et 53 m (Arnaud et al., 2010).

Dans le cas présent, la pompe serait à positionner au droit de la première tranche d'eau (principal horizon producteur). Toutefois, il serait intéressant de réaliser des prélèvements au droit des deux tranches d'eau pour comparer les résultats et ainsi préciser la compréhension des écoulements.

Carbet – Fond Canal :

L'illustration 51 présente les variations des paramètres physico-chimiques du forage du Carbet – Fond Canal.

D'après la coupe géologique de ce forage, deux formations potentiellement aquifères ont été crépinées, des blocs d'andésites et sables (alluvions) de 1 à 8,5 m de profondeur et des ponces de 11 à 12,5 m, les deux séparées par une couche d'argile sur 1,5m.

A partir du logging, on constate que jusqu'à 2,5 m le pH et l'oxygène dissous diminuent et présentent néanmoins de faibles variations (respectivement 6,56 à 6,62 et 2 à 9%) ; la conductivité se stabilise lentement jusqu'à atteindre 176 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et ne plus varier sur le reste de la colonne d'eau.

Sur les 12m de colonne d'eau, le potentiel redox décroît progressivement passant de -30 à -80 mV.

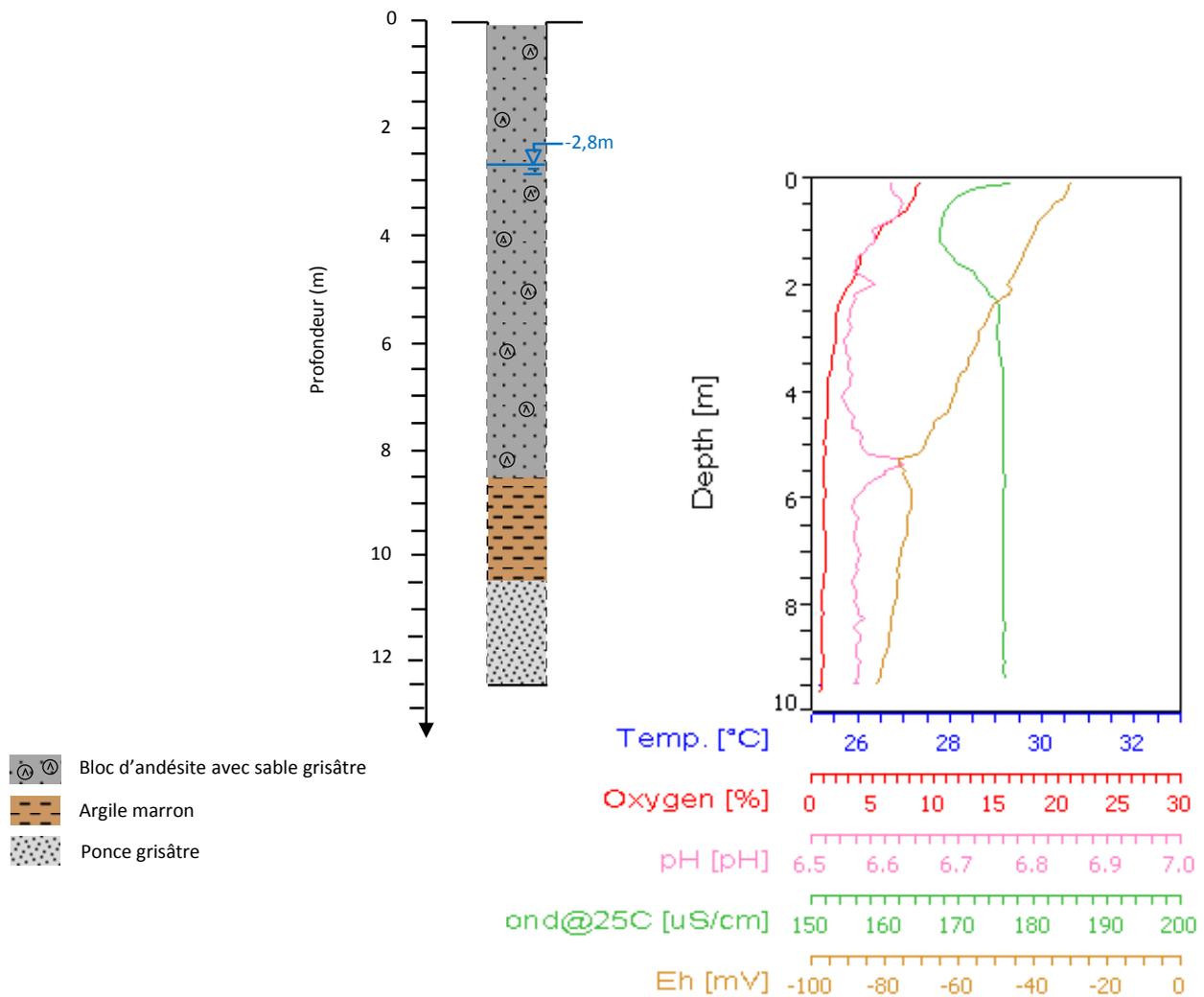


Illustration 51 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage du Carbet – Fond Canal

Malgré des variations plutôt progressives, le pH connaît un pic d'augmentation à 9 m de profondeur correspondant à la passe d'argile marron entre les alluvions sus-jacentes et la ponce grisâtre ; ce pic est corroboré par une chute brève mais distincte du potentiel redox.

La pompe est placée à 6 m de profondeur au sein des alluvions à la limite de la stabilisation des paramètres. Compte tenu de la coupe technique et du logging physico-chimique, il est recommandé de poursuivre les pompages à la profondeur de 6 m, avec un prélèvement représentatif des alluvions de la rivière Carbet.

Schœlcher – Fond Lahaye :

Le forage de Schoelcher – Fond Lahaye est présenté en illustration 52. La partie crépinée du forage concerne des andésites altérées de 22 à 44 m puis des andésites saines jusqu'à 62 m de profondeur.

Le pH, la conductivité et l'oxygène dissous montrent une variation franche au niveau du passage des andésites altérées aux saines. Ces sauts sont en adéquation avec la géologie, l'oxygène dissous diminue passant de 7 à 0% et la conductivité augmente passant de 1100 à un pic à 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour se stabiliser autour de 1280 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

	Conductivité à 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Température (°C)	pH	Potentiel redox	Oxygène dissous (%)
Saison pluie 2013	1064	29,9	6,31	166	9,5

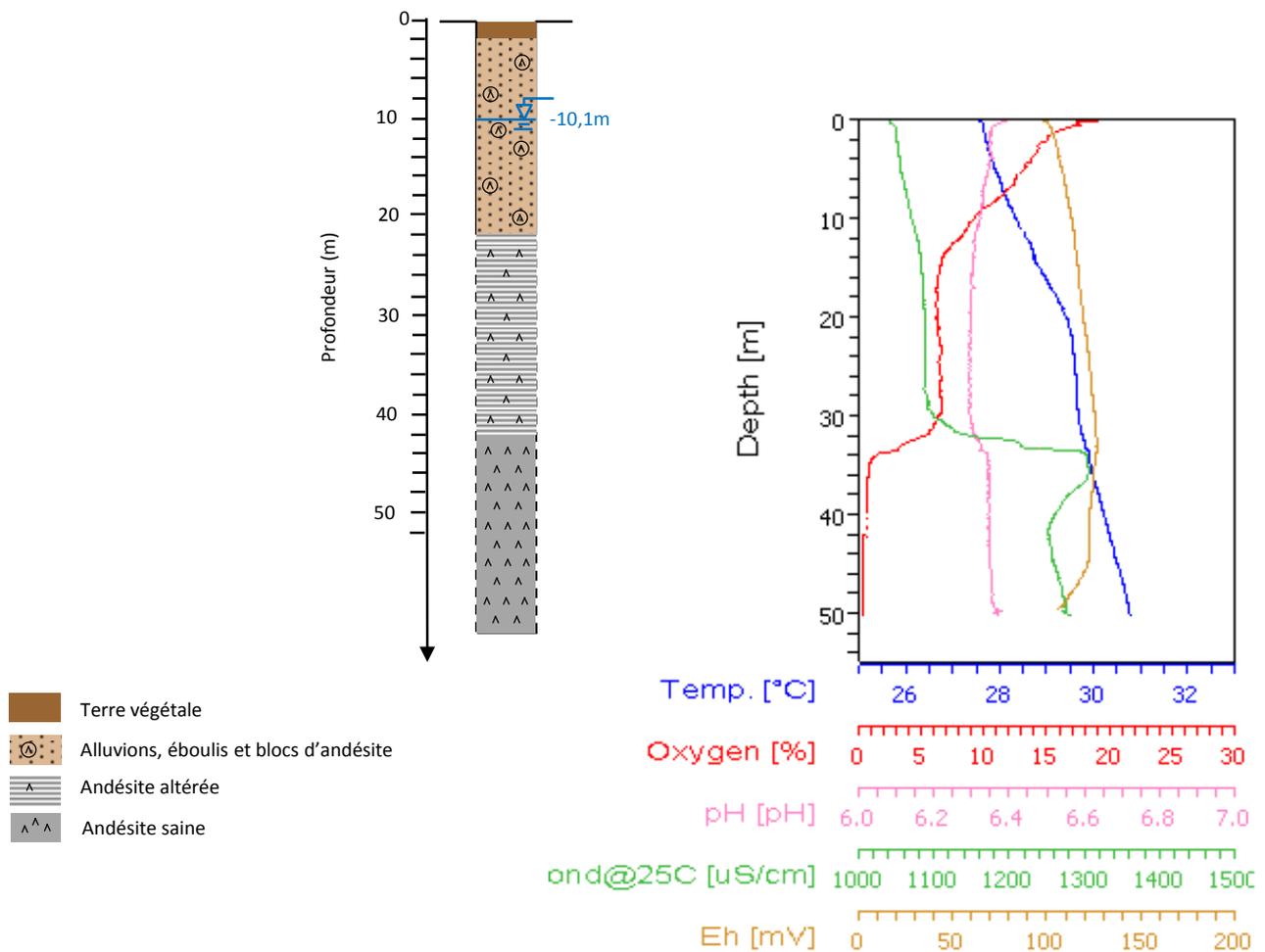


Illustration 52 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Schoelcher – Fond Lahaye

La comparaison avec les mesures *in situ* des paramètres physicochimiques indique que les prélèvements réalisés avec la pompe à 25 m de profondeur correspondent à l'aquifère supérieur des andésites altérées.

Il serait intéressant de placer la pompe plus en profondeur, soit à une profondeur supérieure à 44 m, au droit des andésites saines fissurées fracturées avec une chimie différente. La longueur de la pompe MP1 est actuellement limitée à 48m.

Trois Ilets – Vatable :

En illustration 53, le forage des Trois Ilets – Vatable, montre une conductivité, une température et un pH qui augmentent de manière régulière le long de la colonne d'eau. Malgré le changement de géologie, il n'y a pas de variations distinctives sur ces 3 paramètres, à l'exception du potentiel redox qui montre une chute à 30 m de profondeur au passage de la tuffite beige à l'andésite saine.

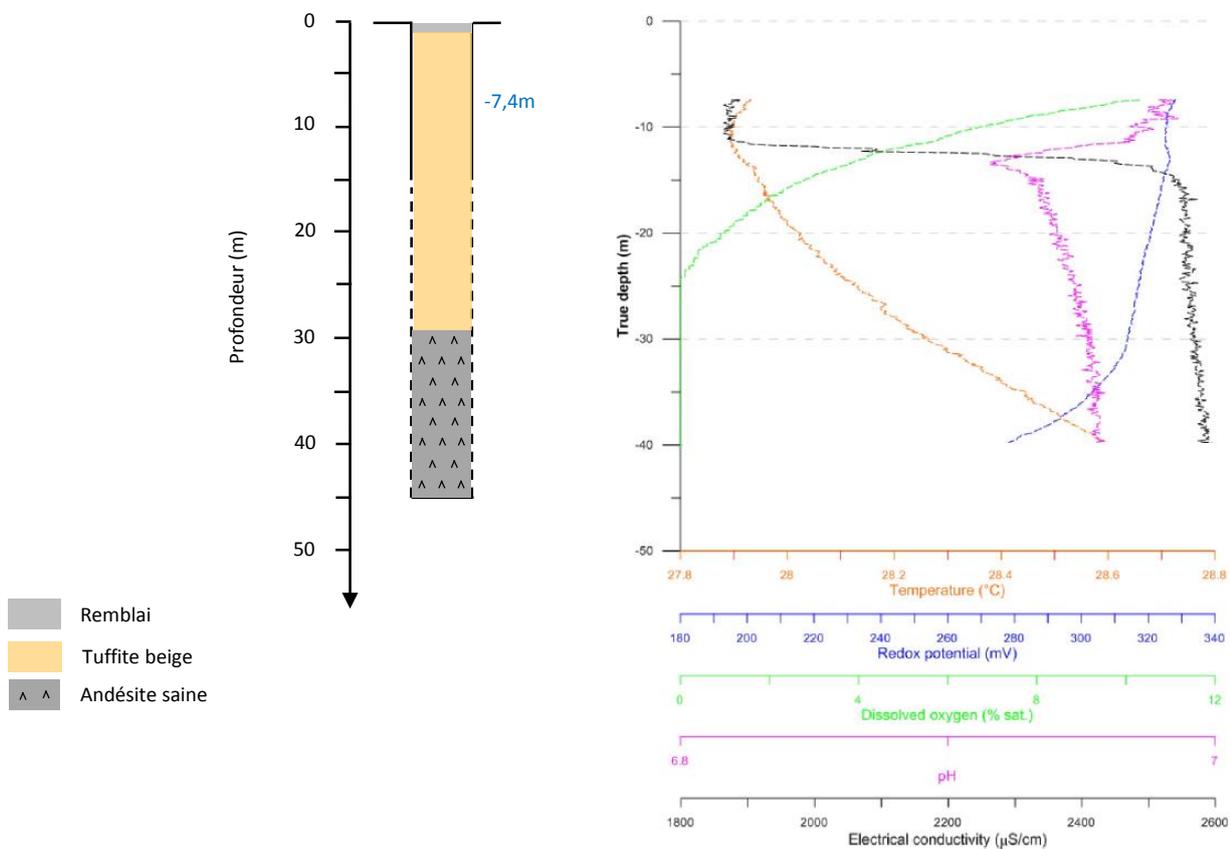


Illustration 53 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage des Trois Ilets - Vatable

Avec des formations très peu perméables au droit de ce forage (absence de circulation significative), les valeurs ne sont pas forcément représentatives (influence de sédiments en fond de forage provoquant par exemple l'augmentation de la conductivité).

	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Température (°C)	pH	Potentiel redox	Oxygène dissous (%)
Saison pluie 2013	1749	28,1	7,21	107	63,5

Compte tenu de sa faible perméabilité et de la présence de sédiments en fond de trou, il est impossible de réaliser des pompages dans ce forage, actuellement les prélèvements sont réalisées à l'aide de tube préleveur, ne permettant pas le renouvellement de la colonne d'eau comme préconisé. C'est pourquoi les résultats des paramètres physico-chimiques in situ correspondant aux échantillons ne peuvent être mis en relation avec les courbes ci-dessus.

Robert – Pontaléry :

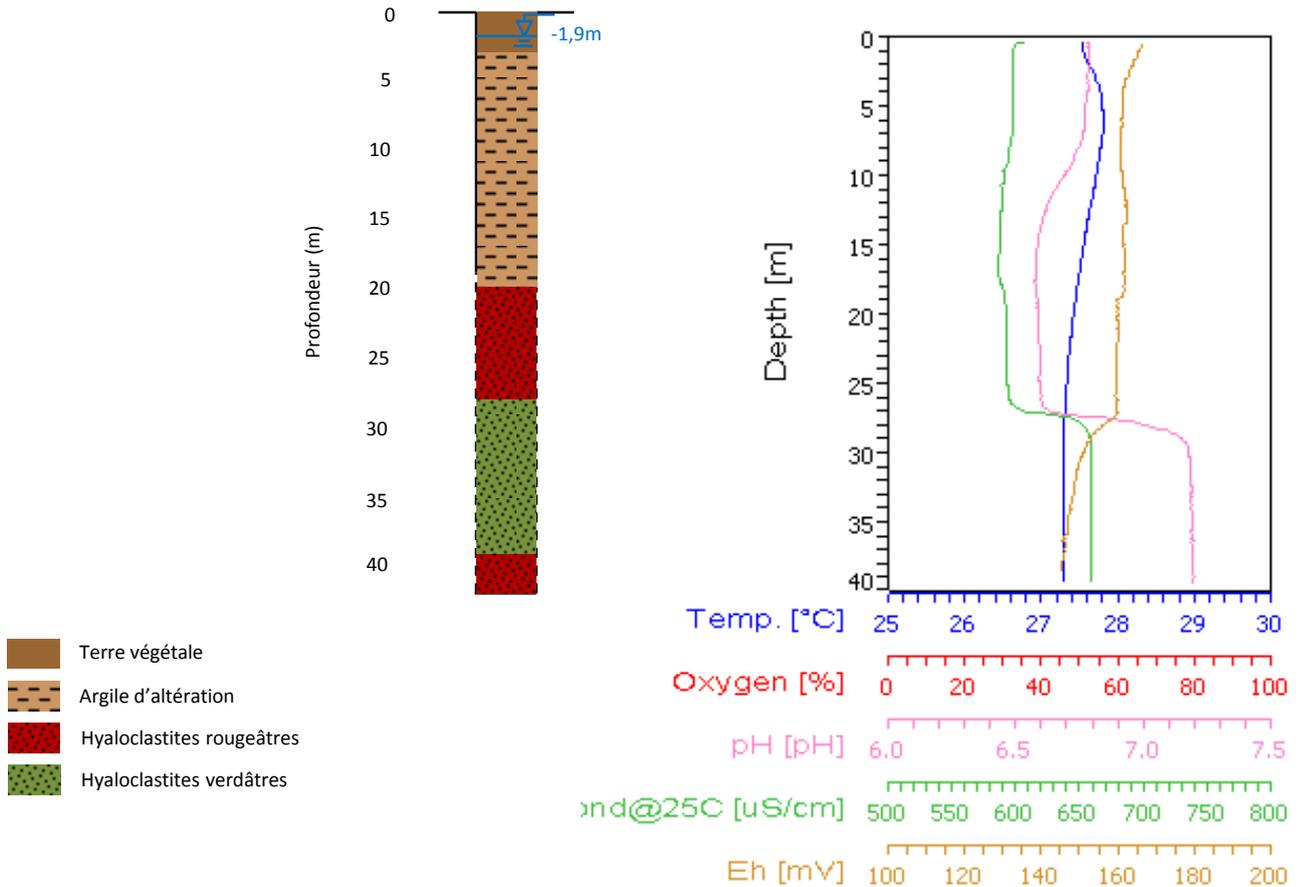


Illustration 54 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage du Robert - Pontaléry

L'illustration 54 présente les variations des paramètres physico-chimiques du forage de Robert Pontaléry, forage ne faisant pas partie du réseau de surveillance DCE.

Le forage du Robert, crépiné de 19 à 42 m traverse deux formations aquifères, des hyaloclastites qui se distinguent par leur couleur, passant du rouge au vert autour de 28 m de profondeur.

A ce changement géologique s'ajoute une modification physico-chimique traduisant une augmentation de la conductivité (590 à 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$), du pH (6,6 à 7,2) et une diminution du potentiel redox (160 à 145 mV).

Dans l'éventualité d'un pompage, il serait intéressant de positionner la pompe à au moins 35 m de profondeur afin de capter les venues d'eau les plus profondes avec une conductivité autour de 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Basse Pointe – Chez Lélène :

En illustration 55 les variations physico-chimiques du forage de Basse Pointe – Chez Lélène.

En dehors de l'oxygène dissous qui connaît une augmentation importante passant de 55 à 78% sur 20 m de colonne d'eau, les autres paramètres ne montrent pas une variation significative ; le pH passe de 6,42 à 6,45, la température et la conductivité stagnent à respectivement 25,9°C et 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et le potentiel redox varie de 297 à 305mV.

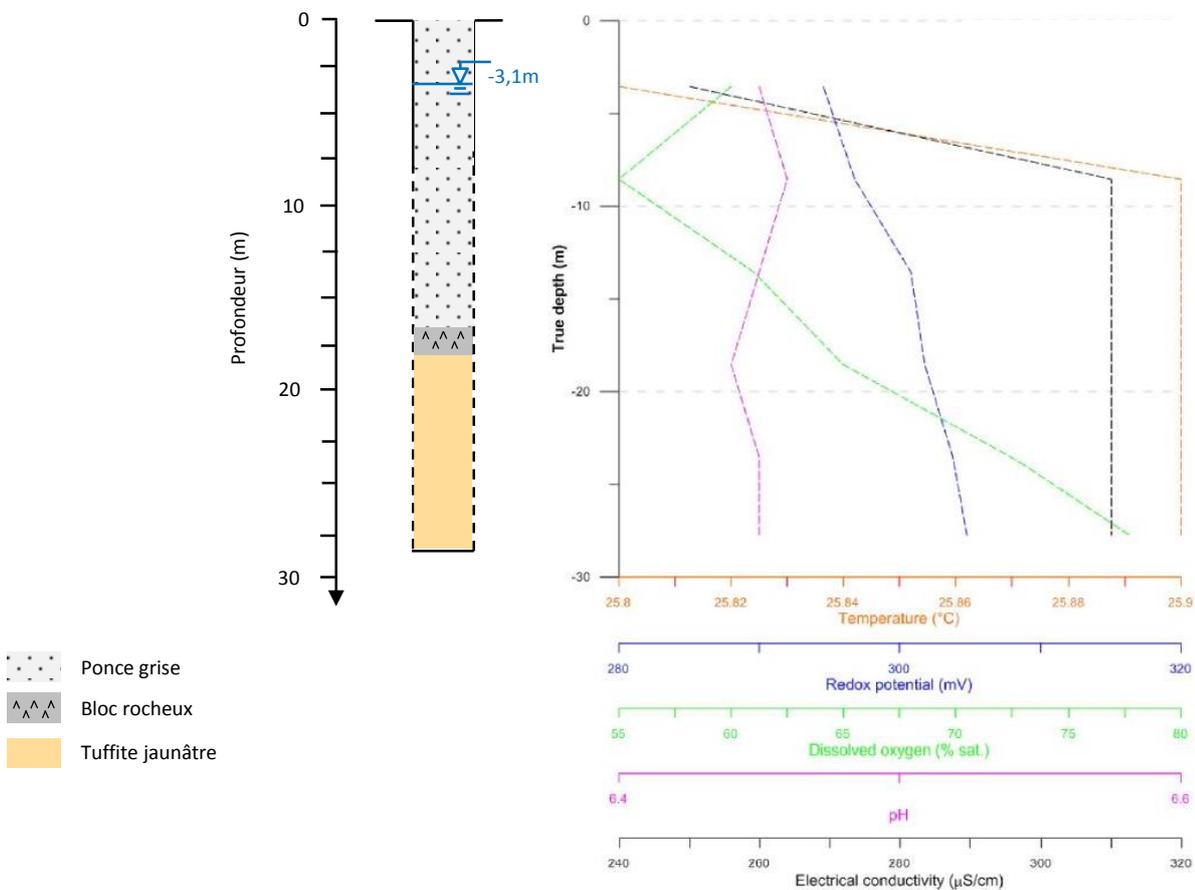


Illustration 55 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Basse Pointe – Chez Lélène

Avec la relation nappe-rivière mise en évidence dans un rapport précédent (Arnaud et al., 2012), il n'est pas surprenant d'obtenir un pourcentage d'oxygène dissous augmentant progressivement.

Rivière Salée – Nouvelle Cité :

En illustration 56, le forage de Rivière Salée, présente deux paliers à 31 et 37 m de profondeur, visibles par des variations nettes de la conductivité (1730 à 1758 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et de la température

(29,45 à 29,68), aucun changement géologique n'a été repéré lors de la réalisation du forage au marteau fond de trou, cependant il n'y a pas d'informations dans la BSS sur la coupe technique du forage, donc pas d'indication sur le positionnement des crépines.

La pompe est placée à 15 m de profondeur et il est impossible de renouveler la colonne d'eau 3 fois.

	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Température (°C)	pH	Potentiel redox	Oxygène dissous (%)
Saison pluie 2013	1590	29,3	7,69	-21	17,9

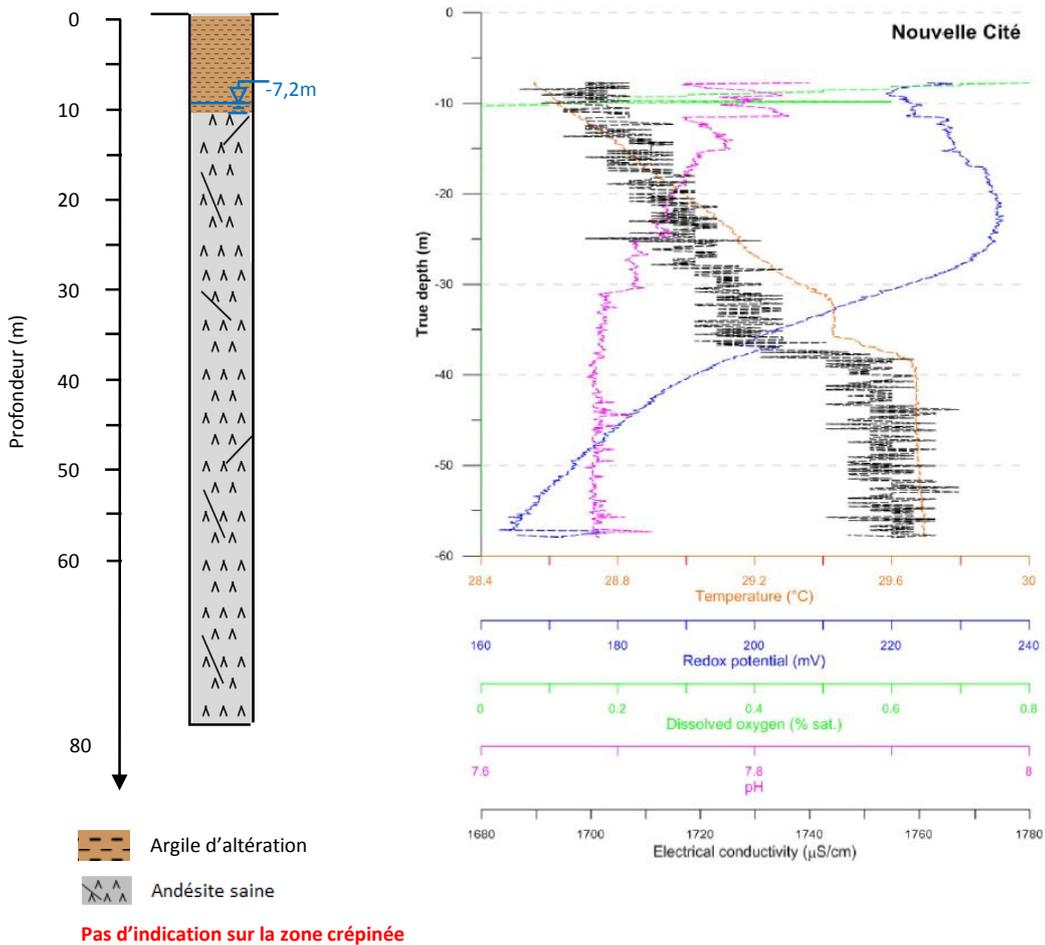


Illustration 56 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Rivière Salée – Nouvelle Cité

De toute évidence, le second palier correspondrait à une venue d'eau et sous-entend donc que les crépines démarrent au moins à 30 m ; il est en revanche plus difficile de conclure sur les variations supérieures et sur le début exact des crépines.

La pompe devra se placer au niveau de la stabilisation des paramètres physico-chimiques, soit à partir de 38 m de profondeur.

Lorrain – Fond Brûlé :

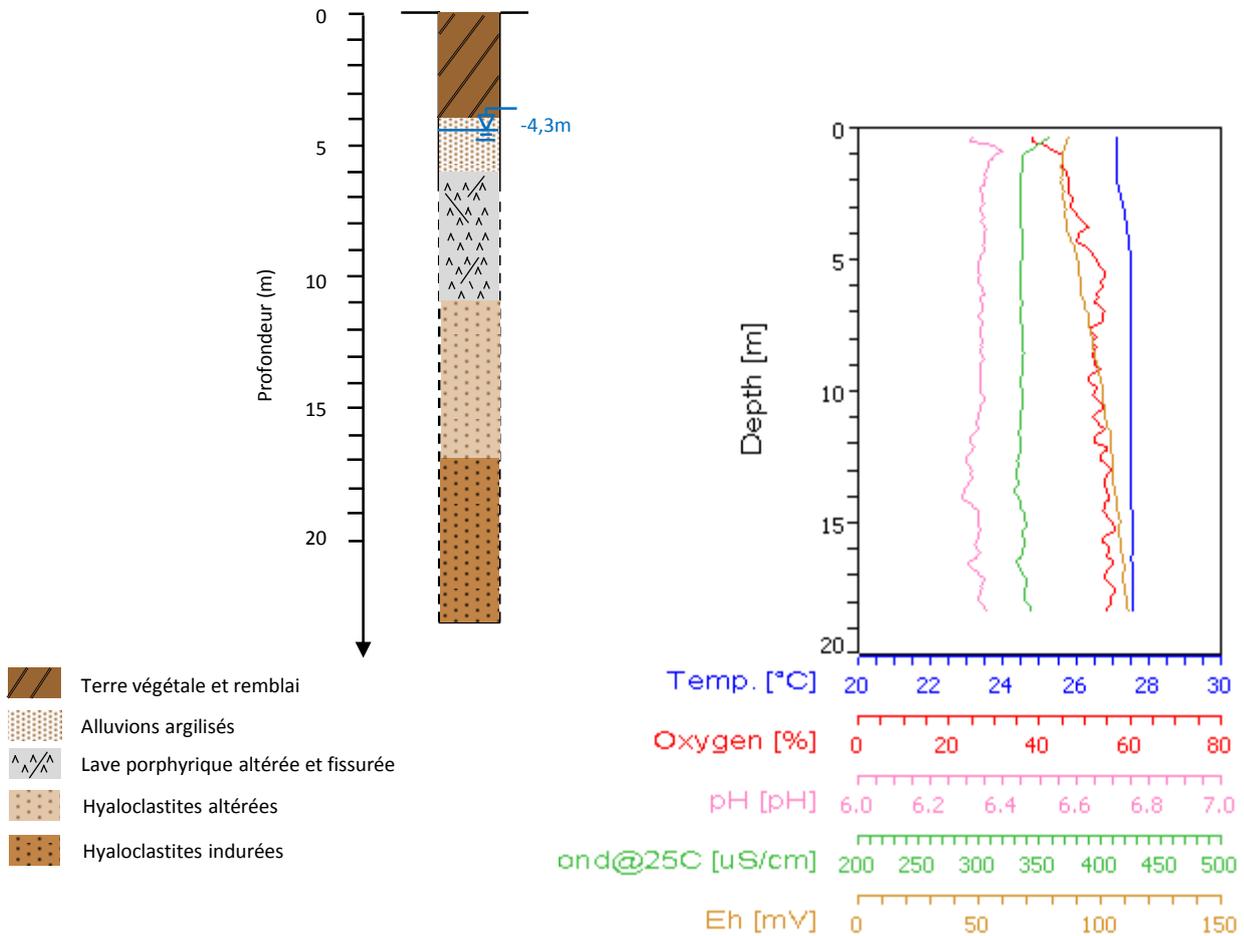


Illustration 57 : Diagraphie de la colonne d'eau du forage de Lorrain – Fond Brûlé

La diagraphie du forage du Lorrain – Fond Brûlé (illustration 57) ne montre pas de variations significatives le long de la colonne d'eau, pourtant les crépines recoupent trois formations distinguées pendant la foration, des laves altérées fissurées, des hyaloclastites altérées, puis indurées.

On ne peut garantir la représentativité des prélèvements.

Parmi les autres diagraphies effectuées (Annexe 10), nous distinguons 6 forages pour lesquels les paramètres restent homogènes tout le long de la colonne d'eau : Marigot – Anse Charpentier, Lamentin – Habitation Ressource, Gros Morne – La Borelli, Prêcheur – Rivière du Prêcheur, Saint Pierre – Rivière Blanche et Trinité – Galion (sachant que les deux derniers ne font pas partie du réseau DCE). Le tubage des forages a été réalisé en adéquation avec les coupes géologiques et les crépines ne recoupent qu'un seul et unique aquifère.

L'ensemble des mesures in situ réalisées lors des prélèvements qualité est cohérent vis-à-vis des résultats des diagraphies, à l'exception du forage du Prêcheur pour lequel les prélèvements sont réalisés à l'aide de tubes préleveurs. Cette méthode n'est pas la plus adaptée pour une bonne représentativité des résultats de qualité de l'eau mais c'est la seule possible dans ce forage en raison des sédiments présents en profondeur et de la faible hauteur de colonne d'eau.

Compte tenu de la profondeur du forage et du diamètre du tubage, lors des pompages il est impossible de renouveler la colonne d'eau 3 fois comme il est préconisé ; de plus, la position actuelle de la pompe pour aucun des 3 forages (Marigot, Lamentin, Gros-Morne), n'est pas suffisante pour atteindre les crépines.

Les diagraphies de Marin – Cap Macré et Saint Pierre – CDST (Annexe 10) présentent de grandes similitudes ; tous les deux recoupent une seule et unique formation géologique (des andésites saines fissurées et des nuées ardentes respectivement), tous deux ont les crépines qui démarrent avant ou à la profondeur du niveau statique et pour les deux diagraphies on constate que sur les 6 premiers mètres les paramètres connaissent des variations aléatoires avant de se stabiliser.

Pour CDST qui fait partie du réseau DCE, il n'y a pas de remise en question de la profondeur de la pompe, celle-ci, fixée à 32 m, se situe bien au niveau de la stabilisation des paramètres ainsi que dans les crépines et malgré le non-renouvellement de la colonne d'eau, les paramètres in situ de la saison des pluies 2013 sont bien représentatifs des résultats de la diagraphie.

Le qualitomètre du Diamant – Dizac forage, respecte la méthodologie en vigueur des prélèvements en forage, avec une pompe au droit des crépines et un renouvellement de la colonne d'eau trois fois au bout de 45 min

Au vu de ces résultats certaines coupes techniques paraissent douteuses et les méthodes de prélèvements sont à revoir afin d'avoir des résultats représentatifs des aquifères captés ; Il est possible de jouer sur la profondeur de la pompe durant les campagnes de prélèvements afin d'améliorer la représentativité de l'échantillonnage.

L'illustration 58, présente un tableau présentant les changements à réaliser lorsque cela est possible sur les différents forages appartenant au réseau DCE.

On obtient, 5 forages respectant déjà une profondeur de pompage adéquate, il sera intéressant de modifier la profondeur de pompe notée en rouge pour les 6 autres forage et de comparer les résultats des paramètres physico-chimiques in situ des futures campagnes.

Commune - Lieu Dit	Diagraphie	Début des crépines	Profondeur actuelle de la pompe	Profondeur de pompe proposée
Basse Pointe - Chalvet	-	10	25	20
Basse Pointe - Chez Lèlène	X	8	20	-
Marigot - Anse Cahrentier	-	16	10	20
Lorrain - Fond Brulé	X	7	15	-
Gros Morne - La Borelli	X	21	10	25
Saint Pierre - CDST	X	26	32	-
Schoelcher - Fond Lahaye	X	22	25	30
Prêcheur- Rivière du Prêcheur	X	37	Tubes préleveur	-
Carbet - Fond Canal	X	1	6	-
Robert - Vert Pré	-	17	Tubes préleveur	-
Lamentin - Habitation Ressource	X	40	10	47
Rivière Salée - Nouvelle Citée	X	inconnu	15	38
Marin - Grand Fond	-	-	Pompe exploitant	-
Rivière Pilote - Fougainville	X	12	20	25
Trois Ilets - Vatable	X	15	Tubes préleveur	-
Diamant - Habitation Dizac	X	25	27	-

Illustration 58 : Tableau de proposition des nouvelles profondeurs de pompe durant les campagnes DCE

8. Conclusions

Conformément à la DCE 2000/60/CE, les 6 masses d'eau souterraines de la Martinique ont été étudiées à la fois sur le volet quantitatif et qualitatif. Ces évaluations ont pris appui sur les données du réseau de surveillance de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine (réseau référencé 0800000015 – FRJSOP sous ADES) ainsi que sur l'ensemble des données « qualité » disponibles sur ce portail national des eaux souterraines, notamment celles issues des réseaux de contrôle de surveillance (RCS) et de contrôle opérationnel (RCO).

L'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine repose sur l'exploitation de chroniques piézométriques incluant 9 ans de suivi environ (2005-2013). 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 souterraines sur les écosystèmes.

L'évaluation de l'état qualitatif se base sur l'exploitation des données analytiques disponibles sur ADES. Pour chaque paramètre et chaque point d'eau, le calcul de la moyenne des moyennes annuelles (*Mma*) a été comparé aux valeurs seuils ou aux normes de qualité de manière à mettre en évidence les dépassements. Ainsi, du point de vue qualitatif, 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 présentent des contaminations étendues aux pesticides organochlorés (surfaces dégradées supérieures à 20%) et doivent faire l'objet d'une enquête appropriée complète (tests AEP, ESO-ESU, ESO-ZH, intrusion saline) afin de pouvoir indiquer si elles doivent être considérées en mauvais état ou non. Le niveau de confiance de cette évaluation de l'état qualitatif 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.

La poursuite du suivi mensuel sur un nouveau cycle hydrologique a permis de vérifier que la structuration des concentrations en pesticides mise en évidence en 2010 se répétait mais aussi d'apprécier les différences existant d'un cycle hydrologique à l'autre.

L'apport de la fréquence mensuelle est d'autant plus intéressant que ces derniers mois les fluctuations de concentrations en pesticides sont plus limitées par rapport aux années précédentes ; il apparaît toujours nécessaire de réaliser ce suivi afin de caractériser et tenter d'expliquer les variations observées lors des analyses semestrielles.

Au regard des nouvelles données disponibles, il est probable que les cycles pluri-annuels des nappes jouent un rôle primordial sur les concentrations en pesticides mesurées dans les eaux. Compte tenu de l'inertie des nappes, la validation de cette hypothèse nécessite cependant une acquisition de données sur le long terme. Ainsi, un seul cycle piézométrique complet a été observé sur la période 2005-2013 sur le site de Chalvet, illustrant la nécessité d'un suivi de longue durée.

La campagne d'analyse sur les sources complémentaires a permis de mettre en évidence des pollutions dépassant les normes DCE des masses d'eau Centre et Sud Atlantique en dehors des zones supposées dégradées ; ces nouvelles données impliquent qu'une mise à jour précise des surfaces polluées serait intéressante au regard de l'état des masses d'eau au sens de la directive cadre européenne.

Les diagraphies ont mis en évidence le fonctionnement des aquifères captés et ont révélés que le positionnement de la pompe lors des prélèvements dans certains forages pourrait être amélioré. A partir de l'analyse croisée des diagraphies et des coupes géologique et technique des ouvrages, des propositions de positionnement de pompe ont été faites pour les qualitomètres DCE dans le but d'obtenir des résultats d'analyses plus représentatifs.

9. Bibliographie

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

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

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, 221p.

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.

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

**Synthèse du nombre de données existantes sur ADES,
par paramètres, sur la période 2007-2013**

code BSS	2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013		
	paramètres	données	ratio	paramètres	données	ratio	paramètres	données	ratio	paramètres	données	ratio	paramètres	données	ratio	paramètres	données	ratio	paramètres	données	ratio
1166ZZ0026/NF8	175	358	48,88	172	460	37,39	172	1967	8,74	202	1760	11,48	172	1851	9,29	301	2221	13,55	161	1370	11,75
1168ZZ0054/PZ	175	330	53,03	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	172	1251	13,75	301	2193	13,73	171	1396	12,25
1166ZZ0019/S	175	350	50,00	157	305	51,48	170	354	48,02	199	343	58,02	170	342	49,71	6	6	100	21	21	100
1166ZZ0032/S																167	306	54,58	170	178	95,51
1166ZZ0023/S	175	350	50,00	170	318	53,46	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	317	52,68	170	178	95,51
1169ZZ0006/F	176	351	50,14	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	304	54,93	170	178	95,51
1169ZZ0084/NF7	175	350	50,00	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	333	50,15	170	178	95,51
1174ZZ0088/PZ	176	351	50,14	157	305	51,48	170	353	48,16	200	391	51,15	170	342	49,71	167	333	50,15	170	178	95,51
1175ZZ0153/S	175	358	48,88	172	460	37,39	172	1969	8,74	202	1710	11,81	172	647	26,58	167	317	52,68	170	178	95,51
1167ZZ0045/NF6	175	350	50,00	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	638	26,65	167	333	50,15	170	178	95,51
1177ZZ0177/PZ2										5	5	100,00	167	336	49,70	167	333	50,15	170	178	95,51
1167ZZ0024/PRS1	175	350	50,00	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	333	50,15	170	178	95,51
1172ZZ0063/SD6	80	80	100,00	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	317	52,68	170	178	95,51
1175ZZ0106/F	175	350	50,00	157	305	51,48	170	353	48,16	200	391	51,15	170	341	49,85	167	316	52,85	170	178	95,51
1179ZZ0070/2F02	175	350	50,00	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	333	50,15	170	178	95,51
1182ZZ0160/F2	229	351	65,24	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	333	50,15	170	178	95,51
1186ZZ0118/SMA4	175	350	50,00	157	305	51,48	169	352	48,01	200	392	51,02	170	340	50,00	167	333	50,15	170	178	95,51
1179ZZ0228/S11	175	350	50,00	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	299	715	41,82	170	178	95,51
1183ZZ0052/PZ	176	351	50,14	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	299	715	41,82	170	178	95,51
1181ZZ0132/PZ	176	351	50,14	157	305	51,48	170	354	48,02	200	392	51,02	170	342	49,71	167	333	50,15	170	178	95,51
1184ZZ0001/S1	176	351	50,14	154	305	50,49	170	354	48,02	200	391	51,15	170	342	49,71	167	312	53,53	170	178	95,51

Nord
Nord Atlantique
Nord Caraïbes
Centre
Sud Atlantique
Sud Caraïbes

Annexe 2

Moyennes des moyennes annuelles (Mma) et fréquence de dépassement supérieure à 20 % (Freq) pour la masse d'eau Nord – FRJ201

Masse d'eau NORD

Code BSS	Paramètre		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mma	Freq (%)
1166zz0026	Bromacil	Moy annuelle	1,755	1,423	0,807	0,569	3,561	0,308	0,842	1,32	93
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2	
		Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	1	0		
	Chlordécone	Moy annuelle	0,406	1,075	5,475	1,494	2,990	0,805	1,020	1,90	100
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2	
		Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Dieldrine	Moy annuelle	0,083	0,083	0,081	0,031	0,043	0,049	0,066	0,06	86
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2	
		Nb de résultats < LQ	0	0	0	1	1	0	0		
	Métalaxyl	Moy annuelle				0,838	0,180	0,117	0,076	0,30	100
		Nb de prélèvements	0	0	0	1	2	2	2		
		Nb de résultats < LQ				0	0	0	0		
Monuron	Moy annuelle	0,108	0,415	0,124	0,195	0,022	0,007	0,006	2,13	71	
	Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2			
	Nb de résultats < LQ	1	0	1	0	0	1	1			
Propiconazole	Moy annuelle	0,993	1,097	1,976	0,994	0,306	0,197	0,283	0,83	86	
	Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2			
	Nb de résultats < LQ	1	1	0	0	0	0	0			
1166zz0019	Beta HCH	Moy annuelle	2,611	1,515	5,512	7,107	3,307	1,444		3,58	91
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	1			
		Nb de résultats < LQ	0	0	1	0	0	0			
	Bromacil	Moy annuelle	1,768	3,050	2,490	3,193	2,358			2,57	90
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	0			
		Nb de résultats < LQ	1	0	0	0	0				
	Chlordécone	Moy annuelle	0,416	0,745	23,180	6,335	12,685	9,610		8,83	91
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	1			
		Nb de résultats < LQ	1	0	0	0	0	0			
	Chlordécone 5B hydro	Moy annuelle			3,162	0,923	1,170	0,830		1,52	100
		Nb de prélèvements	0	0	2	2	2	1			
		Nb de résultats < LQ			0	0	0	0			
1166zz0032	Beta HCH	Moy annuelle						0,025	0,454	0,24	100
		Nb de prélèvements						1	2		
		Nb de résultats < LQ						0	0		
	Bromacil	Moy annuelle						0,025	3,040	1,53	100
		Nb de prélèvements						1	2		
		Nb de résultats < LQ						0	0		
	Chlordécone	Moy annuelle						1,220	2,395	1,81	100
		Nb de prélèvements						1	2		
		Nb de résultats < LQ						0	0		
	Chlordécone 5B hydro	Moy annuelle						0,184	0,299	0,24	100
		Nb de prélèvements						1	2		
		Nb de résultats < LQ						0	0		
1166zz0023	Beta HCH	Moy annuelle	0,091	0,075	0,117	0,175	0,159	0,170	0,268	0,15	100
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2	
		Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Chlordécone	Moy annuelle	0,217	1,460	8,165	1,613	2,935	3,070	3,450	2,99	93
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2	
		Nb de résultats < LQ	1	0	0	0	0	0	0		
	Chlordécone 5B hydro	Moy annuelle			0,723	0,339	0,296	0,393	0,372	0,30	100
		Nb de prélèvements	2	0	2	2	2	2	2		
		Nb de résultats < LQ			0	0	0	0	0		
	Dieldrine	Moy annuelle	0,501	0,374	0,385	0,502	0,640	0,412	0,728	0,51	100
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
		Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
1168zz0054	Bromacil	Moy annuelle	1,46	1,3545	1,098	0,828	0,448	0,38	0,43	0,86	100
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
		Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Chlordécone	Moy annuelle	0,72	0,324	1,012	0,3595	0,47	0,554	0,375	0,54	93
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
		Nb de résultats < LQ	1	0	0	0	0	0	0		
	Dieldrine	Moy annuelle	0,444	0,2485	0,335	0,2295	0,228	0,245	0,202	0,28	100
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
		Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		

Rq : Dans les paramètre in-situ, la température est toujours supérieure à la norme

Molécules phytosanitaires

Annexe 3

**Moyennes des moyennes annuelles (*Mma*) et fréquence
de dépassement (*Freq*) pour la masse d'eau Nord
Atlantique – FRJ202**

Masse d'eau NORD ATLANTIQUE

Code BSS	Paramètre	Valeur seuil		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mma	Freq (%)
1169zz0006	Arsenic	10 µg/l	Moy annuelle	27,500	40,050	34,765	21,625	15,385	24,495	7,095	24,42	93
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	1		
	Fer	0,2 mg/l	Moy annuelle	0,355	1,115	1,365	1,108	0,512	1,469	0,034	0,85	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	195,50	144,00	138,20	159,21	58,500	156,500	84,200	133,73	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Beta HCH		Moy annuelle	0,188	0,201	0,101	0,211	0,397	0,077	0,331	0,22	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2					
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0					
Chlordécone		Moy annuelle		0,252	1,910	0,584	0,811	0,832	0,957	0,89	62,5	
		Nb de prélèvements	2	2	2	2						
		Nb de résultats < LQ	2	1	0	0						
1169zz0084	Beta HCH		Moy annuelle	8,718	5,671	8,369	5,872	4,145	3,089	2,990	5,55	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2					
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0					
	Chlordécone		Moy annuelle	17,950	24,050	64,150	26,459	30,300	26,500	28,350	31,11	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2					
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0					
	Chlordécone 5B hydro		Moy annuelle			1,845	0,786	0,777	0,913	0,354	0,93	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2					
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0					
1174zz0088	Carbendazime		Moy annuelle	0,648	0,064	0,090	0,010	0,030	0,025	0,079	0,13	57
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	1	0	2	1	2	0		
	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	665	490,50	269,80	244,34	166,50	161,03	121,00	302,59	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
1175zz0153	Chlordécone		Moy annuelle	2,700	4,805	13,410	3,465	4,455	4,650	4,945	5,49	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		

Rq : Pas de dépassement des paramètres in-situ excepté la température

Molécules inorganiques

Molécules phytosanitaires

Annexe 4

**Moyennes des moyennes annuelles (*Mma*) et fréquence
de dépassement (*Freq*) pour la masse d'eau Nord
Caraïbes – FRJ203**

Masse d'eau NORD CARAIBES

Code BSS	Paramètre	Valeur seuil		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mma	Freq (%)	
1177zz0161	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	7	45,9	56,65	191,28				42,98	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2						
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0						
	Fer	0,2 mg/l	Moy annuelle	0,03	0,29	3,52	2,47					0,90	87,5
			Nb de prélèvements	2	2	2	2						
			Nb de résultats < LQ	1	0	0	0						
	AMPA		Moy annuelle	0,21	0,29							0,13	25
			Nb de prélèvements	2	2	2	2						
			Nb de résultats < LQ	1	1	2	2						
1177zz0177	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle				152,29	192	201,46	194	105,68	100	
			Nb de prélèvements	0	0	0	1	2	2	2			
			Nb de résultats < LQ				0	0	0	0			
1172zz0063	Fer	0,2 mg/l	Moy annuelle	10,2	0,33	7,42	6,45	12,11	10,77	5,16	7,49	100	
			Nb de prélèvements	1	1	2	2	2	2	2			
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			
	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	924	644	766,4	666,71	808	968,43	1034	830,22	100	
			Nb de prélèvements	1	1	2	2	2	2	2			
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			

Rq : pas de dépassement sur les molécules phytosanitaires ni sur les paramètres in-situ excepté la température

Molécules inorganiques

Molécules phytosanitaires

Annexe 5
Moyennes des moyennes annuelles (*Mma*) et fréquence
de dépassement (*Freq*) pour la masse d'eau Centre –
FRJ204

Masse d'eau CENTRE

Code BSS	Paramètre	Valeur seuil		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mma	Freq (%)	
1175zz0106	Ammonium	0,5 mg/l	Moy annuelle	0,100	1,100	1,160	1,125	0,320	0,610	0,520	0,71	79	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	1	0	0	0	1	0	1			
	Fer	0,2 mg/l	Moy annuelle	1,170	5,030	0,646	0,853	1,690	3,313	15,638	4,05	93	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	1	0	0	0	0	0	0			
	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	141,500	342,350	104,050	139,055	135,800	198,100	136,550	171,06	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2						
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0						
	Chlordécone		Moy annuelle	1,055	2,285	6,090	1,352	1,707	2,105	1,825	2,35	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2			
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			
1179zz0070	Fer	0,2 mg/l	Moy annuelle	0,210	0,280	0,304	0,220	0,449	0,248	0,269	0,28	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			
	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	120,500	73,850	72,350	167,900	89,150	70,140	75,250	95,59	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			
	Chlordécone		Moy annuelle		0,242	0,495	0,294	0,157		0,023	0,24	50	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2			
			Nb de résultats < LQ	2	1	1	0	0	2	1			
1182zz0160	Conductivité	1100 µS/cm	Moy annuelle	1815	1854	1552	1737	1701	1677	1620	1707,86	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			
	Chlorures	250 mg/l	Moy annuelle	458,85	473,70	485,20	470,00	413,50	439,50	395,25	448,00	100	
			Nb de prélèvements	2	2	1	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			
	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	70,000	82,000	72,500	67,850	66,450	69,440	40,850	67,01	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			
	Sodium	200 mg/l	Moy annuelle	272,050	263,900	272,250	261,450	254,050	251,700	239,450	259,26	100	
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0			

Rq : Dépassement de la température sur tous les points et à toutes les campagnes

Paramètres in-situ

Molécules inorganiques

Molécules phytosanitaires

Annexe 6
Moyennes des moyennes annuelles (*Mma*) et Atlantique
– FRJ205

Masse d'eau SUD ATLANTIQUE

Code BSS	Paramètre	Valeur seuil		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mma	Freq (%)
1186zz0118	Conductivité	1100 µS/cm	Moy annuelle	1459	1854	1552	1737	1475	1126	1555	1537	93
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	1	0		
	Glyphosate	Moy annuelle	0,187	0,552							0,11	14
Nb de prélèvements		2	2	2	2	2	2	2	2			
Nb de résultats < LQ		1	1	2	2	2	2	2				
1179zz0228	Chlordécone	Moy annuelle	0,170	0,196	0,720	0,189	0,315	0,436	0,490	0,36	79	
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2			
		Nb de résultats < LQ	1	1	1	0	0	0	0			

Rq : Dépassement de la température sur tous les points et à toutes les campagnes

Paramètres in-situ

Molécules inorganiques

Molécules phytosanitaires

Annexe 7
Moyennes des moyennes annuelles (*Mma*) et fréquence
de dépassement (*Freq*) pour la masse d'eau Sud
Caraïbes – FRJ206

Masse d'eau SUD CARAIBES

Code BSS	Paramètre	Valeur seuil		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mma	Freq (%)
1181zz0132	Conductivité	1100 µS/cm	Moy annuelle	2250	2170	1783	1952	1874	1843	1909	1969	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Chlorures	250 mg/l	Moy annuelle	425,4	429,4	370,8	356,0	301,8	311,0	291,0	355,03	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Sodium	200 mg/l	Moy annuelle	297,30	293,55	276,90	267,35	256,35	252,30	242,90	269,52	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
1184zz0001	Fer	0,2 mg/l	Moy annuelle	0,170	0,610	0,470	0,372	0,418	0,719	0,475	0,46	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
	Manganèse	50 µg/l	Moy annuelle	197,50	97,50	81,10	85,21	70,40	57,07	42,45	90,18	100
			Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2		
			Nb de résultats < LQ	0	0	0	0	0	0	0		
1183zz0052	Chlordécone	Moy annuelle	0,237	1,430	6,340	1,345	1,870	2,775	2,285	2,33	86	
		Nb de prélèvements	2	2	2	2	2	2	2			
		Nb de résultats < LQ	1	1	0	0	0	0	0			

Rq : Dépassement de la température sur tous les points et à toutes les campagnes

Paramètres in-situ

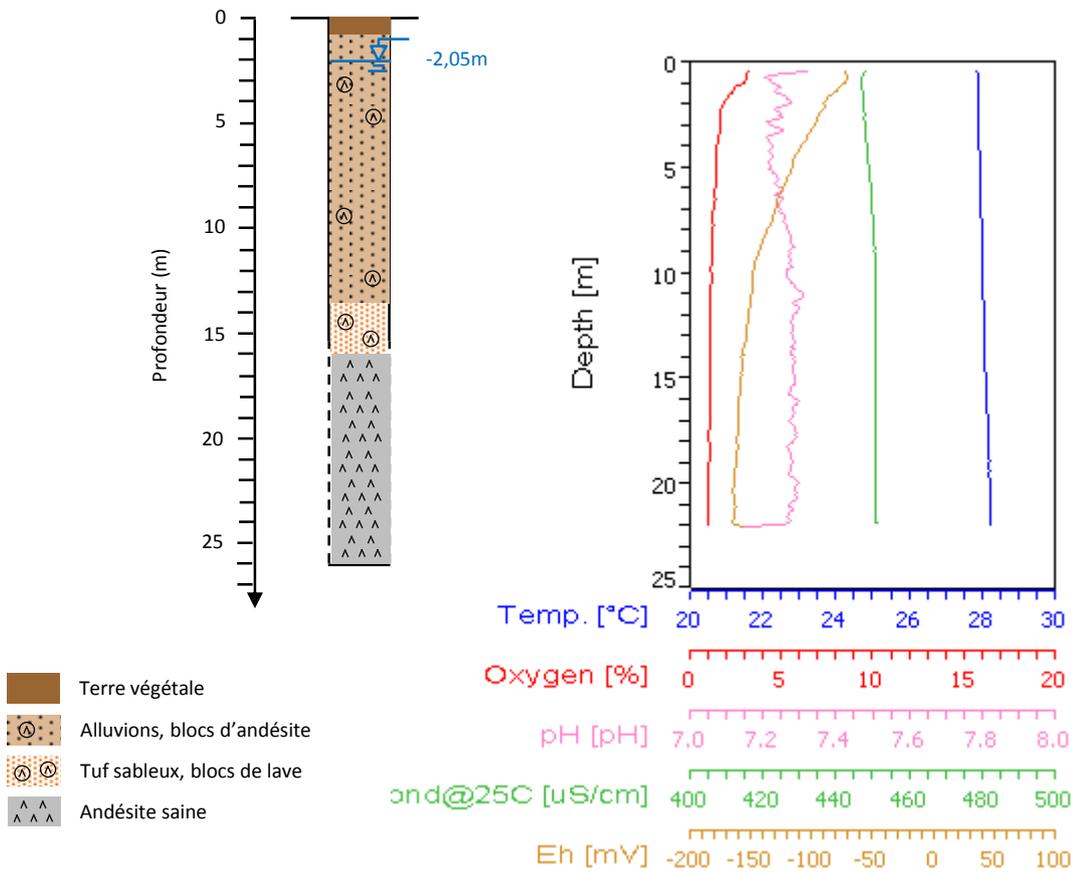
Molécules inorganiques

Molécules phytosanitaires

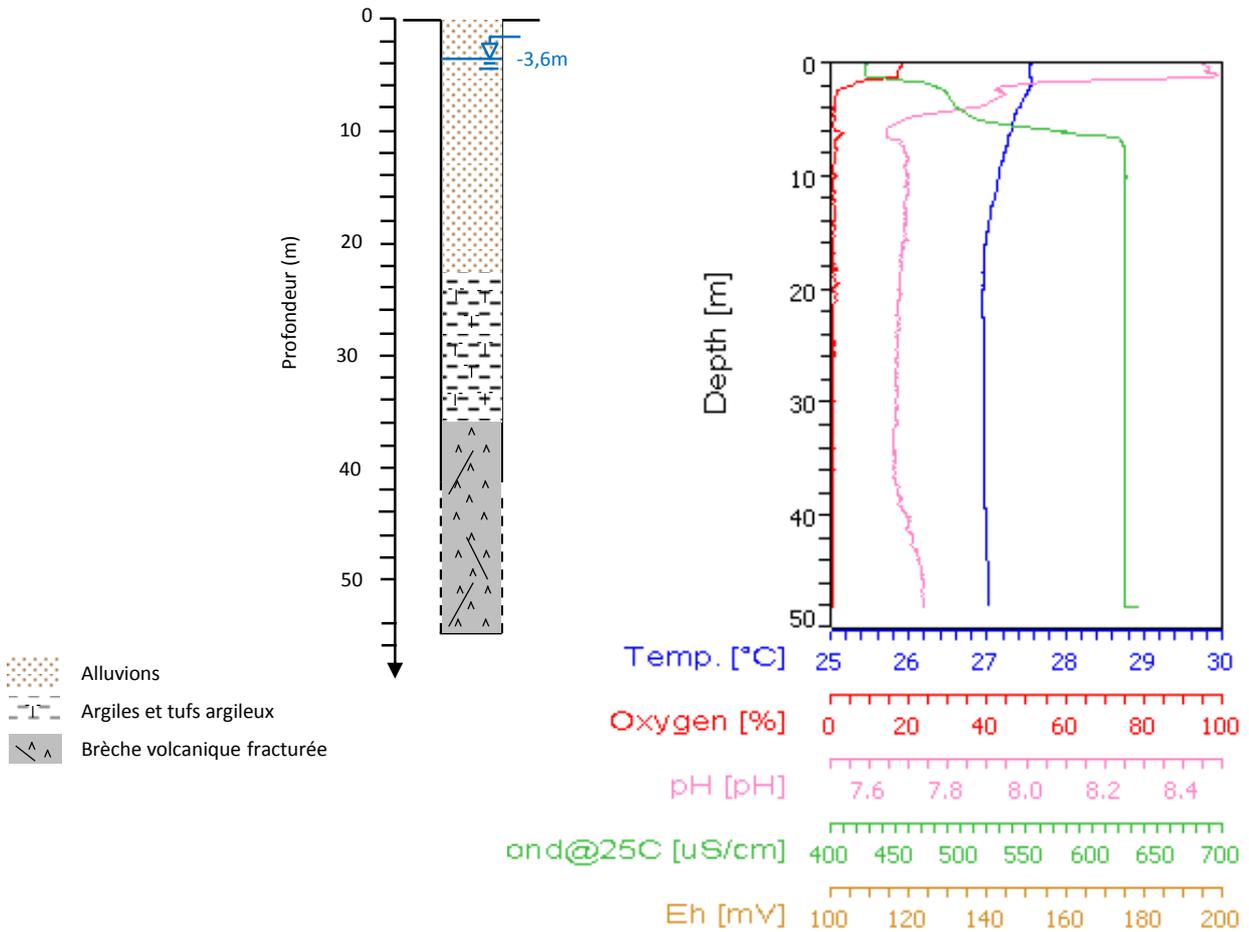
Annexe 8

Diagraphies

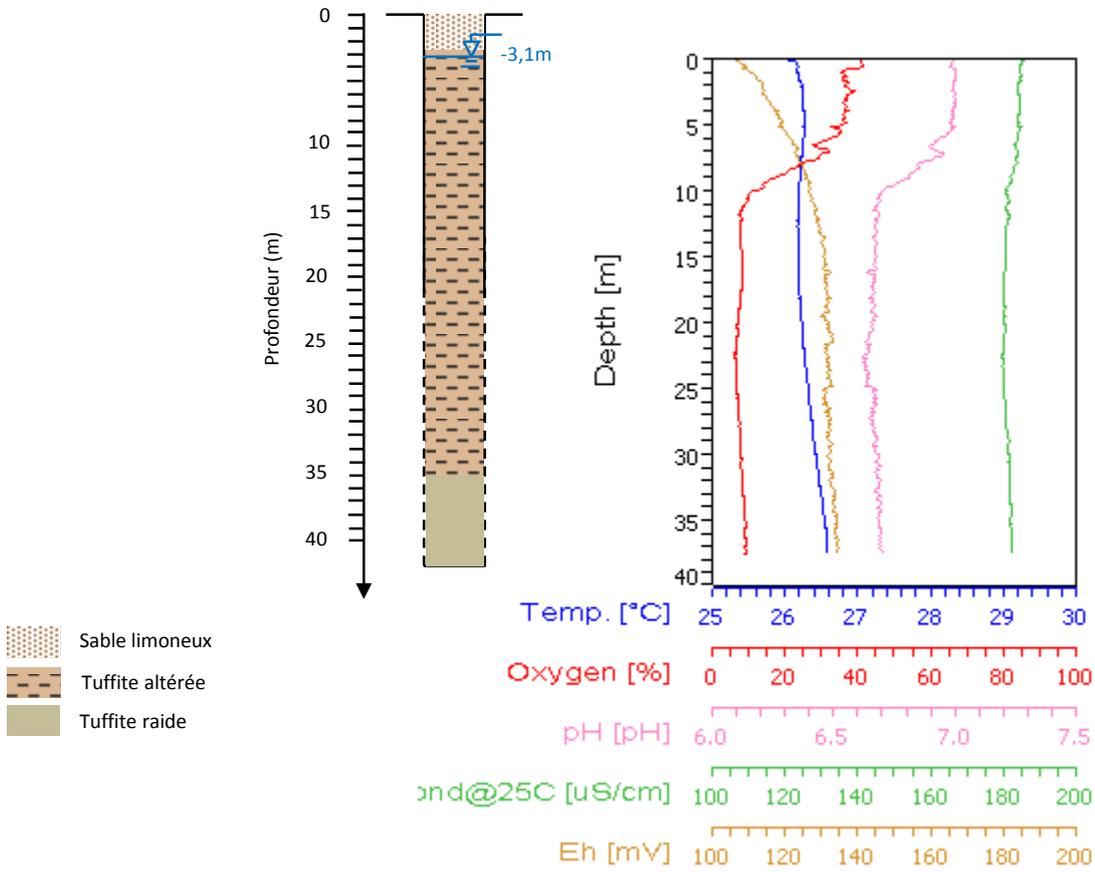
Marigot – Anse Charpentier



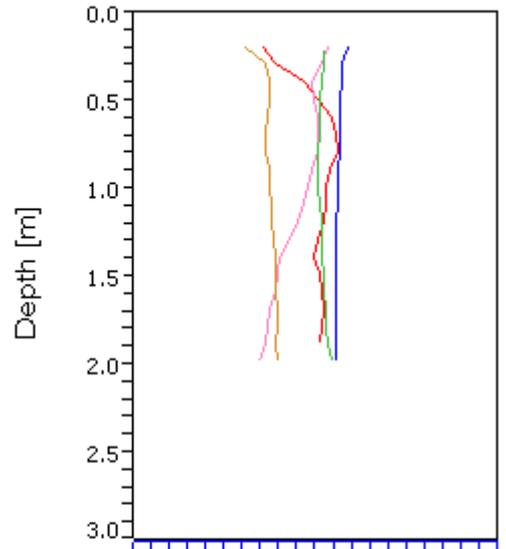
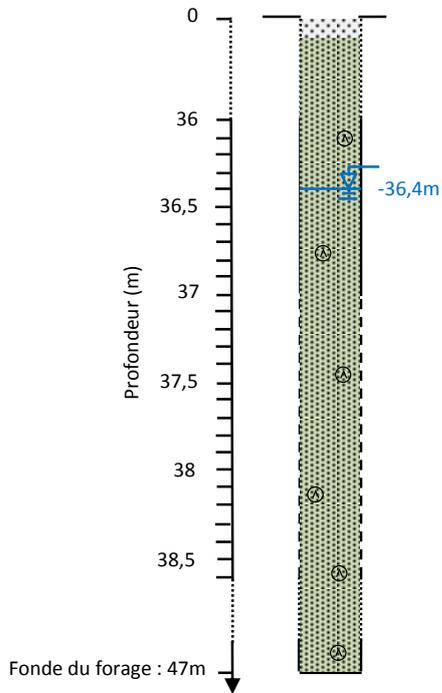
Lamentin – Habitation Ressource



Gros Morne – La Borelli



Prêcheur – Rivière du Prêcheur



Temp. [°C] 20 22 24 26 28 30

Oxygen [%] 40 50 60 70 80

pH [pH] 6.6 6.8 7.0 7.2 7.4

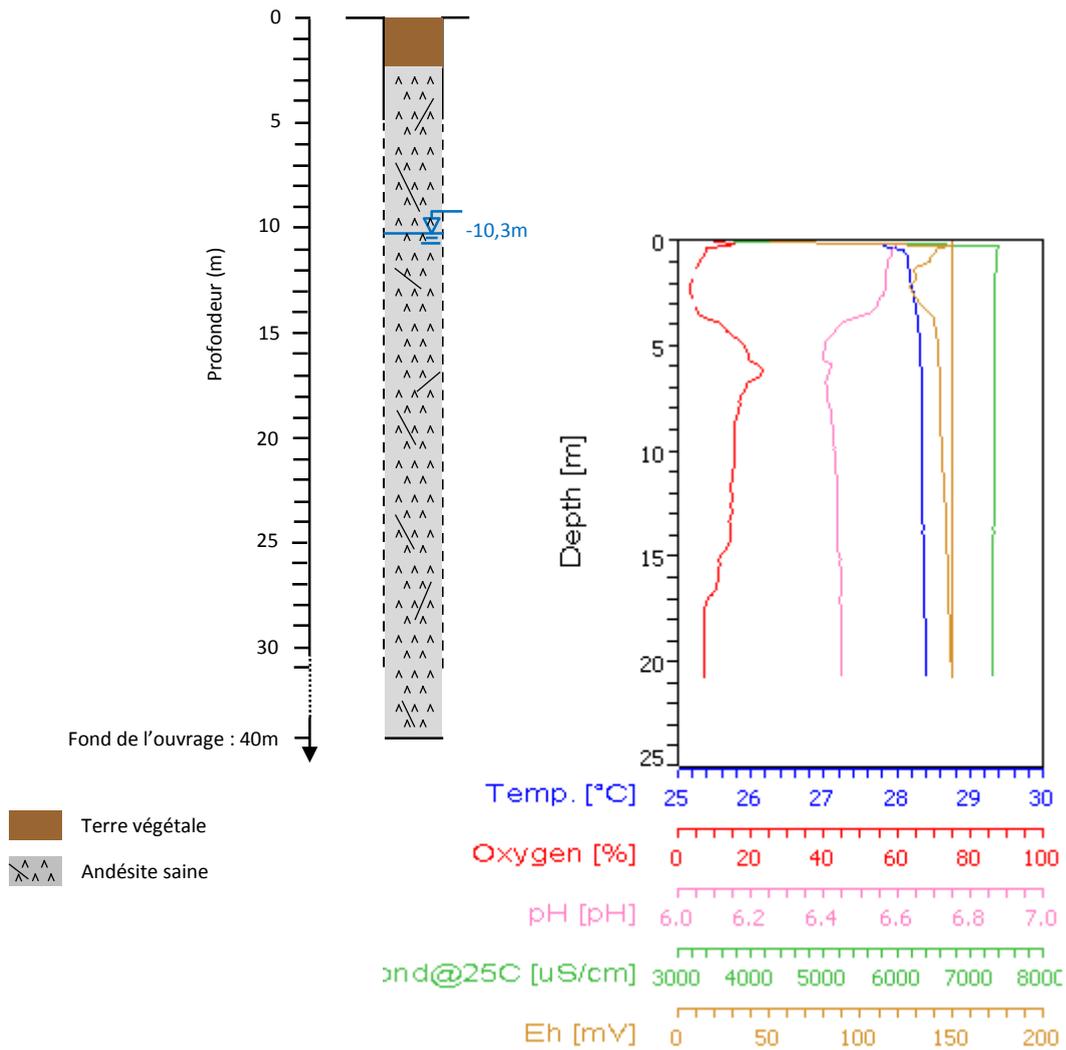
Cond@25C [uS/cm] 200 250 300 350 400 450 500

Eh [mV] 100 120 140 160 180 200

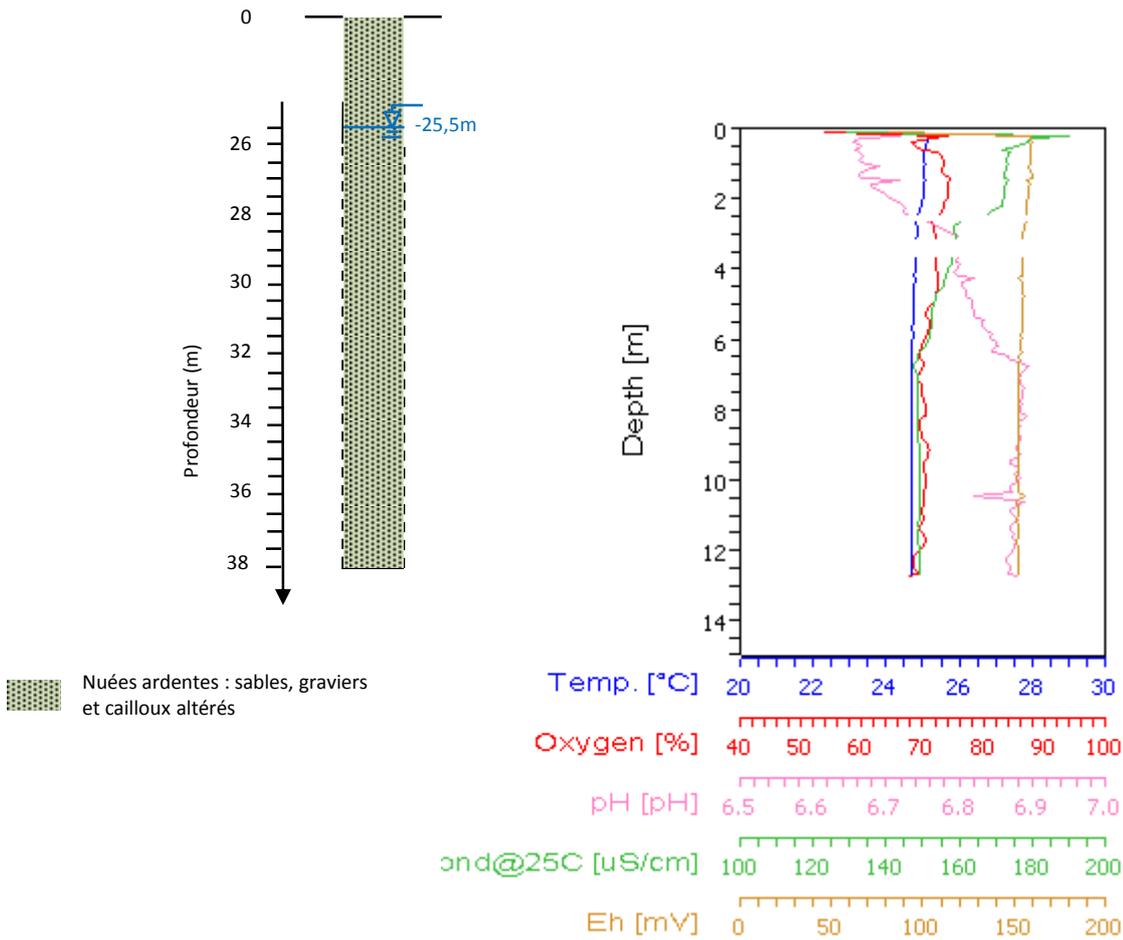
Ponce gris blanc

Cendres consolidées et blocs andésitiques

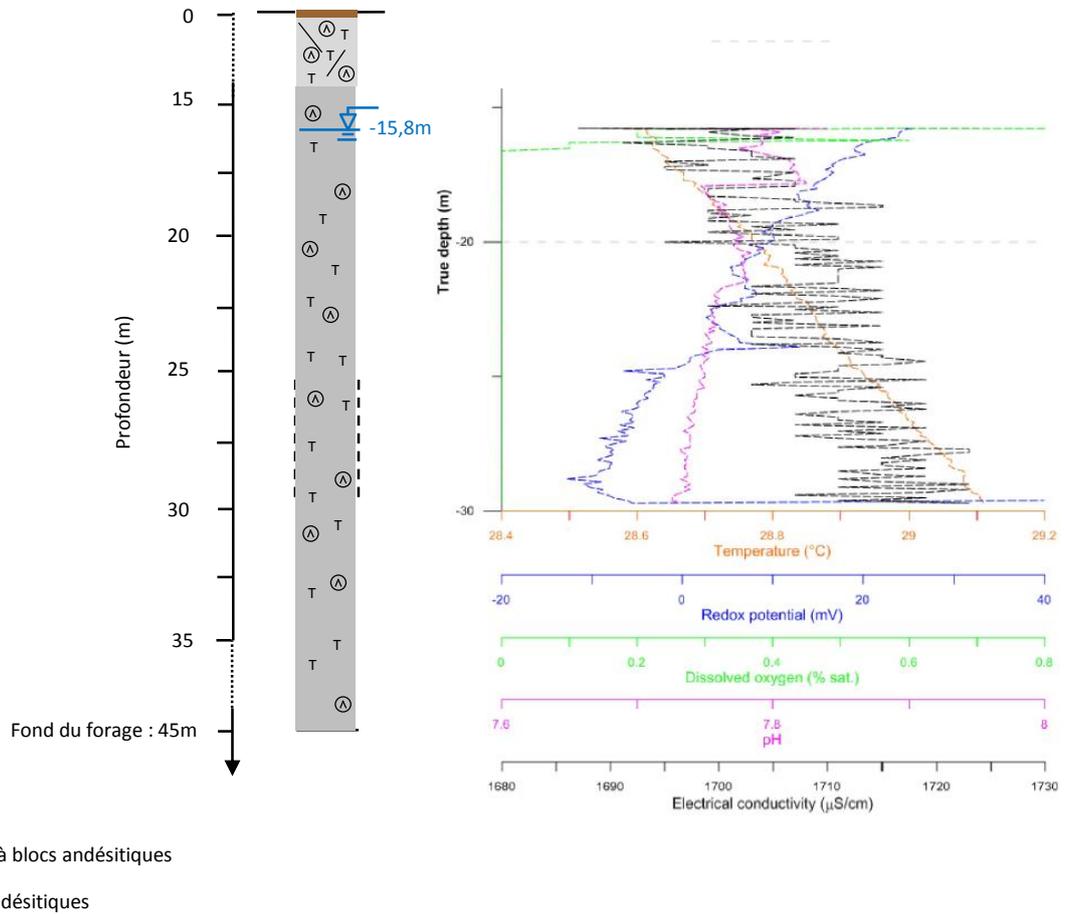
Marin – Cap Macré



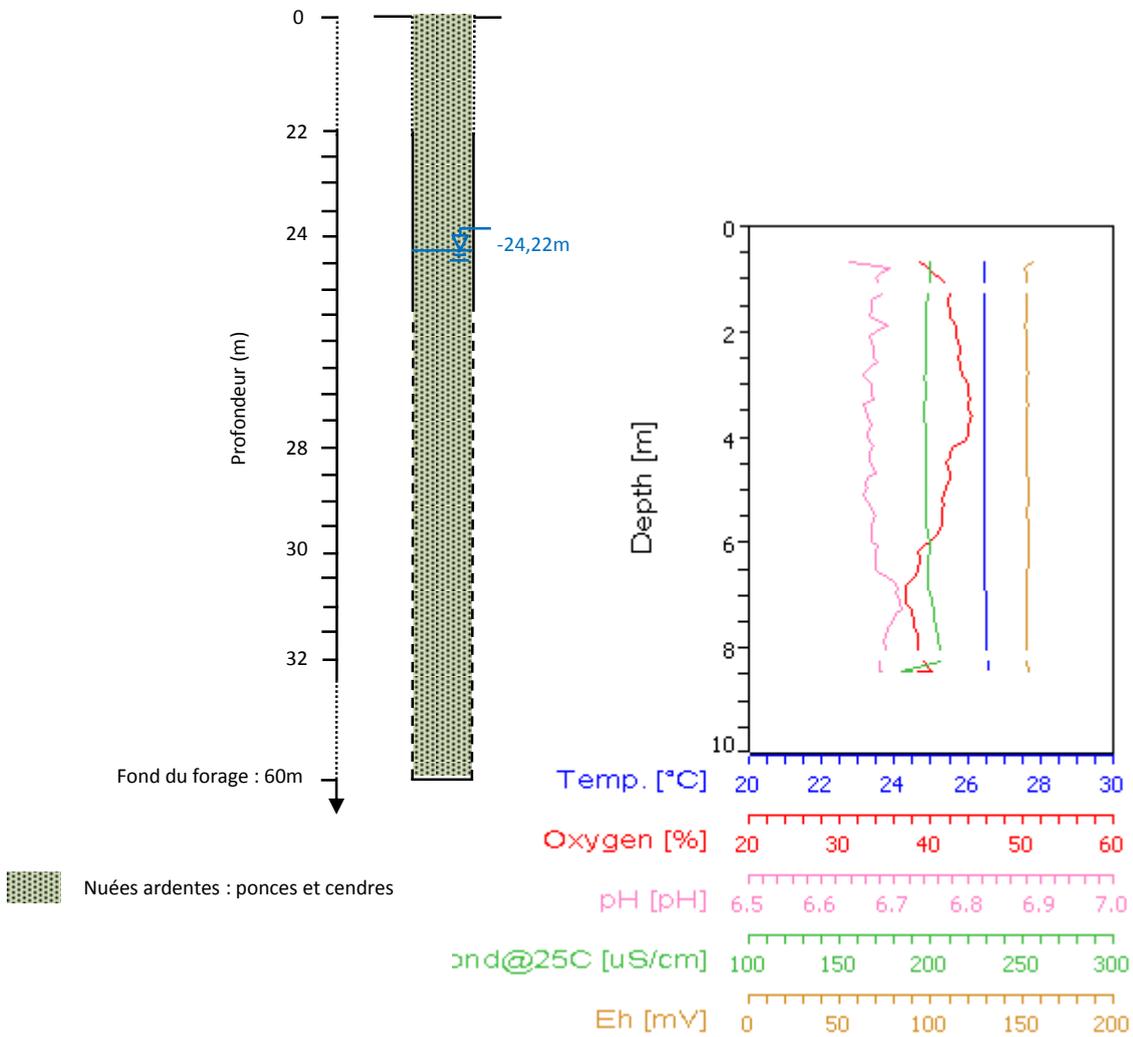
Saint Pierre – CDST



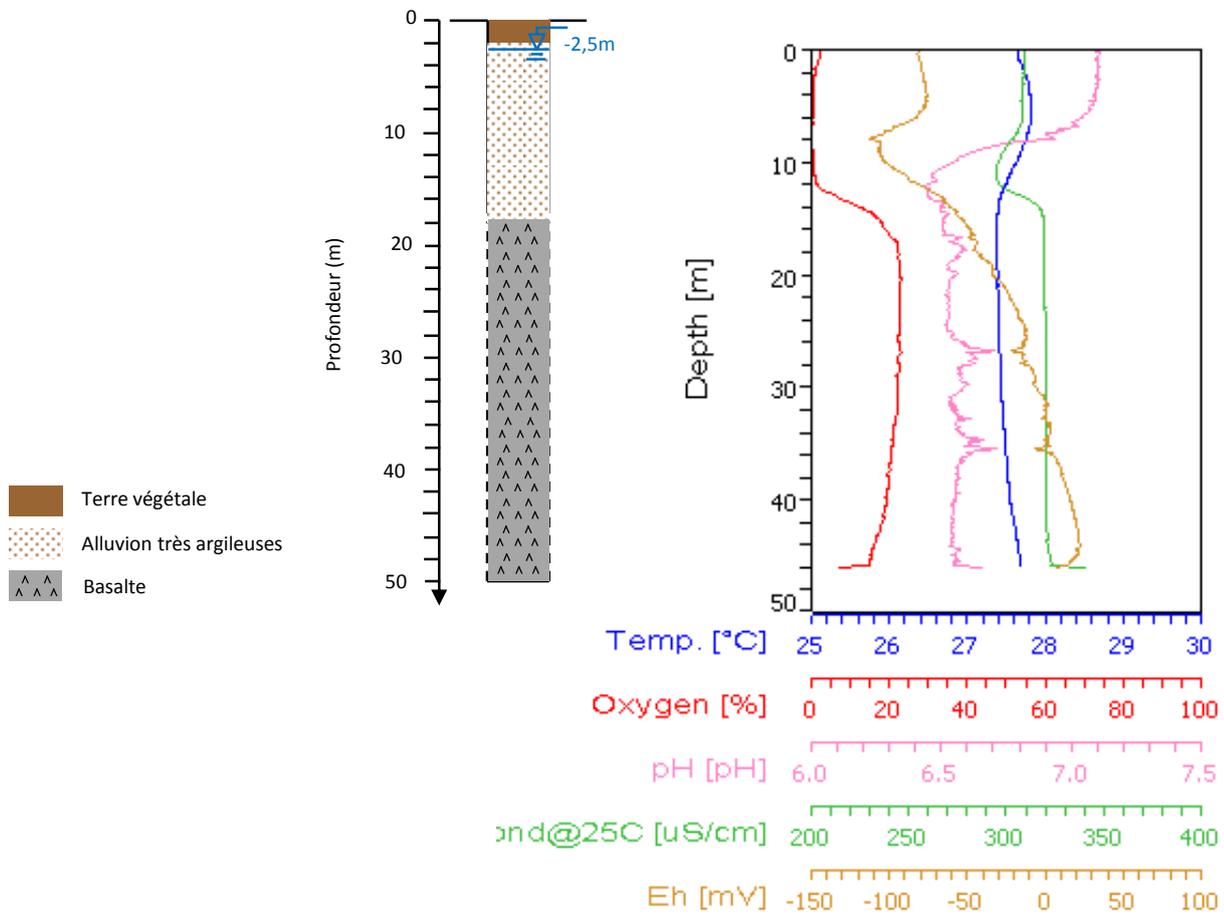
Diamant – Dizac forage



Saint Pierre – Rivière Blanche



Trinité - Galion





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