

Document public

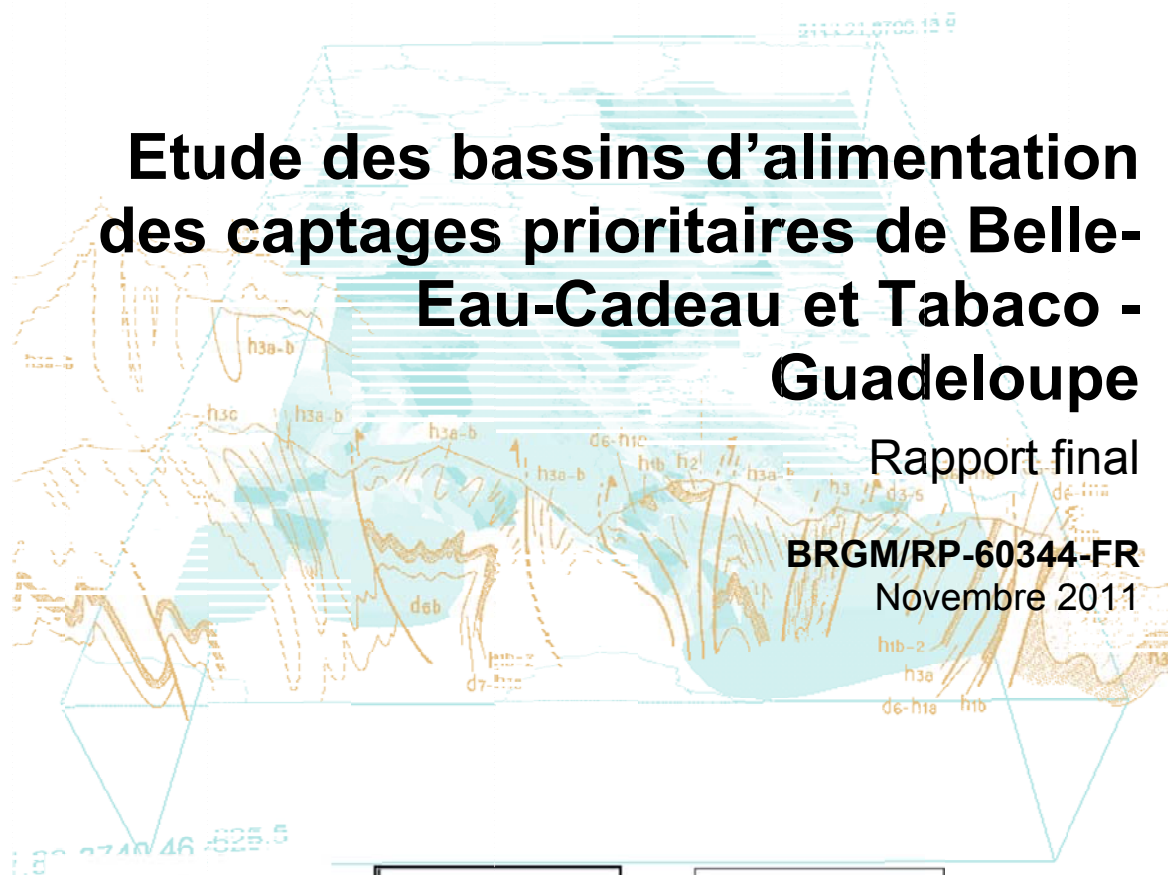


Etude des bassins d'alimentation des captages prioritaires de Belle- Eau-Cadeau et Tabaco - Guadeloupe

Rapport final

BRGM/RP-60344-FR

Novembre 2011



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Etude du bassin d'alimentation des captages prioritaires de Belle-Eau- Cadeau et Tabaco - Guadeloupe

Rapport final

BRGM/RP-60344-FR

Novembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2010 10EAUK23

A. Dumon et L. Ducreux

Avec la collaboration de
E. Bourdon et S. Pinson

Vérificateur :

Nom : JF. Vernoux

Date : 29/05/2012

Signature :



Approbateur :

Nom : JM. Mompelat

Date : 13/06/2012

Signature :



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

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

Mots clés : bassin d'alimentation, protection captage AEP, vulnérabilité, pollutions diffuses, sources de Tabaco, sources de Belle-Eau-Cadeau, Guadeloupe

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Dumon A., Ducreux L., Bourdon E. et Pinson S. (2011) - Etude du bassin d'alimentation des captages prioritaires de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco – Guadeloupe. BRGM/RP-60344-FR, 107 p., 66 ill., 7 ann.

Synthèse

Le Grenelle de l'environnement prévoit d'identifier et de protéger les aires d'alimentation de 500 captages prioritaires pour lesquelles une détérioration de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine remettrait en cause sa potabilité. Les pollutions diffuses (nitrates et produits phytosanitaires) impactant les ressources en eau stratégiques (population desservie, volume prélevé...), constituent la principale problématique visée dans le cadre de cette étude. Le présent projet se place dans la continuité des études réalisées dans le cadre des Zones Soumises à Contraintes Environnementales (ZSCE - Circulaire du 30/05/2008 et Décret du 14/05/2007), et plus particulièrement celles relatives à la protection des aires d'alimentation de captages. **Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco sont l'un des 5 captages prioritaires de la Guadeloupe.**

La DEAL, la DAAF et l'Office de l'Eau Guadeloupe ont donc sollicité le BRGM pour réaliser les études de délimitation des bassins d'alimentation de ces captages prioritaires, de caractérisation de leur vulnérabilité et de recensement des pressions associées afin de cibler les programmes d'actions de lutte contre les pollutions diffuses.

Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco, qui produisent annuellement 8,5 millions de m³, sont marquées par **une contamination importante aux organochlorés (chlordécone et HCH β) qui a nécessité la mise en place d'une usine de traitement aux charbons actifs** en 2000.

Des reconnaissances de terrain (identification des formations aquifères et des aquitards, mesures physico-chimiques *in situ*) ont permis de proposer **un modèle conceptuel géologique et hydrogéologique** du secteur étudié. Les formations aquifères d'où émergent les sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco sont constituées des coulées d'andésites de la Madeleine fracturées et/ou fissurées. Cet empilement de coulées de lave massive repose sur un soubassement altéré et imperméable constituée par les formations pyroclastiques plus anciennes. Les écoulements se font en direction de l'Est à Sud-Est. Les conductivités élevées mesurées sur les eaux du secteur indiquent une probable influence d'eau hydrothermale. Sur la base de ce modèle conceptuel, une délimitation du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco a été proposée, la **superficie totale du BAC est de 10,74 km²**.

La vulnérabilité des eaux souterraines est forte à l'aval du BAC juste en amont des sources de Belle-Eau-cadeau et Tabaco. C'est dans cette zone très vulnérable que les pressions agricoles sont les plus fortes en particulier en ce qui concerne les phytosanitaires. Il existe donc un **risque « fort » de contamination aux produits phytosanitaires liés aux cultures de la banane directement en amont des sources captées. Les programmes d'action devront s'orienter en conséquent en priorité au niveau de cette zone très sensible.**

Sommaire

1. Introduction	11
2. Etude du bassin versant	13
2.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES	13
2.1.1. Localisation géographique.....	13
2.1.2. Topographie	14
2.1.3. Pluviométrie.....	15
2.1.4. Hydrologie	16
2.1.5. Pédologie.....	17
2.2. CARACTERISTIQUES DES CAPTAGES	18
2.2.1. Sources de Belle-Eau-Cadeau	18
2.2.2. Sources de Tabaco	20
2.2.3. Inventaire des ouvrages situés à proximité du captage	22
2.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	27
2.3.1. Typologie des aquifères volcaniques	27
2.3.2. Reconnaissances de terrain	31
2.4. QUALITE DE L'EAU	41
2.4.1. Données disponibles 2005-2010	41
2.4.2. Evolution de la qualité de l'eau	42
3. Délimitation du BAC	59
3.1. METHODOLOGIE.....	59
3.2. DELIMITATION DU BAC DE BELLE-EAU-CADEAU ET TABACO	59
3.2.1. Bilan hydrologique annuel	59
3.2.2. Modèle conceptuel géologique et hydrogéologique	61
3.3. DELIMITATION DE LA ZONE SOUSCRITE A CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES	64
4. Cartographie de la vulnérabilité	67
4.1. METHODOLOGIE.....	67
4.1.1. La vulnérabilité intrinsèque.....	67
4.1.2. Application de la méthode IDPR.....	68

4.2. RESULTATS POUR LE BAC DE BELLE-EAU-CADEAU ET TABACO.....	72
5. Cartographie des pressions.....	74
5.1. LA PRESSION URBAINE	74
5.1.1. Généralités et données de base	74
5.1.2. Carte de la pression urbaine.....	75
5.1.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	76
5.2. LA PRESSION PHYTOSANITAIRE	77
5.2.1. Généralités et données de base	77
5.2.2. Carte de pression pour les phytosanitaires en fonction du type de cultures.....	79
5.2.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	82
5.3. LA PRESSION NITRATES.....	83
5.3.1. Généralités et données de base	83
5.3.2. Carte de pression pour les nitrates en fonction du type de cultures	84
5.3.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	84
5.4. PRESSION ACCIDENTELLE LIEE A LA ROUTE	85
5.4.1. Généralités et données de base	85
5.4.2. Carte de la pression liée à la route	86
5.4.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	92
5.5. LES PRESSIONS PONCTUELLES	92
6. Cartographie des risques	95
6.1. DEFINITION	95
6.2. CARTOGRAPHIE DU RISQUE LIE A LA PRESSION URBAINE	96
6.2.1. Méthodologie.....	96
6.2.2. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	97
6.3. CARTOGRAPHIE DU RISQUE LIE A LA PRESSION AGRICOLE	97
6.3.1. Méthodologie.....	97
6.3.2. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	99
6.4. CARTOGRAPHIE DU RISQUE LIE A LA PRESSION ROUTIERE	100
6.4.1. Méthodologie.....	100
6.4.1. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	101
7. Conclusion.....	103
8. Bibliographie	106

Liste des illustrations

Illustration 1 : a) carte de situation géographique de la commune de capesterre-Belle-Eau et des stations de mesures météorologiques et hydrométriques utiles à cette étude ; b) carte de localisation des sources Belle-Eau-cadeau et Tabaco et limite du bassin versant de la rivière Bananier	14
Illustration 2 : coordonnées géographiques (WGS84) et numéro BSS des différentes sources sur site	14
Illustration 3 : précipitations mensuelles (mm) période 2005 - mars 2011, poste n° 97107002 « Neufchâteau » ; (source Météo France)	15
Illustration 4 : Moyennes et médianes mensuelles inter-annuelle des précipitations sur le poste 97107003 – Grand Etang-Bananier, période 1928-1978 (d'après données Météo France et SAUNIER (2007))	16
Illustration 5 : débits moyens mensuels interannuels (période 1970 – 1991) de la rivière Bananier à Capesterre-Belle-Eau, station historique DEAL n° I1345172 (d'après données extraites du site http://www.hydro.eaufrance.fr/).....	17
Illustration 6 : extrait de la carte pédologique à 1/50 000 éditée par l'INRA et de sa légende relative.....	18
Illustration 7 : photos des captages des sources 2 (1159ZZ0054), 5 (1159ZZ0013) - aval et amont - et 6 (1159ZZ0057) de Belle-Eau-Cadeau – 19/04/2011	20
Illustration 8 : photos des captages des sources de Tabaco 1 (1159ZZ0015) et Tabaco 2 (1159ZZ0016) - 05/04/2011	21
Illustration 9 : production annuelle des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco entre 1999 et 2010 (d'après données GDE)	22
Illustration 10 : ensemble des sources émergentes captées et non captées répertoriées sur le secteurs environnant Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	25
Illustration 11 : principales caractéristiques de l'ensemble des sources inventoriées (d'après BSS, http://infoterre.brgm.fr/)	26
Illustration 12 : Coupe d'une coulée « aa » en mouvement (Délimitation d'une AAC et cartographie de la vulnérabilité en contexte volcanique, note interne BRGM/ONEMA, Vernoux JF, Wuilleumier A)	28
Illustration 13 : schéma type d'une coulée andésitique (Westercamp (1972), extrait du Guide Géologique Régional Martinique, Guadeloupe, Saint-martin, La Désirade (1980))	28
Illustration 14 : les formations pyroclastiques formant le soubassement à Tabaco (à gauche), et les éboulis de blocs de lave vitreuse au sein dequels émergent les sources de Belle-Eau-Cadeau typiques des bordures de coulées (à droite)	32
Illustration 15 : la carapace scoriacée cendreuse, altérée et imperméable du centre de la coulée M4 au niveau de la Ravine Tonnelle	33
Illustration 16 : les laves massives scoriacées de la Ravine Bananier.....	34
Illustration 17 : carte géologique ré-actualisée de la zone Belle-eau-Cadeau/Tabaco. Les étoiles noires correspondent aux affleurements visités.	35

Illustration 18 : Proposition de coupe géologique conceptuelle au travers de la zone Belle-Eau-Cadeau/Tabaco.....	36
Illustration 19 : carte des conductivités (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurées sur les rivières, ravines et sources dans le secteur des captages de Belle-eau-Cadeau et Tabaco (04,05,19 et 20/04/2011 et 06/05/2011) – NM = non mesuré (ravines sèches / pertes) – fond carte IGN au 1/25 000 (4605 GT)	37
Illustration 20 : variation temporelle entre 2005 et 2010 des paramètres in situ (pH et température) mesurés sur les sources de Belle-Eau-Cadeau (d’après les données ARS).....	43
Illustration 21 : variation temporelle entre 2005 et 2010 des paramètres in situ (pH et température) mesurés sur les sources Tabaco (d’après les données ARS).....	43
Illustration 22 : évolution de la concentration en ions majeurs quantifiés dans les eaux de sources Belle-Eau-Cadeau entre 2005 et 2010 (d’après les données ARS).....	45
Illustration 23 : évolution de la concentration en ions majeurs dans les eaux de sources Tabaco entre 2005 et 2010 (d’après les données ARS)	45
Illustration 24 : faciès géochimique de deux sources hydrothermales caractéristiques de la zone périphérique éloigné du dôme de la Soufrière (d’après données géochimiques de l’étude de Bézèlques-Courtade S. et Bes-de-Berc S. (2007)).....	46
Illustration 25 : évolution de la conductivité électrique de l’eau (à 20 puis 25°C), entre 2005 et 2010, sur les sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco	47
Illustration 26 : fluctuations dans le temps des teneurs en composés azotés sur les sources Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	49
Illustration 27 : structure moléculaire de la chlordécone	50
Illustration 28 : structure moléculaire de la Dieldrine.....	50
Illustration 29 : structure moléculaire du HCH beta.....	51
Illustration 30 : tableaux de détection des pesticides dans les eaux des sources de Belle-Eau-Cadeau (a)) et Tabaco (b)) entre 2005 et 2010 (d’après données ARS).....	52
Illustration 31 : évolution des concentrations en pesticides détectés dans les eaux des sources de Belle-Eau-Cadeau entre 2005 et 2010 (d’après données ARS).....	52
Illustration 32 : évolution des concentrations en pesticides détectés dans les eaux des sources de Tabaco entre 2005 et 2010 (d’après données ARS)	53
Illustration 33 : relation entre la pluviométrie journalière (en mm) au poste de Neufchâteau (n°97107002) et l’évolution des concentrations en pesticides dans les eaux des sources Belle-Eau-Cadeau entre 2005 et 2010 (d’après données Météo-France et ARS).....	54
Illustration 34 : relation entre la pluviométrie journalière (en mm) au poste de Neufchâteau (n°97107002) et l’évolution des concentrations en pesticides dans les eaux des sources de Tabaco entre 2005 et 2010 (d’après données Météo-France et ARS)	55
Illustration 35 : paramètres chimiques toxiques détectés ou présentant un dépassement dans les eaux des sources Belle-Eau-Cadeau (a)) et Tabaco (b)) (d’après données ARS)	56
Illustration 36 : extrait de la carte donnant l’estimation de la recharge vers les eaux souterraines de la Basse-Terre, par sous-bassins versants, en mm (d’après BRGM/RP-56821, Dumon et al. 2009).....	60

Illustration 37 : délimitation du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco – schéma conceptuel des écoulements souterrains (fond de carte géologique de la Soufrière au 1/20 000 modifié d’après les observations de terrain, Bourdon 2011).	63
Illustration 38 : représentation des limites du BAC, du PPR et de la ZSCE (source DAAF, 2012)	65
Illustration 39 : schéma simplifié du fonctionnement d'un hydrosystème	68
Illustration 40 : valeur de l'IDPR sur Basse Terre	71
Illustration 41 : première approche de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	73
Illustration 42 : extrait du bâti en Guadeloupe	75
Illustration 43 : extrait du calcul de la densité du bâti	75
Illustration 44 : carte de la pression urbaine en Guadeloupe	76
Illustration 45 : carte de pression urbaine du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	77
Illustration 46 : processus de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux superficielles et souterraines (source : BRGM)	78
Illustration 47 : le parcellaire agricole en Guadeloupe	79
Illustration 48 : quantités de produits bruts utilisés par type de culture en 1996 (données CIRAD, publiées dans Brugneaux et al., 2004)	80
Illustration 49 : hiérarchisation des pressions selon le type de culture et la nature de la pollution (nitrates ou produits phytosanitaires)	80
Illustration 50 : la pression phytosanitaire selon le type de cultures	81
Illustration 51 : extrait de la pression phytosanitaire rapportée aux unités fonctionnelles	82
Illustration 52 : carte de pression phytosanitaire du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	83
Illustration 53 : carte de pression nitrates du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	85
Illustration 54 : vue en 3D d'une route (source SIGA)	85
Illustration 55 : cartographie du linéaire routier sur le territoire de la Guadeloupe	86
Illustration 56 : exemple de calcul de la pression routière simple – commune de Saint-Claude	87
Illustration 57 : définition de la sinuosité lelong du trajet ; $AB = \text{Distance « vraie »} / \text{Distance euclidienne}$	88
Illustration 58 : exemple de calcul de l'indice de dangerosité – commune de Saint-Claude	90
Illustration 59 : exemple de calcul de la pression totale liée à la route – commune de Saint-Claude	91
Illustration 60 : carte de pression routière du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	92
Illustration 61 : carte de pressions ponctuelles du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco	93

Illustration 62 : schéma explicatif des paramètres à prendre en compte pour cartographier le risque	95
Illustration 63 : les différentes étapes du croisement entre la pression urbaine et la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines	97
Illustration 64 : les différentes étapes du croisement entre une pression phytosanitaire et la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraine	98
Illustration 65 : Cartes de risques de pollution du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco liées aux pressions « phytosanitaire » et « nitrates »	99
Illustration 66 : les différentes étapes du croisement entre une pression routière et la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraine	101
Illustration 67 : carte de risque de pollution du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco lié à la pression « routière »	102

Liste des annexes

Annexe 1 Mesures physico-chimiques <i>in situ</i> réalisées sur le bassin versant des sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco les 04, 05, 19 et 20/04/2011 et le 06/05/2011.....	111
Annexe 2 Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine	121
Annexe 3 Tableaux de synthèse des analyses réalisées sur les sources de Belle-Eau-Cadeau du 29/01/1996 au 03/11/2009 (source : ADES).....	133
Annexe 4 Tableaux de synthèses des analyses réalisées sur les sources de Tabaco du 28/03/2000 au 28/09/2009 (source : ADES)	139
Annexe 5 Paramètres <i>in situ</i> (pH et Températures en °C) mesurés sur les sources Belle-Eau-Cadeau et les sources Tabaco entre 2005 et 2010.....	147
Annexe 6 Cartographie du fond géochimique en Fer dans la région de la Grande Rivière de Capesterre (d'après carte extraite de la géodatabase de l'étude BRGM/RP-55709-FR)....	151
Annexe 7 Résultats des dénombrements en microbiologie effectués, sur BEC et Tabaco, de 2005 à fin 2010 (d'après données ARS Guadeloupe).....	155

1. Introduction

La Directive CE 2000 /60, ou « Directive cadre sur l'eau » du 23 octobre 2000, a établi un objectif ambitieux en matière de reconquête de la qualité des ressources en eaux. Dans le cadre de cette directive, les états membres de l'Union européenne doivent réaliser la protection des captages d'eau potable dans le but de réduire les traitements nécessaires à la production d'eau potable et d'agir préventivement contre la détérioration de leur qualité.

En France, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA), n°2006-1772, du 30 décembre 2006, article 21, et le décret n°2007-882 du 14 mai 2007 relatif à « certaines zones soumises à contraintes environnementales » ont renforcé les dispositifs de gestion des ressources en eau. Par l'intermédiaire de ces textes, qui permettent la création de zones de protection quantitatives et qualitatives des aires d'alimentation des captages (AAC) d'eau potable d'une importance particulière pour l'approvisionnement actuel ou futur, les pollutions diffuses d'origine agricole sont prises en compte.

Par la suite, le Grenelle de l'environnement a confirmé l'importance de cet enjeu de protection des captages utilisés pour la production d'eau potable. L'engagement d'une protection effective de 500 captages parmi les plus menacés par les pollutions diffuses d'origine agricole d'ici 2012, a ainsi été pris (article 27 de la loi dite « Grenelle 1 » n°2009-967 du 3 août 2009). D'ici à 2012, des plans d'action seront mis en œuvre pour assurer la protection de ces captages.

L'application de ce nouveau dispositif réglementaire nécessite de déterminer précisément l'aire d'alimentation du captage concerné. Dans le cas des eaux souterraines, l'aire d'alimentation du captage (AAC) est équivalente au **bassin d'alimentation du captage (BAC)**, notion qui sera utilisée ici.

Par ailleurs, afin de mieux définir les programmes d'action et de cibler et hiérarchiser les territoires d'action au sein de la zone de protection, il est également nécessaire de définir au sein des BAC les zones les plus vulnérables aux pollutions diffuses.

En Guadeloupe, le captage des **sources de Belle-Eau-Cadeau et de Tabaco**, exploité par le SIAEAG sur la commune de Capesterre-Belle-Eau, a été défini par la MISE1 comme prioritaire.

La DEAL, la DAAF et l'Office de l'Eau Guadeloupe ont sollicité le BRGM pour réaliser les études de délimitation des bassins d'alimentation de ce captage prioritaire, et de caractérisation de leur vulnérabilité et des pressions associées dans le cadre d'un partenariat de recherche et développement partagés.

1 Mission InterServices de l'Eau : regroupe l'ensemble des services de l'Etat et des établissements publics du département qui interviennent directement dans le domaine de l'eau.

2. Etude du bassin versant

2.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

2.1.1. Localisation géographique

Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco sont situées sur le bassin versant de la rivière de Bananier sur la commune de Capesterre-Belle-Eau. L'illustration 1 indique premièrement, la situation géographique de la commune ainsi que, sur fond IGN, les stations de mesures météorologiques et hydrométriques pour lesquelles les données ont été exploitées, deuxièmement, la localisation des point d'émergence de ces sources. Les coordonnées géographiques de ces points sont reportées en Illustration 2.

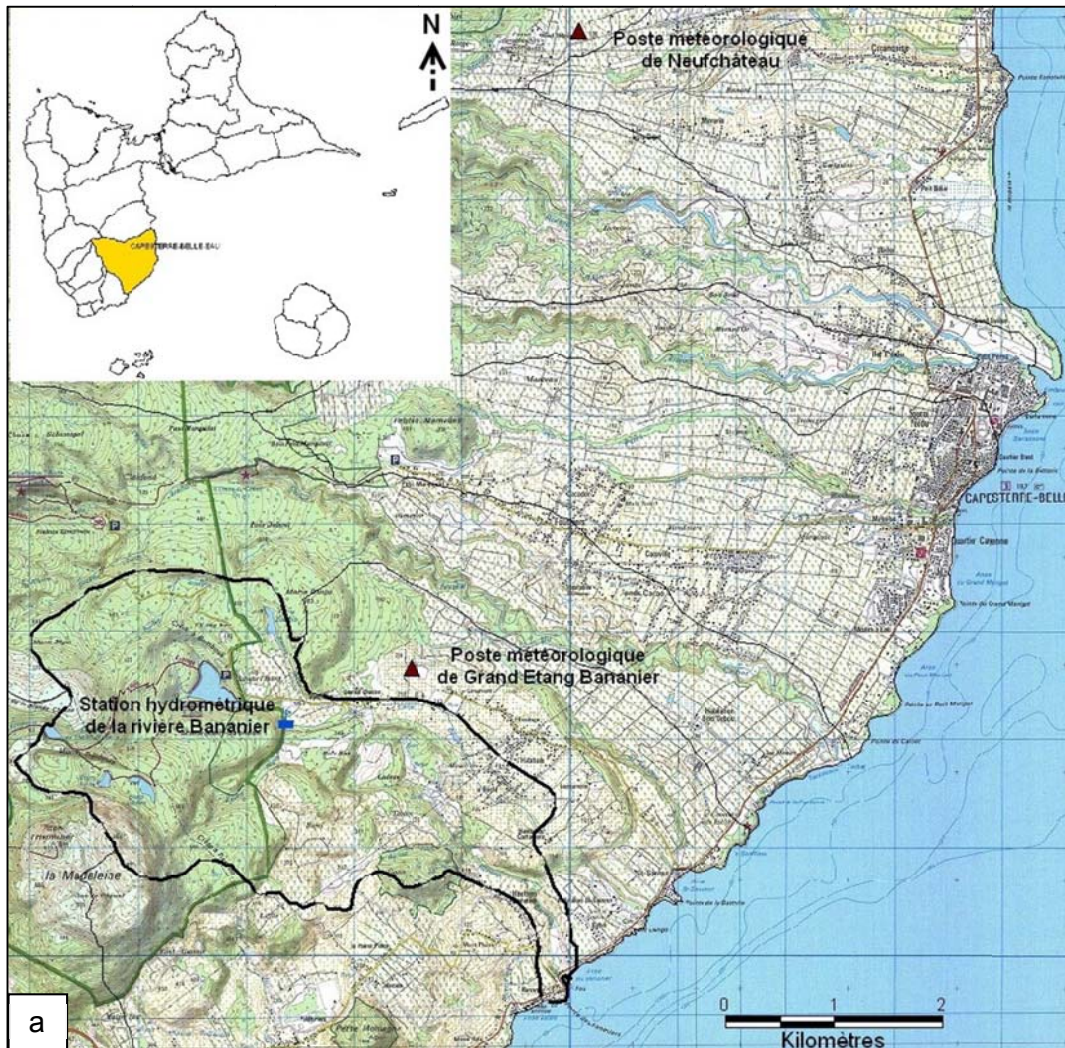




Illustration 1 : a) carte de situation géographique de la commune de capesterre-Belle-Eau et des stations de mesures météorologiques et hydrométriques utiles à cette étude ; b) carte de localisation des sources Belle-Eau-cadeau et Tabaco et limite du bassin versant de la rivière Bananier

	N° source	N° BSS	X_WGS84	Y_WGS84	Z_altitude (m NGG)
<i>Belle-Eau-Cadeau</i>	1	1159 ZZ 0053	648437	1771987	200
	2	1159 ZZ 0054	648417	1771887	200
	3	1159 ZZ 0055	648437	1771837	200
	4	1159 ZZ 0056	648427	1771767	200
	5	1160 ZZ 0013	648407	1771673	200
	6	1159 ZZ 0057	648387	1771617	220
	7	1159 ZZ 0058	648367	1771567	220
<i>Tabaco</i>	1	1159 ZZ 0015	648617	1771472	160
	2	1159 ZZ 0017	648727	1771297	160

Illustration 2 : coordonnées géographiques (WGS84) et numéro BSS des différentes sources sur site

2.1.2. Topographie

Le groupement des 7 sources correspondant à Belle-Eau-Cadeau est localisé en rive droite de la vallée creusée par la rivière Bananier, plus précisément sur le flanc de la crête de Belle-Eau. Ces sources s'étendent du bord sud de la coulée de l'Habituée jusqu'à l'extrémité nord de la coulée de Tabaco et se répartissent à des altitudes variant de 175 à 200 m NGG.

Les deux sources de Tabaco sont situées à des altitudes légèrement inférieures, de l'ordre de 155 et 160 m NGG. Elles se mettent en place au niveau d'un front de coulée

(coulée de Tabaco), au pied d'une rupture de pente marquée par un resserrement des courbes de niveau.

D'après la carte ORSTOM à 1/150 000, Pentes et modelé, Guadeloupe (1982), les sources prennent place dans une zone de pente supérieure à 20-30 %. L'érosion et les éboulements de terrain peuvent entraîner un remaniement des sols, avec localement des mélanges d'horizons.

2.1.3. Pluviométrie

Les données pluviométriques utilisées dans le cadre de cette étude correspondent aux précipitations mensuelles et journalières, sur la période 2005-2010, du poste n° 97107002 de « Neufchâteau » (Illustration 3). Les données journalières ont été achetées auprès de Météo-France, la chronique étant incomplète.

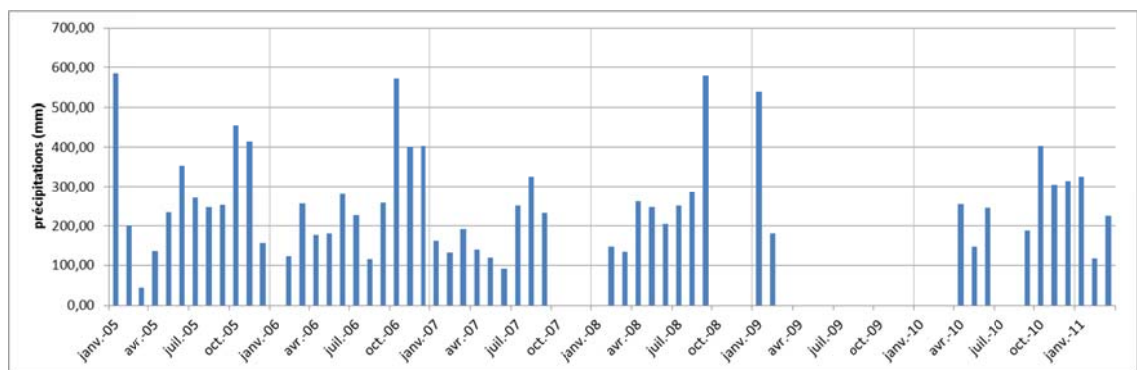


Illustration 3 : précipitations mensuelles (mm) période 2005 - mars 2011, poste n° 97107002 « Neufchâteau » ; (source Météo France)

Le choix de ce poste s'explique par sa localisation, sur le bassin versant de la Grande Rivière de Capesterre à 245 m NGG d'altitude, pour laquelle les isohyètes relatives (3000 mm/an et 4000 mm/an) sont similaires à celles encadrant l'emplacement des sources Belle-Eau-cadeau et Tabaco.

Par ailleurs ces isohyètes sont identiques à celles de la station « Grand Etang » anciennement située sur le bassin versant de la rivière Bananier à proximité des sources (fermeture en 2007).

Il existe dans cette zone de reliefs une variation rapide des précipitations avec l'altitude liée au phénomène de convection. Le gradient est de l'ordre de 300 mm pour une élévation de 100 m sur le terrain.

D'après le rapport de SAUNIER (2007) basé sur les données météorologiques anciennes de l'ORSTOM enregistrées sur la station de Grand Etang Bananier (altitude de 337 m NGG), La pluviométrie moyenne annuelle étendue sur la période 1929-1978 est de 3930 mm/an.

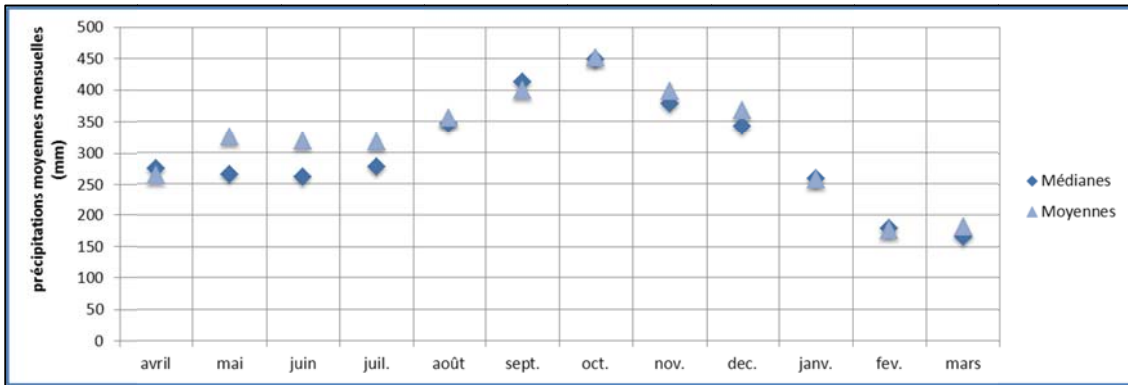


Illustration 4 : Moyennes et médianes mensuelles inter-annuelle des précipitations sur le poste 97107003 – Grand Etang-Bananier, période 1928-1978 (d'après données Météo France et SAUNIER (2007))

Sur le poste de Neufchâteau, la moyenne annuelle n'a pu être estimée qu'entre 2005 et 2006 en raison d'un problème de qualité de données (chroniques incomplètes entre 2007 et 2010). On obtient ainsi une valeur de 3 300 mm/an.

2.1.4. Hydrologie

Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco prennent place en rive droite de la rivière du Bananier, qui constitue l'exutoire du Grand Etang. Le bassin versant de cette rivière s'étend sur une surface approximative de 12 km².

La rivière Bananier est principalement alimentée par le Grand Etang mais également par des résurgences des nappes présentes sur son bassin versant, dont celles correspondant aux sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco.

Ainsi, outre sur la ressource souterraine, le prélèvement au niveau des sources a un impact sur l'écoulement superficiel par réduction de l'alimentation de la rivière Bananier.

D'après le rapport de Dumon A. et al. (2009) sur la contribution à l'évaluation de la ressource en eau souterraine de la Basse-Terre, l'hydrologie de la rivière Bananier au niveau de sa station de mesure (côte 340 m NGG) est caractérisée par un **débit spécifique d'étiage de 39 l/s/km²**. Ce débit correspond à un débit minimal moyen interannuel calculé sur 3 jours consécutifs (VCN3) et par unité de surface du BV, d'après les données fournies par la DEAL (Données de l'ORSTOM/IRD retraitées et validées sur un nombre d'années qui en moyenne équivaut à un peu plus de 12 ans pour l'ensemble des bassins versants).

On donne par ailleurs, en Illustration 5, le graphique montrant les débits mensuels interannuels de la rivière Bananier (station I1345172) sur la période fonctionnelle de la station hydrométrique allant de 1970 à 1991.

A l'échelle de 24 bassins versants principaux de la Basse-Terre, la moyenne estimée des débits spécifiques d'étiages est de 13 l/s/Km², la médiane de 9l/s/km². La rivière Bananier présente le débit spécifique le plus élevé (39 l/s/km²), elle est donc marquée par une forte contribution des eaux souterraines aux écoulements de surface.

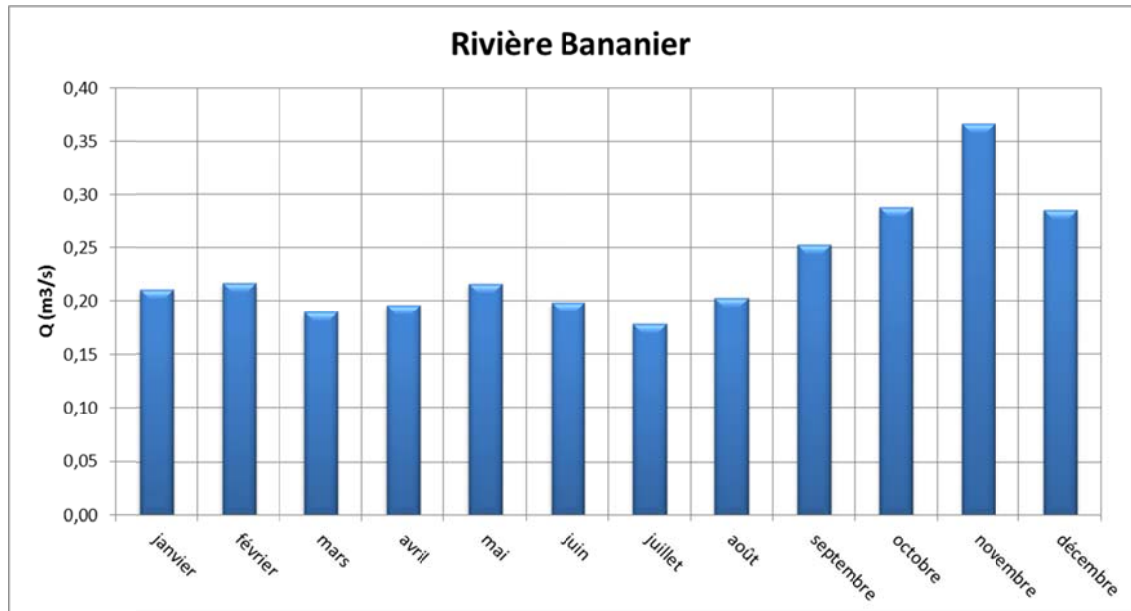


Illustration 5 : débits moyens mensuels interannuels (période 1970 – 1991) de la rivière Bananier à Capesterre-Belle-Eau, station historique DEAL n° I1345172 (d'après données extraites du site <http://www.hydro.eaufrance.fr/>)

2.1.5. Pédologie

D'après les cartes des sols du département de la Guadeloupe éditée par le CNRS (Atlas des Départements d'Outre-Mer, Guadeloupe, planche n°10 à 1 : 150 000, 1980) et l'ORSTOM (n° 2838, ref. GUADELOUPE - PÉDOLOGIE à 1:100 000, 1981), et d'après la carte pédologie de la Basse-Terre de l'INRA à 1/50 000, l'ensemble des sources est localisé sur des formations volcaniques récentes sur lesquelles se développent des sols à allophanes humiques à gibbsite (andosols) évolués, notés T^Yd. Ces sols dérivent de tufs, de cendres et de ponces des régions humides (Illustration 6).

La présence notable d'allophanes, confère à ces sols une texture pseudo-limoneuse, dont la teneur en sable de dimensions supérieures à 50 µm ne dépasse guère 30%. Le sol est donc essentiellement constitué d'éléments fins. La gibbsite, composant minéral des argiles, se retrouve parfois en quantité très importante.

Dans le secteur des sources de Belle-Eau-Cadeau, on note une très faible épaisseur des sols au-dessus des coulées d'andésites fissurées ou de blocs en raison notamment des fortes valeurs de pentes dans ce secteur.

Dans le secteur des sources de Tabaco, les sols observés ont un développement un peu plus important. La teneur en argile de ces sols est néanmoins insuffisante pour assurer une protection efficace contre les infiltrations des eaux susceptibles de ruisseler sur les terrains pentus alentours (d'après SAUNIER, 2007).

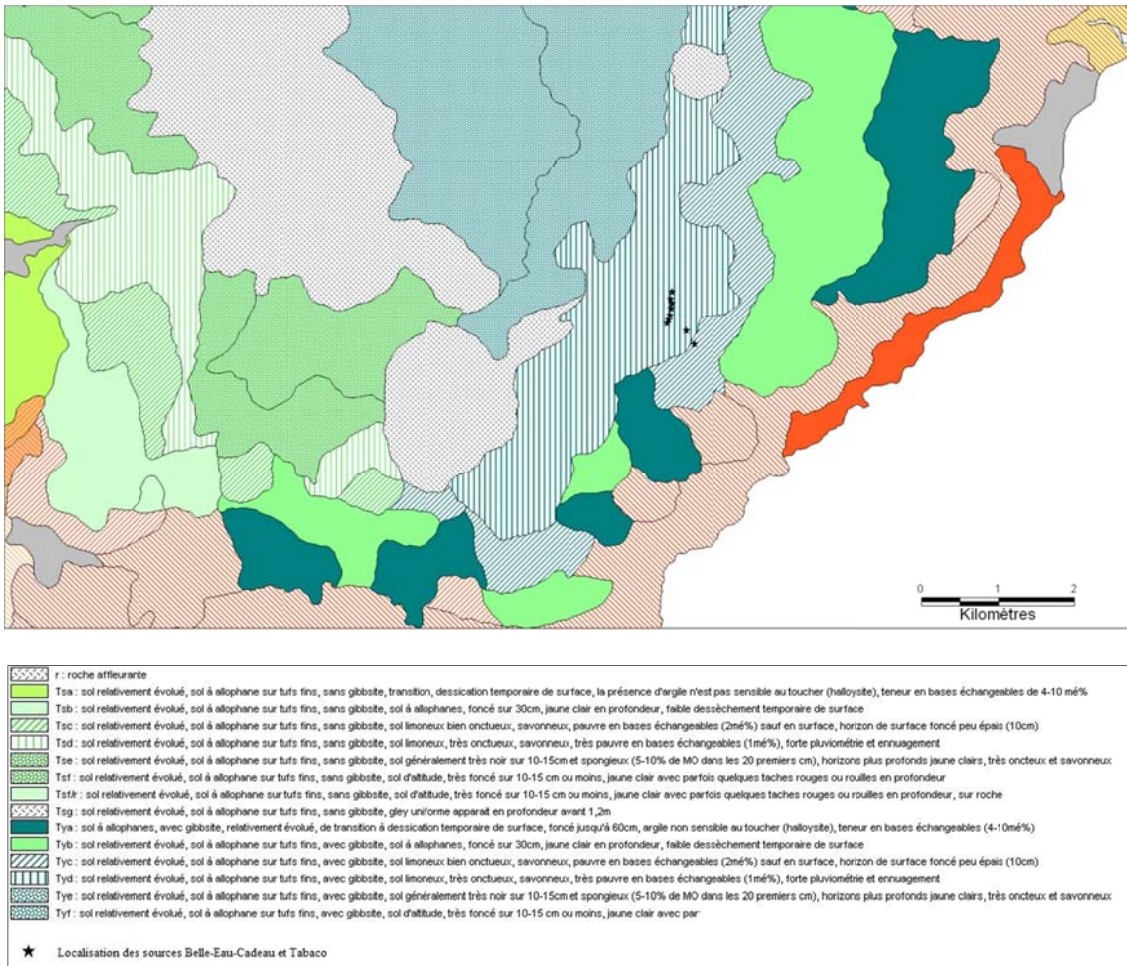


Illustration 6 : extrait de la carte pédologique à 1/50 000 éditée par l'INRA et de sa légende relative

2.2. CARACTERISTIQUES DES CAPTAGES

2.2.1. Sources de Belle-Eau-Cadeau

C'est entre 1968 et 1970 qu'ont été construits les ouvrages de captages des sources de Belle-Eau-Cadeau n°1 à 7. Une phase de réhabilitation a eu lieu en 2003 à la suite d'une étude diagnostique des ouvrages montrant une baisse du débit nominal et une dégradation de la qualité de l'eau.

L'aire totale supportant les installations utiles au captage des sources de Belle-Eau Cadeau s'étend sur une surface totale de 1 952 m² approximativement. En aval des sources, un réseau de canalisations achemine les eaux prélevées vers la station de traitement, elle-même située plus à l'aval.

A chacune des 7 sources correspond une aire de captage creusées à flanc de versant ; ces aires sont généralement constituées de réseaux de tranchées drainantes remplies de pierres sèches (galets andésitiques ou basaltiques de 100 à 500 mm de diamètres) sur une épaisseur variant de 60 à 90 cm et disposées au-dessus d'un drain scellé dans du béton coulé à la base des tranchées.

Les drains posés antérieurement à 2003, sont constitués de tuyaux en fonte grise de diamètre variant entre 150 et 400 mm, comportant des ouvertures de 100 mm tous les mètres. Les portions de drains remplacées lors de la réhabilitation en 2003 sont en PVC.

Les réseaux de tranchées drainantes sont recouverts d'une dalle de couverture en béton armé protectrice. Une couche d'argile disposée sous la dalle complète le dispositif de protection contre les infiltrations éventuelles dans le béton de la dalle. Par ailleurs, des fossés ainsi que des caniveaux longeant la dalle de couverture permettent l'évacuation des eaux de ruissellement.

Sur les aires de captage, sont aménagés des « **accès** » aux tranchées drainantes. Ces accès sont en fait des regards de visite situés aux points de concours des drains, également remplis de pierres sèches.

Le réseau de tranchées drainantes de l'aire de captage de chaque source converge gravitairement vers un regard dit de « rassemblement des drains ». L'ensemble de ces regards de rassemblement sont visitables et constituent le point de départ des conduites acheminant les eaux brutes vers la station de traitement (SAUNIER, 2007). Les plans de la station sont consultables dans les annexes du dossier d'autorisation de prélèvement, distribution et de DUP des périmètres de protection réalisé, pour le compte du SIAEAG, par SAUNIER e associés (2007).

Dans le cadre de la présente étude une visite des captages a été réalisée le 19 avril 2011 par le BRGM en présence de l'Office de l'Eau et de l'exploitant la Générale des Eaux Guadeloupe. Les photos des regards des émergences n° 2, 5 et 6 sont données en Illustration 7



Illustration 7 : photos des captages des sources 2 (1159ZZ0054), 5 (1159ZZ0013) - aval et amont - et 6 (1159ZZ0057) de Belle-Eau-Cadeau – 19/04/2011

2.2.2. Sources de Tabaco

Les sources de Tabaco captées sont au nombre de 2. La superficie totale des installations visant au captage de ces sources est de 767 m².

Les deux aires de captage, clôturées, se composent des ouvrages suivant :

- une chambre de captage amont constituée d'un massif de pierres sèches maintenu par un « mur aval » non consolidé et protégé par une dalle béton. Son rôle est de rassembler les venues d'eau au pied d'un talus ;
- un ouvrage muni d'une porte à barreaux permettant le déversement du trop-plein de la chambre de captage vers une ravine (Tabaco 1 uniquement) ;
- une conduite d'évacuation des eaux de la chambre de captage vers un prédessableur ;
- un prédessableur.

A l'aval et à équidistance des deux captages, un regard de rassemblement, doté d'un dessableur et d'une bêche de mise en charge, collecte les eaux provenant des deux

captages. Dès lors, les eaux sont refoulées par une station de surpression vers la station de traitement de Belle-Eau-Cadeau (SAUNIER, 2007).

Une visite sur site a été réalisée par le BRGM le 04 avril 2011 en présence de l'exploitant la Générale des Eaux Guadeloupe. Nous avons pu noter que le cadenas du portail du captage de la source Tabaco 1 (1159ZZ0015) n'était pas fermé. L'illustration 8 montre les photos des captages Tabaco 1 et 2.



Illustration 8 : photos des captages des sources de Tabaco 1 (1159ZZ0015) et Tabaco 2 (1159ZZ0016) - 05/04/2011

La capacité nominale de production des sources captées de Belle-Eau Cadeau (1 à 7) et Tabaco (1 et 2) n'est pas connue individuellement.

Les données d'exploitation des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco (volumes annuels produits en m³) ont été fournies par la Générale des eaux Guadeloupe (Illustration 9). Les volumes annuels produits sur la période 1999-2010 varient entre 6,85 millions de m³ (en 2000 et 2001) à 10,2 millions de m³ (2004), soit en moyenne **8,5 millions de m³/an ou 23 233 m³/j.**

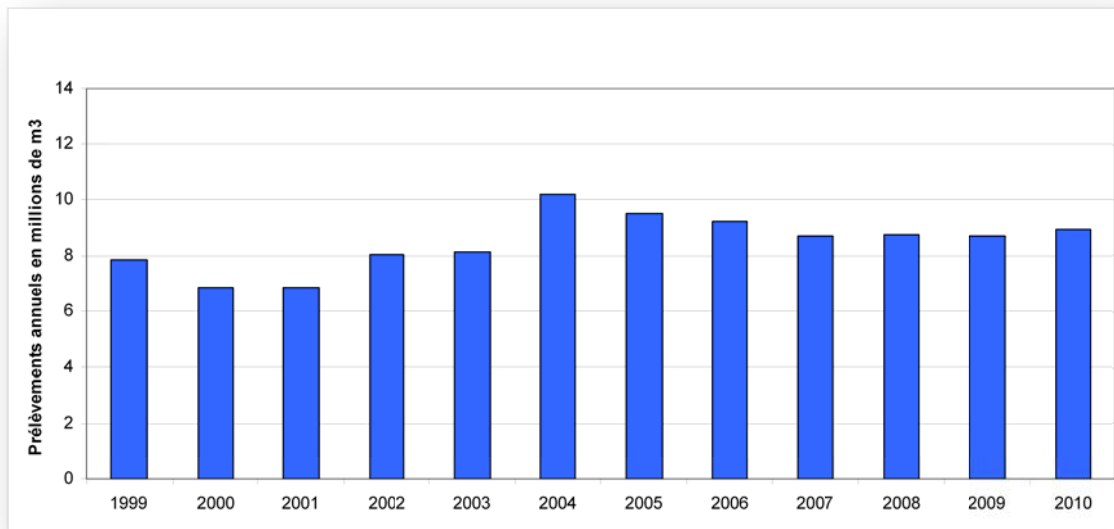


Illustration 9 : production annuelle des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco entre 1999 et 2010 (d'après données GDE)

2.2.3. Inventaire des ouvrages situés à proximité du captage

La consultation des données disponibles dans la Banque du Sous-Sol du BRGM n'a pas permis de mettre en évidence d'autres captages que ceux permettant l'exploitation des sources de Belle-Eau-cadeau et Tabaco. Néanmoins, il existe dans le secteur d'autres sources non captées. L'illustration 10 localise l'ensemble des émergences, captées et non captées, sur le bassin versant de la rivière Bananier. L'illustration 11 donne les principales caractéristiques de ces sources.

Par ailleurs, selon l'étude de SAUNIER, 2007 et d'après le recensement effectué par la MISE en 2006 sur les usages de l'eau souterraine et superficielle à l'échelle du bassin versant de la rivière Bananier, au moins une douzaine de prélèvement sont répertoriés (dont 3 à l'aval des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco).

En termes de prélèvements, la centrale hydroélectrique de « bananier aval » (côte 145 m NGG), exploitée par EDF (SHEMA), est la plus grande consommatrice à l'échelle du bassin versant avec des débits de plus de 4 000 m³/h. Le ¾ de ces prélèvements correspond néanmoins aux eaux restituées par la centrale de Bananier amont (altitude 319 m NGG). Le quart restant, en provenance de la rivière est prélevé à l'aide d'un seuil. Les eaux turbinées sont restituées à l'embouchure de la rivière (altitude 5 m NGG). La mise en service de la centrale est postérieure à celle des captages de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco.

L'arrêté préfectoral n°2009-1751 du 16/11/09 autorise ASIBSS à capter l'eau sur le bassin de prise d'eau de « Bananier amont » pour l'irrigation et l'hydroélectricité. Il autorise des travaux d'extension du réseau pour la vidange du bassin de stockage ainsi qu'une nouvelle centrale hydroélectrique dite du « canal de Dongo » (côte de la prise d'eau 162 m NGG, côte de restitution 40 m NGG) qui pourra turbiner le surplus d'eau non utilisé pour l'irrigation (SDMEA, Office de l'Eau de Guadeloupe, 2011).

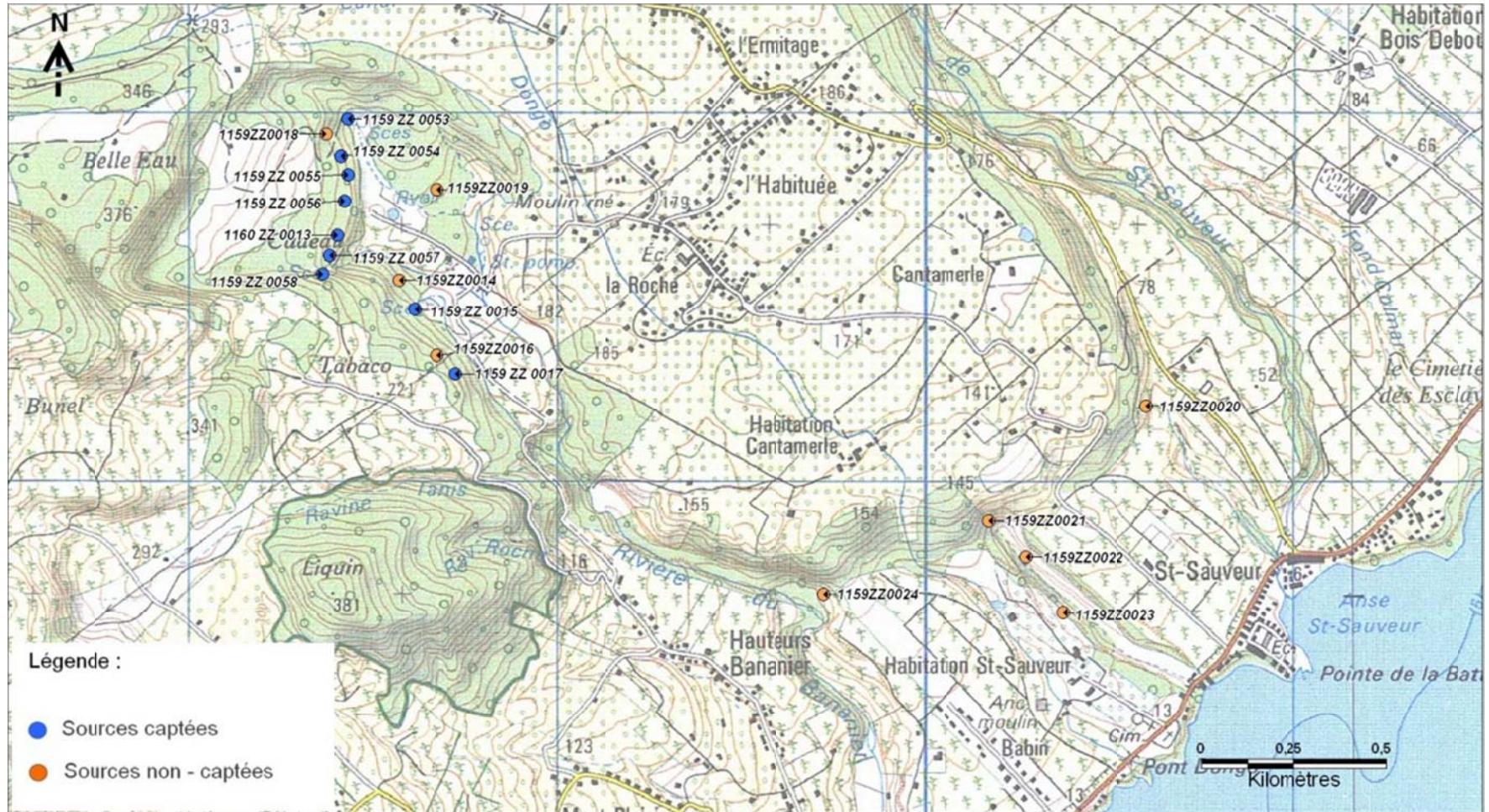


Illustration 10 : ensemble des sources émergentes captées et non captées répertoriées sur le secteurs environnant Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

n° BSS	X_WGS84	Y_WGS84	typologie / nom	altitude	usages de l'eau
1159ZZ0013	648407	1771673	Source Belle-Eau-Cadeau 5	200 m	exploitée pour l'AEP
1159ZZ0014	648575	1771552	Source	140 m	non exploitée
1159ZZ0015	648617	1771472	Source Tabaco 1	160 m	exploité pour l'AEP
1159ZZ0016	648677	1771347	Source	155 m	non exploitée
1159ZZ0017	648727	1771297	Source Tabaco 2	160 m	exploitée pour l'AEP
1159ZZ0018	648377	1771947	Source	190 m	non exploitée
1159ZZ0019	648677	1771797	Source	150 m	non exploitée
1159ZZ0020	650602	1771207	Source	50 m	non exploitée
1159ZZ0021	650177	1770897	Source	60 m	non exploitée
1159ZZ0022	650277	1770797	Source	30 m	non exploitée
1159ZZ0023	650377	1770647	Source	20 m	non exploitée
1159ZZ0024	649727	1770697	Source	50 m	non exploitée
1159ZZ0053	648437	1771987	Source Belle-Eau-Cadeau 1	200 m	exploitée pour l'AEP
1159ZZ0054	648417	1771887	Source Belle-Eau-Cadeau 2	200 m	exploitée pour l'AEP
1159ZZ0055	648437	1771837	Source Belle-Eau-Cadeau 3	200 m	exploitée pour l'AEP
1159ZZ0056	648427	1771767	Source Belle-Eau-Cadeau 4	200 m	exploitée pour l'AEP
1159ZZ0057	648387	1771617	Source Belle-Eau-Cadeau 6	220 m	exploitée pour l'AEP
1159ZZ0058	648367	1771567	Source Belle-Eau-Cadeau 7	220 m	exploitée pour l'AEP

Illustration 11 : principales caractéristiques de l'ensemble des sources inventoriées (d'après BSS, <http://infoterre.brgm.fr/>)

2.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

2.3.1. Typologie des aquifères volcaniques

Le contenu de ce chapitre reprend une note écrite par Vernoux J.F. et Willeumier A. (2010), elle-même basée sur de nombreux travaux antérieurs dont les éléments sont donnés en bibliographie (Roux, Bantou et Bangoy, Maréchal, Malard, Vaudour...)

Les formations volcaniques se caractérisent en général par une structure complexe avec des hétérogénéités présentes de l'échelle cartographique à celle du forage. Les valeurs de porosités et de perméabilités observables au sein des formations volcaniques varient en fonction :

- de la lithologie : les laves sont, parmi les formations volcaniques non altérées, les roches présentant les perméabilités les plus élevées. L'empilement de coulées « laves-scories » répété sur plusieurs centaines de mètres, définit un ensemble potentiellement aquifère. Les roches intrusives (dykes, sills) non fissurées mais également d'autres roches (ignimbrites, trachytes, roches altérées, matériaux zéolités...) définissent des milieux aquicludes présentant une faible conductivité hydraulique ;

- des types de perméabilités : il coexiste, au sein des aquifères volcaniques, des perméabilités d'interstices et de fissures. La perméabilité d'interstices est présente aussi bien au sein des formations basaltiques scoriacées, des formations pyroclastiques et volcano-sédimentaires. La perméabilité de fissures s'exprime quant à elle aussi bien dans les laves basiques (basaltes), sous la forme de fissures de refroidissement pouvant atteindre de grandes ouvertures (cm à dm) que dans les laves acides plus visqueuses où elle s'exprime sous forme de figures d'écoulement (Lachassagne et Maréchal, 2004). Il peut être associé à ces perméabilités, une perméabilité de fractures, d'origine tectonique. Exceptionnellement, la présence de tunnels de laves au sein des basaltes fluides, de troncs de végétaux décomposés ultérieurement à la mise en place de la formation qui les a fossilisés (lahars, cendres, etc.) concourent aussi à la perméabilité des roches volcaniques et, parfois à l'émergence de sources. Au contraire, l'existence de structures localisées, imperméables, peut contribuer à compartimenter l'aquifère, en particulier, des faisceaux de dykes imperméables, des paléosols, des intrusions massives et le métamorphisme associé (Lachassagne et Maréchal, 2004) ;

- de la structure interne des coulées (Illustration 12 et Illustration 13) : des variations verticales de conductivités hydrauliques sont observables au sein d'une même coulée ;

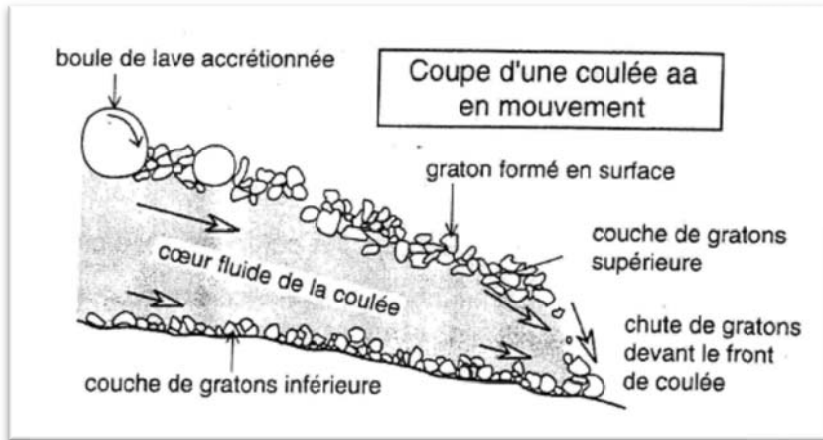


Illustration 12 : Coupe d'une coulée « aa » en mouvement (Délimitation d'une AAC et cartographie de la vulnérabilité en contexte volcanique, note interne BRGM/ONEMA, Vernoux JF, Wuilleumier A)

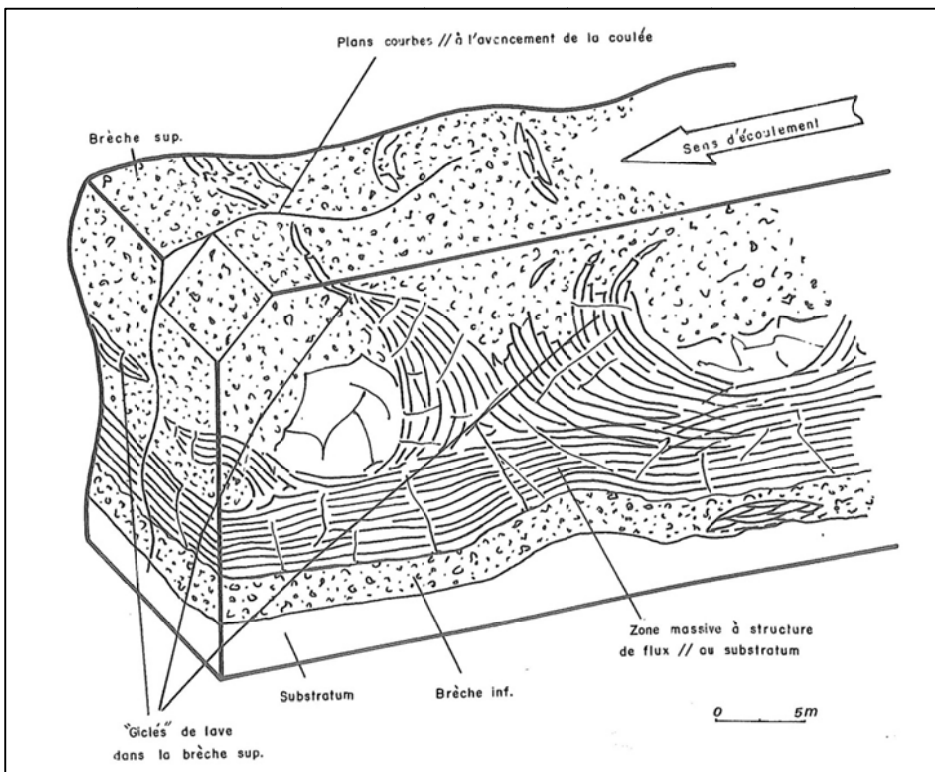


Illustration 13 : schéma type d'une coulée andésitique (Westercamp (1972), extrait du Guide Géologique Régional Martinique, Guadeloupe, Saint-martin, La Désirade (1980))

- du degré d'altération : les altérations météoritiques et hydrothermales contribuent à l'hétérogénéité des milieux volcaniques (argilisation et précipitation de

minéraux secondaires colmatant les porosités). Ainsi, les formations les plus saines sont fréquemment les plus perméables.

Par opposition aux volcans rouges (de type basaltique), on parle de volcans gris lorsque l'on a à faire à un **volcanisme de type andésitique**. En effet, les laves sont alors suffisamment visqueuses pour que leur épanchement devienne difficile et qu'elles s'accumulent au voisinage des points d'émergence du magma. Ces accumulations de lave finissent par s'effondrer voire exploser en totalité ou partiellement, donnant naissance à des projections de débris et de cendres, voire à des nuées ardentes dévalant les flancs du volcan. Les volcans gris se trouvent essentiellement au niveau des zones de subduction.

Le volcanisme de type andésitique est présent au travers des volcans de l'arc insulaire antillais, qui résulte de la subduction de la plaque océanique nord-atlantique sous la plaque caraïbe. La Basse-Terre est ainsi composée quasi exclusivement de formations volcaniques de type andésitique, tertiaires et quaternaires. Les formations sédimentaires y sont limitées aux alluvions récentes, aux formations de plage et de mangrove, et à quelques niveaux calcaires déposés lors de périodes prolongées d'arrêt du volcanisme.

Ces formations volcaniques sont très variées. Les hyaloclastites, témoins des phases initiales sous-marines du volcanisme, forment le soubassement de l'île, sur plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. Alternent ensuite différents types de laves, depuis des termes assez fluides (basaltes, andésites basiques, représentés par exemple par les coulées décamétriques de la Madeleine en Guadeloupe) jusqu'à des laves plus visqueuses (andésites, dacites, rhyolites). Les produits de nature explosive, nuées ardentes, ponces, cendres, etc., sont très représentés, en particulier au sein des édifices récents. Enfin, les formations de démantèlement (lahars, coulées de débris, produits d'effondrement de type « Mount Saint Helens », conglomérats, etc.) peuvent occuper de très grandes surfaces et combler des paléovallées larges et profondes.

Compte tenu de leur histoire longue, majoritairement aérienne, polyphasée, affectée par la tectonique, par des phases de bombement, de subsidence et d'effondrement, d'érosion, etc., les îles andésitiques présentent une structure géologique complexe.

Les caractéristiques hydrodynamiques des roches volcaniques dépendent de la nature des aquifères, qui peuvent être constitués de :

- roches cohérentes : laves effusives et intrusions (dykes, sills) lorsque celles-ci sont suffisamment fissurées pour se comporter comme un aquifère ;

- roches meubles plus ou moins consolidées : scories, pyroclastites, hyaloclastites, produits volcano-détritiques et paléosols.

Les roches volcaniques effusives

La capacité aquifère des laves dépend étroitement de leurs conditions de mise en place, de leur fissuration et fracturation, ainsi que de l'altération qu'elles sont susceptibles de subir ultérieurement.

Les laves massives présentent une porosité essentiellement structurale, la porosité d'interstices (liée aux bulles de gaz piégées dans la roche lors de son refroidissement) étant faible et est qui plus est le plus souvent non connectée en l'absence de fissuration. L'écoulement de la lave est à l'origine de figures de flux qui se traduisent fréquemment par une fissuration de la roche – donnant naissance à un débit en plaquettes – souvent parallèles au substratum. Le refroidissement de la lave génère par ailleurs une fissuration perpendiculaire au substratum. La porosité associée à cette fissuration acquise lors de la mise en place et le refroidissement de la coulée est ouverte, connectée et peut donner naissance à une porosité efficace importante notamment dans la mesure où elle recoupe des pores vacuolaires initialement non connectés. Cette porosité peut être par la suite renforcée lorsque la roche se fissure sous l'action de contraintes d'origine tectonique.

Des variations verticales de perméabilité apparaissent par ailleurs au sein d'une même coulée. En effet, la structure interne des coulées comprend généralement plusieurs niveaux (Illustration 13) :

- à la base : une brèche constituée d'éléments scoriacés, en gratons, et reprenant souvent des blocs de la coulée sous-jacente ;

- au cœur : une lave massive fréquemment diaclasée (par des fissures de retrait lors du refroidissement) ;

- en surface : couche de « gratons » et niveau scoriacé.

Au sein d'une coulée andésitique non altérée, les écoulements d'eau se font préférentiellement dans les faciès en gratons, scoriacés et fissurés, susceptibles d'être très perméables et présentant habituellement une porosité efficace supérieure à celle d'une lave massive. L'empilement de coulées « laves-scories » répété sur plusieurs centaines de mètres, définit ainsi un ensemble potentiellement aquifère. Une anisotropie des perméabilités horizontales peut exister compte tenu de l'existence de discontinuités inter-coulées. L'écoulement s'opère ainsi d'avantage dans les plans parallèles aux coulées, avec un rapport de la perméabilité horizontale sur la perméabilité verticale variant de 20 à 50 (Custodio, 1985).

La perméabilité des andésites diminue avec le temps en raison des phénomènes suivants (Davis, 1974) :

- l'altération de surface (météorique) et de profondeur (hydrothermalisme avec formation de minéraux secondaires). L'introduction de sédiments (argilisation) et la précipitation de minéraux secondaires tendent à colmater les pores connectés et ainsi diminuer la perméabilité ;

- la compaction liée à la pression lithostatique (dans le cas de roches très profondes) : fermeture des discontinuités horizontales.

Les faciès de bordure d'une coulée (couche de gratons, de scories), en raison de leur forte porosité et perméabilité initiale possèdent une plus forte aptitude à s'altérer que le cœur de la coulée. Un même ensemble lithologique peut ainsi évoluer vers une

décomposition en un niveau aquifère compris entre un substratum et/ou un toit imperméable(s) (parties argilisées), si l'on suit le modèle présenté en Illustration 12.

Les roches volcaniques intrusives

Comme pour les coulées, les caractéristiques hydrodynamiques des roches volcaniques intrusives dépendent fortement de la fissuration acquise durant leur refroidissement, ainsi qu'ultérieurement en lien avec l'activité tectonique. Suivant les cas, les dykes peuvent jouer le rôle de drain ou bien constituer une barrière imperméable à la circulation des eaux souterraines, générant alors une compartimentation des réservoirs. Par leur situation structurale particulière au sein des formations volcaniques (la formation recoupe la structure de l'encaissant), ils contribuent à l'anisotropie des écoulements (Custodio et Saenz de Oiza, 1972). Les sills, dont la mise en place suit par définition la structure de l'encaissant, créent ou renforcent l'anisotropie verticale de la formation encaissante, à moins d'être recoupés par une fissuration dense. De la même manière que les dykes, ils contribuent à compartimenter les réservoirs, jouant notamment le rôle de mur pour un aquifère.

Les secteurs dans lesquels sont rencontrés les dykes peuvent connaître une fracturation observable dans la zone de contact entre le ou les filons et la formation encaissante et à ce titre également constituer des aquifères intéressants.

Les pyroclastites

Les caractéristiques hydrodynamiques des pyroclastites et hyaloclastites sont liées d'une part à la fraction fine (poussières et cendres) présente dans le dépôt initial, d'autre part aux processus de transformations diagénétiques qui affectent rapidement ces dépôts (Join, 1991). Ces formations ont donc souvent de faibles potentialités hydrogéologiques. Elles peuvent présenter cependant de bonnes fonctions capacitives.

Les roches volcano-sédimentaires

Les dépôts de « coulées de débris » sont issus du remaniement de produits volcanoclastites. Ils sont constitués par des mélanges hétérogènes de fragments de roches à granulométries variées (taille centimétrique à métrique), plus ou moins cimentés dans une matrice argileuse qui confère la cohésion de la formation. De part cette matrice argileuse, ces formations présentent de faibles potentialités aquifères.

2.3.2. Reconnaissances de terrain

Des reconnaissances géologiques et hydrogéologiques de terrain ont été effectuées par le BRGM sur le bassin versant des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco les 04, 05, 19 et 20 avril 2011 et le 06 mai 2011. Ces reconnaissances de terrain ont consisté en une identification des formations aquifères et des aquitards, ainsi qu'en des mesures physico-chimiques *in situ* (conductivité et température) le long des ravines, des cours d'eau et sur les sources repérées.

Reconnaissances géologiques

Le bassin d'alimentation du captage de Belle-Eau Cadeau se trouve en limite sud-est du massif de la Soufrière proprement dite (âgé de moins de 200 000 ans)

essentiellement au sein du Massif dit de la Madeleine, récemment daté à moins de 75 000 ans et même moins de 15 000 ans pour les principales formations aquifères qui nous intéressent (Samper, 2007). La carte géologique de référence pour cette zone est la carte du Massif volcanique de la Soufrière au 1/20 000 qui date de 1988 (Boudon et al., 1988) et qui est plus récente et plus précise par son échelle que la carte au 1/50 000^{ème} du Sud Basse-Terre de De Reynald de Saint-Michel (1966)). Comme pour l'ensemble de l'île de Basse-Terre, il y a peu de données disponibles en BSS (et notamment aucun forage profond) permettant d'obtenir des informations sur la nature du sous-sol de la zone. Les reconnaissances géologiques de terrain font ressortir 4 unités géologiques principales.

Le massif de la Madeleine est en lui-même un massif polyphasé constitué de plusieurs dômes, coulées et cônes relativement jeunes et donc encore facilement morphologiquement reconnaissables. En particulier, les levées présentes de part et d'autres des principales coulées de lave sont encore bien visibles et correspondent aux limites externes des coulées se formant pendant leur mise en place.

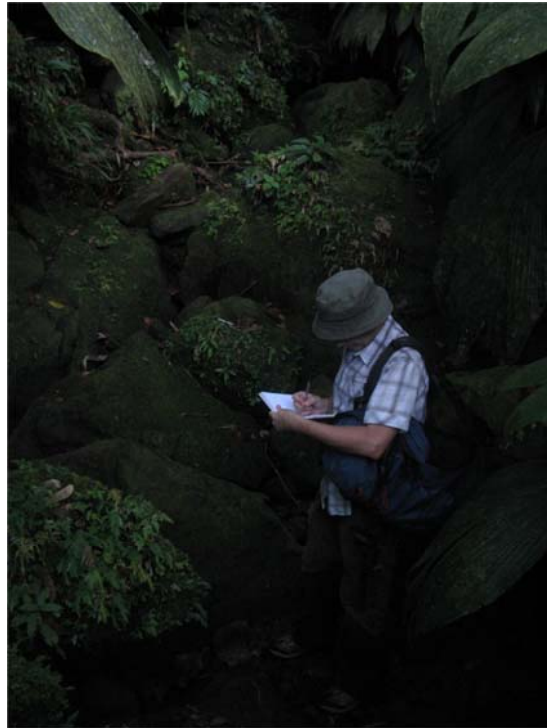


Illustration 14 : les formations pyroclastiques formant le soubassement à Tabaco (à gauche), et les éboulis de blocs de lave vitreuse au sein dequels émergent les soures de Belle-Eau-Cadeau typiques des bordures de coulées (à droite)

Les formations les plus anciennes se retrouvent à 2 endroits principaux. Premièrement en aval des captages de Belle-Eau Cadeau et de Tabaco. Elles affleurent particulièrement bien aux points d'émergence de Tabaco et sont constituées de formations pyroclastiques riches en ponces et fortement argilisées avec un litage net acquis lors de leurs dépôts. Elles ne sont pas visibles au niveau des sources de Belle-

Eau Cadeau mais la plaine alluviale située en aval est riches en matériaux ponceux et scoriacés ce qui laisse supposé qu'elles en forment le soubassement. Ces formations forment le soubassement ancien du massif de la Madeleine également constitués des dômes de Morne Liquin et de la Petite Montagne de Capesterre (datée à 314 000 ans ; Samper, 2007) et d'où elles sont probablement issues. Ces formations sont également visibles à l'Ouest du Grand Etang (dont elles forment probablement le soubassement imperméable), avec un litage très net, où elles sont clairement recouvertes par les laves massives de la Madeleine et notamment de la coulée M4 provenant du dôme de la Grande Chasse. Au niveau de Tabaco et de Belle-eau cadeau, cette formation pyroclastique est recouverte par des éboulis de blocs de lave massive sombre relativement vitreuse qui correspondent à 2 coulées différentes. La coulée M5 d'où émerge les sources de Tabaco est en contact direct avec le dôme de la Madeleine dont elle semble provenir (les datations récentes indiquent cependant que le dôme lui-même est antérieur d'au moins 30 000 ans au coulées de lave). A l'inverse, il est difficile de relier sur le terrain les laves d'où émergent les sources de Belle-eau Cadeau à la coulée M4 qui se trouve bien en amont et qui est plutôt constituées de laves légèrement scoriacées (comme cela a pu être mise en évidence dans la ravine Bananier). Nous avons donc individualisé une nouvelle coulée de lave dont la superficie à l'affleurement est relativement réduite est qui correspondrait à un épisode volcanique précoce de la phase Madeleine. Elle est directement surmontée par la coulée M4. La coule de lave M4 a été observée en différents endroits, le long de la RD4, au niveau de la ravine Grosse Corde, au niveau de la ravine Tonnelle, à proximité de l'Etang à Zombi, dans la Ravine sèche et la ravine Bananier. A proximité



Illustration 15 : la carapace scoriacée cendreuse, altérée et imperméable du centre de la coulée M4 au niveau de la Ravine Tonnelle

des levées, on observe systématiquement des laves massives relativement cristallines, noires en place ou souvent en éboulis de blocs. Au centre de la coulée, le faciès dominant est une formation bréchique cendreuse, très homogène correspondant à la formation d'une carapace scoriacée de la coulée lors de sa mise en place. Au niveau des ravines, ces couches scoriacées sont très altérées, indurées et relativement imperméable. Dans la ravine sèche, le passage de cette couche altérée aux éboulis de blocs de lave cristalline correspondant à la levée se solde par une perte dans la ravine.



Illustration 16 : les laves massives scoriacées de la Ravine Bananier

A l'intersection de la ravine sèche et de la RD4, la lave massive se fait plus scoriacée et rougeâtre, C'est également le faciès dominant dans la ravine Bananier, ce qui laisse supposer que l'on se trouve en partie supérieure de coulée. La coulée M5 qui pourrait avoir comme point d'émission le Morne Boudoute ou le dôme de la Madeleine a également été observée à la périphérie du Grand Etang et dans la ravine Séguy. Dans les deux cas, elle semble composée principalement d'une lave massive relativement cristalline bien qu'uniquement observée sous forme d'éboulis en bordure de coulée.

Ces observations de terrain ont permis d'ajuster la carte géologique existante sans remettre en cause le schéma géologique général de la zone. Au niveau des sources de Belle-eau Cadeau, nous avons simplement différencié une nouvelle coulée de lave (assez peu étendue à l'affleurement) que nous attribuons à une phase précoce de la Madeleine. Elle est surmontée par la coulée de lave M4 (dont l'extension est plus importante qu'initialement indiquée dans la carte géologique de 1988 ; les observations effectuées dans la Ravine Bananier ne permettant pas selon nous de différencier 2 coulées).

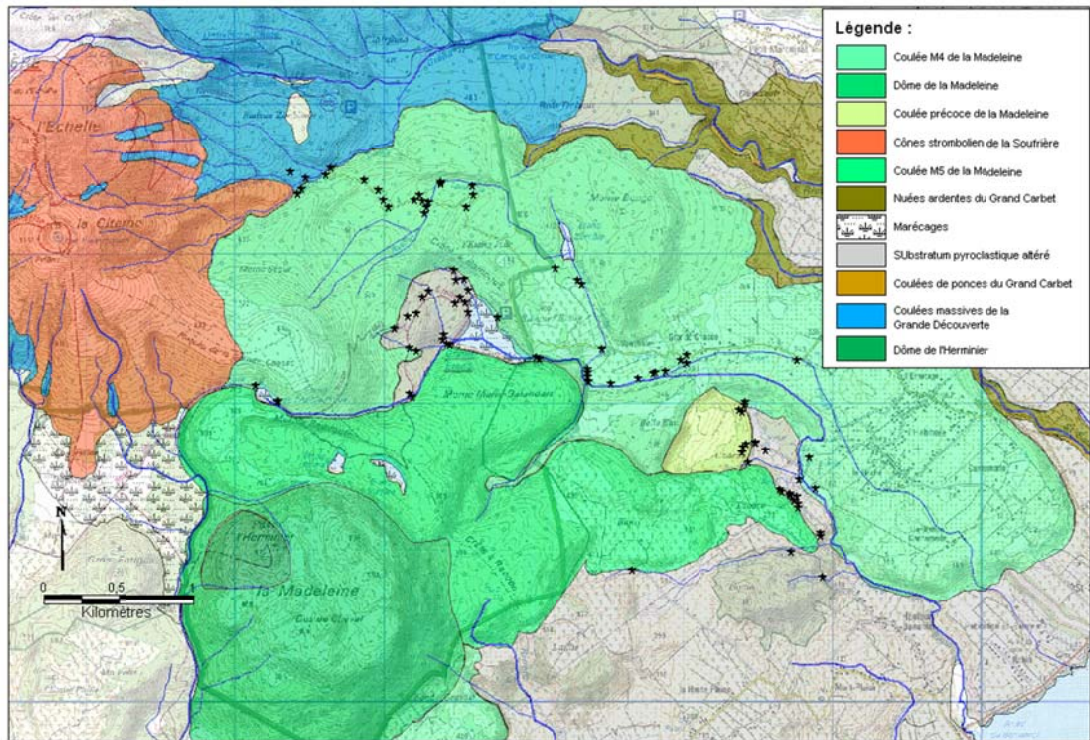


Illustration 17 : carte géologique ré-actualisée de la zone Belle-eau-Cadeau/Tabaco. Les étoiles noires correspondent aux affleurements visités.

Une coupe géologique conceptuelle d'axe WNW-ESE passant par le Grand Etang et les sources de Belle-Eau-Cadeau montre comment l'ensemble des coulées de lave massive aquifères de la Madeleine (y compris la coulée de lave précoce) reposent sur le soubassement altéré et imperméable constituée par les formations pyroclastiques anciennes.

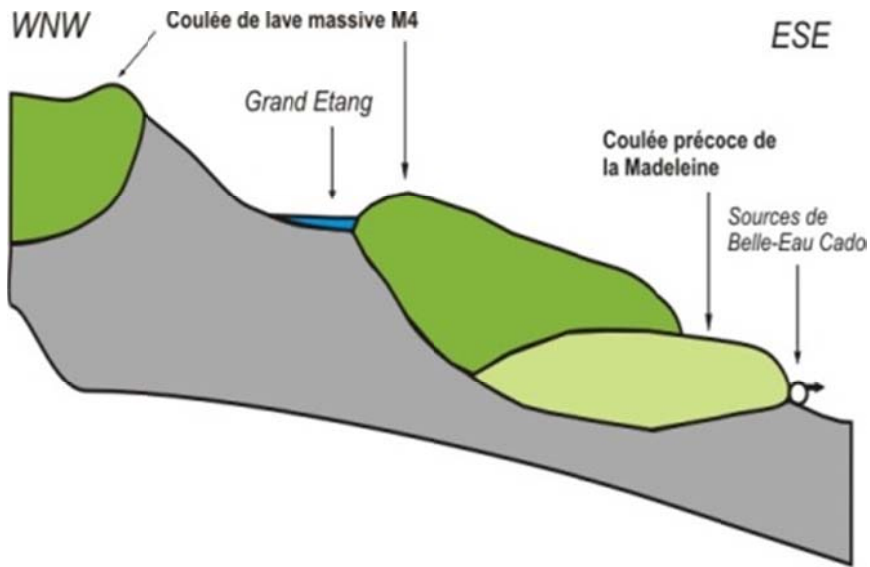


Illustration 18 : Proposition de coupe géologique conceptuelle au travers de la zone Belle-Eau-Cadeau/Tabaco

Reconnaitances hydrogéologiques

Les mesures physico-chimiques *in situ* (conductivité et température) effectuées par le BRGM le long des ravines, des cours d'eau et sur les sources repérées sont regroupées en Annexe 1. Les données de conductivités sont localisées en Illustration 19.

Il est à noter que cette campagne de mesure a été menée durant la saison de carême, aucun évènement pluvieux majeur n'est à signaler dans les jours ayant précédé cette intervention.

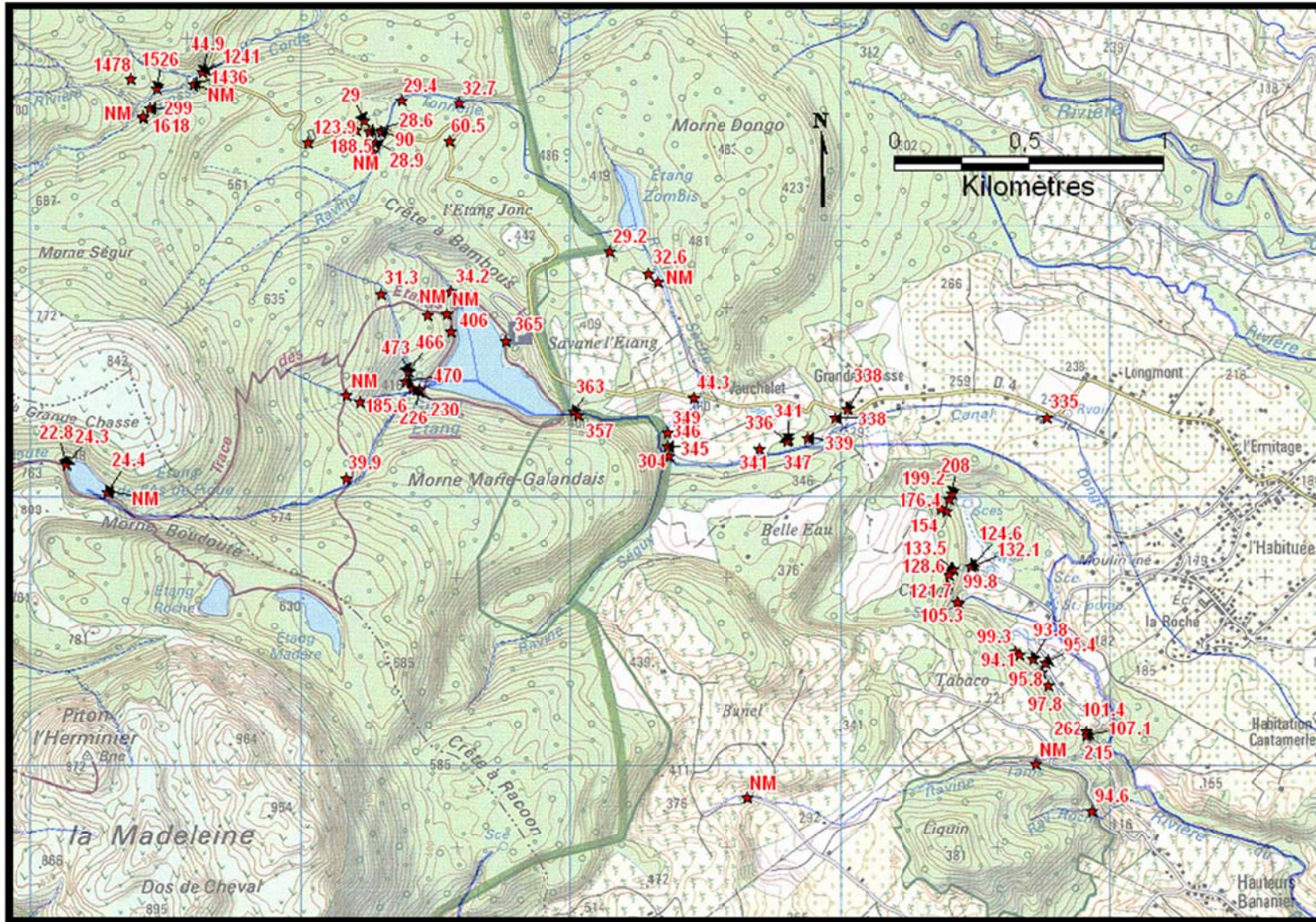


Illustration 19 : carte des conductivités (en $\mu\text{S/cm}$) mesurées sur les rivières, ravines et sources dans le secteur des captages de Belle-eau-Cadeau et Tabaco (04,05,19 et 20/04/2011 et 06/05/2011) – NM = non mesuré (ravines sèches / pertes) – fond carte IGN au 1/25 000 (4605 GT)

Les conductivités *in situ* mesurées sur les 7 émergences de Belle-Eau-Cadeau varient de 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'émergence 1 (1159ZZ0053) à 99,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'émergence 7 (1159ZZ0058). Les températures varient de 24,3 °C à 22,5 °C. Les sources de Tabaco 1 et 2 présentent quant à elles des conductivités respectives de 99,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 97,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et des températures de 22,7 et 22,9 °C. Ces variations de conductivité significatives pour les différentes émergences, et le rapprochement des caractéristiques de l'émergence 7 de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco 1 montrent que les systèmes aquifères de ces sources ne sont pas déconnectés et sont difficilement dissociables (il existe probablement une zone de mélange). Il est donc pertinent pour ces sources de tenir compte d'un bassin d'alimentation commun

L'amont du bassin versant des sources au niveau de la rivière de Grosse Corde est marqué par des eaux influencées par le système hydrothermal de la Soufrière, ces eaux chaudes (> 30 °C) sont très minéralisées (conductivités entre 1 200 et 1 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Des pertes sont observées en amont de la rivière. La ravine Tonnelle est quant à elle ruisselante sur des formations altérées plus imperméables, les conductivités sont très faibles entre 28,6 et 32,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (eau de pluie) et les températures plus froides (entre 21,2 et 21,7 °C). Des émergences sont observées dans ces laves altérées avec des conductivités et des températures plus élevées (de 90 à 188,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de 22,6 à 25,3 °C).

Dans la partie intermédiaire du bassin versant, la ravine Tonnelle alimente l'étang Zombi qui se perd ensuite au sein des blocs de laves massives de la ravine sèche. Le Grand Etang présente des conductivités relativement élevées de 406 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en amont à 357 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'aval à son exutoire dans la rivière Bananier. La température de l'étang est de l'ordre de 25 °C. En rive droite de l'étang les ravines sont sèches (pertes) et en rive gauche l'étang est alimenté par deux rivières à fort débit présentant de fortes conductivités 473 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour 25,1 °C et 185,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour 21,8 °C. L'étang As de Pique qui alimente la rivière Bananier est très peu chargé (24,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour 23,1 °C), une perte dans les laves massives est observée à l'exutoire de cet étang. A l'aval du Grand Etang, la rivière Bananier, et sa dérivation (Canal Dongo), conservent des conductivités relativement élevées qui diminuent d'amont en aval (357 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 335 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et des températures de l'ordre de 25 °C. A noter une perte au niveau de la ravine Séguy en rive gauche, et une alimentation par des émergences diffuses en rive droite (325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour 24,5 °C).

Concernant les ravines à l'Ouest des sources de Tabaco, la ravine Tanis s'avère être complètement sèche (pertes dans blocs de laves massives) et la ravine Roche présentent des caractéristiques chimiques *in situ* proches des sources de Tabaco (94,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 23,4 °C).

Globalement sur ce bassin versant, les conductivités diminuent fortement d'amont en aval, ce qui révélerait un système marqué par des eaux hydrothermales atténué à l'aval par les eaux de ruissellement moins chargées. Une influence des eaux hydrothermales de la rivière des Cordes en amont est suspectée au regard des conductivités élevées des rivières de ce secteur. Des analyses hydrochimiques permettraient de vérifier cette hypothèse.

Ces observations de terrain vont permettre de délimiter le bassin d'alimentation des sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco (§ 3.2) en appréhendant notamment les écoulements souterrains du secteur étudié.

2.4. QUALITE DE L'EAU

2.4.1. Données disponibles 2005-2010

Les données qualitatives sur les eaux des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco, sur la période allant de 2005 à 2010, ont été fournies par l'Agence Régionale de Santé (ARS) de Guadeloupe.

De 2001 à août 2005, les prélèvements d'eau brute pour analyses étaient effectués, par la DSDS, en tête du réservoir de Belle-Eau-Cadeau ; ces eaux correspondaient au mélange de l'ensemble des sources Belle-Eau-Cadeau plus celles de Tabaco.

Depuis août 2005, ces prélèvements sont effectués distinctement sur les deux groupements de sources ; les analyses portent donc sur : le mélange des 7 sources Belle-Eau-Cadeau d'une part, le mélange des 2 sources Tabaco d'autre part.

Le contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine est défini dans le code de la santé publique, plus particulièrement dans l'**arrêté ministériel du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution**. Deux types d'analyses (avec des listes de paramètres recherchés différentes) sont mis en œuvre selon l'origine de la ressource : analyses de type RP pour les eaux souterraines ou analyses de type RS pour les eaux de surface. **Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco sont donc soumises aux analyses de type RP**. La fréquence des analyses est fixée en fonction du débit de prélèvement.

Pour ces sources, **les prélèvements sont effectués quatre fois par an** par l'ARS, deux prélèvements en saison sèche correspondant au carême et deux prélèvements durant la saison humide ou hivernage réalisés de manière inopinée.

Les paramètres analysés sont listés dans les annexes de l'**arrêté ministériel du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine** (Annexe 2) selon les groupes ci-après :

- paramètres organoleptiques ;
- paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle des eaux ;
- paramètres concernant les substances indésirables ;
- paramètres concernant les substances toxiques ;
- polluants type pesticides ;
- paramètres microbiologiques ;
- paramètres indicateurs de radioactivité.

En Guadeloupe, l'unique laboratoire agréé pour effectuer les analyses des prélèvements du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine est l'Institut Pasteur de Guadeloupe (IPG). Ce dernier a donc en charge la quantification de l'ensemble des paramètres inclus dans les analyses type RP à l'exception des

paramètres indicateurs de radioactivité. Ces derniers sont analysés par le laboratoire CARSO de Lyon.

Dans l'objectif de fournir un listing de l'ensemble des paramètres analysés et de donner, à titre indicatif, le nombre d'analyses réalisées par le passé, les extrema et moyennes pour chacun d'entre eux, sont fournis en Annexe 3 et Annexe 4 pour les sources Belle-Eau-Cadeau et Tabaco respectivement (tableaux de synthèse extraits du site d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines - www.adeseaufrance.fr). Ces tableaux prennent en compte les chroniques issues du contrôle sanitaire de l'ARS (anciennement DSDS) depuis 1996 pour Belle-Eau-Cadeau et depuis 2000 pour Tabaco.

2.4.2. Evolution de la qualité de l'eau

L'étude des résultats d'analyses fournis par l'ARS a pour but de caractériser l'évolution de la qualité de l'eau des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco entre 2005 et 2010. Cette analyse qualitative tient compte :

- des paramètres physico-chimiques mesurés in situ (pH, température) ;
- des cations et anions majeurs ;
- de la conductivité électrique de l'eau ;
- des composés azotés ;
- des micropolluants organiques (pesticides) ;
- des substances toxiques et/ou indésirables ;
- des quantifications bactériologiques.

L'évaluation qualitative à proprement parler de ces eaux repose sur les limites et référence de qualité fixées par **arrêté ministériel du 11 janvier 2007** (Annexe 2). Ce bilan est plus particulièrement basé sur les limites inscrites dans l'**annexe II** (« limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées [...] »). L'annexe II ne contenant pas de limite de qualité pour l'ensemble des paramètres ici analysés, un report à l'**annexe I** (« limite et référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées ») a également été appliqué. Pour une meilleure lisibilité des résultats, une codification par couleurs est appliquée dans les tableaux :

- **GRIS** = absence ou inférieur à la limite de quantification
- **ORANGE** = détection sans dépassement de la norme
- **ROUGE** = dépassement de la norme inscrite en annexe II
- **MARRON** = dépassement de la norme inscrite en annexe I

✓ Paramètres physico-chimiques *in situ*

Les paramètres mesurés sur le terrain sont le pH et la température des eaux.

atmosphériques; du point de vue législatif, la référence de qualité fixée à 25°C ne s'applique pas aux départements d'outre-mer, en adéquation avec les caractéristiques climatiques de l'archipel guadeloupéen.

La corrélation entre ces deux graphiques met en évidence une relative similitude des fluctuations temporelles du pH et de la température pour les deux systèmes. Cette observation appuie l'hypothèse d'une origine commune de ces eaux de source.

Les relations entre les fluctuations de ces deux paramètres mesurés *in situ* avec les précipitations (données 2005-2010, poste météorologique « Neufchâteau ») et/ou la saisonnalité sont plus difficiles à démontrer mais néanmoins pas exclues.

✓ Ions majeurs, faciès chimique des eaux

La représentation du faciès chimique d'une eau est généralement déterminée à partir des concentrations en ions majeurs reportées sur un diagramme de Piper. Les analyses type RP fournies par l'ARS ne donnant pas la quantification de l'ion potassium, ce type de représentation ne peut être proposé ici.

En se basant sur les données fournies par l'ARS, une approximation sur ce faciès peut être faite à partir de l'illustration 22 et de l'illustration 23 qui montrent l'évolution des teneurs en ions majeurs quantifiés entre 2005 et 2010 sur les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco respectivement. Le faciès chimique de ces eaux de sources apparaît **bicarbonaté-calcique**.

Ces sources, proches géographiquement, présentent un faciès chimique globalement similaire. La **concentration des ions dans les eaux des sources de Tabaco est cependant plus faible que dans celles de Belle-Eau-Cadeau** (réduction d'un facteur 1,5 environ). Cette tendance peut témoigner :

- d'une contribution plus importante des eaux météoriques à la recharge de la portion de nappe alimentant les sources Tabaco ;
- d'un cheminement différent des eaux souterraines contributives des sources ;
- d'une altération plus prononcée des roches réservoirs de Tabaco et donc d'un relargage en ions majeurs moins important ;
- d'un temps de séjour des eaux souterraines alimentant les sources de Tabaco inférieur à celui des sources Belle-Eau-Cadeau ;
- de venues d'eaux hydrothermales dans les eaux alimentant Belle-Eau-Cadeau.

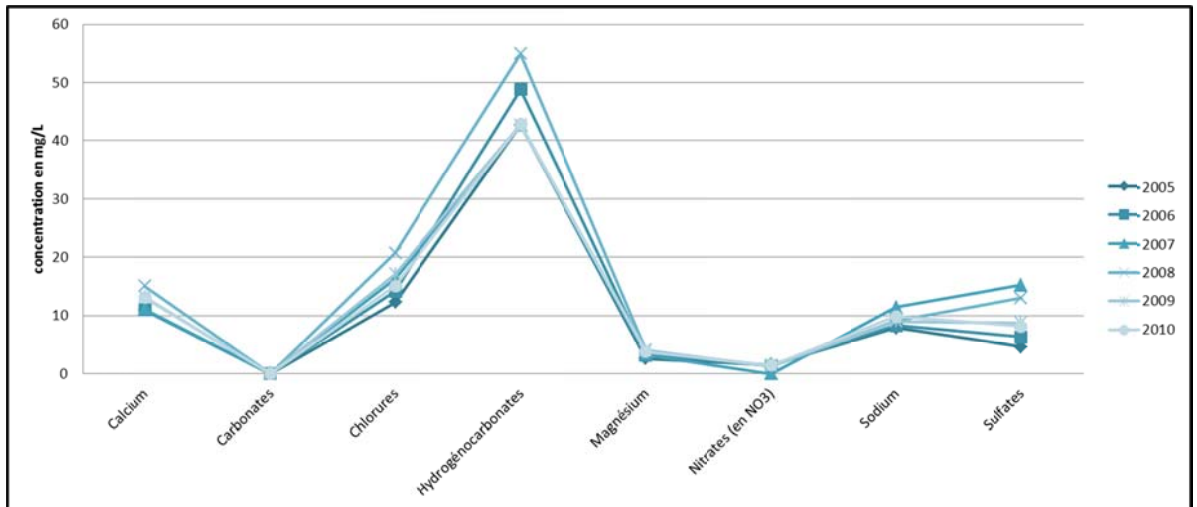


Illustration 22 : évolution de la concentration en ions majeurs quantifiés dans les eaux de sources Belle-Eau-Cadeau entre 2005 et 2010 (d'après les données ARS)

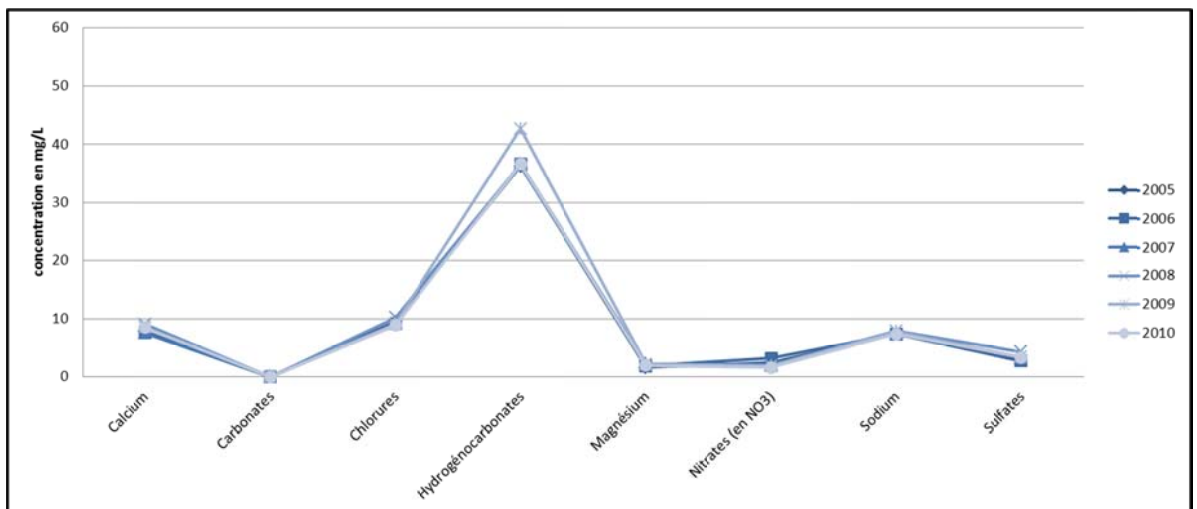


Illustration 23 : évolution de la concentration en ions majeurs dans les eaux de sources Tabaco entre 2005 et 2010 (d'après les données ARS)

La proximité du massif de la soufrière amène à s'interroger sur une potentielle influence de son système hydrothermal sur le faciès chimique des sources. D'après Pascaline H. et al. (1980 et 1982), Benauges S. (1981) et d'après l'étude de Bézèlgues-Courtade S. et Bes-de-Berc S. (2007), les sources Belle-Eau-Cadeau et Tabaco pourraient s'apparenter, du point de vue de leur faciès chimique, à certaines sources hydrothermales caractéristiques de la zone périphérique éloignée du dôme. Celles-ci montrent peu d'interactions avec les gaz magmatiques ou encore avec les roches encaissantes fortement hydrothermalisées et proviennent d'aquifères importants et peu profonds. L'illustration 24 montre le faciès chimiques de deux de ces sources hydrothermales (Capès et Dolé).

La mise en relation des faciès du groupement de sources étudié avec les sources appartenant au système hydrothermale de la Soufrière révèle que les concentrations en ions majeurs sont approximativement 3 à 4 fois plus fortes sur les sources Capès et Dolé que sur Belle-Eau-Cadeau et Tabaco.

Selon Pascaline H. et al. (1980 et 1982), l'origine des bicarbonates présents en concentration élevée s'expliquerait par le lessivage, causé par les eaux météoriques, d'une couche pédologique relativement évoluée (l'influence des fumerolles volcaniques étant ici exclue).

Globalement, Les températures des eaux Belle-Eau-Cadeau et Tabaco (cf. paragraphe précédent) n'indiquent pas de phénomène de réchauffement par conduction.

Ces différentes observations amènent à conclure que l'influence du système hydrothermale de la Soufrière sur la chimie des eaux de sources Belle-Eau-Cadeau est peu significative.

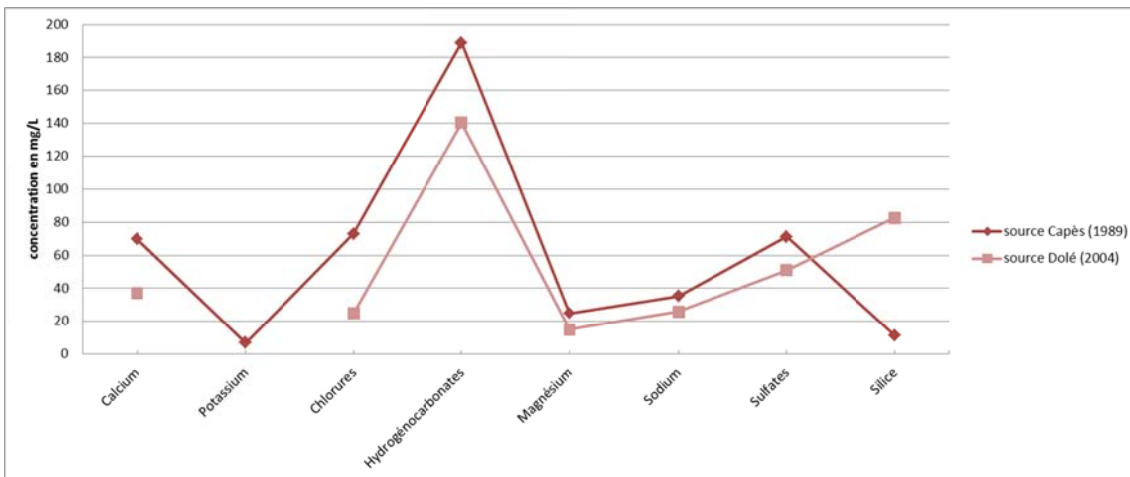


Illustration 24 : faciès géochimique de deux sources hydrothermales caractéristiques de la zone périphérique éloigné du dôme de la Soufrière (d'après données géochimiques de l'étude de Bézègues-Courtade S. et Bes-de-Berc S. (2007))

✓ Conductivité électrique

Concernant la conductivité électrique, il est à noter que les mesures en laboratoire ont été effectuées à 20°C jusqu'en mai 2007 puis à 25°C dès lors. Dans un souci de représentativité de ce paramètre, une correction a été apportée afin d'obtenir des valeurs homogènes à 25°C. Cette correction est indiquée dans la norme NF EN 27888, la relation est la suivante :

$$C \text{ à } 25^{\circ}\text{C} = C \text{ à } 20^{\circ}\text{C} * 1.116$$

Ce correctif reste une approximation issue de moyennes sur un certain nombre d'échantillons d'eau ayant des conductivités à 25°C de l'ordre de 60 à 1000 µS/cm

(eaux souterraine, eau de surface avec Ca^{2+} et HCO_3^- comme ions majeurs et Mg^{2+} et SO_4^{2-} , Cl^- et NO_3^- comme ions mineurs).

L'illustration 25 montre l'évolution temporelle des valeurs de conductivité mesurées sur les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco entre 2005 et 2010.

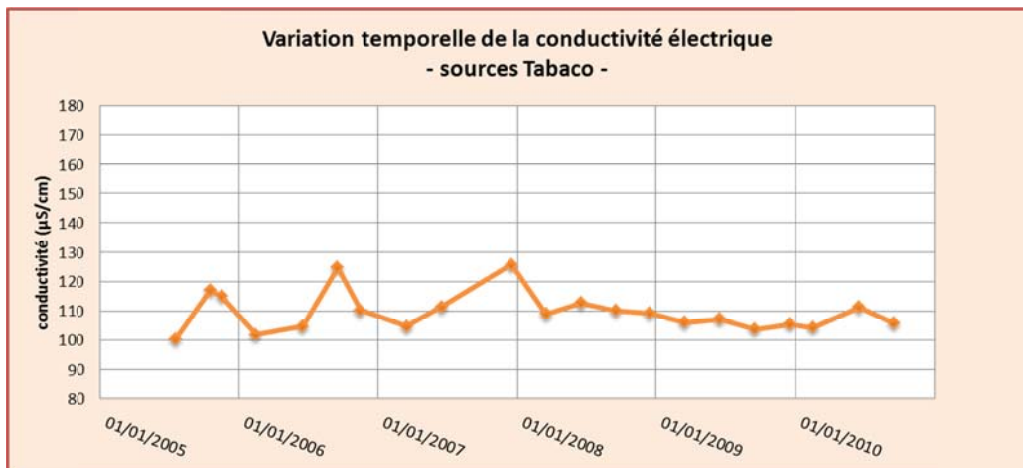
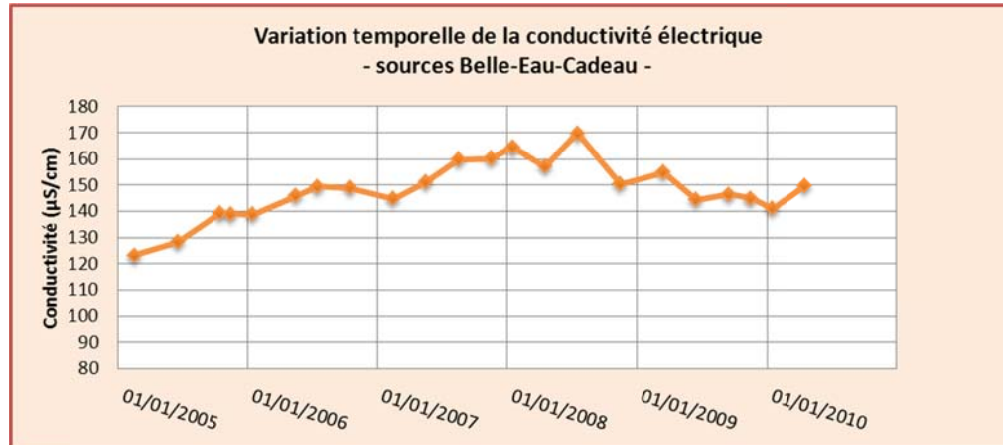


Illustration 25 : évolution de la conductivité électrique de l'eau (à 20 puis 25°C), entre 2005 et 2010, sur les sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco

L'ensemble des valeurs estimées entre 2005 et 2010 sur ces eaux d'origine souterraine sont très inférieures aux références de qualité rappelées ci-après :

- à 25°C, conductivité (µS/cm) ≥ 200 et ≤ 1100 .

Ces eaux faiblement minéralisée peuvent être qualifiées de « douce » et présentent un caractère corrosif pouvant causer, à plus ou moins long terme, une détérioration des matériaux constitutifs des réseaux de distribution en entrainant une dissolution des métaux notamment (plomb, cadmium, zinc, cuivre). Ces substances étant toxiques, Il existe un risque potentiel pour la santé des consommateurs situés en bout de réseaux.

Ces faibles valeurs de conductivité vont dans le sens d'une influence marquée des eaux météoriques (faible conductivité) sur les eaux de sources mais aussi d'un temps de séjour limité de ces eaux dans le milieu souterrain.

De plus, il est à noter que les valeurs de conductivité sont globalement plus élevées pour les sources de Belle-eau-cadeau que pour Tabaco : les moyennes respectives, sur 6 ans, sont respectivement de 148 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les hypothèses expliquant ce constat sont identiques à celles énumérées dans le paragraphe « faciès chimique », accent mis sur le rôle des précipitations et du temps de résidence de l'eau dans le milieu souterrain.

✓ Composés azotés

Les composés azotés (les nitrates NO_3^- et l'ammonium NH_4^+) sont naturellement présents dans les eaux mais peuvent témoigner, en excès, d'apports d'origine agricole, d'une pollution liée aux rejets d'eau usées, à l'influence d'activités industrielles, causant dans certains cas une contamination des eaux souterraines.

La limite de qualité fixée en annexe II de l'arrêté du 11 janvier 2007 pour les eaux brutes autres que superficielles est de **100 mg/L**. La limite de qualité fixée en annexe I pour les eaux de consommation est de **50 mg/L**. Pour mémoire, une valeur guide de 25 mg/L est néanmoins recommandé pour l'AEP.

Des concentrations en nitrates supérieures à 10 mg/L indiquent une potentielle contribution anthropique. (Chery L. (2006) – Guide technique ; Qualité naturelle des eaux souterraines).

Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco présentent des teneurs en nitrates et en ammonium respectivement en deçà de 4 et 1 mg/L (Illustration 26). Ces eaux ne sont donc pas marquées par une contamination anthropique.

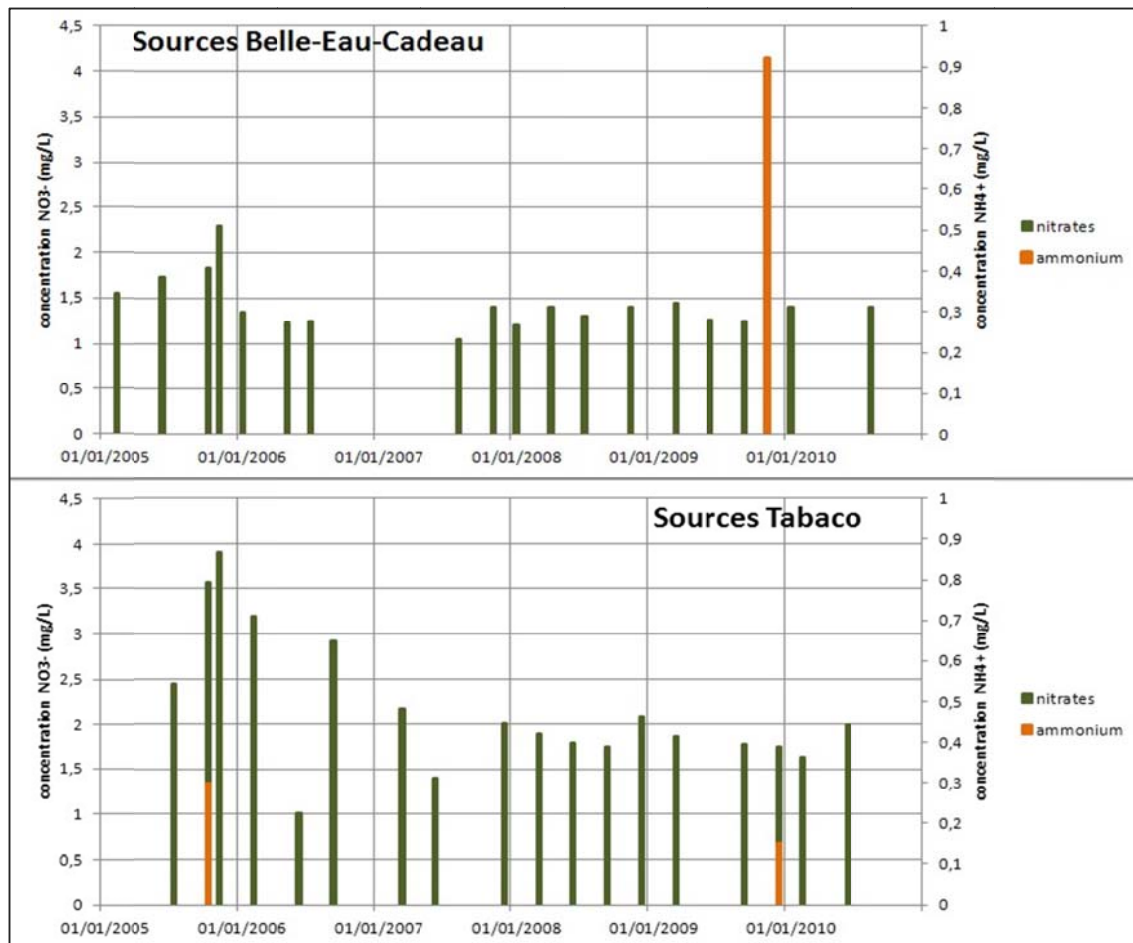


Illustration 26 : fluctuations dans le temps des teneurs en composés azotés sur les sources Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

✓ Détection en micropolluants organiques

Les analyses en pesticides fournies par l'ARS mettent en évidence la détection de trois molécules entrant dans la composition de produits phytosanitaires du type « insecticides organochlorés ». Il s'agit :

- de la **Chlordécone** ou Képone ($C_{10}Cl_{10}O$) (Illustration 27) ; cette molécule est un insecticide organochloré de la famille du DDT qui a longtemps été utilisé en Guadeloupe pour lutter contre le charançon du bananier. C'est un polluant organique persistant (POP). Non biodégradable, sa DT50 est évaluée, suivant les conditions, de 3,8 à plus de 46 ans dans les sols. De fortes suspicions de toxicité, alliées à cette persistance, l'ont fait interdire dès 1972 en France ; sa commercialisation a été définitivement interdite en 1993 en Guadeloupe.

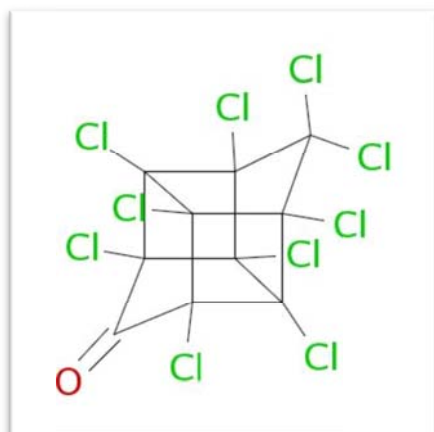


Illustration 27 : structure moléculaire de la chlordécone

- de la **Dieldrine** ($C_{12}H_8Cl_6O$) (Illustration 28) ; c'est un insecticide organochloré qui a été utilisé comme une alternative au DDT. La dieldrine a été utilisée en France jusqu'au début des années 90 et officiellement interdite dès 1994. Sa présence dans les eaux peut être attribuée soit à l'usage direct passé comme insecticide, soit comme produit de dégradation de l'aldrine (également interdit en 1994).

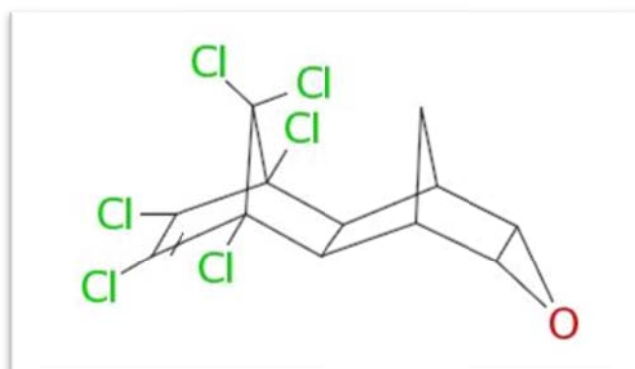


Illustration 28 : structure moléculaire de la Dieldrine

- du **HCH bêta** (Illustration 29) ; dont l'utilisation est interdite depuis fin 2007, est l'isomère du HCH. L'Hexachlorocyclohexane ou HCH ($C_6H_6Cl_6$) est un composé chimique faisant partie de la famille des organochlorés. Il existe 7 isomères de cette substance : l'alpha, le bêta, le gamma, le delta, le lambda, l'épsilon et le nu hexachlorocyclohexane. Seuls le HCH gamma, ou Lindane, sont utilisés comme insecticides, les autres isomères sont associés à cette molécule principale, et sont dits « inactifs ». Le processus de fabrication du Lindane entraîne la production de 80 à 90% d'isomères résiduels non désirables.

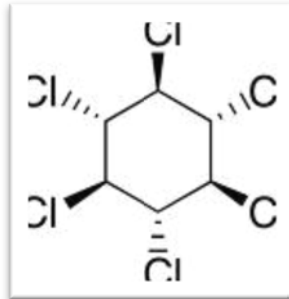


Illustration 29 : structure moléculaire du HCH beta

Bien que détectées dans les eaux des sources étudiées, ces molécules ne montrent aucun dépassement vis-à-vis des limites de qualité inscrites en annexe II de l'arrêté du 11 janvier 2007 (**2,0 µg/L** par substances individuelles et **5,0 µg/L** au total). Les tableaux de détection et les graphiques associés sont donnés en Illustration 30, Illustration 31 et Illustration 32.

Cependant, au regard des limites de qualité de l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007 fixées à **0,10 µg/L** par substance individuelles, **0,03 µg/L** pour l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorépoxyde, et **0,5 µg/L** au total, le nombre de dépassement depuis 2005 est élevé :

- 6 dépassements en chlordécone sur Belle-Eau-Cadeau ;
- 16 dépassements en chlordécone et 8 en HCH bêta sur Tabaco.

Ces sources font l'objet depuis 2000 d'un traitement par filtration au charbon actif avant mise en distribution.

a	BEC - Concentration (µg/L)			b	Tabaco - Concentration (µg/L)		
	Chlordécone	Dieldrine	HCH bêta		Chlordécone	Dieldrine	HCH bêta
24/02/2005	0,17	< LQ (0,010)	0,09	12/07/2005	0,04	0,01	0,09
23/06/2005	0,05	< LQ (0,010)	0,05	19/10/2005	0,6	0,01	0,1
06/10/2005	0,07	< LQ (0,010)	0,04	28/11/2005	0,75	0,02	0,12
28/11/2005	0,17	< LQ (0,010)	0,05	16/02/2006	0,35	0,03	0,15
24/01/2006	0,03	< LQ (0,010)	0,04	22/06/2006	0,17	0,01	0,07
11/05/2006	0,08	< LQ (0,010)	0,04	28/09/2006	0,07	< LQ (0,010)	0,08
11/07/2006	0,04	< LQ (0,010)	0,04	28/11/2006	0,11	< LQ (0,010)	0,08
16/10/2006	0,03	< LQ (0,010)	0,03	13/03/2007	0,22	0,01	0,13
05/02/2007	0,1	< LQ (0,010)	0,01	14/06/2007	0,15	0,02	0,1
03/05/2007	0,02	< LQ (0,010)	0,02	17/12/2007	0,22	0,02	0,12
28/08/2007	0,06	< LQ (0,010)	0,04	13/03/2008	0,24	< LQ (0,010)	0,12
27/11/2007	0,05	< LQ (0,010)	0,07	09/06/2008	0,09	0,03	0,11
21/01/2008	0,02	< LQ (0,010)	0,03	09/09/2008	0,08	0,01	0,09
07/04/2008	0,04	< LQ (0,010)	0,04	15/12/2008	0,36	0,03	0,27
22/07/2008	0,1	< LQ (0,010)	0,03	12/03/2009	0,2	0,01	0,09
25/11/2008	0,19	< LQ (0,010)	0,05	29/06/2009	0,14	0,03	0,07
02/03/2009	0,09	< LQ (0,010)	0,04	28/09/2009	0,37	0,02	0,15
25/06/2009	0,05	< LQ (0,010)	< LQ (0,010)	15/12/2009	0,14	0,02	0,13
10/09/2009	0,25	< LQ (0,010)	0,08	11/02/2010	0,34	0,02	0,12
03/11/2009	0,1	< LQ (0,010)	0,05	10/06/2010	0,38	0,02	0,09
14/01/2010	0,23	< LQ (0,010)	0,05	14/09/2010	0,489	0,026	0,122
12/04/2010	0,05	< LQ (0,010)	0,05				
03/08/2010	0,296	0,013	0,077				

Illustration 30 : tableaux de détection des pesticides dans les eaux des sources de Belle-Eau-Cadeau (a) et Tabaco (b) entre 2005 et 2010 (d'après données ARS)

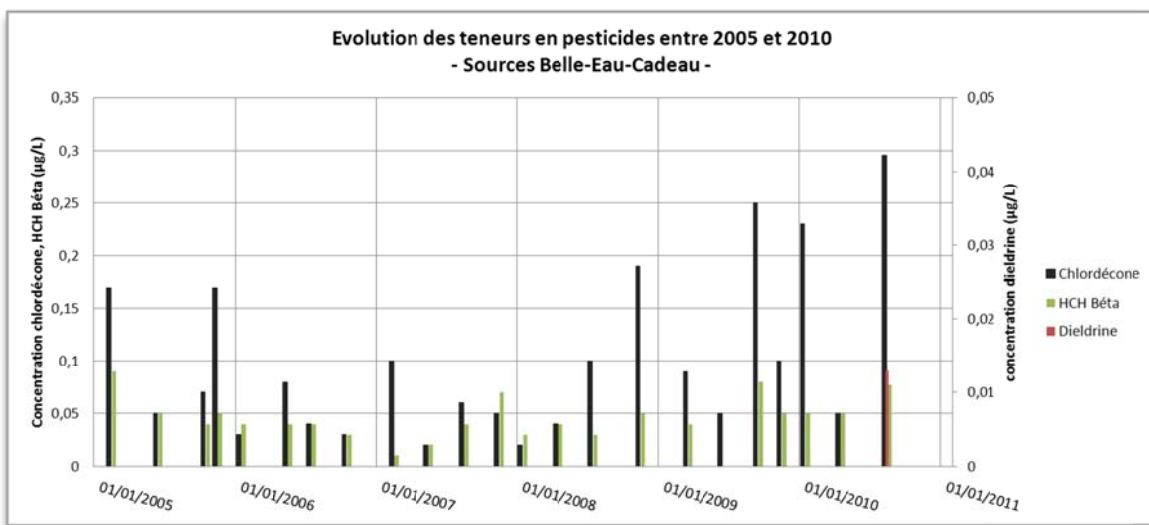


Illustration 31 : évolution des concentrations en pesticides détectés dans les eaux des sources de Belle-Eau-Cadeau entre 2005 et 2010 (d'après données ARS)

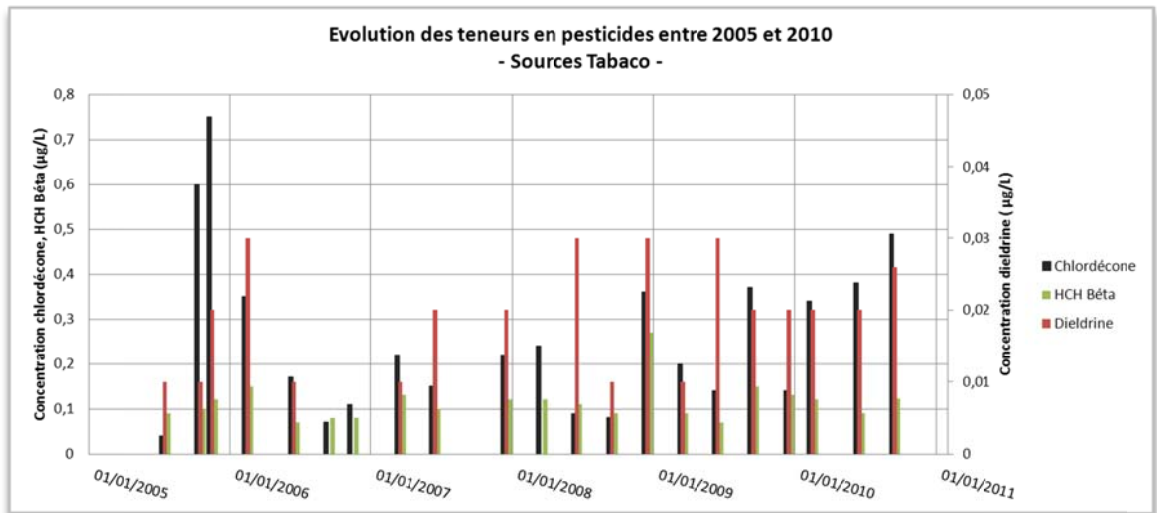


Illustration 32 : évolution des concentrations en pesticides détectés dans les eaux des sources de Tabaco entre 2005 et 2010 (d'après données ARS)

L'étude de ces graphiques montre que **les valeurs en pesticides sont globalement plus élevées sur les sources de Tabaco que celles Belle-Eau-Cadeau** (d'un facteur 2 environ). De plus, les sources de Tabaco présentent des détections récurrentes en dieldrine. Ces résultats laissent envisager que la vulnérabilité des sources Tabaco aux pollutions diffuses est plus prononcée ou encore qu'elles sont plus exposées aux polluants phytosanitaires notamment compte tenu de leur localisation plus à l'aval.

La dieldrine non détectée depuis 2005 sur les sources Belle-Eau-Cadeau réapparaît à compter de fin 2010. En se référant à l'étude sur le bilan de la contamination par les produits phytosanitaires des eaux superficielles et souterraines de Guadeloupe, période 1998-2008, (Dumon A. et Roques C.), il apparaît que cette molécule était détectée depuis le 8 juin 1999 jusqu'au 19 novembre 2003 sur Belle-Eau-Cadeau puis « absente », malgré quantification, jusqu' au 3 aout 2010 selon nos données.

Les causes expliquant ce phénomène pourraient avoir pour origine :

- la forte rémanence de ce pesticide (vrai aussi pour la chlordécone et le HCH béta) ;
- la remobilisation de stocks de molécule sous l'action d'un évènement météorologique majeur ;
- une amélioration des appareils de mesure favorisant les détections à plus faible concentration * ;

* Toutes les analyses sur lesquelles se base ce chapitre, y compris donc celles du rapport de Dumon A. et Roques C (2009), proviennent de l'IPG. Les seuils de quantification en pesticide sont fixes sur la période 2000-2010 pour ce laboratoire. Ce document mentionne que pour les molécules dieldrine et HCH béta, les seuils de quantifications sont plus performants et descendent à 0,005 µg/L ; la limite de quantification indiqués dans les analyses RP est néanmoins de 0,01 µg/L. Pour la

chlordécone, ce seuil est fixé à 0,01 µG/L (d'après un document de comparaison des seuils de quantification de pesticides entre différents laboratoires fourni par l'ARS).

Il est à noter que certaines autres molécules phytosanitaires ont été mises en évidence avant 2005, et peuvent potentiellement réapparaître ponctuellement au droit des sources. D'après le dossier d'autorisation et de mise en place des périmètres de protection (SAUNIER, 2007), l'**aldicarbe sulfoné**, substance active non autorisée, a été détectée ponctuellement en 2003 à la suite d'un autocontrôle réalisé par la Générale des Eaux, sur le mélange des eaux issues de l'ensemble des sources. Selon l'étude de Dumon A. et Roques C. (2009), 6 molécules supplémentaires sont détectées ponctuellement en 1999 et 2000 sur les sources Belle-Eau-Cadeau : **HCH Gama, HCH Alpha, DDD 24', DDE 24', Heptachlore, Hexachlorobenzène** (sans dépasser les limites de qualité).

Les fluctuations des concentrations des trois pesticides (**chlordécone, dieldrine et HCH beta**) mis en évidence entre 2005 et 2010 sont globalement concomitantes pour un groupe de sources donné, et présentent également des similitudes lorsque l'on compare les deux groupements entre eux. Afin de comprendre l'origine de ces fluctuations, une corrélation entre la pluviométrie journalière (données du poste météorologique « Neufchâteau » à Capesterre-Belle-Eau) et l'évolution des teneurs en pesticides sur les sources de Belle-Eau-Cadeau d'une part (Illustration 33), et les sources de Tabaco d'autre part (Illustration 34), a été recherchée

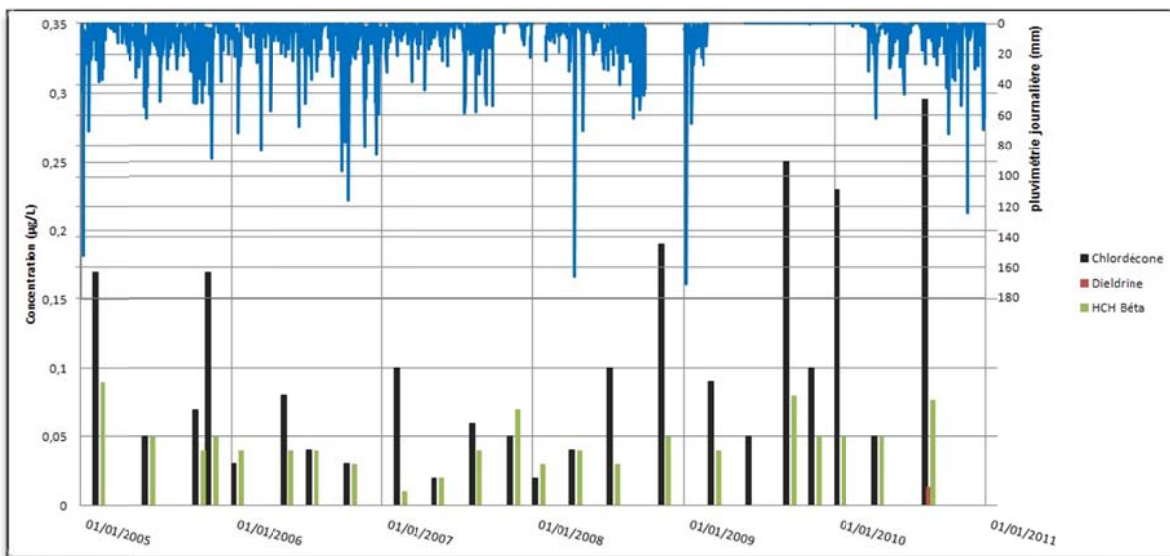


Illustration 33 : relation entre la pluviométrie journalière (en mm) au poste de Neufchâteau (n°97107002) et l'évolution des concentrations en pesticides dans les eaux des sources Belle-Eau-Cadeau entre 2005 et 2010 (d'après données Météo-France et ARS)

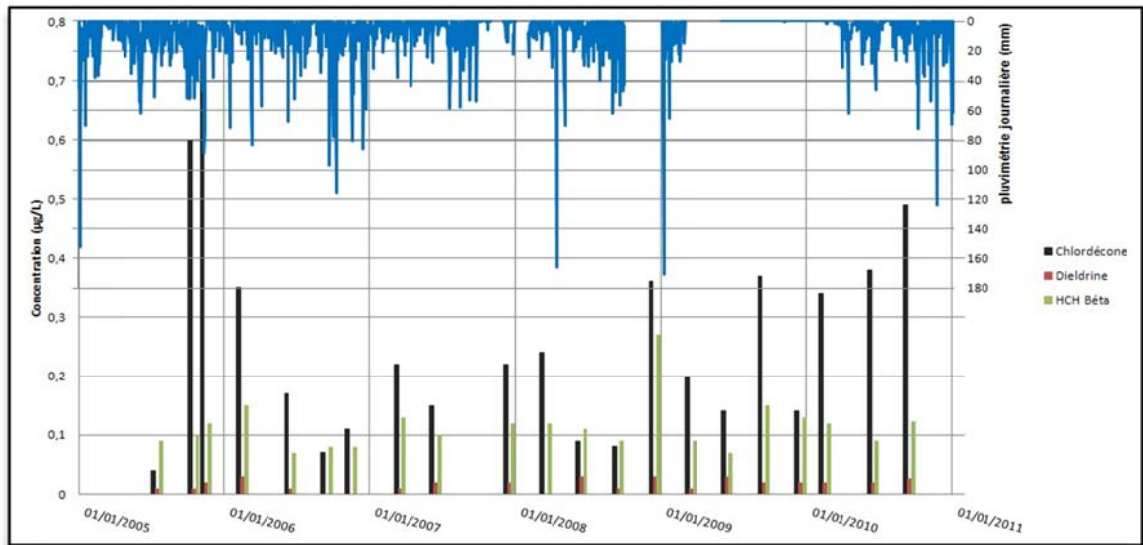


Illustration 34 : relation entre la pluviométrie journalière (en mm) au poste de Neufchâteau (n°97107002) et l'évolution des concentrations en pesticides dans les eaux des sources de Tabaco entre 2005 et 2010 (d'après données Météo-France et ARS)

L'analyse de ces deux graphiques ne permet pas de mettre en évidence un lien direct entre la pluviométrie et les variations en pesticides ; les ruptures dans la chronique des pluies en 2009 empêchent par ailleurs une analyse rigoureuse (à noter que ces lacunes de données seraient liées au temps d'intervention nécessaire au dépannage de la station par le CIRAD). Elle ne fait pas ressortir non plus de tendances saisonnières : les pics de pollution se produisent aussi bien durant l'hivernage que le carême. Cependant, étant donné l'importance du facteur « précipitations » dans le transfert des polluants vers le milieu souterrain, on ne peut pas exclure l'influence d'un événement pluvieux exceptionnel. Enfin, il est probable que ces fluctuations soient la résultante d'un couplage « pluviométrie » avec d'autres facteurs :

- propriétés des sols qui jouent un rôle essentiel dans les processus de rétention, dégradation et de transfert des pesticides ;
- temps de transfert des contaminants dans le milieu ;
- profondeur de la nappe alimentant les sources et épaisseur de la zone non-saturée.

Dans le rapport de Dumon A. et Roques C. (2009), il est déduit que seules les teneurs en chlordécone laissent apparaître des variations saisonnières pour ces sources (pics de concentration en décembre en période de hautes eaux).

✓ Polluants toxiques et indésirables

Des **hydrocarbures dissous ou émulsionnés** ont été détectés dans les sources de Belle-Eau-Cadeau avec des dépassements jusqu'à 4 fois supérieurs à la limite de

qualité inscrite en annexe II fixée à **1 µg/L**. Sur les sources de Tabaco, ce paramètre est détecté mais ne présente pas de dépassement de la limite de qualité (Illustration 35).

La limite de qualité pour le **fer dissous** n'apparaissant pas en annexe II, c'est par rapport à l'annexe I que le dépassement de ce paramètre chimique a été mis en évidence sur Belle-Eau-Cadeau ; la référence de qualité pour le **fer total**, étant de **200 µg/L** (Illustration 35).

		<i>Sources Belle-Eau-Cadeau</i>				
a		28/11/2005	24/01/2006	22/07/2008	25/11/2008	12/04/2010
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés (mg/L)		3,14	0,79		0,08	4,46
Fer dissous (µg/L)				280		

		<i>Sources Tabaco</i>			
b		28/11/2006	28/09/2009	11/02/2010	10/06/2010
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés (mg/L)		0,58	0,65	0,42	0,18

Illustration 35 : paramètres chimiques toxiques détectés ou présentant un dépassement dans les eaux des sources Belle-Eau-Cadeau (a) et Tabaco (b) (d'après données ARS)

La présence d'hydrocarbures dans ces eaux témoigne d'une contamination liée à l'activité humaine. Ces composés organiques simples sont notamment utilisés comme carburants, combustibles, huiles lubrifiantes ou encore comme produits de base en synthèse pétrochimique. Dans le cadre ici considéré, ces fortes teneurs en hydrocarbures (pollutions chroniques) peuvent résulter de vidanges sauvages effectuées dans le périmètre du bassin d'alimentation des sources. D'une grande stabilité, ces produits se dissolvent peu dans les eaux et doivent faire l'objet de traitements spécifiques en vue de leur suppression.

Concernant le dépassement en fer dissous, deux hypothèses peuvent être avancées :

- d'après l'étude menée en 2008 sur l'identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines de la Guadeloupe (Brenot A. et al.), les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco sont caractérisées par un fond géochimique assez riche en fer (de 50 à 200 µg/L). Une carte extraite de la database de cette étude est visible en Annexe 6. Des concentrations ponctuellement plus fortes peuvent être envisagées, à la suite d'un évènement pluvieux majeur entraînant un lessivage des sols par exemple.
- l'origine peut également être anthropique compte tenu du caractère ponctuel de l'unique dépassement observé. La cause peut résulter d'une pollution minière, métallurgiques ou sidérurgique accidentelle ou encore d'une mauvaise

utilisation de sels de fer comme agents de coagulation dans la production d'eau potable.

✓ Microbiologie

Les paramètres bactériologiques intégrés aux limites de qualité des eaux brutes de l'arrêté du 11 janvier 2007 concernent le dénombrement des **Entérocoques** (limite de qualité en annexe II fixée à **10 000/100 mL**) et des **Escherichia coli**. (**20 000/100 mL**).

Les coliformes fécaux (dont l'espèce bactérienne *Escherichia coli*) sont les habitants normaux de l'intestin des humains et des animaux à sang chaud. La présence de ces bactéries dans l'environnement témoigne, de manière quasi certaine, d'une contamination fécale récente (2 jours en moyenne), et de la probabilité d'y trouver d'autres microorganismes (bactéries, virus et parasites) pathogènes pour l'homme. Ceci explique pourquoi elles sont largement utilisées, comme indicateur de contamination fécale dans les eaux. La présence d'entérocoques d'origine fécale est généralement associée à celle des coliformes fécaux. Ces derniers étant moins résistants au milieu naturel et à la désinfection, la présence d'entérocoques fécaux seuls témoigne d'une contamination fécale ancienne (plus de 6 jours).

Les analyses effectuées entre 2005 et 2010 (Annexe 7) sur les sources étudiées montrent des détections en coliformes sans aucun dépassement de la limite de qualité :

- maxima de 15 UFC/100 mL en entérocoques et de 21 UFC/100 mL en *E. Coli* pour les sources Belle-Eau-Cadeau ;
- maxima de 1 UFC/100 mL en entérocoques et de 6 UFC/100 mL en *E. Coli* pour les sources Tabaco.

Ces dénombrements de colonies restent faibles pour les eaux de ces sources, la qualité microbiologique de ces eaux brutes est donc acceptable. Les limites de qualité concernant les eaux de consommation (annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007) étant beaucoup plus strictes (**0/100 mL**), un traitement par chloration demeure incontournable.

Le dénombrement des salmonelles (et plus rarement les légionnelles) est parfois pratiqué dans le cadre des analyses RP effectuées sur les sources, les résultats restant exclusivement nuls.

Les sources Belle-Eau-Cadeau présentent des dénombrements en colonies bactériennes (entérocoques et *E. coli*) supérieurs aux sources de Tabaco. En adéquation avec les conclusions tirées précédemment vis-à-vis des autres paramètres de contamination, il est peu probable que les sources de Belle-Eau-Cadeau soient plus vulnérables que Tabaco. Ce groupement de sources est peut-être néanmoins plus exposé.

La présence de bactéries en moins grand nombre dans les eaux des sources Tabaco peut aussi s'expliquer par une dilution plus importante des eaux souterraines par les eaux de pluies (en corrélation avec les conclusions sur les ions majeurs et la conductivité électrique).

Enfin, la présence plus fréquente et en quantité supérieures d'entérocoques dans les eaux de Belle-Eau-Cadeau, témoigne d'une contamination fécale ancienne et vient appuyer l'argument selon lequel le temps de résidence des eaux dans la partie de nappe alimentant les sources de Belle-Eau-Cadeau est plus élevé que celui des sources Tabaco.

3. Délimitation du BAC

3.1. METHODOLOGIE

L'aquifère des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco est de **type fissuré discontinu** (§ 2.3).

D'après Vernoux J.F. et Wuilleumier A. (2010), et de façon générale, **la délimitation des BAC en domaine volcanique est délicate compte tenu de la complexité des aquifères concernés** (§ 2.3). Leur géométrie est ainsi souvent très difficile à déterminer, la continuité des niveaux piézométriques peut facilement être remise en cause à cause de la présence de barrières hydrauliques. L'hétérogénéité des lithologies et de l'altération des roches rend l'exercice d'autant plus compliqué.

Il n'en demeure pas moins que certains principes évoqués pour d'autres contextes hydrogéologiques peuvent le cas échéant s'appliquer en domaine volcanique. La liste n'est pas exhaustive mais on peut citer par exemple :

- la connaissance des limites structurales ou géologiques, imposant une certaine géométrie de l'aquifère capté ;
- la connaissance de zones d'alimentation préférentielle, notamment au droit des cours d'eau le cas échéant pérennes mais surtout temporaires ;
- le calcul d'un bilan basé sur le fait que les prélèvements effectués ne dépassent pas le renouvellement de la ressource en eau souterraine. Ce calcul simple vise à s'assurer que la surface du BAC déterminé n'est pas sous-estimée.

La délimitation des Bassins d'Alimentation des Captages (BAC) prioritaires, et la cartographie de leur vulnérabilité intrinsèque vis-à-vis des pollutions diffuses sont réalisées en suivant la méthodologie développée dans le BRGM (Vernoux et al., 2007), et en tenant compte des documents réglementaires en vigueur (circulaire du 30 mai 2008 et synthèse du MEEDDM et du MAAP de juin 2010).

3.2. DELIMITATION DU BAC DE BELLE-EAU-CADEAU ET TABACO

3.2.1. Bilan hydrologique annuel

Détermination de la lame d'eau infiltrée

L'infiltration efficace moyenne annuelle est déterminée à partir de la cartographie de la recharge vers les eaux souterraines réalisée dans le cadre de l'étude de contribution à l'évaluation de la ressource en eau souterraine de la Basse-Terre (Dumon et al., 2009) :

$$I_{eff} = 1\,034 \text{ mm/an} = 1,034 \text{ m/an}$$

On donne par ailleurs un extrait de cette carte en spécifiant la localisation des sources captées et du BV de la Rivière Bananier (Illustration 36)

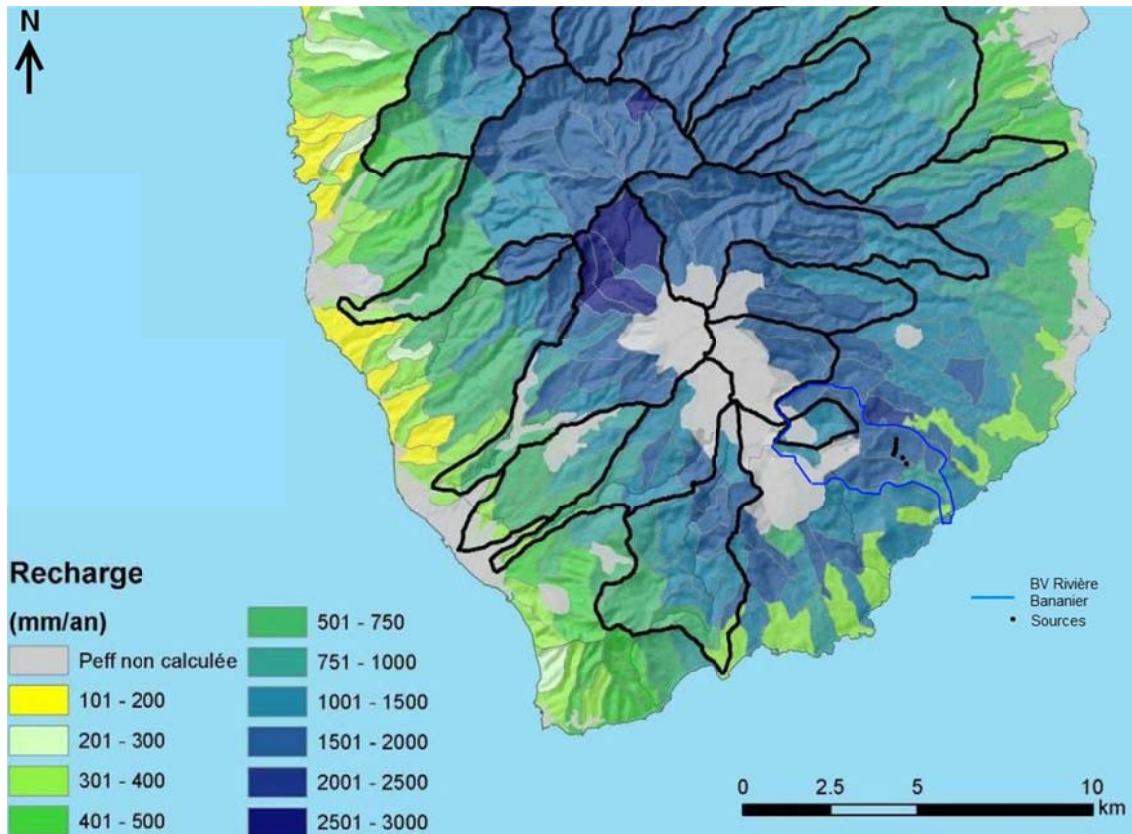


Illustration 36 : extrait de la carte donnant l'estimation de la recharge vers les eaux souterraines de la Basse-Terre, par sous-bassins versants, en mm (d'après BRGM/RP-56821, Dumon et al. 2009)

Estimation du débit annuel du captage

Le débit annuel moyen a été calculé à partir des volumes annuels produits par les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco fournis par la Générale des eaux Guadeloupe sur la période 1999-2010 :

$$Q_{\text{annuel}} = 8\,480\,000 \text{ m}^3$$

Il existe de nombreuses émergences diffuses non captées à proximité des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco (indiquées en BSS et repérées sur le terrain en avril 2011). Le volume produit par ces émergences non captées est estimé à 2 365 000 m³/an (ANTEA, 1996).

Le volume annuel produit par l'ensemble des sources captées ou non captées est ainsi estimé à :

$$Q_{\text{annuel}} = 10\,850\,000\text{ m}^3$$

Calcul de la surface minimale du bassin d'alimentation

La surface minimale du bassin d'alimentation est calculée selon la formule ci-après :

$$S = Q_{\text{annuel}} / \text{lame d'eau infiltrée} = 10,5\text{ km}^2$$

Cette estimation de la surface du BAC au travers de la recharge et du volume pompé annuellement au niveau du captage suppose à *minima* qu'il n'y ait pas de déficit observé, c'est-à-dire que les prélèvements n'excèdent pas la recharge annuelle moyenne. Cette condition est vérifiée puisque l'écoulement se fait de façon gravitaire, sans pompage dans la ressource en eau. En pratique, en supposant que l'estimation de la recharge soit exacte, cette approche fournit une sous-estimation de la surface du BAC.

3.2.2. Modèle conceptuel géologique et hydrogéologique

Sur la base des données disponibles et des observations de terrain réalisées en avril et mai 2011, un modèle conceptuel des écoulements souterrains sur le bassin versant des sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco est proposé en Illustration 37.

La structure géologique du secteur des sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco est caractérisée par :

- un substratum constitué des formations pyroclastiques anciennes (HβX3) observées à l'affleurement sur le terrain au niveau des sources de Tabaco et du Grand Etang ;
- un ensemble de coulées massives d'andésite issues de la phase de la Madeleine (coulée précoce mise en évidence sur le terrain, M4 et M5) plus ou moins altérées et plus ou moins fissurées ;
- les cendres et scories du cône strombolien de l'Echelle (PS6) recouvrant la coulée M4 en amont.

Le fonctionnement hydrogéologique est caractérisé par :

- une formation imperméable constituée des formations pyroclastiques fortement altérées, constituant le mur de l'aquifère des laves massives sus-jacentes ;
- l'ensemble des coulées de lave massive aquifères de la Madeleine d'où émergent les sources de Belle-eau-Cadeau et Tabaco dans les éboulis et blocs en front de coulée ;
- une alimentation probable de la coulée M4 par les ponces en amont (pertes) et par des eaux d'origine hydrothermale (conductivités des émergences de Belle-Eau-Cadeau plus élevées que celles de Tabaco), mais également par la coulée M5

(caractéristiques physico-chimiques de l'émergence 7 de Belle-Eau-cadeau se rapprochant de celles des sources de Tabaco) ;

- à partir des observations de terrain et des conductivités observées, il est envisageable que la perte au Nord alimente les sources à l'aval ;

- des pertes observées au contact entre deux formations présentant des contrastes de perméabilité constituant des zones d'infiltration préférentielle des aquifères des laves massives : contact M4/M5 au niveau de l'étang de l'As de Pique et de la ravine Séguy et contraste de perméabilité au sein coulée M4 au niveau de l'étang Zombi ;

- des écoulements a priori selon l'axe des paléovallées (E-W pour la coulée M5 alimentant principalement les sources de Tabaco, globalement NW-SE pour la coulée M4 alimentant les sources de Belle-Eau-Cadeau) ;

- des écoulements de sub-surfaces dans les laves altérées en amont de la ravine Tonnelle qui sont peu significatifs comparés aux écoulements plus profonds dans les andésites fracturées.

Pour les captages souterrains, la méthodologie adoptée prévoit que la délimitation des bassins d'alimentation suive le contour du ou des bassin(s) d'alimentation de surface qui participent à l'alimentation de la ou des nappe(s) par infiltration du cours d'eau. La rivière Grosse Corde est infiltrante dans les formations de cendres et scories PS6, il est donc proposé de prendre en compte le bassin versant amont de cette rivière dans la délimitation du BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco. Enfin, au regard des pertes identifiées au sein de la formation M₄, il est préférable d'intégrer l'ensemble de cette formation (en tenant compte de la topographie) pour la délimitation du BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco.

La surface du BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco ainsi délimitée est de 10,74 km² ce qui concorde avec le calcul de la surface minimale précédent.

A partir de ces hypothèses, les limites sont tracées de manière sommaire. De ce point de vue, elles résultent d'un parti pris qui peut être discutable et sans doute faire l'objet d'une révision dans le cas où des connaissances nouvelles (géophysique, forages de reconnaissance...) viendraient préciser la compréhension des écoulements dans ce secteur.

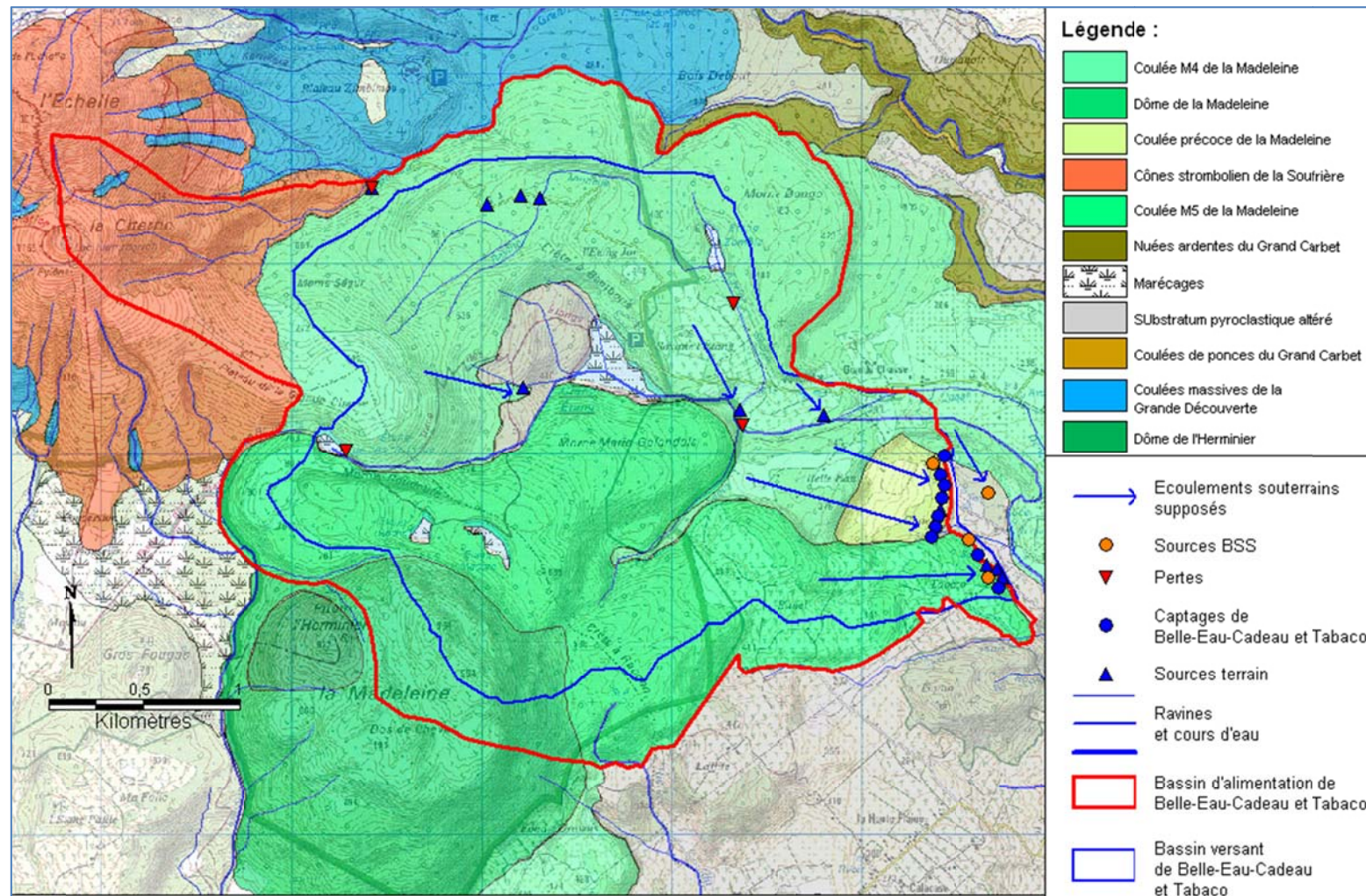


Illustration 37 : délimitation du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco – schéma conceptuel des écoulements souterrains (fond de carte géologique de la Soufrière au 1/20 000 modifié d'après les observations de terrain, Bourdon 2011).

3.3. DELIMITATION DE LA ZONE SOUSCRITE A CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Le dispositif de protection des Zones Soumises à Contraintes Environnementales (ZSCE) est issu de l'article 21 de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006. Dans le cadre d'une politique globale de reconquête de la qualité de la ressource, cet outil vient en complément du dispositif des périmètres de protection, afin de lutter contre les pollutions diffuses. La désignation en ZSCE justifie la mise en œuvre d'une action spécifique de nature réglementaire, concernant notamment l'activité agricole ou l'espace dans lequel elle s'inscrit.

La délimitation des ZSCE est faite par arrêté du préfet, après avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques, de la chambre départementale d'agriculture et, le cas échéant, de la commission locale de l'eau.

La ZSCE du captage prioritaire de Belle-Eau-Cadeau Tabaco a été délimitée sur la base de 2 études hydrogéologiques distinctes :

- L'étude de Caroline DECOURS – LE MAISTRE (juin 2009), hydrogéologue agréé pour le département de la Guadeloupe, en charge de la délimitation des périmètres de protection des sources Belle-Eau-Cadeau et Tabaco pour le compte du SIAEAG ;
- La présente étude de délimitation du BAC des sources captées (novembre 2011).

Dans une logique hydrogéologique, et compte tenu que le BAC définit la portion de nappe en surface alimentant le captage, les limites du BAC devraient à minima englober l'ensemble du Périmètre de Protection Rapproché (on rappelle que l'objectif du PPR est de prévenir la migration de pollutions ponctuelles et accidentelles vers l'ouvrage de captage). Néanmoins, la superposition des deux aires montre que localement, et en particulier dans le secteur aval des PPR et BAC, des zones appartenant au PPR sont extra BAC (voir Illustration 38).

Cette non-concordance des aires des 2 dispositifs a conduit à des discussions entre les différents experts de l'eau, dans un souci de protection optimale de la ressource ; les conclusions sont les suivantes :

- l'étude BRGM sur la délimitation du BAC du captage est plus récente que celle portant sur les périmètres de protection. De plus, elle tient compte de nouvelles précisions sur la géologie du secteur (Illustration 17). Le BAC est donc validé en l'état ;

- les milieux volcaniques sont caractérisés par des aquifères complexes. Les connaissances sur l'hydrogéologie de l'île volcanique la Basse-Terre sont encore restreintes à ce jour, des données nouvelles (géophysique, forages de reconnaissance...) pourraient venir préciser la compréhension des écoulements dans le secteur des sources captées ;

- compte tenu de la part d'incertitude hydrogéologique restante, le PPR proposé pour ce captage par l'hydrogéologue agréé est également validé en l'état. Une enquête parcellaire ayant par ailleurs été déjà réalisée à l'échelle des parcelles incluses dans le PPR ;

→ La décision arrêtée, au terme de la réunion de réflexion du 06 septembre 2012 entre la DAAF, la DEAL, la DEAL, l'ARS et la chambre d'agriculture, consiste à prendre en compte les limites les

plus larges des 2 dispositifs de protections confondus. La ZSCE englobe donc la partie Sud du périmètre de protection qui n'était pas comprise dans l'aire d'alimentation. La zone Nord et notamment le Morne Dongo intégrant le BAC mais pas le PPR a également été ajoutée au sein de la ZSCE.

La zone de protection de l'aire d'alimentation du captage des sources de Belle-Eau-Cadeau Tabaco, sur laquelle un programme d'actions sera défini en vue d'améliorer la qualité des eaux du captage, plus particulièrement vis-à-vis des pollutions diffuses d'origine agricole, est présentée sur l'illustration 38.

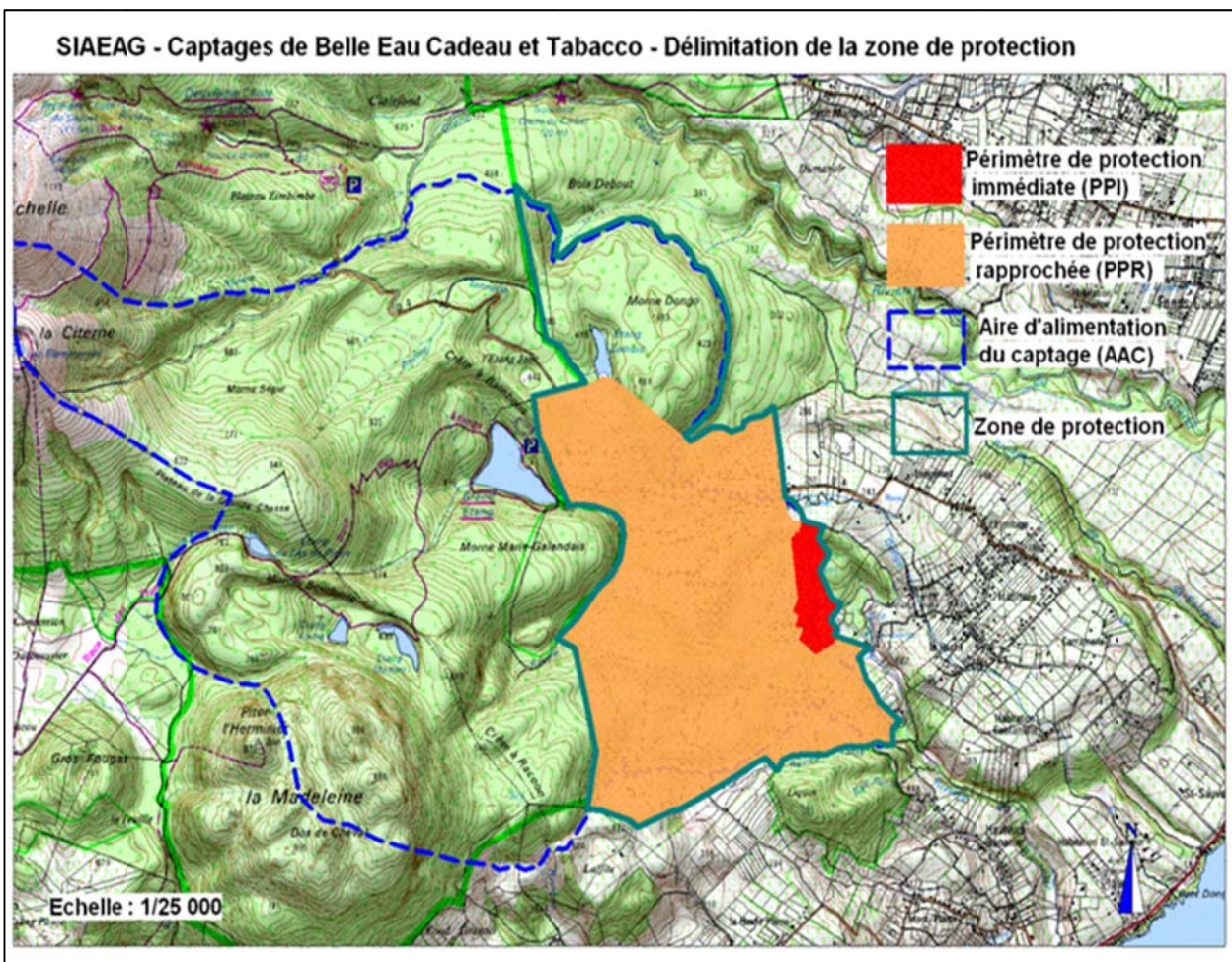


Illustration 38 : représentation des limites du BAC, du PPR et de la ZSCE (source DAAF, 2012)

4. Cartographie de la vulnérabilité

4.1. METHODOLOGIE

4.1.1. La vulnérabilité intrinsèque

La **vulnérabilité** est le « défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales » (définition retenue par le Comité National Français des Sciences Hydrologiques).

Autrement dit, la vulnérabilité est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent *la sensibilité des eaux souterraines à la pollution*. Elle décrit la vitesse de propagation d'un polluant vers et dans la nappe d'eau souterraine et caractérise la capacité de «protection» d'une nappe vis-à-vis d'une pollution.

La pollution de l'eau souterraine est une altération qui la rend impropre à une de ses utilisations ou perturbe l'écosystème aquatique, elle peut être provoquée par différentes sources comme l'utilisation de produits phytosanitaires (insecticide, herbicide, fongicide), les engrais (azotés, etc.), les accidents industriels (fuite de cuve, incendie, etc.) ou routiers (vidange de la cargaison d'un camion), les fuites des réseaux d'égouts, les décharges sauvages de déchets domestiques ou industriels, etc.....

Les polluants susceptibles d'atteindre la nappe sont ainsi de nature diverse et ont des comportements très différents lors de leur migration dans le sol et le sous-sol. La mobilité et la persistance des substances dans le sous-sol sont très variées selon leur solubilité, leur facilité à être biodégradées, etc.

Ces mécanismes très complexes dépendent non seulement de la nature des polluants mais aussi des conditions de pH, de l'activité microbologique, de l'humidité et de la teneur en matière organique des sols,...

La prise en compte de la nature des polluants dans la cartographie de la vulnérabilité supposerait donc de dresser de nombreuses cartes, prenant en compte les spécificités liées aux différentes espèces. De fait, nous utiliserons la notion de **vulnérabilité intrinsèque** qui contrairement à la vulnérabilité spécifique, est indépendante du polluant. En outre, la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps (à notre échelle de travail) alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis.

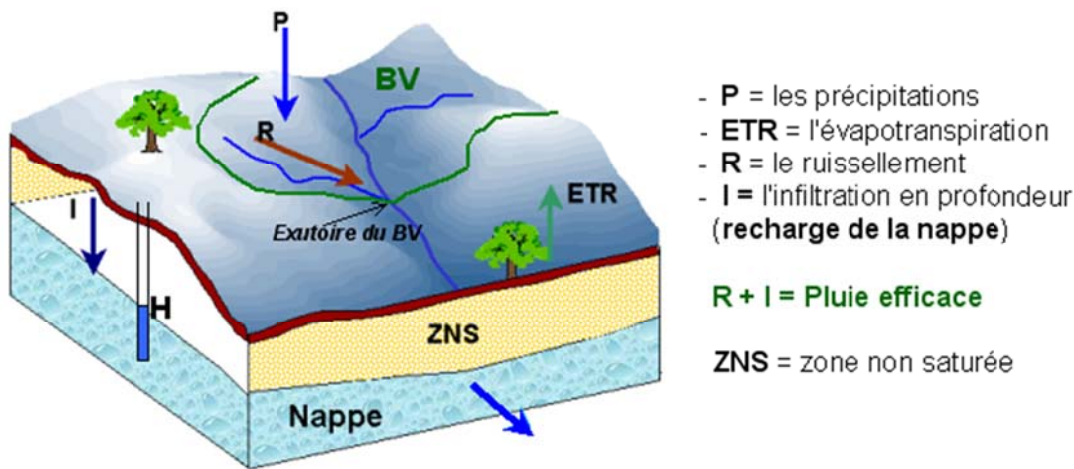


Illustration 39 : schéma simplifié du fonctionnement d'un hydrosystème

Lorsque l'on considère comme enjeu à préserver la nappe en tant que telle, la vulnérabilité intrinsèque traduit en fait **la capacité du premier réservoir souterrain à recevoir les eaux issues de la surface**. Le transfert de ces eaux issues de la surface dans le sol s'effectue d'abord à travers la zone non saturée (ZNS) avant d'atteindre la zone saturée. La ZNS est la zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre. Elle représente la zone d'infiltration de l'aquifère (Illustration 39).

4.1.2. Application de la méthode IDPR

L'indice de développement et de persistance des réseaux permet de rendre compte de façon indirecte de la capacité intrinsèque des formations du sous-sol à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de pluie. Il se fonde sur l'analyse des réseaux hydrologiques et celle du modèle numérique de terrain. Cette **approche indirecte** permet de s'affranchir de la détermination de critères tels que la perméabilité de l'aquifère, la nature de la ZNS et du sol, la cartographie des discontinuités... Ces paramètres peuvent en effet être approchés à une petite échelle (par exemple pour évaluer la vulnérabilité du bassin d'alimentation d'un captage), mais ils sont très difficiles à estimer avec précision à une échelle départementale ou régionale. L'IDPR tend ainsi à unifier et simplifier l'approche géomorphologique relative à la nature des formations de couverture des premières nappes rencontrées.

Au niveau national, la première carte régionale de l'IDPR a porté sur le territoire métropolitain de l'Agence de bassin Seine- Normandie, la méthodologie a été validée au sein d'un groupe de travail constitué des représentants du MEDD, de l'agence de l'eau, des DIREN, des DRIRE et du BRGM (Mardhel et al, 2006). Depuis, les territoires de l'Agence de l'eau Loire- Bretagne, des régions Nord-Pas-de-Calais et Aquitaine ont été traités ainsi que celui de l'Agence Rhône Méditerranée Corse où l'indice IDPR a été calculé dès 2003.

Entre 2002 et 2006, cette méthode a été appliquée en **Guadeloupe pour cartographier la vulnérabilité des nappes de Grande-terre et de Marie Galante** (Bezelgues et al, BRGM/RP-51783, 52677 53 456 et 54339) et en avril 2008 pour cartographier la vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines de la Martinique (Allier D, Vittecoq B. Mardhel V., BRGM/RP-56283-FR). La méthode indirecte basée sur l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux a été utilisée à l'échelle nationale sur la Slovénie (Mardhel et al, 2004).

L'idée qui sous-tend l'IDPR découle des observations suivantes, ***l'organisation du réseau hydrographique est dépendante des formations géologiques qui le supportent*** : corrélations entre la forme du réseau hydrographique et les formations géologiques (Mardhel et al. 2006). Dans l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène, de perméabilité nulle, seule la pente et la morphologie des reliefs guident la mise en place des cours d'eau. La recherche des talwegs² ou lignes de plus grande pente qui par la gravité, rassemblent les eaux de ruissellement, doit donc conduire à la reproduction du réseau hydrographique.

Or dans la réalité, ce réseau hydrographique théorique diffère du réseau naturel et cette différence traduit la complexité du milieu naturel. Les structures géologiques et la composition lithologique du sous-sol ont en effet une influence significative sur l'établissement des réseaux hydrographiques.

La nature des surfaces des bassins a un rôle primordial sur le comportement hydrologique de ceux-ci, notamment en fonction de la lithologie, de la pédologie et de la couverture végétale. Ces paramètres influencent grandement la perméabilité et la rugosité de la surface, qui conditionnent à leur tour la vitesse du ruissellement et le rapport de l'écoulement sur l'infiltration, appelé aussi coefficient d'écoulement.

La densité de drainage est donc un indicateur révélateur des propriétés des formations géologiques. Un bassin formé de matériaux très perméables aura en général une densité de drainage faible. A l'inverse, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes ou des argiles, va souvent présenter une densité de drainage élevée.

L'IDPR devient ainsi le moyen de quantifier ce rôle en comparant **un réseau théorique** établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène (*indice de développement ID*), **au réseau naturel** mis en place sous le contrôle d'un contexte géologique hétérogène (*de persistance des réseaux PR*). L'indice de développement et de persistance des réseaux présente une métrologie de l'écart constaté entre les deux réseaux.

L'IDPR permet de rendre compte indirectement de la capacité intrinsèque du sol à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de surface. Il se calcule en comparant le réseau hydrographique naturel au réseau de talwegs calculés.

² Talweg est un mot allemand signifiant : chemin de la vallée

Afin de calculer l'IDPR, les données suivantes sont nécessaires :

- le réseau hydrographique naturel (réel/observé),
- le modèle numérique de terrain (nécessaire pour calculer les pentes, les bassins versants et les talwegs)

Puis pour faciliter l'analyse de l'IDPR, les données suivantes seront utilisées:

- les bassins versants de surface, calculés à l'aide du MNT.
- la géologie vectorisée.

L'IDPR a été calculé dans le cadre de l'étude de contribution à l'évaluation de la ressource en eau souterraine de la Basse-Terre (Dumon et al., 2009). La cartographie relative est visible en Illustration 40.



Illustration 40 : valeur de l'IDPR sur Basse Terre

Dans cette étude menée en 2009, les investigations de terrain ont mis en évidence une bonne adéquation entre les zones ruisselantes et infiltrantes définies par l'IDPR et les formations géologiques connues de Basse Terre. Par exemple les dépôts pyroclastiques présents au sud de l'île (Grand Carbet) constituent des aquifères perméables : l'IDPR indique bien leur potentiel infiltrant. Alors que les laves massives andésitiques, présentes au centre de l'île ressortent comme ruisselantes sur la carte de l'IDPR.

Des études similaires menées en Martinique (Vittecoq et al., 2009) et à Mayotte (Vittecoq et al., 2009) montrent aussi la pertinence des résultats de l'IDPR dans des contextes volcaniques.

L'IDPR peut donc fournir une base légitime pour établir des cartes régionales de vulnérabilité, même en contexte discontinu fissuré.

Toutefois, la carte de l'IDPR ne peut remplacer les études hydrogéologiques locales. La limite d'interprétation et d'exploitation de cette carte est fixée par la méthode d'élaboration des données qui la composent : avec un réseau hydrologique défini au 1/25 000 et un modèle numérique de terrain au pas de 50 m, on peut considérer une échelle maximum de 1/50 000^{ème}. On est donc proche de la limite d'interprétation de l'IDPR, pour les études des BAC. Si une cartographie plus détaillée des réseaux hydrographiques pérennes et intermittents est faite et si l'on acquiert un MNT plus fin de Basse Terre, il sera intéressant de mettre à jour la carte de l'IDPR, afin de l'utiliser à plus grande échelle. De plus, pour établir des cartes de vulnérabilité, il est intéressant de croiser à l'IDPR d'autres critères comme l'épaisseur de la zone non saturée.

Ici, faute de données, seul l'IDPR sera pris comme critère de vulnérabilité. Les résultats décrits ci-dessous sont donc à prendre avec beaucoup de précaution. Et les cartes suivantes à l'échelle des BAC devront être mises à jour dès lors que l'amélioration de la connaissance du contexte hydrogéologique le permettra.

4.2. RESULTATS POUR LE BAC DE BELLE-EAU-CADEAU ET TABACO

Une première approche de la vulnérabilité montre que le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco se caractérise par une vulnérabilité faible en amont et assez forte en aval à la proximité du captage (Illustration 41).

Cette approche repose sur un critère principal qu'est l'IDPR. La méthodologie plus complexe développée par Vernoux et al (2007) n'a pu être appliquée dans le contexte local en raison de la méconnaissance relative à certains critères telles l'épaisseur des sols et de la ZNS, la géométrie de l'aquifère (existence de discontinuités dans le milieu souterrain). En l'état actuel, la cartographie de la vulnérabilité doit donc être employée en gardant à l'esprit que des améliorations pourront être apportées dès lors que ces données manquantes seront acquises à l'échelle de la Basse-Terre).

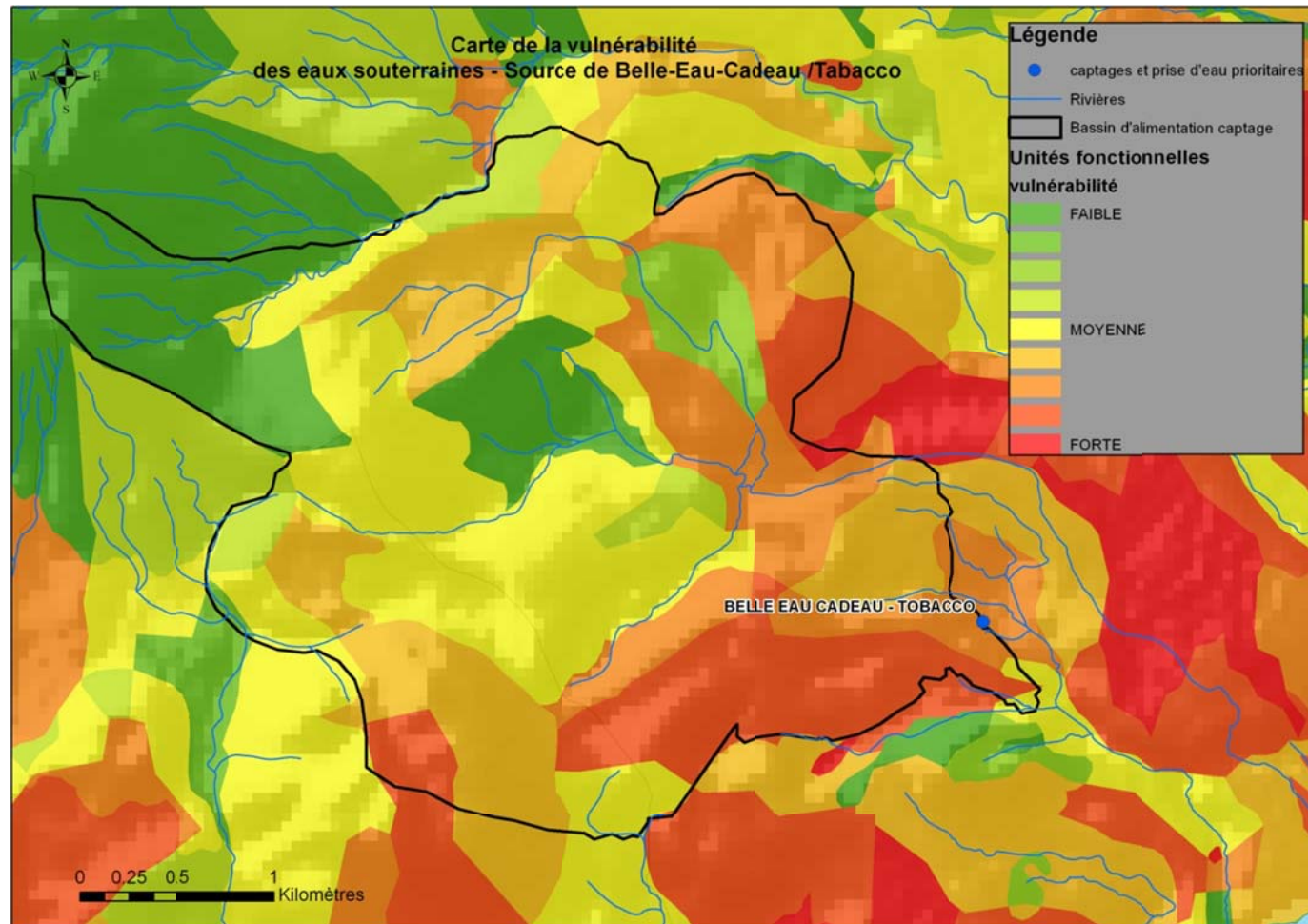


Illustration 41 : première approche de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

5. Cartographie des pressions

5.1. LA PRESSION URBAINE

5.1.1. Généralités et données de base

La pollution des eaux peut être d'origine urbaine ou rurale. On peut également différencier les pollutions industrielles, domestiques ou agricoles. Différentes pollutions n'ont pas les mêmes causes ni les mêmes conséquences.

Qu'elle soit d'origine domestique, industrielle, ou liée à l'urbanisation en général, la pollution des villes est interceptée via des réseaux et acheminée vers des systèmes d'épuration. Lorsque les réseaux de collecte ou les stations d'épuration ne fonctionnent pas correctement, la pollution non traitée se retrouve directement dans le milieu naturel provoquant des dégradations de la qualité de l'environnement : diminution de la biodiversité du milieu aquatique, perte des possibilités d'utilisation de l'eau, ...

La pollution des eaux liée à l'urbanisme se sépare en deux catégories :

- celle liée à l'imperméabilisation des sols : la création de routes et l'expansion des villes augmentent la superficie des surfaces imperméables ; ces dernières empêchent l'infiltration de l'eau dans le sol et favorisent les phénomènes de ruissellements qui peuvent parfois causer des dégâts (coulées de boues, inondations).

Par ailleurs, le lessivage de ces surfaces entraîne toutes sortes de polluants dans les réseaux de collecte et parfois même directement dans le milieu naturel : hydrocarbures provenant des routes ou parkings, produits phytosanitaires (traitements des routes), détergents, etc... A ceux-ci s'ajoutent les rejets industriels, commerciaux et artisanaux ...

- les pertes dans les réseaux d'assainissement:

Les rejets de l'assainissement individuel d'un habitat très dispersé, constituent des milliers de petits foyers de pollution ponctuelle, qui présentent dans le temps et l'espace un effet comparable à une pollution diffuse.

Les données de base :

La cartographie du bâti (Source : BDTOPO – IGN) sur le territoire de Guadeloupe est composée de 190 855 polygones répartis en différentes thématiques.

5.1.2. Carte de la pression urbaine

Pour déterminer la pression urbaine sur le territoire de Guadeloupe, nous avons utilisé deux indicateurs : la présence de bâtiments ou non ainsi que leur densité. Dans un premier temps, nous avons réalisé une délimitation des zones urbanisées et des zones non urbanisées en agrégeant les données sur le bâti à une distance de 50 m (illustrations ci-après).

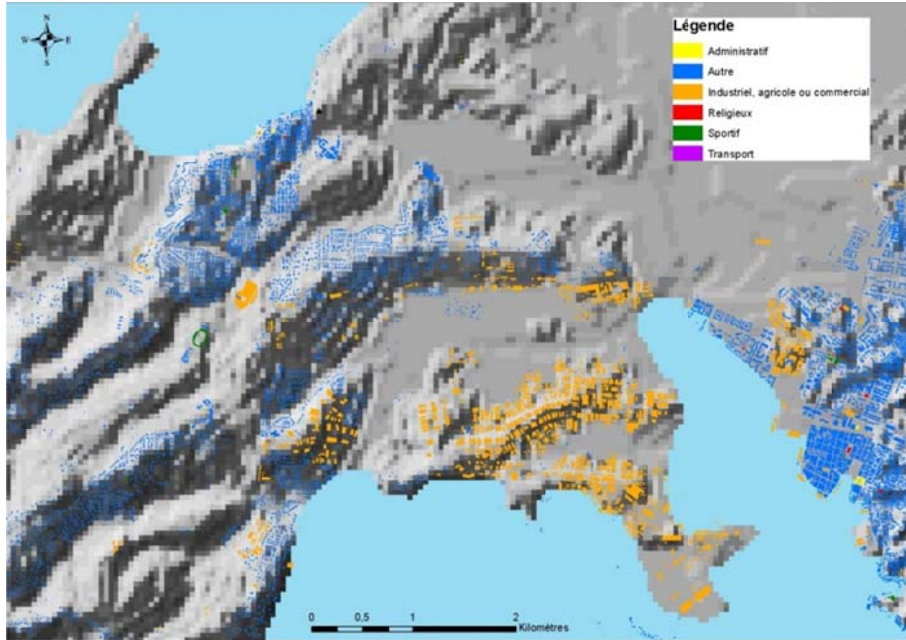


Illustration 42 : extrait du bâti en Guadeloupe

Les premiers résultats

Les données statistiques calculées sur la densité des bâtiments au niveau des 46240 polygones sont les suivantes :

- Minimum = 1 bâtiment par polygone
- Maximum = 4461 bâtiments par polygone
- Moyenne = 4.4, bâtiments par polygone (habitats très diffus)

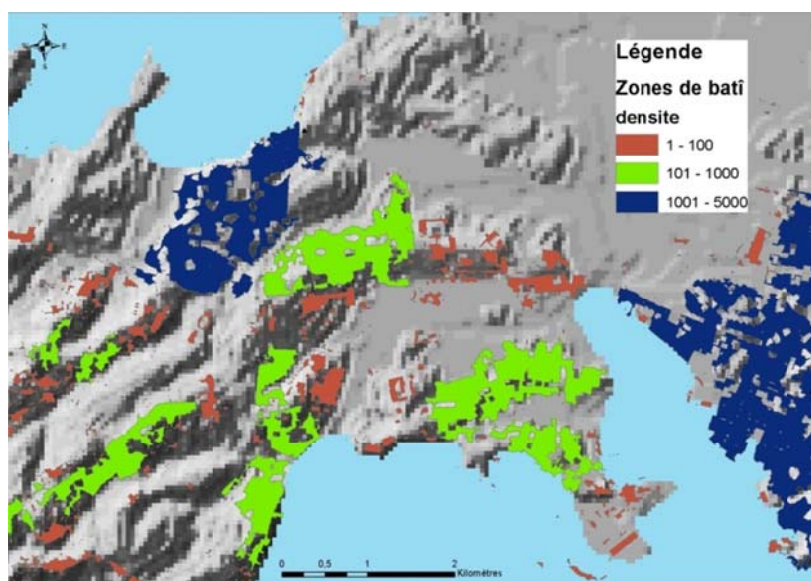


Illustration 43 : extrait du calcul de la densité du bâti

A partir de ces données statistiques et en observant la répartition de cette densité, nous avons mis en place un système de cotation pour évaluer la pression urbaine :

- Une pression urbaine égale à 1 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est inférieure à 10 bâtiments par polygone ;
- Une pression urbaine égale à 10 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est supérieure à 10 et inférieure à 1000 bâtiments par polygone ;
- une pression urbaine égale à 100 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est supérieure ou égale à 1000 bâtiments par polygone.

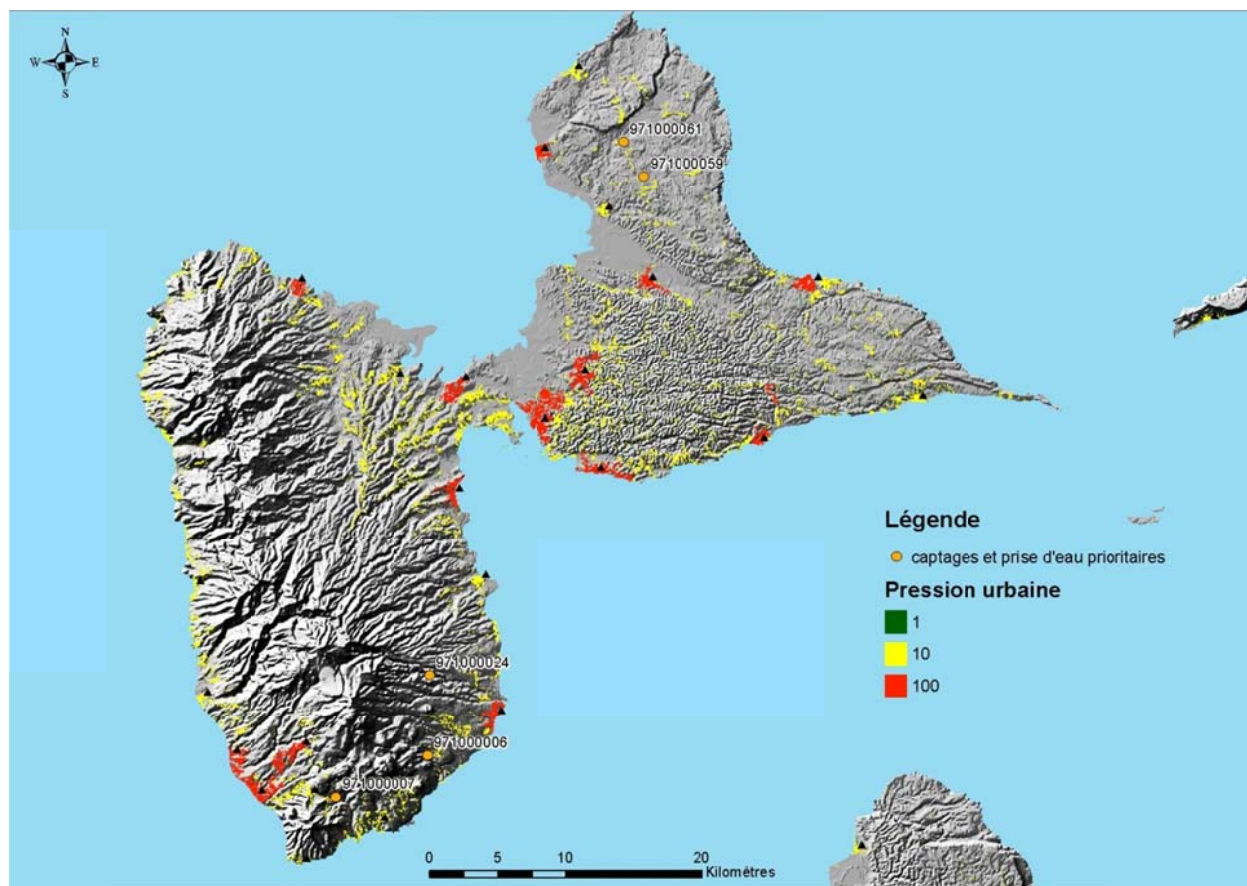


Illustration 44 : carte de la pression urbaine en Guadeloupe

5.1.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

Il n'y a pas de pression urbaine dans le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco.

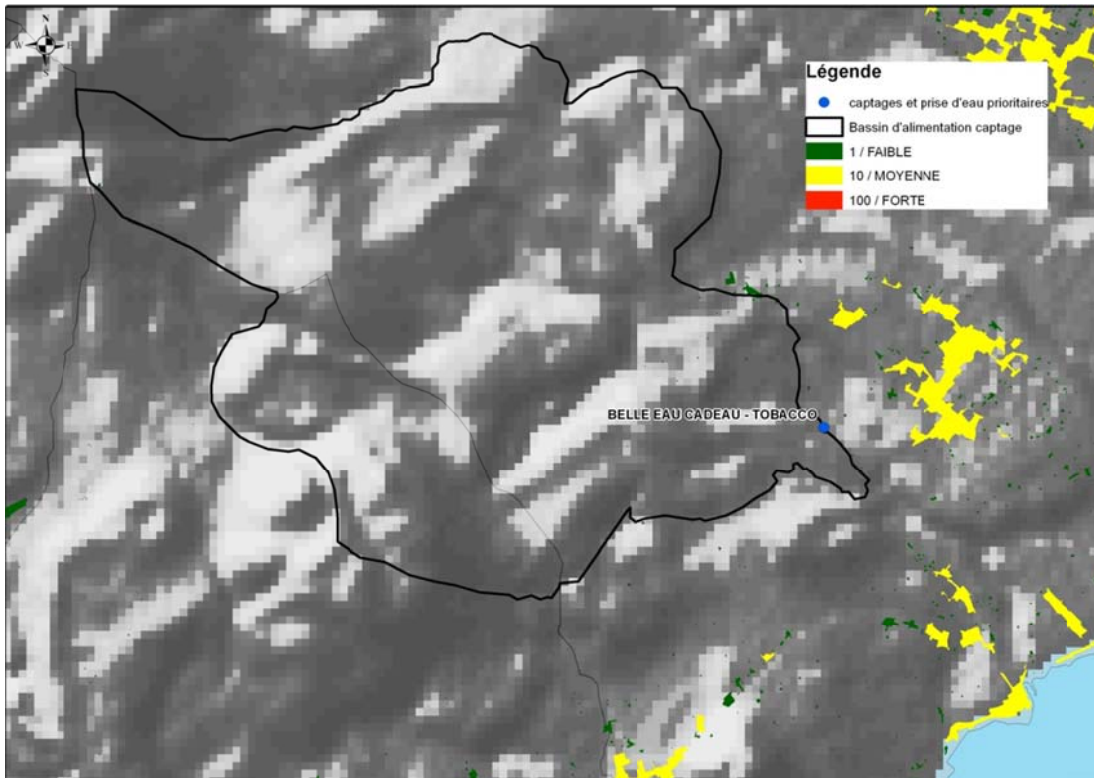


Illustration 45 : carte de pression urbaine du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

5.2. LA PRESSION PHYTOSANITAIRE

5.2.1. Généralités et données de base

Les phytosanitaires, appelés également *pesticides* ou *produits phytopharmaceutiques*, sont des substances chimiques utilisées pour lutter contre les maladies des cultures ou pour désherber. On distingue selon leurs usages les herbicides, les fongicides, les insecticides. On les classe également en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques (organo-chlorés, organo-phosphorés, organo-azotés...). Les substances actives, ou molécules, constituent le principe actif des produits. Actuellement en France, quelques 500 molécules sont autorisées. Elles entrent dans la composition de plus de 8 000 produits qui ont obtenu des autorisations de mise sur le marché délivrées par le Ministère de l'Agriculture.

Utilisées par exemple en agriculture, elles permettent de garantir une bonne productivité. Leur utilisation n'est toutefois pas réservée aux agriculteurs : jardiniers amateurs, collectivités, golfs, SNCF les utilisent communément.

La pollution des eaux par ces produits est liée à leur entraînement par ruissellement ou érosion (contamination des eaux de surface) ou par infiltration (contamination des eaux souterraines). Parmi les causes de contamination nous trouvons :

- le lessivage par des pluies entraînant les produits phytosanitaires vers les eaux superficielles et souterraines ;
- l'usage incorrect des substances et des techniques : mauvais réglage des pulvérisateurs, périodes d'épandage inadaptées, choix inapproprié des produits, doses excessives ...
- les déversements « accidentels » : vidange de fonds de cuve, rinçage ou abandon d'emballages de produits phytosanitaires.
- et dans le cas notamment de la Guadeloupe, les embruns peuvent « dériver » et transporter les produits phytosanitaires sur de grandes distances à cause des vents.

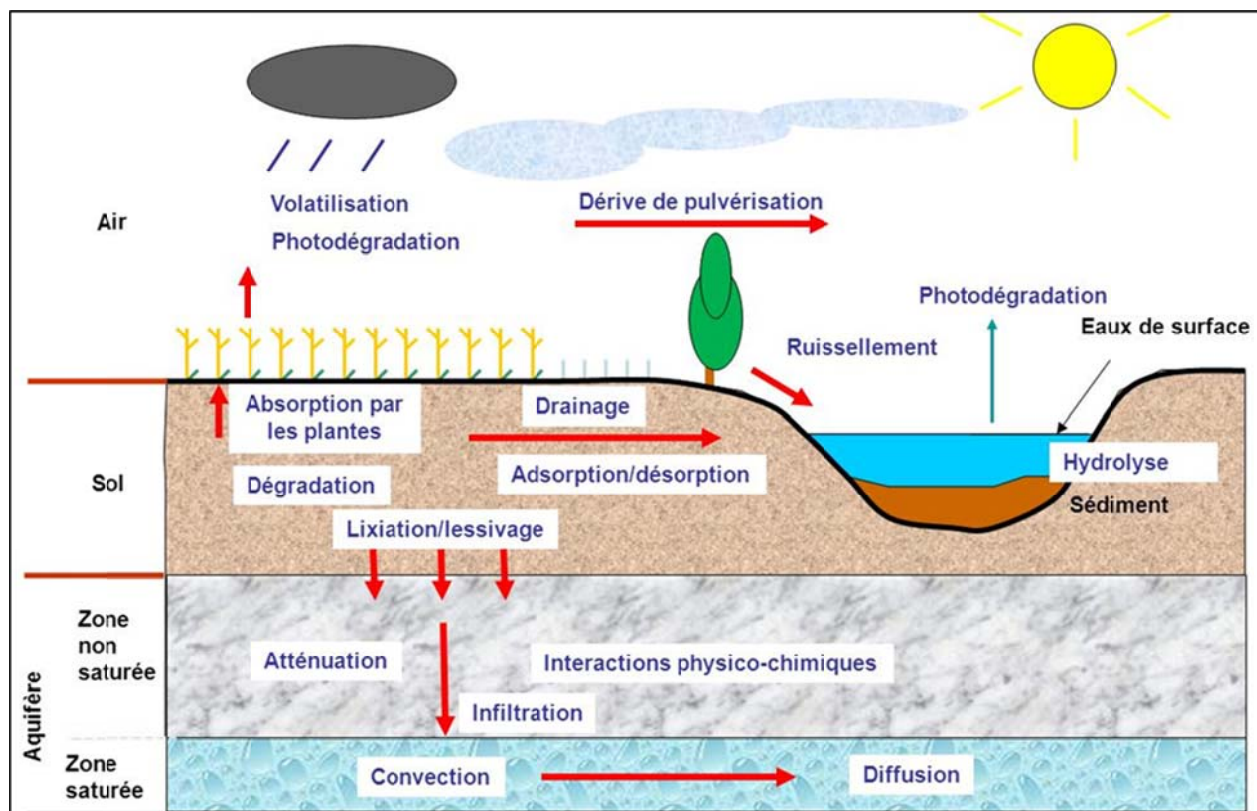


Illustration 46 : processus de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux superficielles et souterraines (source : BRGM)

Le transfert des pesticides dans les rivières et les nappes est influencé par leur solubilité dans l'eau, leur stabilité chimique, la nature du sol et la pluviométrie.

Les normes réglementaires pour les phytosanitaires

Les eaux brutes superficielles ou souterraines utilisées pour la production d'eau d'alimentation doivent respecter les limites de la qualité fixées arrêté ministériel du 11 janvier 2007 (Annexe 2) :

- ≤ à 0,1 µg/l par substance pour les eaux utilisées **sans dilution préalable avec un traitement simple de l'eau**, à l'exception de l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorepoxyde pour lesquelles la limite est de 0,03 µg/l ;

- ≤ à 2 µg/l par substance avec un traitement adapté de l'eau et 5 µg/l pour le total des substances ;

- > à 2 µg/l, les eaux ne sont pas potabilisables.

L'eau distribuée destinée à l'alimentation humaine doit quant à elle respecter la valeur réglementaire de 0,1 µg/l par substance, la somme totale des résidus de pesticides ne devant pas dépasser 0,5 µg/l.

Les données de base :

La cartographie régionale des sols agricoles avec le type de cultures indexé (source RGE IGN).

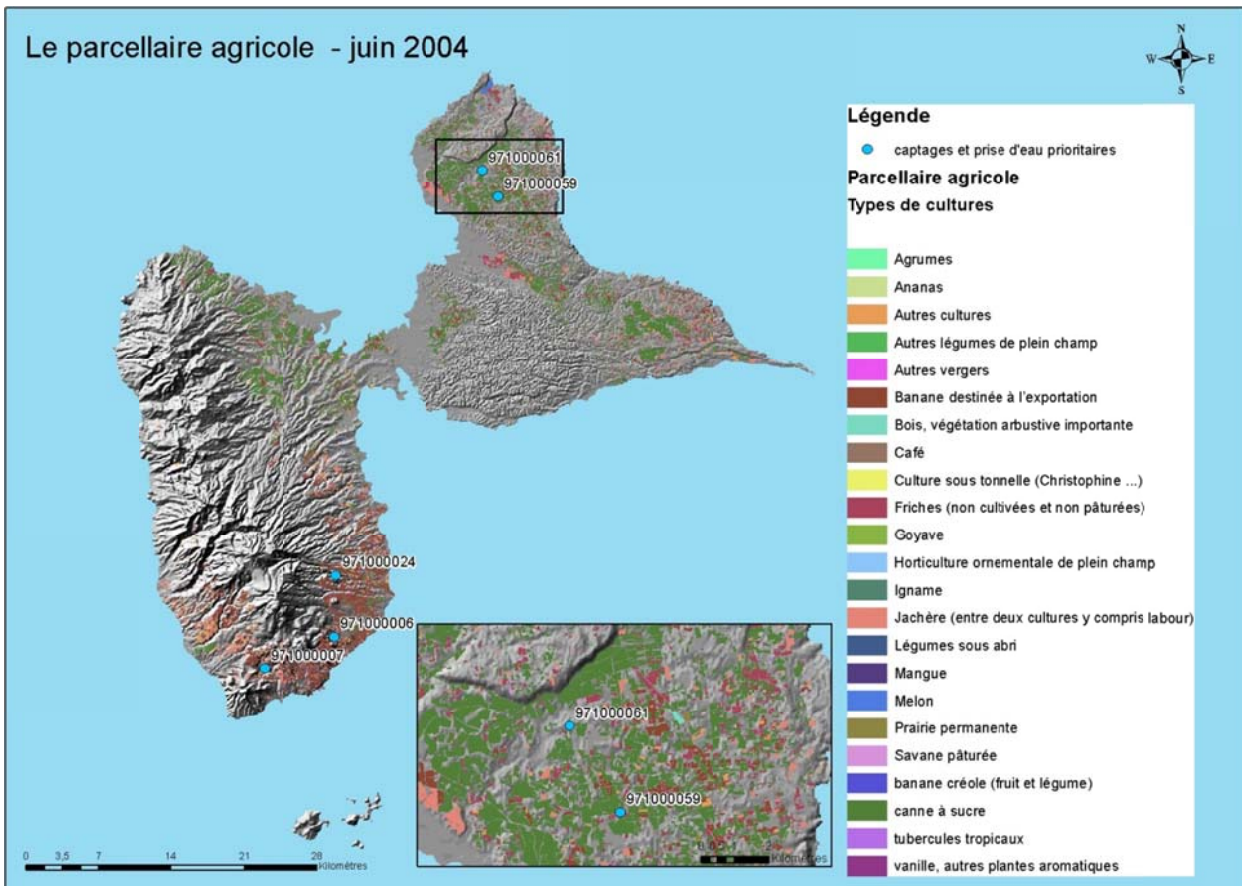


Illustration 47 : le parcellaire agricole en Guadeloupe

5.2.2. Carte de pression pour les phytosanitaires en fonction du type de cultures

Il s'agit de réaliser un croisement entre la carte d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines et les sols agricoles ; mais en tenant compte cette fois ci du type de cultures en hiérarchisant la valeur de la pression phytosanitaire.

Pour réaliser dans un premier temps, cet indice de pression phytosanitaire, nous nous sommes inspirés des données CIRAD de 1996 en Martinique (seules données disponibles actuellement), où on constate la prépondérance de la quantité de produits bruts de la culture de la banane.

Quantités de produits bruts en 1996 (tonnes)				
culture	Insecticides/nématicides	Fongicides	Herbicides	Total
ananas	98	négligeable	4	102
Banane	948	45 (+25 post récolte)	213	1206 (+25)
Canne à sucre	négligeable	négligeable	6.5	6.5
Maraîchage	4.1	3.1	45	52.2
Cultures fruitières	6	1.2	3.5	10.7
total	1056	49.3 (+ 25)	272	1402

Illustration 48 : quantités de produits bruts utilisés par type de culture en 1996 (données CIRAD, publiées dans Brugneaux et al., 2004)

La classification suivante a été arrêtée en Martinique en fonction du type de cultures :

Type de cultures	cotation
- Bananes	10
- Ananas, Maraîchage, Horticulture	7
- Canne à sucre, Arboriculture, Jardin créole	5
- Vivrier élevage, Vivrier, Aquaculture	3
- Friche Jachère, A définir	1
- Elevage, surface fourragère, bois et végétation arbustive	0

En parallèle l'étude sur la détermination de la vulnérabilité, des pressions et des risques de pollution sur cinq Bassins d'Alimentation de Captage prioritaires à l'île de la Réunion (Aunay B. et al., 2010) a été utilisée pour le choix des critères permettant la hiérarchisation de la pression agricole sur les BAC. Ils ont été définis séparément, pour les douze types de cultures identifiées par la BD Cultures, selon que la pression concerne les nitrates ou les produits phytosanitaires (Illustration 49). Les valeurs présentées ci-dessous sont une combinaison des différents coefficients, par types de cultures, proposés par la Chambre d'Agriculture de la Réunion et la DAAF.

Type de culture	Pression nitrates	Pression phytosanitaires	Remarques
Ananas	3	5	
Banane créole (fruit et légume)	3	4	Pour la pression phyto, la production de banane reste pour le marché local (donc pas d'exigences à l'export comme au Antilles = produits de conservation).
Vergers	3	5	Les produits sont appliqués sur les fruits et non sur le sol. Essentiellement des insecticide et fongicides. De grandes différences d'utilisation des phytos entre les différentes cultures (peu en litchi, plus en agrumes ou en mangues...)
Canne à sucre	5	6	Essentiellement du traitement herbicide. La canne à sucre représente 60% de la SAU et concentre le plus volume de produits phytosanitaires utilisés
Légumes de plein champ	5	7	Une multitude de traitements particulièrement insecticides et fongicides, sur des cycles de cultures relativement courts. Manque de rotation des cultures. Concentration et intensification de la production.
Mais d'ensilage	4	3	La pression phyto serait au niveau des conditions de stockage (gestions des effluents ou jus).
Horticulture ornementale de plein champ	4	5	Pau de traitements en comparaison avec l'horticulture sous serre. De plus les surfaces concernées sont réduites.
Vanille	2	2	Culture extensive, pas de produits phytosanitaires homologués. Pour les nitrates, peu d'amendement en cultures sous bois.
Géranium	3	4	Pour la pression phyto, seul l'anthracnose pose problème.
Fourrage annuel, plantes sarclées	1 à 10 si épandage	1	La superficie concernée et les traitements sont limités. Des traitements herbicides pour limiter le développement de quelques espèces gênantes
Prairie permanente	1 à 10 si épandage	1	Traitements herbicides pour limiter le développement de quelques espèces gênantes (ajoncs d'Europe...)
Prairie temporaire	1 à 10 si épandage	1	Risques lors de l'implantation des parcelles (herbicide totaux) et des traitements herbicides pour limiter le développement de quelques espèces gênantes

Illustration 49 : hiérarchisation des pressions selon le type de culture et la nature de la pollution (nitrates ou produits phytosanitaires)

A partir de ces deux analyses, une cotation a été affectée à chaque type de cultures pour la pression phytosanitaire. Une pression très faible se caractérise par la valeur 1, une pression très forte par la valeur 10.

Type de cultures	cotation
- Bananes destinées à l'exportation, bananes « créole »	10
- Agrumes, Ananas, Autres légumes de plein champ, Canne à sucre	7
- Mangue, Goyave, Melon, Autres vergers, Horticulture ornementale de plein champ	5
- Café, Igname, Tubercules tropicaux, Vanille, Autres cultures	3
- Jachère, Savane pâturée, culture sous tonnelle	1
- Bois et végétation arbustive, Friche (non cultivées et non pâturées)	0

Dans un premier temps, on a donc affecté cette cotation à chaque polygone selon le type de cultures. On obtient le résultat suivant (Illustration 50) :

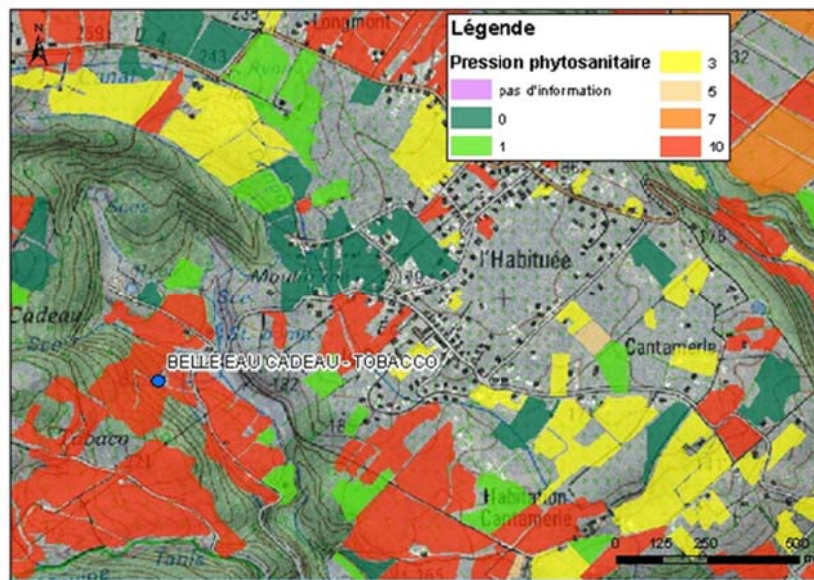


Illustration 50 : la pression phytosanitaire selon le type de cultures

Pour chaque polygone (Identifiant dans le tableau ci-après) des unités fonctionnelles on calcule les éléments suivants :

- l'aire totale du polygone ;
- l'aire de chaque sous unité (selon le type de cultures) contenue dans le polygone ;
- la part relative de la pression phytosanitaire de chaque culture dans l'unité fonctionnelle en tenant compte de l'indice de pression défini auparavant ([PHYTO2]).

$$([\text{Aire sous-unité}]/[\text{Aire totale}]) * [\text{cotation de la pression}]$$

kle	<>	Agrumes	Ananas	Autres cultures	Autres légumes	Autres vergers	banane créole	(Banane destinée	Eois, végétation	Café	canne à sucre
0	1,1074269216	0,1508980523	0,4227434100	8,7311315256	0,2932402974	0,0930387708	1,069210077	42,04739514	0,1963952757	0,1010636892	72,13458047
1	0			0,0965489783				0,4026776642			1,8753791624
2	0							0,0038179400			0,0169958499
3	0							0,0014768			0,02803987
4	0										0,0078593101
5	0			0,0098544698				0,0036778899			0,0244362700
6	0			0,0020284399							
7	0			0,0038672199				0,00446438			0,0331921694
8	0			0,2057652485				0,3607949535			6,9659144458
9	0										
10	0			0,0690538418							0,2781729139
11	0										0,107017003
12	0										
13	0,0160859991			0,1543741301				0,6086860053			3,4306450026
14	0			0,068124206				1,0839481261	0,0040129600		0,7078398239
15	0			0,0119444299							0,0347394682
16	0			0,0014847200							0,0580532862
17	0										0,00985292
18	0										

A partir de ces données on calcule pour chaque unité fonctionnelle, la pression totale phytosanitaire (somme des pressions selon le type de cultures), ramenée dans un second temps à 100 pour être comparé avec la vulnérabilité.

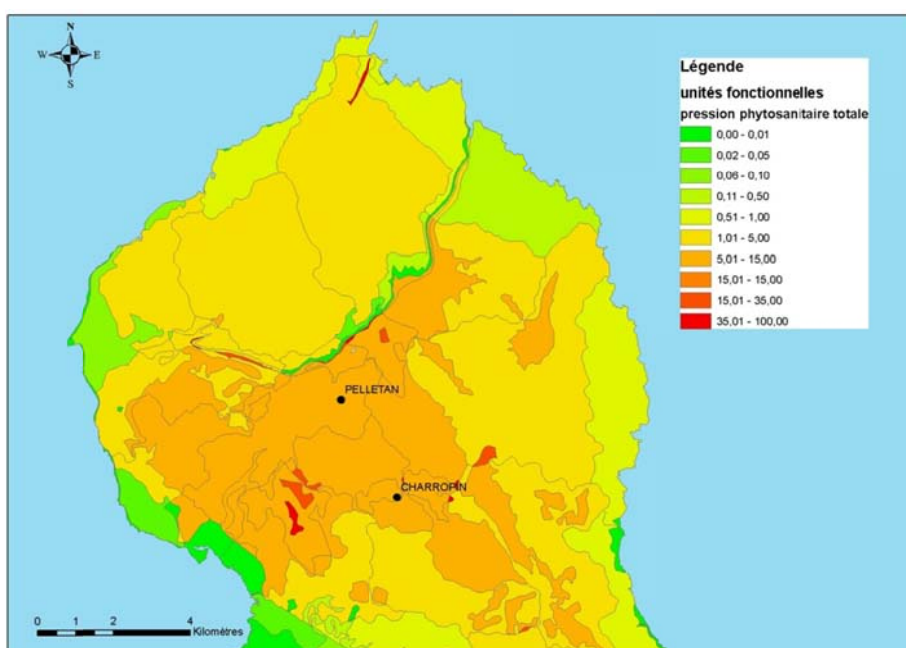


Illustration 51 : extrait de la pression phytosanitaire rapportée aux unités fonctionnelles

Cette approche n'est pas complètement adaptée au rendu attendu pour les BAC (lissage important de la pression phytosanitaire), notamment dans le cadre des mesures agro-environnementales qui doivent être prise à l'échelle de la parcelle. Pour cette étude la carte de pression phytosanitaire sera basée sur le parcellaire agricole.

Il existe d'autres méthodes pour apprécier la pression phytosanitaire par type de cultures comme :

- le nombre moyen de traitements par type de cultures rapporté à la surface de la parcelle ;
- la quantité de produits phytosanitaire utilisée ;

A ce jour ce type de données reste partiel ou inconnu.

5.2.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

La pression phytosanitaire est très limitée sur le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco. Néanmoins cette pression est concentrée à proximité des sources et est qualifiée de « très forte » liée à la nature des cultures (bananes).

Rappelons que la cartographie présentée en Illustration 52 est basée sur le parcellaire agricole, le traitement avec les unités fonctionnelles n'étant pas assez adapté aux BAC.

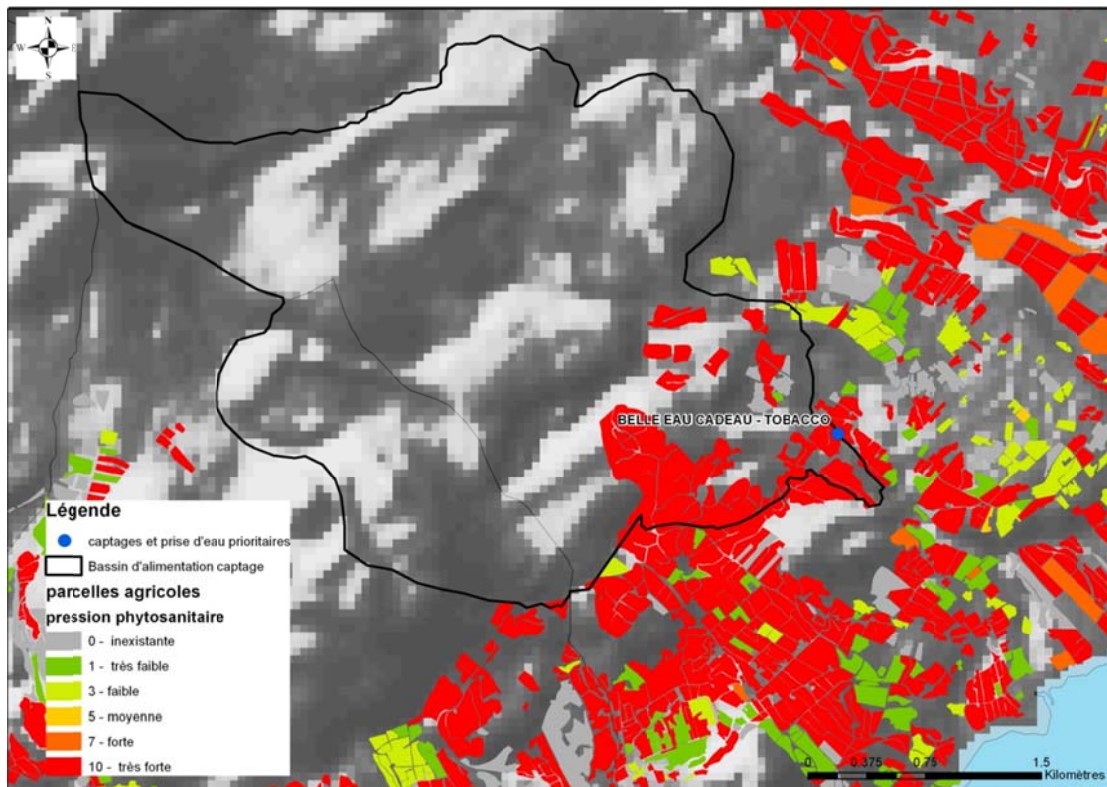


Illustration 52 : carte de pression phytosanitaire du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

5.3. LA PRESSION NITRATES

5.3.1. Généralités et données de base

Les nitrates des sols, de par leur forme soluble, sont lessivés par l'eau de pluie. Le ruissellement de surface et les écoulements de subsurface engendrent un transfert horizontal des nitrates des sols vers les rivières. Les nitrates peuvent également être transférés des sols vers les nappes par écoulement vertical (infiltration, percolation).

La norme réglementaire pour les nitrates

Le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001, qui a traduit en droit français la directive européenne du 3 novembre 1998, fixe pour les eaux destinées à la consommation humaine une **limite de qualité de 50 mg/l. Une valeur guide de 25 mg/l est néanmoins recommandée**. Le code de la santé publique (nouvelle partie réglementaire – Décrets en conseil d'état) fixe le même seuil. Du point de vue de la santé publique, il peut être admis la consommation d'une eau ayant une teneur en nitrates comprise entre 50 et 100 mg/l sauf pour les femmes enceintes et les nourrissons de moins de six mois. Au-delà de 100 mg/l l'eau ne doit plus être consommée.

Les eaux présentant des teneurs en NO_3^- comprises entre 1 et 10 mg/l seront considérées comme naturelles, ces teneurs en nitrate correspondant au bruit de fond naturel lié à la minéralisation de la matière organique des sols (Fustec *et al.*, 1991 ; Sebilo *et al.*, 2005). On peut donc considérer qu'il y a une influence humaine dès lors que les concentrations en nitrates atteignent les 10 mg/l.

Les données de base :

La cartographie régionale des sols agricoles (Illustration 47) avec le type de cultures indexé (source RGE IGN).

5.3.2. Carte de pression pour les nitrates en fonction du type de cultures

Il s'agit de réaliser un croisement entre la carte d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines et les sols agricoles ; mais en tenant compte cette fois ci du type de cultures en hiérarchisant la valeur de la pression « nitrates ».

Comme pour la pression phytosanitaire, le choix des critères permettant la hiérarchisation de la pression agricole sur les BAC se sont basés sur les conditions de cultures observés à la Réunion. Ils ont été définis séparément, pour les douze types de cultures identifiées par la BD Cultures (Illustration 49).

A partir de cette analyse et en suivant la même méthodologie que la détermination de la pression phytosanitaire, une cotation a été affectée à chaque type de cultures pour la pression nitrates. Une pression très faible se caractérise par la valeur 1, une pression très forte par la valeur 10.

Type de cultures	cotation
- Prairie permanente (si épandage)	10
- Autres légumes de plein champ, Canne à sucre	5
- Mangue, Goyave, Melon, Horticulture ornementale de plein champ	4
- Bananes destinées à l'exportation, bananes « créole », Ananas, agrumes, Autres vergers, autres cultures	3
- Café, Igname, Tubercules tropicaux, Vanille	2
- Jachère, Savane pâturée, culture sous tonnelle	1
- Bois et végétation arbustive, Friche (non cultivées et non pâturées)	0

Dans un premier temps, on a donc affecté cette cotation à chaque polygone selon le type de cultures. A partir de ces données on calcule pour chaque unité fonctionnelle, la pression totale nitrates (somme des pressions selon le type de cultures), ramenée dans un second temps à 100 pour être comparé avec la vulnérabilité.

Comme pour la pression phytosanitaire, cette approche n'étant pas complètement adaptée au rendu attendu pour les BAC (lissage important de la pression nitrates), la carte de pression nitrates sera basée sur le parcellaire agricole.

5.3.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

La pression nitrates reste très limitée sur le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco, elle est cependant située à proximité des sources avec une pression « moyenne ». Les bananes sont beaucoup moins consommatrices de nitrates que de phytosanitaires, ce qui explique que la pression nitrates est moins élevée que la pression phytosanitaire.

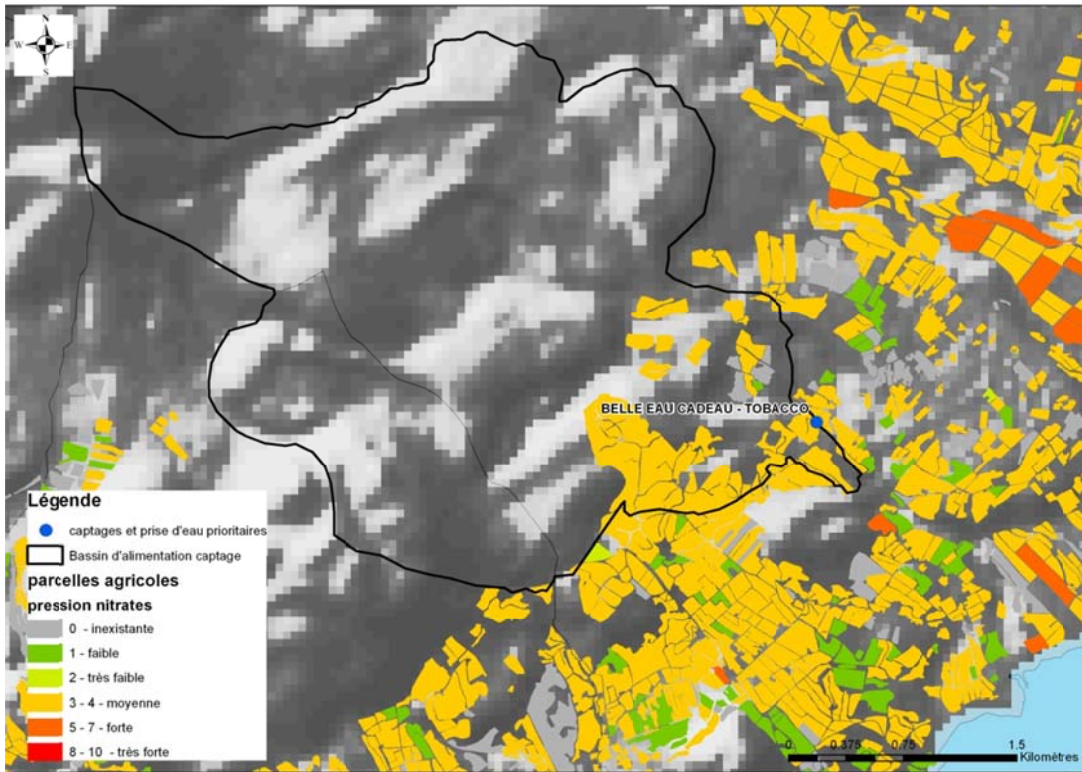


Illustration 53 : carte de pression nitrates du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

5.4. PRESSION ACCIDENTELLE LIEE A LA ROUTE

5.4.1. Généralités et données de base

Tout aménagement conduit à modifier l'environnement, et l'aménagement du réseau routier n'échappe pas à cette règle. Les perturbations engendrées par la construction puis l'exploitation de la route concernent les eaux tant superficielles que souterraines.

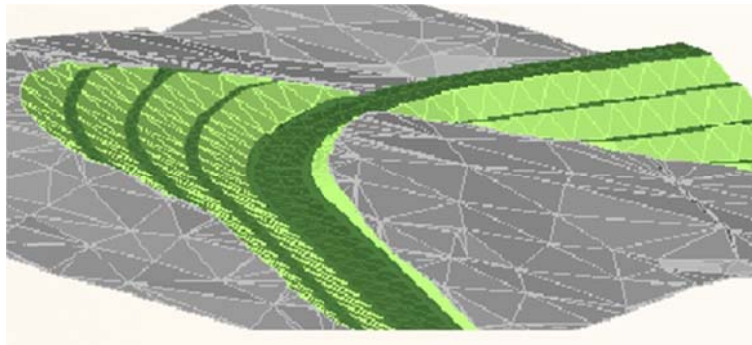


Illustration 54 : vue en 3D d'une route (source SIGA)

Trois formes de pollution liée à la présence d'une route sont à dénombrer :

- la pollution saisonnière : pour l'essentiel, il s'agit de l'utilisation de sels ou de produits phytosanitaires pour l'entretien des végétaux ;
- la pollution chronique : elle est provoquée par la circulation des véhicules qui émettent des substances gazeuses, usent la chaussée et leurs pneumatiques, perdent des particules. En période sèche, les débris et particules diverses s'accumulent sur la chaussée avant d'être emportés par les eaux de ruissellement lors de pluies. Les matières en suspension, où se

trouvent en partie les métaux et les hydrocarbures formeront des sédiments dans les cours d'eau ou dans les lacs s'ils ne sont pas piégés avant ;

- la pollution accidentelle : elle est consécutive à un accident de circulation au cours duquel sont déversées des matières dangereuses.

Les caractéristiques de la route, comme la sinuosité, la pente, le nombre de voies, le volume et la vitesse du trafic, sont aussi susceptibles d'avoir une influence sur la fréquence des accidents.

Dans notre méthode de calcul de la pression liée la route nous tenons compte à la fois :

- des caractéristiques physiques de la route avec sa pente et sa sinuosité ;
- et de la densité de trafic qui est approchée de manière indirecte en prenant en compte le classement et la nature de la route.

Cette approche est aussi basée sur le fait que l'occurrence d'une pollution accidentelle est plus élevée sur le réseau routier principal que le réseau secondaire.

Les données de base :

La cartographie du linéaire routier sur le territoire de la Guadeloupe (Source : BDTOPO – IGN)

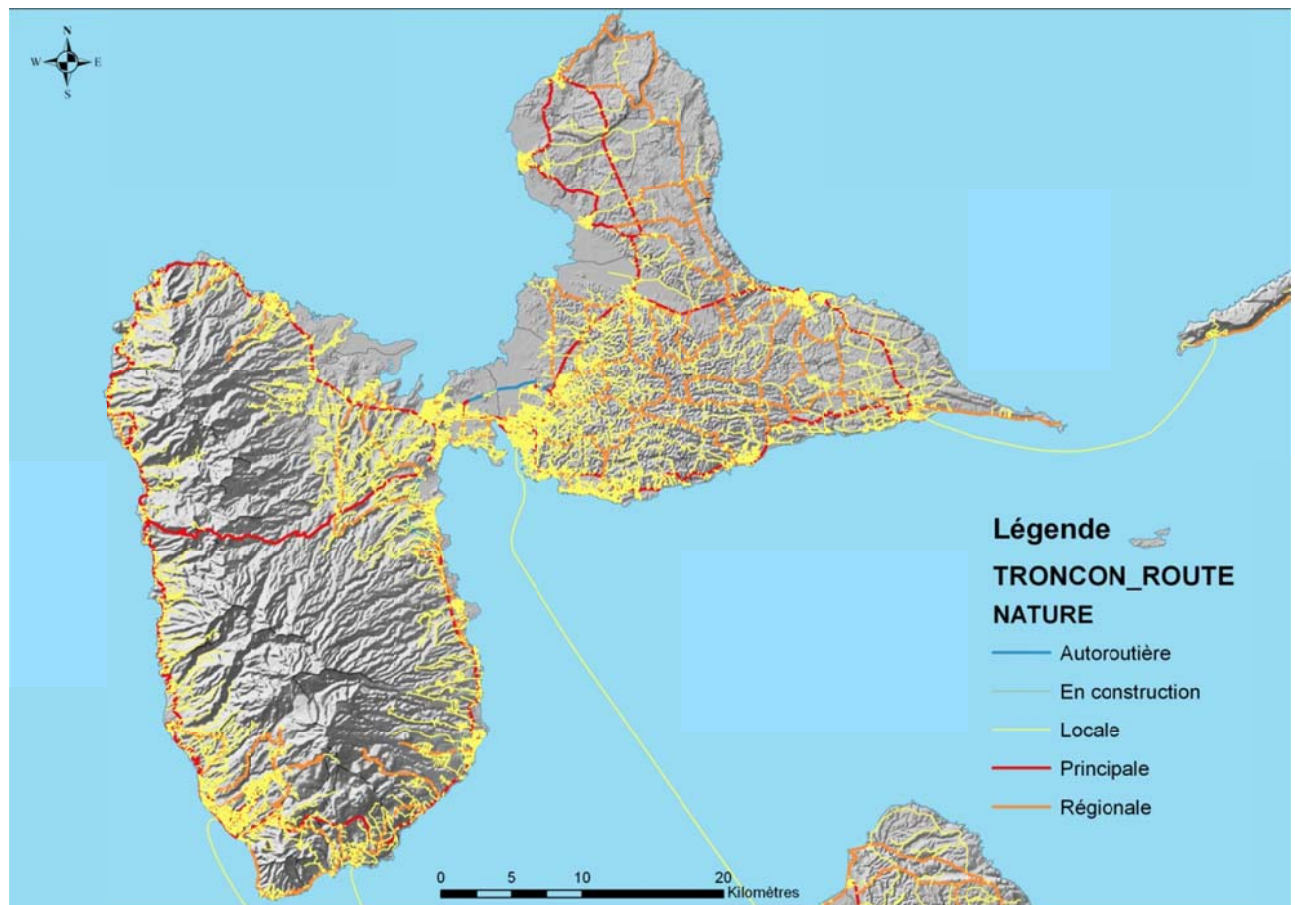


Illustration 55 : cartographie du linéaire routier sur le territoire de la Guadeloupe

5.4.2. Carte de la pression liée à la route

Pour évaluer la pression à la route, nous avons utilisé deux indicateurs définis lors de l'étude réalisée pour la Martinique (Pinson et al., 2008) :

- une pression « simple » calculée à partir de deux paramètres nature et classement caractérisant les routes du territoire de la Guadeloupe.
- et un indice de dangerosité basé sur le calcul de la pente maximum et de la sinuosité de la route.

Calcul de la pression simple

Chaque route est caractérisée par son classement et sa nature. A partir de ces éléments nous avons hiérarchisé la pression routière sur ces deux paramètres en attribuant différents poids de la manière suivante.

Classement de la route

Classement	poids
Autoroute	10
Nationale	8
Départementale	5
Autre classement	1

Nature de la route

Nature	poids
Autoroutière	10
Principale	8
Régionale	5
Locale	1
En construction	0

Pour calculer cette pression « simple » routière nous combinons les poids des deux critères de la manière suivante :

$$\text{Pression simple} = [\text{Classement}] * [\text{Nature}]$$



Illustration 56 : exemple de calcul de la pression routière simple – commune de Saint-Claude

Calcul de l'indice de « dangerosité » de la route

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (ou pentes) et d'arcs de cercles (sinuosité) permettant de raccorder entre eux les segments de droites.

Dans un premier temps nous avons calculé les éléments suivants :

- la pente maximum (tous les 100 mètres)
- la sinuosité (exclusion des valeurs nulles) : *elle est égale au rapport entre la distance euclidienne et la distance « vraie »*

L'indice de dangerosité des routes est déterminé par le rapport suivant :

$$\text{Indice de dangerosité} = ([\text{pente maximum}] / [\text{sinuosité}])$$

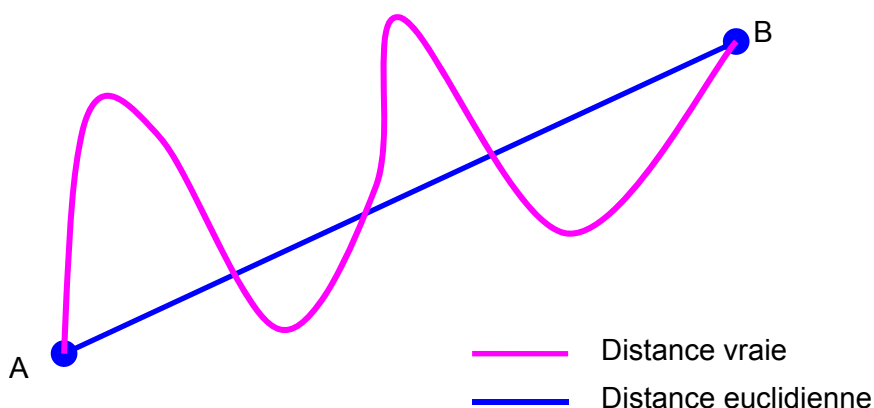


Illustration 57 : définition de la sinuosité le long du trajet ; $AB = \text{Distance « vraie »} / \text{Distance euclidienne}$

Les résultats de cette approche sont présentés en Illustration 58.

Les calculs de sinuosité et de pente, permettent une amélioration de la précision des informations de base à traiter car ils redécoupent le linéaire routier en segments homogènes selon leur dangerosité: Le découpage a été réalisé avec les paramètres suivants :

- par tronçons de 100 m pour le calcul de la pente maximum
- et par vertex* pour le calcul de la sinuosité.

* Les entités sont définies par un ou plusieurs **sommets** (vertex) et chaque sommet est localisé en X, Y et éventuellement en Z (altitude).

Dans un premier temps nous avons calculé les éléments suivants :

- la pente maximum par vertex
- la sinuosité (exclusion des valeurs nulles)

L'indice de dangerosité des routes est déterminé par le rapport :

$$\text{Indice de dangerosité} = ([\text{pente maxi}] / [\text{sinuosité}])$$

Cet indice est ensuite ramené à 100 pour calculer la pression totale liée à la route.

Calcul de la pression totale liée à la route

Pour évaluer la pression totale liée à la route nous avons utilisé la pression simple et l'indice de dangerosité (calculés précédemment) en prenant les deux indicateurs à part égale de la manière suivante :

$$\text{Pression totale} = 0.5 * [\text{pression simple}] + 0.5 [\text{indicateur de dangerosité}]$$

Des exemples de résultats sont présentés en Illustration 59

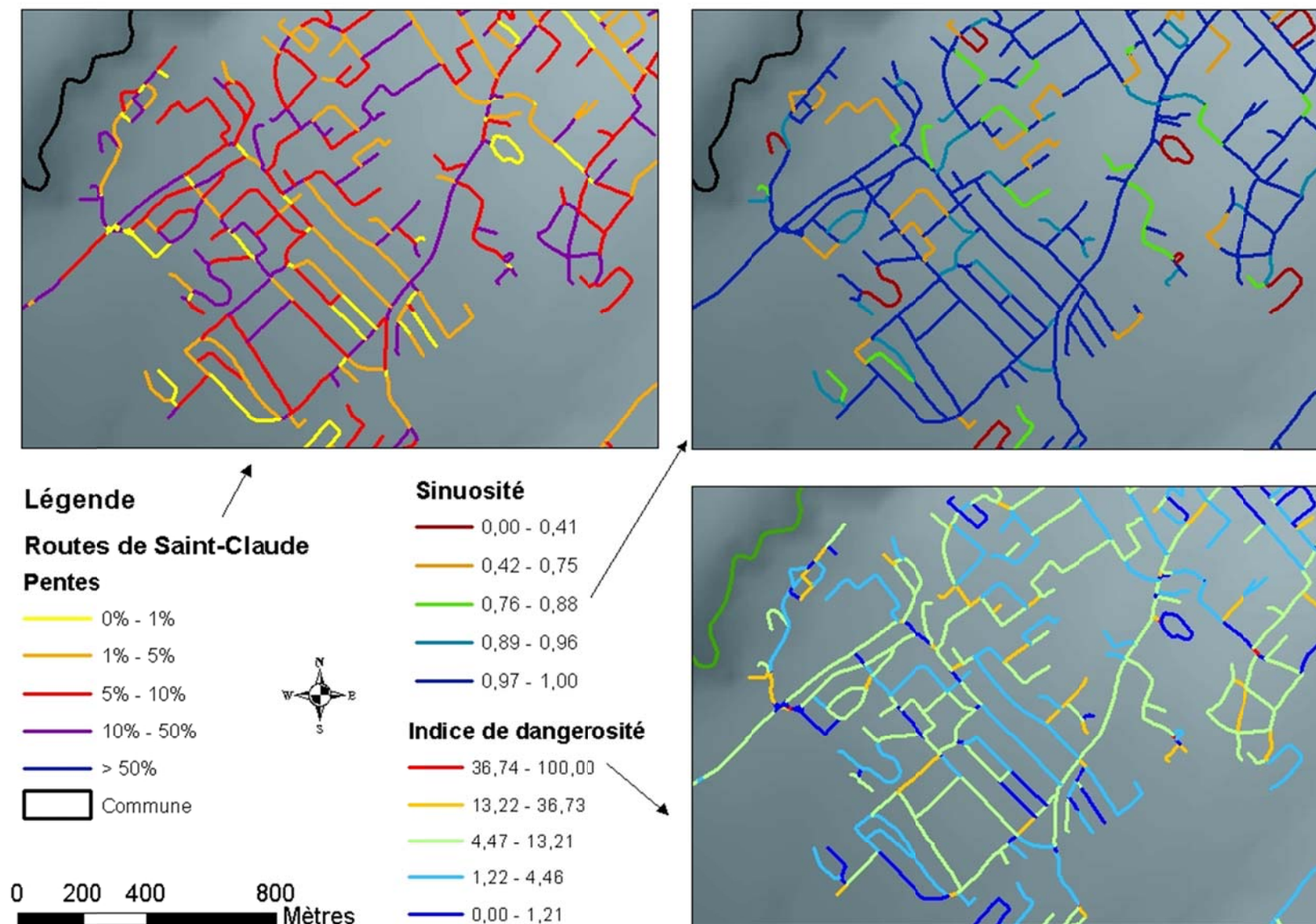


Illustration 58 : exemple de calcul de l'indice de dangerosité – commune de Saint-Claude

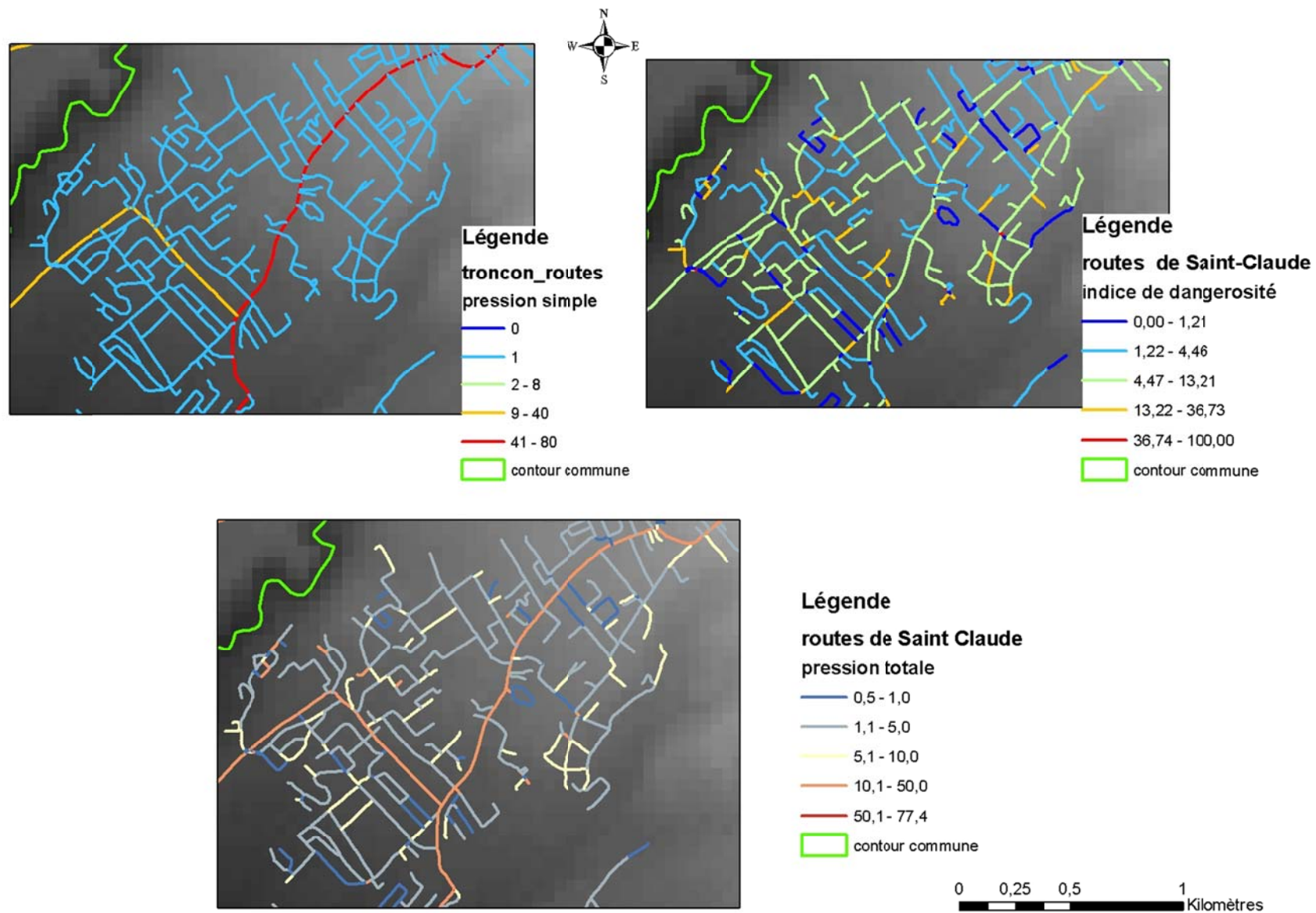


Illustration 59 : exemple de calcul de la pression totale liée à la route – commune de Saint-Claude

5.4.3. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

La pression liée à la route est limitée sur le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco. Cependant cette pression, qualifiée de « moyenne », n'est pas à négliger car elle est localisée sur des portions de route en amont hydraulique des captages (notamment la route départementale n°4 très fréquentée en raison de l'attrait touristique des chutes du Carbet).

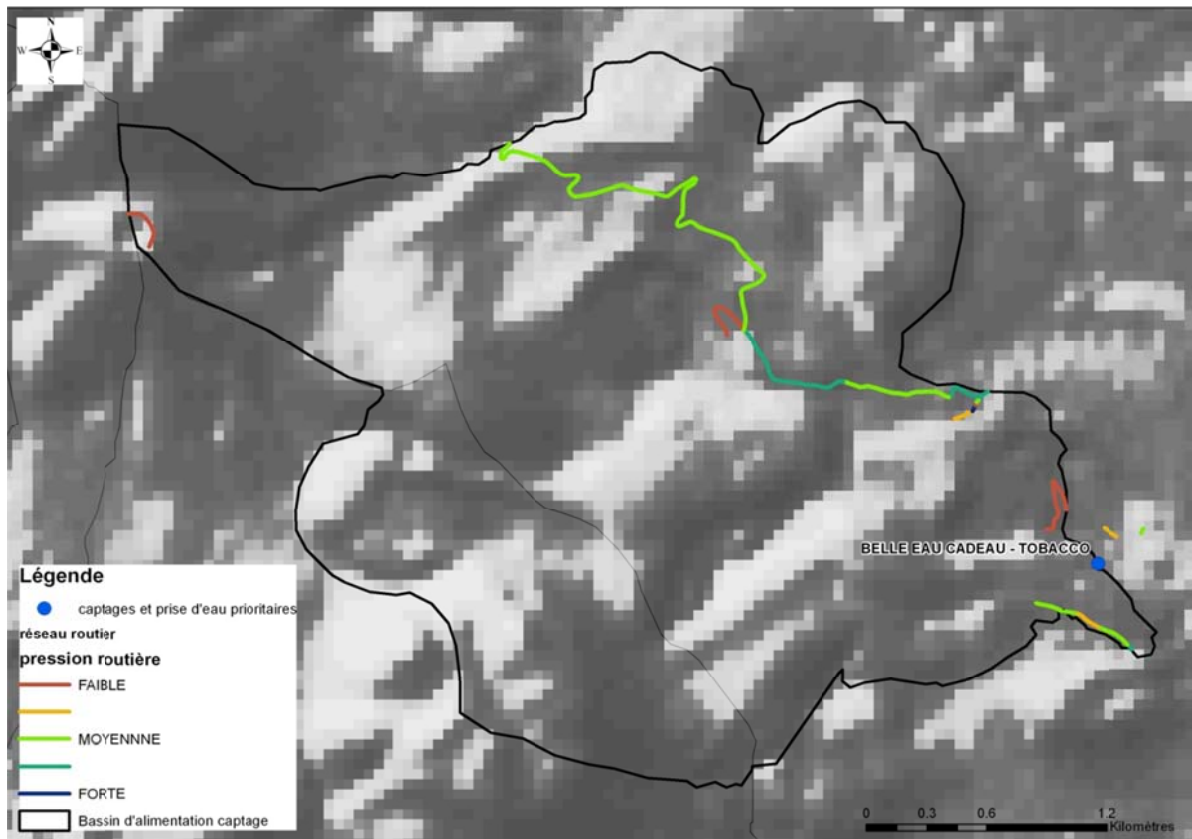


Illustration 60 : carte de pression routière du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

5.5. LES PRESSIONS PONCTUELLES

Des zones très localisées peuvent également initier une pollution des eaux souterraines. Dans la majeure partie des cas, ce type de pollution reste ponctuel voire chronique et ne devrait donc pas spécifiquement rentrer dans le cadre d'une étude de BAC dont l'objectif principal consiste à prévenir des risques de pollution diffuse.

Il semble néanmoins bon de situer ces pressions localisées, d'autant plus si l'étude BAC en question sert de référence à la mise en place ou à la redéfinition de périmètres de protection des captages AEP qui est lui un outil réglementaire adapté pour la prévention des pollutions ponctuelles.

Les données ponctuelles qui ont été analysées sont les suivantes :

- les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) : élevages de porcs et de bovins ;
- les données ICPE fournis par la DEAL (ex-DRIRE) ;

- les élevages de volailles ;
- les points d'infiltration possibles avec les ouvrages issus de la BSS (Banque de données du sous-sol) comme les piézomètres, les puits, les forages ...
- les décharges autorisées et non autorisées ;
- les ouvrages et les prélèvements pour l'alimentation en eau potable.

L'ensemble de ces pressions ponctuelles pour le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco est cartographié en Illustration 61. Il n'y a pas de pressions ponctuelles sur ce BAC.

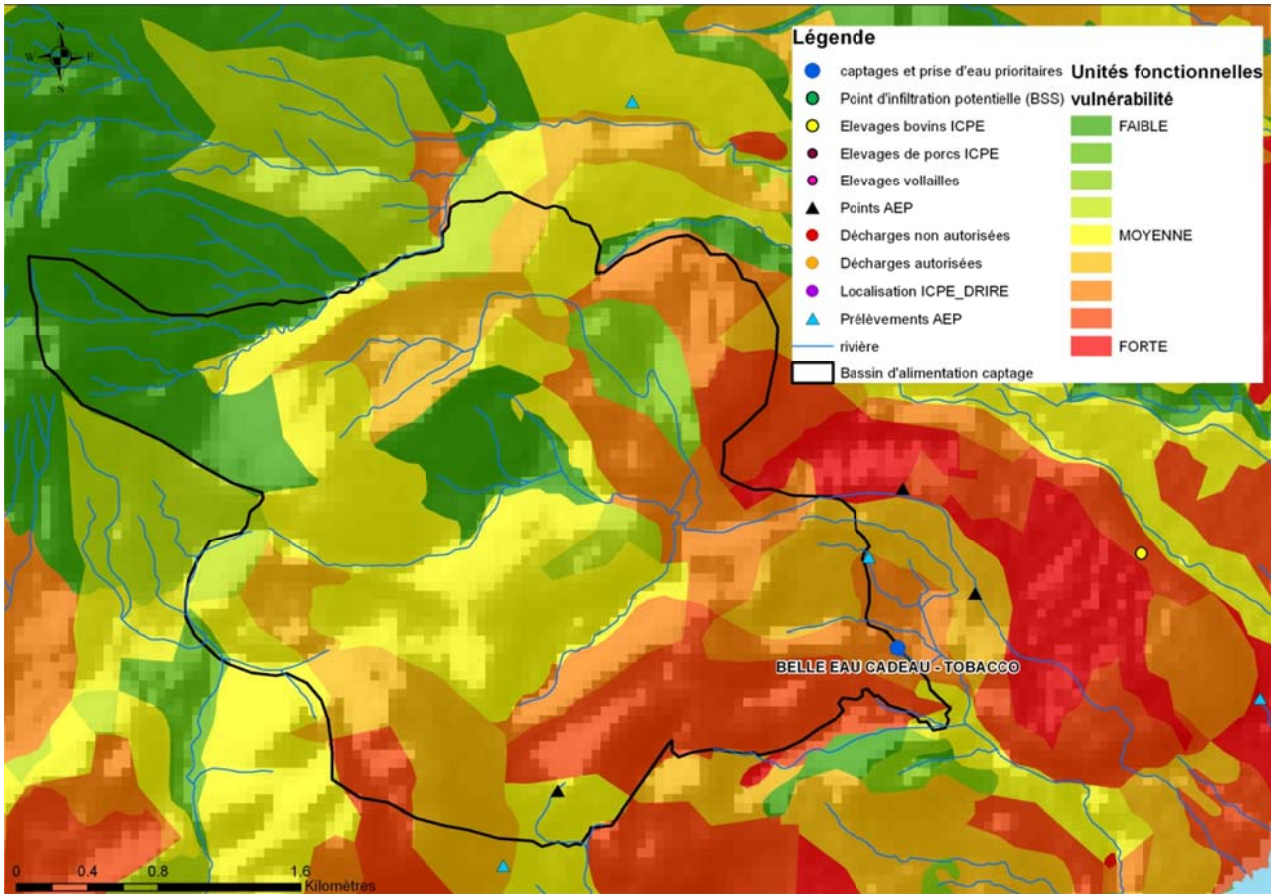


Illustration 61 : carte de pressions ponctuelles du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

6. Cartographie des risques

6.1. DEFINITION

La notion de risque est différente de la notion de vulnérabilité. Un aquifère peut être vulnérable mais en l'absence de pressions industrielles ou agricoles, il peut ne pas être atteint par une pollution. Autrement dit, la notion de vulnérabilité ne dépend que des seules conditions physiographiques et hydrogéologiques du milieu, elle n'inclut pas le degré d'exposition aux risques de pollution.

La surimposition des paramètres contrôlant la vulnérabilité d'un captage (de surface ou souterrain) permet de mettre en évidence les secteurs sensibles à l'échelle du bassin. A terme, la mise en relation du degré de **vulnérabilité intrinsèque** de la ressource en eau (de surface et souterraine) et des facteurs des **pressions** hiérarchisés (activités polluantes à proximité, urbanisation, pratiques agricoles, aménagements, stockage de déchets, etc.) déterminera l'exposition aux **risques** du bassin d'alimentation et du captage concerné.

On rappelle que le risque est la probabilité qu'un effet indésirable se réalise dans des conditions d'exposition données. Ce n'est pas tant la présence de polluants (exemple : fuite d'hydrocarbures provenant de cuves) qui pose problème mais le fait que cette pollution soit mobilisable (exemple : propagation rapide du polluant vers la nappe libre non protégée) et donc qu'elle risque de porter préjudice à des enjeux (exemple : captage pour l'alimentation en eau potable).

Ainsi le risque découlant de l'aléa, de l'enjeu et de la vulnérabilité (Illustration 62) donnés en exemple est l'altération du captage pour l'alimentation en eau potable voire son arrêt (eau rendue impropre à la consommation) par l'arrivée d'un polluant au sein de l'aquifère.

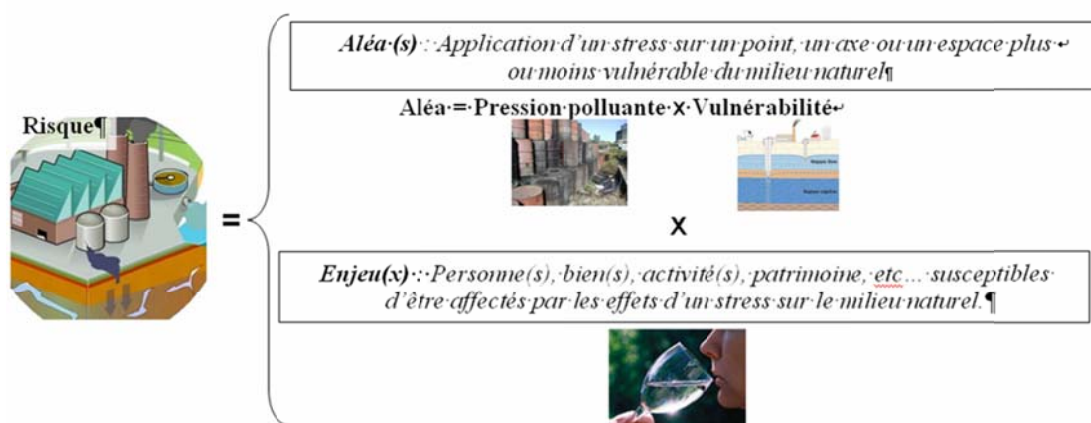


Illustration 62 : schéma explicatif des paramètres à prendre en compte pour cartographier le risque

La cartographie d'un risque, pour un polluant ou une famille de polluants, nécessite le croisement :

- d'une carte de vulnérabilité,
- d'une carte des enjeux,
- d'une carte des pressions.

Le risque d'intrusion d'eau salée, inhérent au milieu insulaire ne sera pas traité dans ce présent rapport.

Dans ce présent rapport, **les enjeux considérés sont les captages AEP** et les cartes de risque établies en fonction de ces enjeux sont issues du croisement des pressions identifiées avec la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines.

6.2. CARTOGRAPHIE DU RISQUE LIE A LA PRESSION URBAINE

6.2.1. Méthodologie

Pour rappel, les critères proposés pour la hiérarchisation de la pression domestique sur les BAC ont été les suivants :

- Une pression urbaine égale à 1 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est inférieure à 10 bâtiments par polygone;
- Une pression urbaine égale à 10 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est supérieure à 10 et inférieure à 1000 bâtiments par polygone;
- une pression urbaine égale à 100 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est supérieure ou égale à 1000 bâtiments par polygone

La carte de pression ainsi obtenue a été croisée à la carte de vulnérabilité intrinsèque (chapitre 4) afin d'aboutir, pour chaque BAC, à une carte du risque de pollution des eaux souterraines liée à la pression urbaine.

Le principe du croisement, présenté à travers un exemple dans l'illustration 63, réside dans la formule suivante :

$$0.5 \times \text{Pression} + 0.5 \times \text{Vulnérabilité} = \text{Risque}$$

		Vulnérabilité		
		Faible	Moyenne	Forte
Pressions	Faible	1	1	2
	Moyenne	1	2	3
	Forte	2	3	4

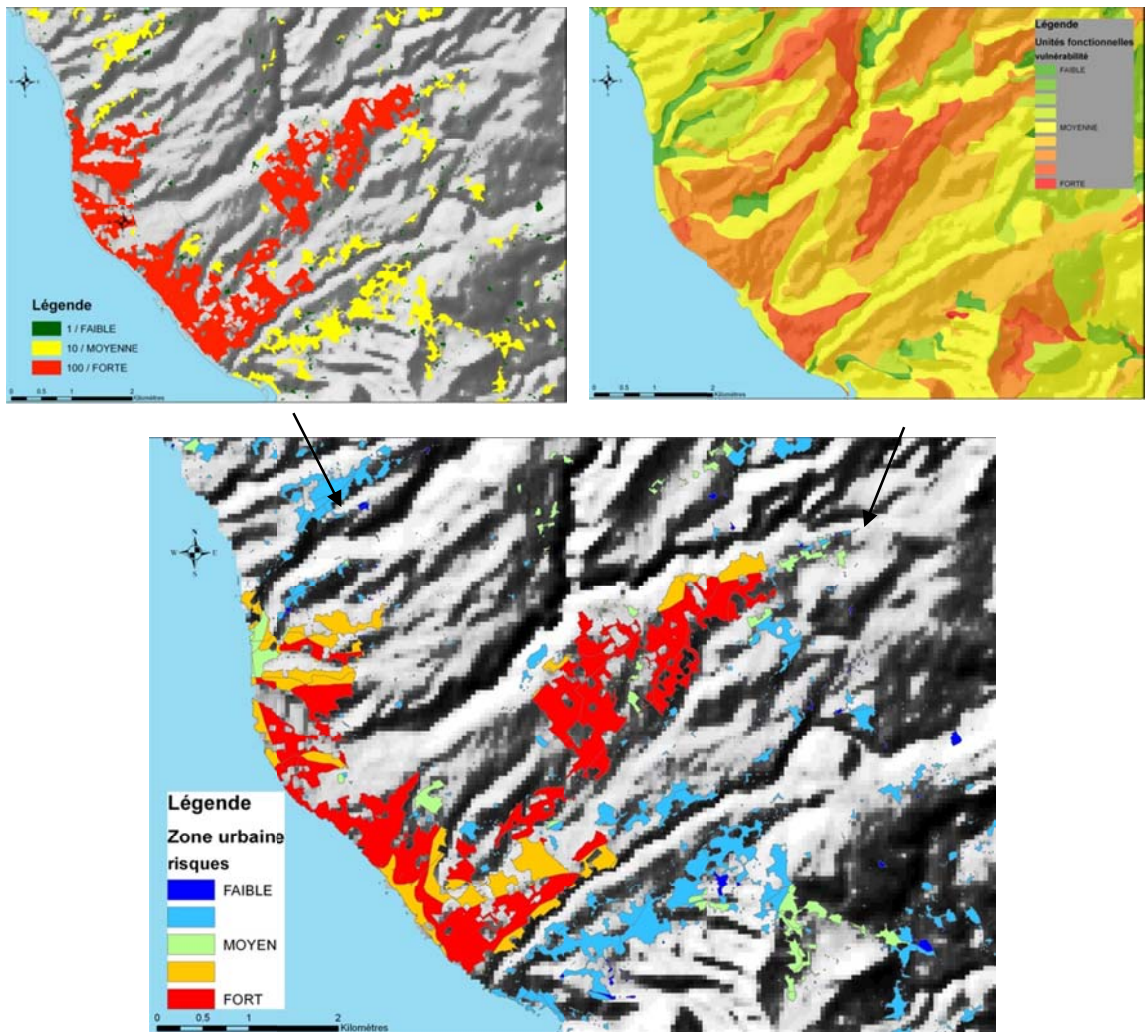


Illustration 63 : les différentes étapes du croisement entre la pression urbaine et la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines

6.2.2. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

Il n'y a pas de pression urbaine pour le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco, donc pas de risque lié à ce type de pression.

6.3. CARTOGRAPHIE DU RISQUE LIE A LA PRESSION AGRICOLE

6.3.1. Méthodologie

Pour rappel, les critères proposés pour la hiérarchisation de la pression agricole sur les BAC sont basés sur les conditions de cultures observés à la Guadeloupe. Ils ont été définis séparément, selon que la pression concerne les nitrates ou les produits

phytosanitaires (§ 5.2.2 et 5.3.2). Une pression très faible se caractérise par la valeur 1, une pression très forte par la valeur 10.

Les cartes de pression ainsi obtenues ont été croisées à la carte de vulnérabilité intrinsèque (chapitre 4) afin d'aboutir, pour chaque BAC, à deux cartes du risque de pollution des eaux souterraines liée à la pression « nitrates » et à la pression « produits phytosanitaires ».

La formule utilisée pour le croisement reste la même que celle utilisée pour les cartes de risque lié à la pression urbaine :

$$0.5 \times \text{Pression} + 0.5 \times \text{Vulnérabilité} = \text{Risque.}$$

Il est présenté au travers d'un exemple dans l'illustration 64.

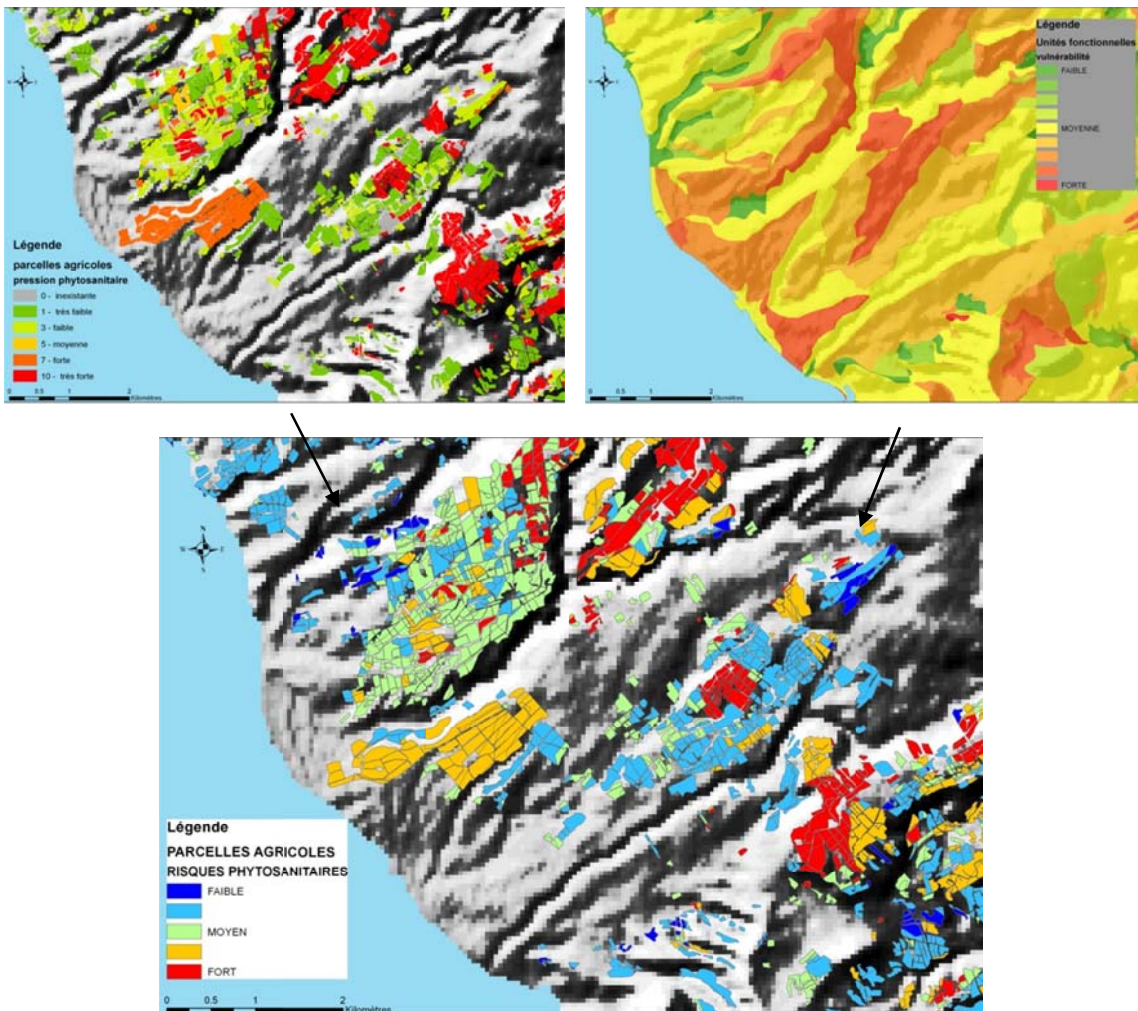


Illustration 64 : les différentes étapes du croisement entre une pression phytosanitaire et la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraine

6.3.2. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

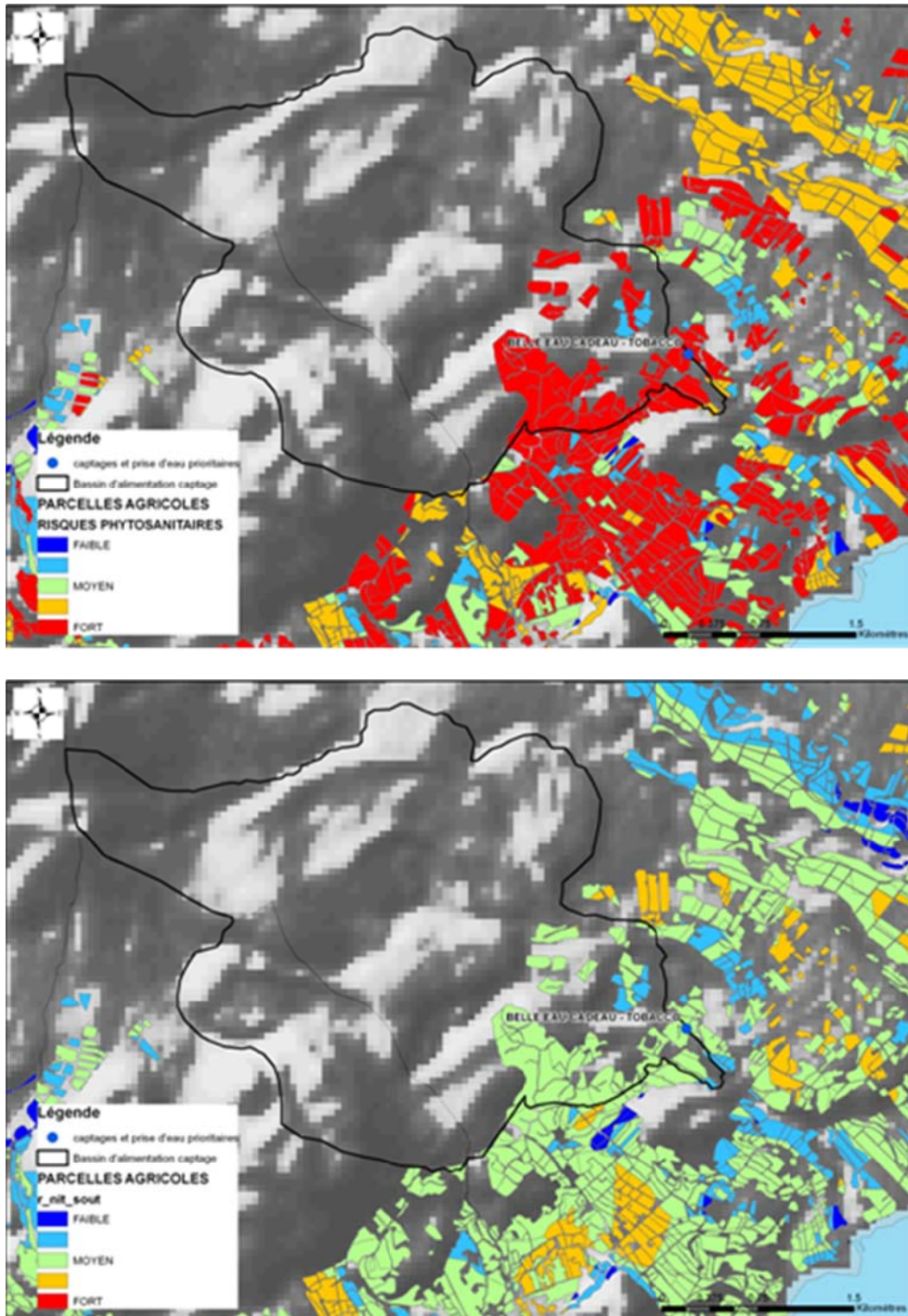


Illustration 65 : Cartes de risques de pollution du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco liées aux pressions « phytosanitaire » et « nitrates »

Le risque phytosanitaire est limité en surface sur le BAC des sources de Belle-eau-Cadeau. Cependant, ce risque qualifié de « fort » de par la nature des cultures (bananes) est situé à proximité des sources. Le risque nitrates est qualifié quant à lui de « moyen » du fait que les bananes sont beaucoup moins consommatrices de nitrates que de produits phytosanitaires.

6.4. CARTOGRAPHIE DU RISQUE LIE A LA PRESSION ROUTIERE

6.4.1. Méthodologie

Pour rappel, la pression totale liée à la route a été calculée à partir de la pression simple et de l'indice de dangerosité en prenant les deux indicateurs à part égale de la manière suivante :

$$\text{Pression totale} = 0.5 * [\text{pression simple}] + 0.5 [\text{indicateur de dangerosité}]$$

La carte de pression ainsi obtenue a été croisée à la carte de vulnérabilité intrinsèque (chapitre 4) afin d'aboutir, pour chaque BAC, à une carte du risque de pollution des eaux souterraines liée à la pression routière.

La formule utilisée pour le croisement reste la même que celle utilisée pour les cartes de risque lié à la pression urbaine :

$$\mathbf{0.5 \times \text{Pression} + 0.5 \times \text{Vulnérabilité} = \text{Risque}}$$

Il est présenté au travers d'un exemple dans l'illustration 66.

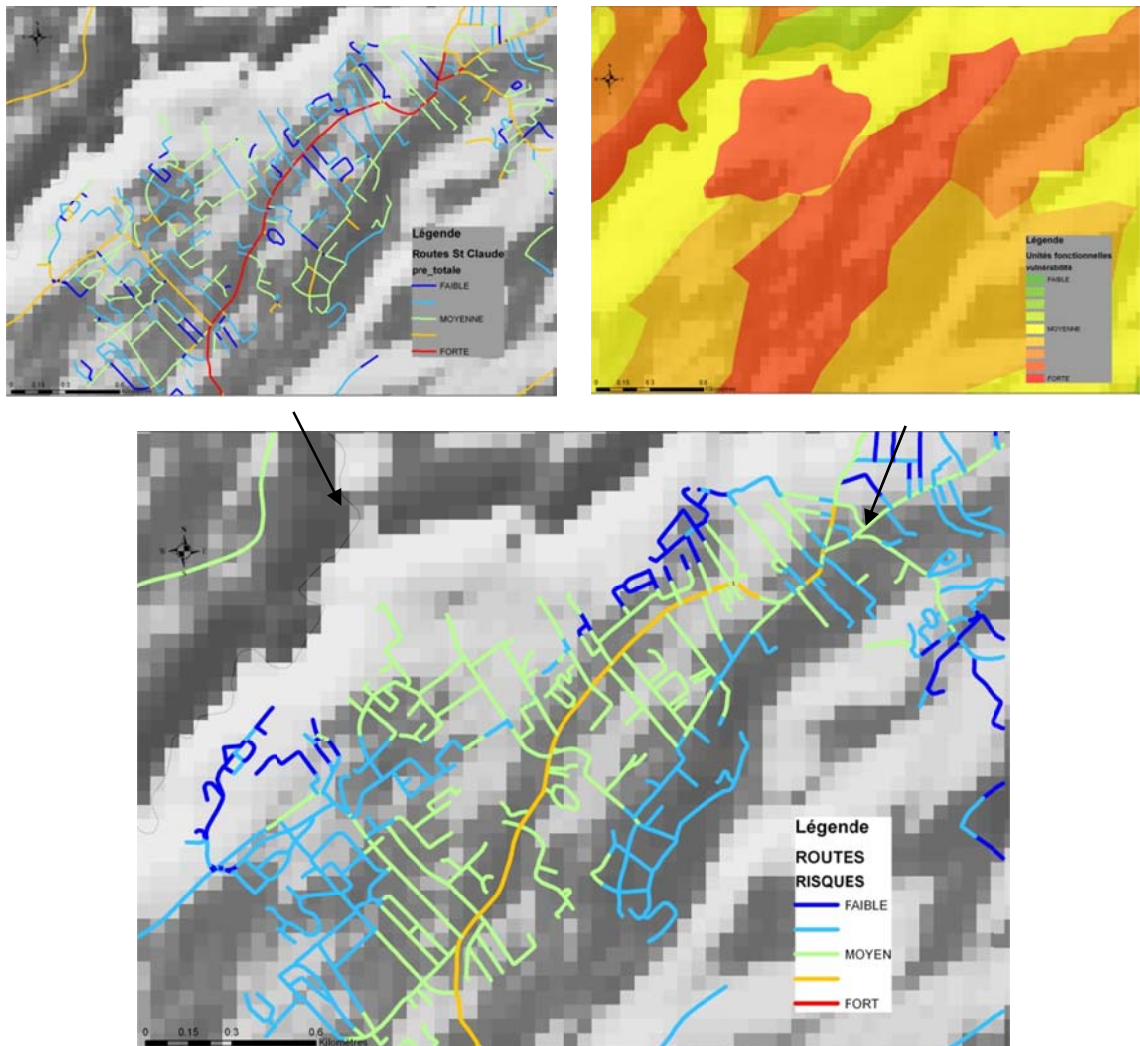


Illustration 66 : les différentes étapes du croisement entre une pression routière et la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraine

6.4.1. Résultats pour le BAC de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

Le risque de pollution lié à la route est qualifié de « moyen » sur le BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco. Il est principalement dû à la présence de la route départementale n°4 qui mène aux chutes du Carbet très fréquentées.

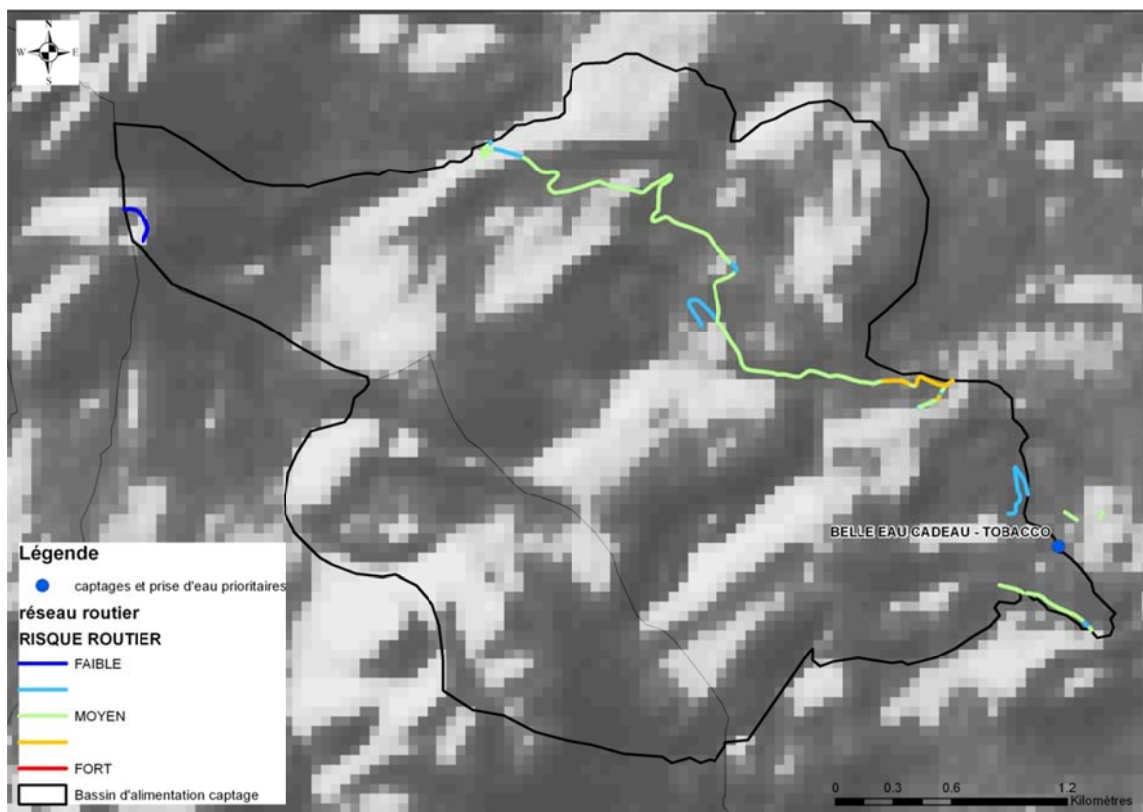


Illustration 67 : carte de risque de pollution du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco lié à la pression « routière »

7. Conclusion

L'étude du bassin d'alimentation des **sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco** a été réalisée en s'inspirant de la méthodologie développée par le BRGM (BRGM/RP-55874-FR) ; il doit être précisé que cette méthode ne prévoit pas de démarche fiable en domaines volcaniques en raison de leur grande variabilité et de leur complexité. Par ailleurs, certaines lacunes de données ont pu être limitantes dans la caractérisation de la vulnérabilité. Cette étude tient également compte des documents réglementaires en vigueur (circulaire du 30 mai 2008 et synthèse du MEEDDM et du MAAP de juin 2010).

Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco sont situées sur le bassin versant de la rivière de Bananier dans la commune de Capesterre-Belle-Eau. Ces **sources captées pour l'AEP** ont fait l'objet d'un dossier de demande d'autorisation de prélèvement au titre de la Loi sur l'Eau et de mise en place de périmètres de protection (Saunier, 2007). La DUP relative aux périmètres de protection est en cours. La présente étude vient compléter ce dispositif de protection contre les pollutions ponctuelles, et servira aux services de l'Etat pour la mise en place d'actions de lutte contre les pollutions diffuses d'origine agricole. La délimitation de l'AAC apparaît plus étendue que celle du PPE.

Les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco produisent en moyenne **8,5 millions de m³/an**, c'est le plus gros captage d'eau souterraine de la Guadeloupe. D'un point de vue qualitatif, ces sources sont marquées par **une contamination importante aux organochlorés (chlordécone et HCH_β) qui a nécessité la mise en place d'une usine de traitement aux charbons actifs** en 2000. Les teneurs en nitrates restent proches de celles caractéristiques d'un milieu naturel (< 4 mg/l).

Des reconnaissances de terrain (identification des formations aquifères / imperméables et mesures physico-chimiques *in situ*) ont permis de proposer **un modèle conceptuel géologique et hydrogéologique** du secteur étudié. Les formations aquifères d'où émergent les sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco sont constituées des coulées d'andésites de la Madeleine fracturées et/ou fissurées. Cet empilement de coulées de lave massive repose sur un soubassement altéré et imperméable constituée par les formations pyroclastiques plus anciennes. Les écoulements se font en direction de l'Est et du Sud-Est. Les conductivités élevées mesurées sur les eaux du secteur indiquent une probable influence d'eau hydrothermale. Sur la base de ce modèle conceptuel, une délimitation du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco a été proposée, la **superficie totale du BAC est de 10,74 km²**.

La vulnérabilité des eaux souterraines est forte à l'aval du BAC juste en amont des sources de Belle-Eau-cadeau et Tabaco. C'est dans cette zone très vulnérable que les pressions agricoles sont les plus fortes en particulier en ce qui concerne les phytosanitaires. Il existe donc un **risque « fort » de contamination aux produits phytosanitaires liés aux cultures de la banane directement en amont des sources**

captées. Les programmes d'action devront s'orienter en conséquent en priorité au niveau de cette zone très sensible. Par ailleurs il n'y a pas de pressions urbaines, ni ponctuelles sur ce BAC, et le risque lié à la pression routière est limitée à la RD4 menant aux chutes du Carbet.

8. Bibliographie

Hydrogéologie

Banton O. et Bangoy L. (1999) – Hydrogéologie, Multiscience environnementale des eaux souterraines.

Benauges S. (1981) - Etude géochimique et isotopique ; et circulation des eaux de sources chaudes, sources froides et rivières aux abords du volcan de la Soufrière – Guadeloupe. Thèse Université de Paris 7

Bézèlques-Courtade S. et Bes-de-Berc S. (2007) – Inventaire et caractérisation des sources thermales de Guadeloupe. Rapport BRGM/RP-55060-FR, 43p., 5 ann.

Bourlier P.Y., Lachassagne P., Desprats J.F., Gilles C. (2005) – Nouveaux éléments sur la structure et le fonctionnement hydrogéologique du plateau basaltique de l'Aubrac (Massif Central, France). Première évaluation des potentialités en eau souterraine, Comptes rendus Geoscience, pp. 663-673

Brenot A., Allier D., Dumon A. (2008) – Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Guadeloupe. Rapport BRGM RP-55709-FR, 102P.

BRGM – Carte géologique de de la Basse-Terre à 1/50 000 (1966), carte géologique du Massif de la Soufrière à 1/20 000 (1986) et leurs notices, Ed. BRGM.

CNRS, ORSTOM (1982) – Atlas des Départements Français d'Outre-Mer, III. La Guadeloupe.

Custodio, E., (1978) - Geohidrologia de terrenos e islas volcanicas. Instituto de hidrologia. Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid, Spain. (Publ. no. 128, 303 pp.)

Custodio, E., (1989) - Groundwater characteristics and problems in volcanic rock terrains. Isotopic Techniques in the Study of the Hydrology of Fractures and Fissured Rocks. IAEA, Vienna, pp. 87–137.

Dagain J. et Paulin Ch. (1985) - Détermination des périmètres de protection des sources de Belle-Eau (commune de Capesterre). Rapport 85 GPE 004.

Decours-Le Maistre C. (2009) – Sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco, Département de la Guadeloupe – commune de Capesterre-Belle-Eau. Délimitation des périmètres de protection. Rapport HA-SIAEAG-0609-04, 33p. 2ann.

Dumon A., Vittecoq B., Allier D., Mougin B., Ladouche B. (2009) – Contribution à l'évaluation de la ressource en eau souterraine de la Basse-Terre - Guadeloupe. BRGM/RP-56821-FR, 127 p., 70 ill., 8 ann.

Foucault A., Raoult JF., Dictionnaire de Géologie

Groupement SAFEGE/ANTEA/SCP/ISL (2001) – Office de l'Eau de Guadeloupe, Schéma Départemental Mixte Eau et Assainissement, volet ressource. Phase 3 : schéma Départemental. 212p. 7ann.

Join J-L., Folio J-L., Robineau B. (2005) - Aquifers and groundwater within active shield volcanoes. Evolution of conceptual models in the Piton de la Fournaise volcano. Journal of Volcanology and Geothermal Research 147 (2005) 187– 201.

Jourdain T, Maurillo .N., Mouron R. (2002) – Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre (Ile de Mayotte). Rapport BRGM RP-52193-FR, 80 p., 17 fig., 8 tab., 5 ann.

MacDonald G.A., Abbott, A., Peterson, F., (1983) -. Volcanoes in the Sea, the Geology of Hawaii. University of Hawaii Press. 517 pp.

Malard A. avec la collaboration de B. Aunay, J.F. Vernoux et V. Mardhel (2009) – Définition d'une méthodologie commune aux études des bassins d'alimentation de captages à Mayotte. Principes de délimitation des bassins et de caractérisation de la vulnérabilité des captages - BRGM/RP-57299-FR, 146 p., 34 ill., 12 tab., 5 eq, 6 ann.

Maréchal J-C., Lachassagne P. (2004) – Réduction de l'effet de serre par séquestration géologique minérale in situ de CO₂ au sein de roches basiques. Synthèse bibliographique et revue des potentialités en France. Rapport final. BRGM RP-53474-FR, 51 p., 17 fig., 7 tab.

Nehlig P., Boivin P., de Goër A., Mergoïl J., Prouteau G., Sustrac G., Thiéblemont D. (2003) – Les volcans du Massif Central. Revue Géologues. Numéro spécial : Massif Central.

Pascaline H. et al. (1980) – Géochimie des roches et eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière de Guadeloupe. Thèse Centre Universitaire Antilles-Guyane, Université Paris-Sud. 157 p. dont 3 ann.

Pascaline H. et al. (1982) – Hydrochimie et circulation des eaux de sources chaudes du Massif de la Soufrière, Guadeloupe. Bull. Mus. natn. Hist. Nat., Paris, 4^{ème} sér., 4, 1982, section C, N° 3-4 : p. 137-155

Paulin Ch. et Dagain J. (1985) – Détermination des périmètres de protection de la source de Tabaco (commune de Capesterre-Belle-Eau). Rapport 85 GPE 036.

Peterson F.L. (1972) - Water development on tropical volcanic islands, type example: Hawaii. Ground Water 5, 18– 23.

Petit V. et al (1992) – Guadeloupe – Basse-Terre – Recherche d'eau dans les aquifères de moyenne altitude. Rapport R 34816 ANT 4S 92. 33p., 3 ann.

Roux JC. (2006) - Aquifères et Eaux souterraines en France, Chap. XIII.

Saunier et Associés (2007) – Sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco - Dossier d'autorisations de prélèvement, distribution et de DUP des périmètres de protection. 11F971040011 – Rapport pour avis V2. 132p. + 26 annexes et **avis de l'hydrogéologue agréé (2009)** – C.Decours / HA-SIAEAG-0609-04.

Vaudour K., Aunay B. (2008) – Modalités de captage des eaux souterraines à La Réunion. Analyse critique de l'existant (techniques, coûts, opérateurs) - BRGM/RP-56787-FR, 87 p., 44 ill., 5 ann.

Vilmen F., Gourdol L., Bézèlques S., Comte J.P. (2003) – Synthèse des connaissances hydrogéologiques en Guadeloupe. BRGM-DIREN – R51785

Samper A. (2007) – Etude géochronologique, aspects géomorphologiques et géochimiques du volcanisme de l'île de Basse-Terre (Guadeloupe), et datation des structures d'effondrement de flanc majeures de l'arc des Petites Antilles – Thèse, Université Paris IX UFR Scientifique d'Orsay. 165 p. +Ann.

Westercamp D. et Tazieff H. (1980) – Martinique, Guadeloupe, Saint-Martin, La Désirade ; Guides géologiques régionaux. 135p.

Qualité

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.

Chery L., (2006) – Qualité naturelle des eaux souterraines, Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français. Guide technique. BRGM édition. 238p + CD Rom.

Circulaire ministérielle du 30 mai 2008 de mise en application du décret n°2007-882, relatif à certaines zones soumises à contraintes environnementales.

Dumon A., (2009) – Mise en œuvre du contrôle de surveillance de l'état chimique des masses d'eau souterraine de la Guadeloupe au titre de la DCE – Année 2008. BRGM/RP-56820-FR, 59 p., 32 ill., 1 ann.

Dumon A., (2010) – Surveillance de l'état chimique des masses d'eau souterraine de la Guadeloupe au titre de la DCE – Année 2009. BRGM/RP-58184-FR, 43 p., 17 ill., 2 ann.

Dumon A., (2011) – Surveillance de l'état chimique des masses d'eau souterraine de la Guadeloupe au titre de la DCE – Année 2010. BRGM/RP-59675-FR, 43 p., 22 ill., 1 ann.

Dumon A. et Roques C. (2009) – Bilan de la contamination par les produits phytosanitaires des eaux superficielles et souterraines de Guadeloupe : données de 1996 à 2008. Rapport BRGM RP-57756-FR, 67 p., 6 ann.

Vulnérabilité

Aunay B., Brugeron A., Vaudour K., Wuilleumier A. (2011) - Détermination de la vulnérabilité, des pressions et des risques de pollution sur cinq Bassins d'Alimentation de Captage prioritaires à l'île de la Réunion. Rapport BRGM RP-59057-FR.

Mardhel.V, Gravier.A, Koch Mathian.J.Y, Nowak.C, Terreyre.JL, Raguet.M, Garnier.C. 2006 Cartographie de la vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du Bassin Seine-Normandie. Application aux sites BASOL., in AIH - Gestion des grands aquifères - Dijon - France - 30/05-01/06/2006.

Pinson S, Vittecoq B, Allier D, Mardhel V. (2008) - Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : synthèse cartographique. Rapport BRGM/RP-56283-FR.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique. Rapport BRGM/RP-55874-FR. 75 pages, 14 illustrations.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Application du guide méthodologique sur des bassins test. Rapport BRGM/RP-55875-FR. 172 pages, 13 illustrations, 7 annexes.

Vittecoq B., Allier D. et Mardhel V. (2009) - Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères de Martinique. Géologues n°163, décembre 2009, ISSN 0016.7916, Pages 76-82.

Wuilleumier A., Vernoux JF (2010) - Délimitation d'une AAC et cartographie de la vulnérabilité en contexte volcanique, note interne BRGM/ONEMA, 28 p.

Annexe 1

Mesures physico-chimiques *in situ* réalisées sur le bassin versant des sources de Belle-eau- Cadeau et Tabaco les 04, 05, 19 et 20/04/2011 et le 06/05/2011

Point GPS	Intitulé point	X (WGS84/UTM20N)	Y (WGS84/UTM20N)	Altitude (m NGG)	Date mesures	Conductivité (μ S/cm)	Température (°C)	Formation Géologique / Contexte d'émergence
321	Fossé droit amont pont ravine Tonnelle	646 212	1 773 358	544	04/04/2011	188,5	22,6	Emergence dans laves altérées
322	Fossé gauche amont pont ravine Tonnelle	646 036	1 773 312	555	04/04/2011	123,9	23	Emergence dans laves altérées
326	Rivière Grosse Corde	645 646	1 773 575	612	04/04/2011	1241	26,8	Laves massives (andésites)
326	Affluent RG rivière Grosse Corde	645 646	1 773 575	612	04/04/2011	44,9	20,4	Perte et émergence dans coulées massives d'andésites
327	Rivière Grosse Corde amont confluence	645 613	1 773 528	576	04/04/2011	1436	28,5	Lahars RD et dépôts oxydes de fer dans lit rivière
328	Rivière Grosse Corde	645 476	1 773 511	667	04/04/2011	1526	33,9	
329	Bassin rivière Grosse Corde en aval chute RG	645 380	1 773 550	637	04/04/2011	1478	35,5	Lahars RG rivière
330	Bassin chute RG rivière Grosse Corde	645 450	1 773 436	594	04/04/2011	299	23,1	Laves massives (andésites)
331	Bassin rivière Grosse Corde en amont chute RG	645 424	1 773 402	635	04/04/2011	1618	39,1	Emergences chaudes
332	Perte amont rivière Grosse Corde	645 423	1 773 404	639	04/04/2011	NM	NM	Perte dans scories du lit rivière
332	Chute sèche avec bassin eau de pluie ?	645 423	1 773 404	639	04/04/2011	37,1	20,7	Laves massives (andésites)
327	Ravine sèche RD rivière Grosse Corde	645 613	1 773 528	576	04/04/2011	NM	NM	Laves massives (andésites)
333	Ravine Tonnelle amont pont	646 264	1 773 353	555	04/04/2011	28,6	21,7	Laves altérées
334	Petite cascade dans ravine Tonnelle	646 289	1 773 312	553	04/04/2011	28,9	21,1	Laves scoriacées altérées
335	Zone humide	646 275	1 773 275	567	04/04/2011	NM	NM	Fin du plateau / début zone humide
337	Fossé droit aval pont ravine Tonnelle	646 308	1 773 350	550	04/04/2011	90	25,3	Emergence dans laves altérées
338	Bassin aval pont ravine Tonnelle	646 243	1 773 392	563	04/04/2011	29	21,2	Laves scoriacées altérées
340	Ravine Tonnelle aval pont	646 383	1 773 467	565	04/04/2011	29,4	21,2	Laves scoriacées moins altérées / plus massives (cœur de coulée)
342	Ravine Tonnelle amont saut	646 593	1 773 457	513	04/04/2011	32,7	21,6	Saut dans laves massives fracturées (levées)
346	Ruissellement droite route	646 558	1 773 315	541	04/04/2011	60,5	21,5	Laves scoriacées
348	Source Tabaco 2 (1159zz0017) - trop plein	648 775	1 771 302	171	05/04/2011	97,8	22,9	Source captée aménagée
349	Source Tabaco 1 (1159zz0015) - trop plein	648 654	1 771 423	164	05/04/2011	99,3	22,7	Source captée aménagée dans blocs andésites massives

Point GPS	Intitulé point	X (WGS84/UTM20N)	Y (WGS84/UTM20N)	Altitude (m NGG)	Date mesures	Conductivité (μ S/cm)	Température (°C)	Formation Géologique / Contexte d'émergence
352	Ravine aval source Tabaco 1 (1159zz0015)	648 670	1 771 413	153	05/04/2011	94,1	22,6	Emergences RD dans blocs andésites massives
353	Emergences RD ravine Tabaco 1 (1159zz0015)	648 720	1 771 397	190	05/04/2011	93,8	22,7	Contact laves massives / hyaloclastites altérées
355	Pont sur ravine Tabaco 1 (1159zz0015)	648 767	1 771 380	158	05/04/2011	95,4	22,7	
356	Source RG canal affluent RD ravine Tabaco 1 (1159zz0015)	648 750	1 771 348	166	05/04/2011	95,8	22,7	Blocs andésites massives
358	Petite cascade dans ravine amont source 1159zz0025	648 924	1 771 130	133	05/04/2011	101,4	23	Laves massives (andésites)
360	Ravine BEC affluent RD rivière Bananier	648 922	1 771 113	105	05/04/2011	107,1	22,8	
360	Rivière Bananier amont confluence ravine BEC	648 922	1 771 113	105	05/04/2011	262	24,3	
360	Rivière Bananier aval confluence ravine BEC	648 922	1 771 113	105	05/04/2011	215	24,1	Usine hydroélectrique Bananier aval
364	Source BEC 3 (1159zz0055)	648 404	1 771 949	231	19/04/2011	154	23,5	Source captée aménagée
365	Source BEC 2 (1159zz0054)	648 415	1 771 990	231	19/04/2011	199,2	24,2	Source captée aménagée
366	Source BEC 1 (1159zz0053)	648 423	1 772 013	222	19/04/2011	208	24,3	Source captée aménagée
368	Emergences diffuses droite route entre BEC 1 et BEC 2	648 384	1 771 958	225	19/04/2011	176,4	23,9	Laves massives
369	Source BEC 4 (1159zz0056)	648 428	1 771 730	213	19/04/2011	133,5	23	Source captée aménagée
370	Emergences diffuses sur route amont BEC 4	648 414	1 771 709	204	19/04/2011	128,6	22,9	Laves massives
371	Source BEC 5 (1159zz0013) - Emergence aval collecteur bétonné	648 407	1 771 673	212	19/04/2011	121,7	22,9	Source aménagée captée
372	Source BEC 6 (1159zz0057)	648 446	1 771 605	252	19/04/2011	105,3	22,5	Source aménagée captée
373	Source BEC 7 (1159zz0058)	648 444	1 771 607	190	19/04/2011	99,8	22,5	Source aménagée captée
374	Regard mélange 7 sources BEC (derrière usine traitement)	648 493	1 771 741	189	19/04/2011	132,1	23,1	
374	Regard mélange 7 sources BEC et 2 sources Tabaco	648 493	1 771 741	189	19/04/2011	124,6	23	
376	Canal Dongo	648 770	1 772 292	252	19/04/2011	335	25,5	
378	Rivière Bananier aval pont	648 033	1 772 324	326	19/04/2011	338	24,7	Laves vacuolaires fraîches
379	Rivière Bananier amont pont	647 991	1 772 289	310	19/04/2011	338	24,7	Laves vacuolaires fraîches

Point GPS	Intitulé point	X (WGS84/UTM20N)	Y (WGS84/UTM20N)	Altitude (m NGG)	Date mesures	Conductivité (μ S/cm)	Température (°C)	Formation Géologique / Contexte d'émergence
380	Rivière Bananier aval prise hydroélectrique	647 886	1 772 216	334	19/04/2011	339	24,7	
381	Rejets RD rivière Bananier niveau prise hydroélectrique	647 819	1 772 209	315	19/04/2011	341	24,6	
382	Rivière Bananier amont rejets	647 810	1 772 205	320	19/04/2011	347	24,8	
382	Arrivée d'eau RG rivière Bananier	647 810	1 772 205	320	19/04/2011	336	27,2	
383	Rivière Bananier amont prise hydroélectrique	647 709	1 772 172	322	19/04/2011	341	24,6	
385	Ravine sèche affluent RG rivière Bananier	647 368	1 772 186	325	19/04/2011	344	24,5	Perte en amont point 385
385	Affluent RD ravine sèche	647 368	1 772 186	325	19/04/2011	344	24,6	
385	Rivière Bananier amont seuil	647 368	1 772 186	325	19/04/2011	346	24,6	
385	Rivière Bananier aval seuil	647 368	1 772 186	325	19/04/2011	345	24,6	
387	Sources RG rivière Bananier	647 367	1 772 233	339	19/04/2011	325	24,5	Emergences diffuses dans prairie
387	Rivière Bananier amont sources	647 367	1 772 233	339	19/04/2011	349	24,7	
388	Ravine Séguy	647 375	1 772 151	336	19/04/2011	304	24,4	Perte amont transition laves massives (basaltes) et laves massives (andésites)
390	Grand Etang - ravine sèche - eau de pluie dans vasque	646 566	1 772 759	454	20/04/2011	34,2	20,3	Formation altérée dans lit ravine
395	Ravine sèche	646 552	1 772 674	418	20/04/2011	NM	NM	
396	Grand Etang - observatoire oiseaux	646 567	1 772 607	410	20/04/2011	406	25,5	
397	Rivière Bananier amont Grand Etang	646 397	1 772 427	407	20/04/2011	470	24,9	
398	Affluent RG rivière Bananier	646 409	1 772 460	462	20/04/2011	466	24,9	
398	Rivière Bananier amont confluence affluent RG	646 409	1 772 460	462	20/04/2011	473	25,1	
400	Ravine sèche (point 395) amont sur trace des Etangs	646 480	1 772 668	443	20/04/2011	NM	NM	
401	Ravine sèche amont trace des Etangs - eau de pluie dans vasque	646 308	1 772 750	401	20/04/2011	31,3	20,3	
406	Affluent RG rivière Bananier amont (trace des Etangs)	646 177	1 772 374	538	20/04/2011	NM	NM	Perte dans blocs laves massives
407	Résurgence (affluent RG Bananier amont)	646 226	1 772 351	516	20/04/2011	185,6	21,8	Résurgence dans laves massives

Point GPS	Intitulé point	X (WGS84/UTM20N)	Y (WGS84/UTM20N)	Altitude (m NGG)	Date mesures	Conductivité (μ S/cm)	Température (°C)	Formation Géologique / Contexte d'émergence
408	Ravine amont Bananier - ruissellement	646 174	1 772 070	590	20/04/2011	39,9	21,1	
410	Ravine affluent RD rivière Bananier	646 424	1 772 400	453	20/04/2011	230	22,1	
411	Rivière après Bananier	646 447	1 772 395	428	20/04/2011	226	22,4	
412	Grand Etang - amont résurgence rivière Bananier	647 023	1 772 314	455	20/04/2011	363	25,3	
413	Rivière Bananier (cascade aval exutoire Grand Etang)	647 041	1 772 300	394	20/04/2011	357	25	Blocs laves massives
414	Grand Etang Nord - côté sortie parking	646 766	1 772 575	393	20/04/2011	365	26	
451	Ravine Tonnelle amont étang Zombi	647 154	1 772 907	430	06/05/2011	29,2	21,3	Débit plus important que le 05/04/2011 / zone humide à palétuviers
452	Etang Zombi aval	647 299	1 772 828	461	06/05/2011	32,6	22,5	Laves scoriacées
453	Perte amont ravine Sèche	647 330	1 772 797	448	06/05/2011	NM	NM	Perte dans blocs de laves massives
454	Pont aval ravine Sèche	647461	1 772 364	373	06/05/2011	47,1	22,9	Emergences contact laves massives / laves scoriacées
454	Vasque aval pont	647461	1 772 364	373	06/05/2011	44,3	22,6	
456	Ravine Roche	648 942	1 770 835	177	06/05/2011	94,6	23,4	Dôme de laves massives / eau turbide blanchâtre
457	Ravine Tanis aval (sèche)	648 730	1 771 007	203	06/05/2011	NM	NM	Blocs de laves et argiles rouges d'alération, hyaloclastites dans lit ravine
459	Ravine Tanis amont (sèche)	647 663	1 770 885	346	06/05/2011	NM	NM	Blocs de laves massives dans bananeraie
541	Ravine Boudoute amont étang As de Pique	645 142	1 772 121	761	18/05/2011	24,3	20,7	Argiles altération orange (impermeable)
541	Etang As de Pique	645 142	1 772 121	761	18/05/2011	22,8	22,9	Argiles altération orange (impermeable)
542	Exutoire étang As de Pique	645 294	1 772 017	786	18/05/2011	24,4	23,1	Perte dans laves massives
542	Ravine aval étang As de Pique - sèche	645 294	1 772 017	786	18/05/2011	NM	NM	

Annexe 2

Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SOLIDARITÉS

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

NOR : SANP0720201A

Le ministre de la santé et des solidarités,

Vu la directive 75/440/CEE du Conseil du 16 juin 1975 modifiée concernant la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire dans les Etats membres ;

Vu la directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine ;

Vu le code de la santé publique, notamment ses articles R. 1321-1 à R. 1321-63 ;

Vu l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments en date du 30 mars 2006,

Arrête :

Art. 1^{er}. – Les limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées, sont définies en annexe I du présent arrêté.

Art. 2. – Les limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées, fixées pour l'application des dispositions prévues aux articles R. 1321-7 (II), R. 1321-17 et R. 1321-42 sont définies en annexe II du présent arrêté.

Art. 3. – Les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées, fixées pour l'application des dispositions prévues aux articles R. 1321-38 à R. 1321-41 sont définies en annexe III du présent arrêté.

Art. 4. – I. – Les paramètres pour lesquels l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments mentionné à l'article R. 1321-7 (II) est requis en cas de non-respect des limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine sont définis à l'annexe II du présent arrêté.

II. – Les paramètres pour lesquels le plan de gestion des ressources en eau prévu à l'article R. 1321-42 est requis sont définis à l'annexe II du présent arrêté.

Art. 5. – Le directeur général de la santé est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 11 janvier 2007.

Pour le ministre et par délégation :
*La sous-directrice de la gestion
des risques des milieux,*
J. BOUDOT

ANNEXE I

LIMITES ET RÉFÉRENCES DE QUALITÉ DES EAUX
DESTINÉES À LA CONSOMMATION HUMAINE, À L'EXCLUSION DES EAUX CONDITIONNÉES

I. – Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

A. – Paramètres microbiologiques

PARAMÈTRES	LIMITES DE QUALITÉ	UNITÉ
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>).....	0	/100 mL
Entérocoques.....	0	/100 mL

B. – Paramètres chimiques

PARAMÈTRES	LIMITES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Acrylamide.	0,10	µg/L	La limite de qualité se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.
Antimoine.	5,0	µg/L	
Arsenic.	10	µg/L	
Baryum.	0,70	mg/L	
Benzène.	1,0	µg/L	
Benzo[a]pyrène.	0,010	µg/L	
Bore.	1,0	mg/L	
Bromates.	10	µg/L	La valeur la plus faible possible inférieure à cette limite doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection. La limite de qualité est fixée à 25 µg/L jusqu'au 25 décembre 2008. Toutes les mesures appropriées doivent être prises pour réduire le plus possible la concentration de bromates dans les eaux destinées à la consommation humaine, au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 10 µg/L.
Cadmium.	5,0	µg/L	
Chlorure de vinyle.	0,50	µg/L	La limite de qualité se réfère également à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.
Chrome.	50	µg/L	
Cuivre.	2,0	mg/L	
Cyanures totaux.	50	µg/L	
1,2-dichloroéthane.	3,0	µg/L	
Epichlorhydrine.	0,10	µg/L	La limite de qualité se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.

PARAMÈTRES	LIMITES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Fluorures.	1,50	mg/L	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).	0,10	µg/L	Pour la somme des composés suivants: benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[ghi]pérylène, indéno[1,2,3-cd]pyrène.
Mercure.	1,0	µg/L	
Total microcystines.	1,0	µg/L	Par « total microcystines », on entend la somme de toutes les microcystines détectées et quantifiées.
Nickel.	20	µg/L	
Nitrates (NO ₃).	50	mg/L	La somme de la concentration en nitrates divisée par 50 et de celle en nitrites divisée par 3 doit rester inférieure à 1.
Nitrites (NO ₂).	0,50	mg/L	En sortie des installations de traitement, la concentration en nitrites doit être inférieure ou égale à 0,10 mg/L.
Pesticides (par substance individuelle).	0,10	µg/L	Par « pesticides », on entend :
Aldrine, dieldrine, heptachlore, heptachlorépoxyde (par substance individuelle).	0,03	µg/L	<ul style="list-style-type: none"> - les insecticides organiques ; - les herbicides organiques ; - les fongicides organiques ; - les nématoctides organiques ; - les acaricides organiques ; - les algicides organiques ; - les rodenticides organiques ; - les produits antimoisissures organiques ; - les produits apparentés (notamment les régulateurs de croissance) et leurs métabolites, produits de dégradation et de réaction pertinents.
Total pesticides.	0,50	µg/L	Par « total pesticides », on entend la somme de tous les pesticides individualisés détectés et quantifiés.
Plomb.	10	µg/L	La limite de qualité est fixée à 25 µg/L jusqu'au 25 décembre 2013. Les mesures appropriées pour réduire progressivement la concentration en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 10 µg/L sont précisées aux articles R. 1321-55 et R. 1321-49 (arrêté d'application). Lors de la mise en œuvre des mesures destinées à atteindre cette valeur, la priorité est donnée aux cas où les concentrations en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine sont les plus élevées.
Sélénium.	10	µg/L	
Tétrachloroéthylène et trichloroéthylène.	10	µg/L	Somme des concentrations des paramètres spécifiés.
Total trihalométhanes (THM).	100	µg/L	La valeur la plus faible possible inférieure à cette valeur doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection. Par « total trihalométhanes », on entend la somme de: chloroforme, bromoforme, dibromochlorométhane et bromodichlorométhane. La limite de qualité est fixée à 150 µg/L jusqu'au 25 décembre 2008. Toutes les mesures appropriées doivent être prises pour réduire le plus possible la concentration de THM dans les eaux destinées à la consommation humaine, au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité.

PARAMÈTRES	LIMITES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Turbidité.	1,0	NFU	La limite de qualité est applicable au point de mise en distribution, pour les eaux visées à l'article R. 1321-37 et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2,0 NFU. En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de reminéralisation, la limite de qualité s'applique hors augmentation éventuelle de turbidité due au traitement. Pour les installations qui sont d'un débit inférieur à 1 000 m ³ /j ou qui desservent des unités de distribution de moins de 5 000 habitants, la limite de qualité est fixée à 2,0 NFU jusqu'au 25 décembre 2008. Toutes les mesures appropriées doivent être prises pour réduire le plus possible la turbidité, au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 1,0 NFU.

II. – Références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

A. – Paramètres microbiologiques

PARAMÈTRES	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ	UNITÉ	NOTES
Bactéries coliformes.	0	/100 mL	
Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores.	0	/100 mL	Ce paramètre doit être mesuré lorsque l'eau est d'origine superficielle ou influencée par une eau d'origine superficielle. En cas de non-respect de cette valeur, une enquête doit être menée sur la distribution d'eau pour s'assurer qu'il n'y a aucun danger potentiel pour la santé humaine résultant de la présence de micro-organismes pathogènes, par exemple <i>Cryptosporidium</i> .
Numération de germes aérobies revivifiables à 22°C et à 37°C.			Variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle.

B. – Paramètres chimiques et organoleptiques

PARAMÈTRES	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Aluminium total.	200	µg/L	A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude pour lesquelles la valeur de 500 µg/L (Al) ne doit pas être dépassée.
Ammonium (NH ₄ ⁺).	0,10	mg/L	S'il est démontré que l'ammonium a une origine naturelle, la valeur à respecter est de 0,50 mg/L pour les eaux souterraines.
Carbone organique total (COT).	2,0 et aucun changement anormal	mg/L	
Oxydabilité au permanganate de potassium mesurée après 10 minutes en milieu acide.	5,0	mg/L O ₂	
Chlore libre et total.			Absence d'odeur ou de saveur désagréable et pas de changement anormal.
Chlorites.	0,20	mg/L	Sans compromettre la désinfection, la valeur la plus faible possible doit être visée.
Chlorures.	250	mg/L	Les eaux ne doivent pas être corrosives.
Conductivité.	≥ 180 et ≤ 1 000 ou ≥ 200 et ≤ 1 100	µS/cm à 20°C µS/cm à 25°C	Les eaux ne doivent pas être corrosives.

PARAMÈTRES	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Couleur.	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal notamment une couleur inférieure ou égale à 15	mg/L (Pt)	
Cuivre.	1,0	mg/L	
Equilibre calcocarbonique.	Les eaux doivent être à l'équilibre calcocarbonique ou légèrement incrustantes		
Fer total.	200	µg/L	
Manganèse.	50	µg/L	
Odeur.	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal, notamment pas d'odeur détectée pour un taux de dilution de 3 à 25 °C		
pH (concentration en ions hydrogène).	≥ 6,5 et ≤ 9	unités pH	Les eaux ne doivent pas être agressives.
Saveur.	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal, notamment pas de saveur détectée pour un taux de dilution de 3 à 25 °C		
Sodium.	200	mg/L	
Sulfates.	250	mg/L	Les eaux ne doivent pas être corrosives.
Température.	25	°C	A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude. Cette valeur ne s'applique pas dans les départements d'outre-mer.
Turbidité.	0,5	NFU	La référence de qualité est applicable au point de mise en distribution, pour les eaux visées à l'article R. 1321-37 et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2,0 NFU. En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de reminéralisation, la référence de qualité s'applique hors augmentation éventuelle de turbidité due au traitement.
	2	NFU	La référence de qualité s'applique aux robinets normalement utilisés pour la consommation humaine.

C. – Paramètres indicateurs de radioactivité

PARAMÈTRES	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Activité alpha globale.			En cas de valeur supérieure à 0,10 Bq/L, il est procédé à l'analyse des radionucléides spécifiques définis dans l'arrêté mentionné à l'article R. 1321-20.
Activité bêta globale résiduelle.			En cas de valeur supérieure à 1,0 Bq/L, il est procédé à l'analyse des radionucléides spécifiques définis dans l'arrêté mentionné à l'article R. 1321-20.

PARAMÈTRES	REFERENCES DE QUALITE	UNITES	NOTES
Dose totale indicative (DTI).	0,10	mSv/an	Le calcul de la DTI est effectué selon les modalités définies à l'article R. 1321-20.
Tritium.	100	Bq/L	La présence de concentrations élevées de tritium dans l'eau peut être le témoin de la présence d'autres radionucléides artificiels. En cas de dépassement de la référence de qualité, il est procédé à l'analyse des radionucléides spécifiques définis dans l'arrêté mentionné à l'article R. 1321-20.

ANNEXE II

LIMITES DE QUALITÉ DES EAUX BRUTES DE TOUTE ORIGINE UTILISÉES POUR LA PRODUCTION D'EAU DESTINÉE À LA CONSOMMATION HUMAINE, À L'EXCLUSION DES EAUX DE SOURCE CONDITIONNÉES, FIXÉES POUR L'APPLICATION DES DISPOSITIONS PRÉVUES AUX ARTICLES R. 1321-7 (II), R. 1321-17 ET R. 1321-42

GROUPES DE PARAMÈTRES	PARAMÈTRES	LIMITES de qualité	UNITÉS
Paramètres organoleptiques.	Couleur (Pt) (1).	200	mg/L
Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle des eaux.	Chlorures (Cl ⁻) (1).	200	mg/L
	Sodium (Na ⁺) (1).	200	mg/L
	Sulfates (SO ₄ ²⁻) (1).	250	mg/L
	Taux de saturation en oxygène dissous pour les eaux superficielles (O ₂) (1).	< 30	%
	Température (1) (2).	25	°C
Paramètres concernant les substances indésirables.	Agents de surface réagissant au bleu de méthylène (lauryl-sulfate de sodium).	0,50	mg/L
	Ammonium (NH ₄ ⁺).	4,0	mg/L
	Baryum (Ba) pour les eaux superficielles.	1,0	mg/L
	Carbone organique total (COT) (1) (3).	10	mg/L
	Hydrocarbures dissous ou émulsionnés.	1,0	mg/L
	Nitrates pour les eaux superficielles (NO ₃ ⁻).	50	mg/L
	Nitrates pour les autres eaux (NO ₃ ⁻).	100	mg/L
	Phénols (indice phénol) (C ₆ H ₅ OH).	0,10	mg/L
	Zinc (Zn).	5,0	mg/L
Paramètres concernant les substances toxiques.	Arsenic (As).	100	µg/L
	Cadmium (Cd).	5,0	µg/L
	Chrome total (Cr).	50	µg/L
	Cyanures (CN ⁻).	50	µg/L
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP): Somme des composés suivants: fluoranthène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]pérylène et indéno[1,2,3-cd]pyrène.	1,0	µg/L

GROUPES DE PARAMÈTRES	PARAMÈTRES	LIMITES de qualité	UNITÉS
	Mercure (Hg).	1,0	µg/L
	Plomb (Pb)	50	µg/L
	Sélénium (Se).	10	µg/L
Pesticides.	Par substances individuelles, y compris les métabolites.	2,0	µg/L
	Total.	5,0	µg/L
Paramètres microbiologiques.	Entérocoques.	10 000	/100 mL
	<i>Escherichia coli</i> .	20 000	/100 mL

(1) L'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments mentionné à l'article R. 1321-7 (II) n'est pas requis pour les paramètres notés (1). Toutefois, l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments est sollicité lorsque la ressource en eau utilisée est de l'eau de mer.
(2) La limite de qualité pour le paramètre température ne s'applique pas dans les départements d'outre-mer.
(3) Le plan de gestion des ressources en eau prévu à l'article R. 1321-42 n'est pas requis pour les paramètres notés (3).

ANNEXE III

LIMITES DE QUALITÉ DES EAUX DOUCES SUPERFICIELLES UTILISÉES POUR LA PRODUCTION D'EAU DESTINÉE À LA CONSOMMATION HUMAINE, À L'EXCLUSION DES EAUX DE SOURCE CONDITIONNÉES. FIXÉES POUR L'APPLICATION DES DISPOSITIONS PRÉVUES AUX ARTICLES R. 1321-38 À R. 1321-41

Les eaux doivent respecter des valeurs inférieures ou égales aux limites ou être comprises dans les intervalles figurant dans le tableau suivant sauf pour le taux de saturation en oxygène dissous (G : valeur guide ; I : valeur limite impérative).

GROUPES de paramètres	PARAMÈTRES	GROUPE						UNITÉS
		A1		A2		A3		
		G	I	G	I	G	I	
Paramètres organoleptiques.	Couleur (Pt).	10	20	50	100	50	200	mg/L
	Odeur (facteur de dilution à 25 °C).	3		10		20		
Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle des eaux.	Chlorures (Cl ⁻).	200		200		200		mg/L
	Conductivité.	1 000 ou 1 100		1 000 ou 1 100		1 000 ou 1 100		µS/cm à 20 °C µS/cm à 25 °C
	Demande biochimique en oxygène (DBO ₅) à 20 °C sans nitrification (O ₂).	< 3		< 5		< 7		mg/L
	Demande chimique en oxygène (DCO) (O ₂).					30		mg/L
	Matières en suspension.	25						mg/L
	pH.	6,5-8,5		5,5-9		5,5-9		unités pH
	Sulfates (SO ₄ ²⁻).	150	250	150	250	150	250	mg/L

GROUPES de paramètres	PARAMÈTRES	GROUPE						UNITÉS
		A1		A2		A3		
		G	I	G	I	G	I	
	Taux de saturation en oxygène dissous (O ₂).	> 70		> 50		> 30		%
	Température.	22	25	22	25	22	25	°C
Paramètres concernant les substances indésirables.	Agents de surface réagissant au bleu de méthylène (lauryl-sulfate de sodium).	0,20		0,20		0,50		mg/L
	Ammonium (NH ₄ ⁺).	0,05		1	1,5	2	4	mg/L
	Azote Kjeldhal (N).	1		2		3		mg/L
	Baryum (Ba).		0,1		1		1	mg/L
	Bore (B).	1		1		1		mg/L
	Cuivre (Cu).	0,02	0,05	0,05		1		mg/L
	Fer dissous sur échantillon filtré à 0,45 µm.	0,1	0,3	1	2	1		mg/L
	Fluorures (F ⁻).	0,7/1	1,5	0,7/1,7		0,7/1,7		mg/L
	Hydrocarbures dissous ou émulsionnés.		0,05		0,2	0,5	1	mg/L
	Manganèse (Mn).	0,05		0,1		1		mg/L
	Nitrates (NO ₃ ⁻).	25	50		50		50	mg/L
	Phénols (indice phénc) (C ₆ H ₅ OH).		0,001	0,001	0,005	0,01	0,1	mg/L
	Phosphore total (P ₂ O ₅).	0,4		0,7		0,7		mg/L
	Substances extractibles au chloroforme.	0,1		0,2		0,5		mg/L
Zinc (Zn).	0,5	3	1	5	1	5	mg/L	
Paramètres concernant les substances toxiques.	Arsenic (As).		10		50	50	100	µg/L
	Cadmium (Cd).	1	5	1	5	1	5	µg/L
	Chrome total (Cr).		50		50		50	µg/L
	Cyanures (CN ⁻).		50		50		50	µg/L
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP): Somme des composés suivants: fluoranthène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]pérylène et indéno[1,2,3-cd]pyrène.		0,2		0,2		1,0	µg/L
	Mercure (Hg).	0,5	1	0,5	1	0,5	1	µg/L
	Plomb (Pb).		10		50		50	µg/L

GROUPES de paramètres	PARAMÈTRES	GROUPE						UNITÉS
		A1		A2		A3		
		G	I	G	I	G	I	
	Sélénium (Se).		10		10		10	µg/L
Pesticides.	Par substances individuelles, y compris les métabolites.		0,1 (1,2)		0,1 (1,2)		2	µg/L
	Total.		0,5 (2)		0,5 (2)		5	µg/L
Paramètres microbiologiques.	Bactéries coliformes.	50		5 000		50 000		/100 mL
	Entérocoques.	20		1 000		10 000		/100 mL
	<i>Escherichia coli</i> .	20		2 000		20 000		/100 mL
	Salmonelles.	Absent dans 5 000 mL		Absent dans 1 000 mL				

(1) Pour l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorepoxyde, la limite de qualité est de 0,03 µg/L.
 (2) Ces valeurs ne concernent que les eaux superficielles utilisées directement, sans dilution préalable.
 En cas de dilution, il peut être fait appel à des eaux de qualités différentes, le taux de dilution devant être calculé au cas par cas.

Annexe 3

Tableaux de synthèse des analyses réalisées sur les sources de Belle-Eau-Cadeau du 29/01/1996 au 03/11/2009 (source : ADES)

Remarque : dans le tableau suivant, seules les analyses pour lesquelles les résultats ont été renseignés et sont différents de zéro sont pris en compte pour le calcul du nombre d'analyses, de la moyenne, de la valeur minimale et de la valeur maximale. Pour les mesures inférieures à une limite de détection (LD) ou à une limite de quantification (LQ), en accord avec les textes réglementaires, la valeur prise en compte pour le calcul de la moyenne est égale à $LQ/2$ ou $LD/2$. Pour le calcul des valeurs minimales et maximales en revanche, la valeur prise en compte est celle de la limite de quantification ou de détection.

Étude du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

Paramètre	Nb Mesures	Minimum	Maximum	Moyenne
Activité alpha globale (1034)	14	0,01 Bq/L	20,0 Bq/L	1,445 Bq/L
Activité bêta globale (1035)	14	0,04 Bq/L	200,0 Bq/L	14,358 Bq/L
Agents de surface anioniques (1444)	52	0,025 mg/L	25,0 mg/L	1,946 mg/L
Aldicarbe (1102)	14	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Aldicarbe sulfoné (1807)	14	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Aldrine (1103)	68	0,0005 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Aluminium (1370)	56	2,0 µg(Al)/L	1020,0 µg(Al)/L	44,696 µg(Al)/L
Amétryne (1104)	63	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,02 µg/L
Ammonium (1335)	74	0,01 mg(NH4)/L	0,92 mg(NH4)/L	0,038 mg(NH4)/L
Anhydride carbonique libre (1344)	1	6,0 mg(CO2)/L	6,0 mg(CO2)/L	6,0 mg(CO2)/L
Antimoine (1376)	14	0,5 µg(Sb)/L	2,5 µg(Sb)/L	2,357 µg(Sb)/L
Arsenic (1369)	65	0,25 µg(As)/L	2,5 µg(As)/L	2,308 µg(As)/L
Atrazine (1107)	65	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,02 µg/L
Atrazine désisopropyl (1109)	14	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Atrazine déséthyl (1108)	14	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Azinphos éthyl (1110)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Azinphos méthyl (1111)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Azote Kjeldahl (1319)	54	0,1 mg(N)/L	0,2 mg(N)/L	0,135 mg(N)/L
Baryum (1396)	51	5,0 µg(Ba)/L	5000,0 µg(Ba)/L	4314,412 µg(Ba)/L
Benfluraline (1112)	47	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Benzène (1114)	9	0,1 µg/L	0,1 µg/L	0,1 µg/L
Benzo(a)pyrène (1115)	58	0,0025 µg/L	0,005 µg/L	0,003 µg/L
Benzo(b)fluoranthène (1116)	58	0,0025 µg/L	0,005 µg/L	0,003 µg/L
Benzo(g,h,i)pérylène (1118)	58	0,0025 µg/L	0,005 µg/L	0,003 µg/L
Benzo(k)fluoranthène (1117)	58	0,0025 µg/L	0,005 µg/L	0,003 µg/L
Bore (1362)	66	0,025 µg(B)/L	270,0 µg(B)/L	46,591 µg(B)/L
Bromoforme (1122)	53	0,25 µg/L	2,5 µg/L	2,089 µg/L
Bromophos éthyl (1123)	44	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,067 µg/L
Bromophos méthyl (1124)	65	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,047 µg/L
Butraline (1126)	47	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Cadmium (1388)	65	0,25 µg(Cd)/L	2,0 µg(Cd)/L	0,528 µg(Cd)/L
Cadusafos (1863)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Calcium (1374)	75	4,05 mg(Ca)/L	19,65 mg(Ca)/L	12,942 mg(Ca)/L
Carbone Organique (1841)	5	0,1 mg(C)/L	1,249 mg(C)/L	0,635 mg(C)/L
Carbophénothion (1131)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Chlordane (1132)	32	0,005 µg/L	0,01 µg/L	0,008 µg/L
Chlordane alpha (1756)	7	0,01 µg/L	0,01 µg/L	0,01 µg/L
Chlordane gamma (1758)	10	0,01 µg/L	0,01 µg/L	0,01 µg/L
Chlorécone (1866)	29	0,005 µg/L	0,274 µg/L	0,089 µg/L
Chlorfenvinphos (1464)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Chloroforme (1135)	53	0,25 µg/L	2,0 µg/L	0,489 µg/L
Chloroméquat chlorure (2097)	1	0,05 µg/L	0,05 µg/L	0,05 µg/L
Chlorure de vinyle (1753)	1	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Chlorures (1337)	77	1,633 mg(Cl)/L	27,7 mg(Cl)/L	17,645 mg(Cl)/L
Chrome (1389)	52	1,0 µg(Cr)/L	5,0 µg(Cr)/L	2,519 µg(Cr)/L
Coliformes (1447)	1	3,0 n/(100mL)	3,0 n/(100mL)	3,0 n/(100mL)
Coliformes thermotolérants (1448)	21	1,0 n/(100mL)	80,0 n/(100mL)	8,429 n/(100mL)
Conductivité à 20°C (1304)	68	57,0 µS/cm	197,0 µS/cm	151,941 µS/cm
Conductivité à 25°C (1303)	9	145,0 µS/cm	169,7 µS/cm	156,467 µS/cm
Couleur mesurée (1309)	24	1,0 mg(Pt)/L	3,0 mg(Pt)/L	1,208 mg(Pt)/L
Cuivre (1392)	56	5,0 µg(Cu)/L	10000,0 µg(Cu)/L	7808,214 µg(Cu)/L
Cyanazine (1137)	54	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,022 µg/L
Cyanures libres (1084)	9	5,0 µg(CN)/L	5,0 µg(CN)/L	5,0 µg(CN)/L
Cyanures totaux (1390)	43	2,5 µg(CN)/L	5,0 µg(CN)/L	4,942 µg(CN)/L
DDD 24' (1143)	68	0,001 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
DDD 44' (1144)	68	0,001 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
DDE 24' (1145)	68	0,001 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
DDE 44' (1146)	68	0,001 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
DDT 24' (1147)	68	0,001 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
DDT 44' (1148)	68	0,001 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Désisopropyl-déséthyl-atrazine (1830)	2	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Demande Biochimique en oxygène en 5 jours (D.B.O.5) (1313)	51	0,25 mg(O2)/L	2,0 mg(O2)/L	0,553 mg(O2)/L
Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.) (1314)	53	1,0 mg(O2)/L	36,0 mg(O2)/L	5,706 mg(O2)/L
Déméton-O (1150)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Desmétryne (1155)	47	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Diazinon (1157)	66	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,042 µg/L
Dibromomonochlorométhane (1158)	53	0,25 µg/L	1,5 µg/L	0,46 µg/L
Dichloroéthane-1,1 (1160)	43	5,0 µg/L	5,0 µg/L	5,0 µg/L
Dichloroéthane-1,2 (1161)	55	1,25 µg/L	10,0 µg/L	8,432 µg/L
Dichloroéthane-1,1 (1162)	42	2,5 µg/L	2,5 µg/L	2,5 µg/L
Dichloroéthylène-1,2 cis (1456)	43	25,0 µg/L	25,0 µg/L	25,0 µg/L
Dichloroéthylène-1,2 trans (1727)	43	25,0 µg/L	25,0 µg/L	25,0 µg/L
Dichlorofenthion (1159)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Dichlorométhane (1168)	43	5,0 µg/L	46,0 µg/L	10,372 µg/L
Dichloromonobromométhane (1167)	53	0,25 µg/L	0,5 µg/L	0,273 µg/L
Dichlorvos (1170)	4	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Dicofol (1172)	25	0,005 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Dieldrine (1173)	68	0,0005 µg/L	0,015 µg/L	0,006 µg/L
Diméthoate (1175)	23	0,01 µg/L	0,025 µg/L	0,024 µg/L
Diquat (1699)	1	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Disulfoton (1492)	16	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Diuron (1177)	15	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Durété totale (1345)	44	1,9 °f	6,8 °f	4,908 °f
Endosulfan (1743)	4	0,0025 µg/L	0,005 µg/L	0,003 µg/L
Endosulfan alpha (1178)	67	0,0025 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Endosulfan bêta (1179)	67	0,0025 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Endrine (1181)	39	0,0025 µg/L	0,01 µg/L	0,007 µg/L
Entérocoques (1450)	36	1,0 n/(100mL)	20,0 n/(100mL)	3,444 n/(100mL)
Escherichia coli (E. coli) (1449)	7	1,0 n/(100mL)	21,0 n/(100mL)	6,714 n/(100mL)
Ethion (1183)	66	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,03 µg/L
Ethoprophos (1495)	2	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Fenclorophos (1186)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L

Etude du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

Fénitrothion (1187)	62	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,049 µg/L
Fer (1393)	70	0,01 µg(Fe)/L	280,0 µg(Fe)/L	14,401 µg(Fe)/L
Fipronil (2009)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Fluor (1391)	73	0,000025 mg(F)/L	50,0 mg(F)/L	2,096 mg(F)/L
Fluoranthène (1191)	58	0,0025 µg/L	0,008 µg/L	0,003 µg/L
HAP somme(6) (2034)	10	0,0025 µg/L	0,08 µg/L	0,011 µg/L
Heptachlore (1197)	68	0,0005 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Hexachlorobenzène (1199)	48	0,0005 µg/L	0,01 µg/L	0,006 µg/L
Hexachlorocyclohexane alpha (1200)	68	0,0005 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Hexachlorocyclohexane bêta (1201)	68	0,001 µg/L	0,25 µg/L	0,057 µg/L
Hexachlorocyclohexane delta (1202)	68	0,001 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Hexachlorocyclohexane gamma (1203)	70	0,0005 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Hexazinone (1673)	15	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Hydrocarbures dissous (2962)	21	25,0 µg/L	3136,0 µg/L	293,143 µg/L
Hydrogène sulfuré (1343)	1	0,05 mg(H2S)/L	0,05 mg(H2S)/L	0,05 mg(H2S)/L
Hydrogénocarbonates (1327)	75	28,5 mg(HCO3)/L	62,02 mg(HCO3)/L	47,949 mg(HCO3)/L
HYDROXYTERBUTHYLAZINE (1954)	1	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Indéno(1,2,3-cd)pyrène (1204)	58	0,00025 µg/L	0,005 µg/L	0,003 µg/L
Indice CH2 (1446)	45	0,0005 mg/L	0,025 mg/L	0,018 mg/L
Indice Phénol (1440)	52	0,005 mg/L	5,0 mg/L	0,293 mg/L
isazofos (1976)	20	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Isoproturon (1208)	7	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Legionella pneumophila (1048)	1	125,0 n/(100mL)	125,0 n/(100mL)	125,0 n/(100mL)
Legionella spp (1047)	1	125,0 n/L	125,0 n/L	125,0 n/L
Magnésium (1372)	75	1,45 mg(Mg)/L	9,48 mg(Mg)/L	3,846 mg(Mg)/L
Malathion (1210)	68	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,03 µg/L
Manganèse (1394)	72	0,01 µg(Mn)/L	10,0 µg(Mn)/L	7,793 µg(Mn)/L
Matière sèche à 180°C (1750)	55	22,0 mg/L	175,0 mg/L	90,304 mg/L
Matières en suspension (1305)	46	0,3 mg/L	10,0 mg/L	1,559 mg/L
mepiquat (1969)	1	0,05 µg/L	0,05 µg/L	0,05 µg/L
Mercur (1387)	51	0,025 µg(Hg)/L	0,05 µg(Hg)/L	0,049 µg(Hg)/L
Métamitron (1215)	24	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Méthidathion (1217)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Méthomyl (1218)	7	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Métribuzine (1225)	47	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Mévinphos (1226)	50	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,044 µg/L
Moississures (1067)	1	0,005 n/mL	0,005 n/mL	0,005 n/mL
Monuron (1228)	6	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Nickel (1386)	26	2,5 µg(Ni)/L	7,5 µg(Ni)/L	4,231 µg(Ni)/L
Nitrates (1340)	76	0,17 mg(NO3)/L	4,52 mg(NO3)/L	1,847 mg(NO3)/L
Nitrites (1339)	31	0,025 mg(NO2)/L	0,05 mg(NO2)/L	0,048 mg(NO2)/L
Orthophosphates (PO4) (1433)	24	0,005 mg(PO4)/L	0,22 mg(PO4)/L	0,08 mg(PO4)/L
Oxydabilité au KMnO4 à chaud en milieu acide (1315)	58	0,08 mg(O2)/L	85,1 mg(O2)/L	2,076 mg(O2)/L
Oxygène dissous (1311)	68	0,3 mg(O2)/L	10,37 mg(O2)/L	7,902 mg(O2)/L
Paraquat (1522)	1	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Parathion éthyl (1232)	66	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,046 µg/L
Parathion méthyl (1233)	65	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,03 µg/L
PCB 101 (1242)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 118 (1243)	19	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 138 (1244)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 153 (1245)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 180 (1246)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 28 (1239)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 52 (1241)	21	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Pendiméthaline (1234)	48	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,022 µg/L
Phosalone (1237)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Phosphore total (1350)	7	0,028 mg(P)/L	0,067 mg(P)/L	0,047 mg(P)/L
Plomb (1382)	52	2,5 µg(Pb)/L	17,0 µg(Pb)/L	5,038 µg(Pb)/L
Polychlorobiphényles totaux (1032)	45	0,0025 µg/L	0,02 µg/L	0,005 µg/L
Potassium (1367)	53	0,83 mg(K)/L	4,37 mg(K)/L	2,732 mg(K)/L
Potentiel en Hydrogène (pH) (1302)	127	6,5 unité pH	23,7 unité pH	7,232 unité pH
Prométryne (1254)	47	0,01 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Propazine (1256)	15	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Propyzamide (1414)	7	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Secbuméton (1262)	29	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Sélénium (1385)	65	1,0 µg(Se)/L	2,5 µg(Se)/L	2,408 µg(Se)/L
Silice (1348)	75	6,67 mg(SiO2)/L	55,0 mg(SiO2)/L	39,125 mg(SiO2)/L
Simazine (1263)	65	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,02 µg/L
Sodium (1375)	75	4,5 mg(Na)/L	11,406 mg(Na)/L	9,08 mg(Na)/L
Somme Heptachlore époxyde cis/trans (1198)	68	0,0005 µg/L	0,01 µg/L	0,005 µg/L
Substances extractibles au chloroforme (1435)	45	0,005 mg/L	0,2 mg/L	0,052 mg/L
Sulfates (1338)	77	2,0 mg(SO4)/L	15,26 mg(SO4)/L	6,182 mg(SO4)/L
Température de l'Eau (1301)	115	6,99 °C	27,0 °C	24,154 °C
Terbuméton (1266)	47	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Terbuphos (1267)	29	0,005 µg/L	0,1 µg/L	0,025 µg/L
Terbutylazine (1268)	64	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,02 µg/L
Terbutryne (1269)	46	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Tétrachloréthène (1272)	66	0,25 µg/L	0,81 µg/L	0,275 µg/L
Tétrachloroéthane-1,1,2,2 (1271)	43	2,5 µg/L	2,5 µg/L	2,5 µg/L
Tétrachlorure de carbone (1276)	47	0,05 µg/L	0,795 µg/L	0,07 µg/L
Tétrachlorvinphos (1277)	43	0,025 µg/L	0,1 µg/L	0,069 µg/L
Titre alcalimétrique complet (T.A.C.) (1347)	44	0,626 °f	5,0 °f	3,813 °f
Titre alcalimétrique (T.A.) (1346)	1	4,5 °f	4,5 °f	4,5 °f
Toluène (1278)	9	0,1 µg/L	0,1 µg/L	0,1 µg/L
Trichlorfon (1287)	23	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Trichloroéthane-1,1,1 (1284)	43	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Trichloroéthane-1,1,2 (1285)	43	0,25 µg/L	2,5 µg/L	2,448 µg/L
Trichloroéthylène (1286)	68	0,25 µg/L	0,735 µg/L	0,271 µg/L
Trifluraline (1289)	47	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Turbidité Formazine Néphélométrique (1295)	65	0,03 NTU	3,0 NTU	0,187 NTU
Turbidité Formazine Néphélométrique (1295)	10	0,05 NFU	0,27 NFU	0,126 NFU
Xylène ortho + méta + para (5431)	8	0,3 µg/L	0,3 µg/L	0,3 µg/L
Zinc (1383)	57	2,5 µg(Zn)/L	1010,0 µg(Zn)/L	112,105 µg(Zn)/L

Remarque : dans le tableau, seules les analyses pour lesquelles les résultats n'ont pas été renseignés (champ « résultat » vide) ou sont égaux à zéro sont pris en compte pour le calcul du nombre d'analyses.

Paramètre	Nb Mesures
Coliformes thermotolérants (1448)	34
Orthophosphates (PO4) (1433)	34
Azote Kjeldahl (1319)	1
Matières en suspension (1305)	7
Escherichia coli (E. coli) (1449)	15
Baryum (1396)	2
Cuivre (1392)	4
Zinc (1383)	3
Aluminium (1370)	1
Nitrites (1339)	44
Manganèse (1394)	3
Spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (10)	1
Demande Biochimique en oxygène en 5 jours (D.B.O.5) (1313)	4
Nitrates (1340)	1
Titre alcalimétrique complet (T.A.C.) (1347)	1
Hydrogène sulfuré (1343)	61
Entérocoques (1450)	40
Anhydride carbonique libre (1344)	73
Titre alcalimétrique (T.A.) (1346)	44
Phosphore total (1350)	11
Salmonella (1451)	14
Coloration apparente de l'eau (1428)	6
Oxydabilité au KMnO4 à chaud en milieu acide (1315)	13
Bore (1362)	1
Chlore libre (1398)	1
Chrome (1389)	1
Fluor (1391)	4
Carbonates (1328)	75
Ammonium (1335)	3
Cyanures totaux (1390)	1
Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.) (1314)	1
Couleur mesurée (1309)	32
Fer (1393)	5

Annexe 4

Tableaux de synthèses des analyses réalisées sur les sources de Tabaco du 28/03/2000 au 28/09/2009 (source : ADES)

Paramètre	Nb Mesures	Minimum	Maximum	Moyenne
Activité alpha globale (1034)	15	0,01 Bq/L	0,02 Bq/L	0,017 Bq/L
Activité bêta globale (1035)	15	0,03 Bq/L	0,2 Bq/L	0,095 Bq/L
Aldicarbe (1102)	9	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Aldicarbe sulfoné (1807)	8	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Aldrine (1103)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Amétryne (1104)	13	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,011 µg/L
Ammonium (1335)	17	0,025 mg(NH4)/L	0,3 mg(NH4)/L	0,063 mg(NH4)/L
Antimoine (1376)	17	0,5 µg(Sb)/L	2,5 µg(Sb)/L	2,382 µg(Sb)/L
Arsenic (1369)	17	1,0 µg(As)/L	2,5 µg(As)/L	2,412 µg(As)/L
Atrazine (1107)	14	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,011 µg/L
Atrazine déisopropyl (1109)	9	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Atrazine déséthyl (1108)	10	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Benfluraline (1112)	4	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Benzène (1114)	8	0,1 µg/L	0,1 µg/L	0,1 µg/L
Benzo(a)pyrène (1115)	8	0,0025 µg/L	0,0025 µg/L	0,003 µg/L
Benzo(b)fluoranthène (1116)	8	0,0025 µg/L	0,0025 µg/L	0,003 µg/L
Benzo(g,h,i)pérylène (1118)	8	0,0025 µg/L	0,0025 µg/L	0,003 µg/L
Benzo(k)fluoranthène (1117)	8	0,0025 µg/L	0,0025 µg/L	0,003 µg/L
Bore (1362)	17	11,0 µg(B)/L	38,0 µg(B)/L	24,294 µg(B)/L
Bromoforme (1122)	8	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Bromophos méthyl (1124)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Butraline (1126)	4	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Cadmium (1388)	17	0,25 µg(Cd)/L	0,5 µg(Cd)/L	0,456 µg(Cd)/L
Cadusafos (1863)	16	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Calcium (1374)	17	7,6 mg(Ca)/L	10,0 mg(Ca)/L	8,692 mg(Ca)/L
Carbone Organique (1841)	4	0,332 mg(C)/L	2,455 mg(C)/L	1,236 mg(C)/L
Chlordécone (1866)	25	0,042 µg/L	0,751 µg/L	0,26 µg/L
Chloroforme (1135)	8	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Chlorures (1337)	17	9,1 mg(Cl)/L	16,95 mg(Cl)/L	10,243 mg(Cl)/L
Conductivité à 20°C (1304)	9	89,8 µS/cm	111,9 µS/cm	98,589 µS/cm
Conductivité à 25°C (1303)	8	103,7 µS/cm	112,8 µS/cm	108,85 µS/cm
Cyanazine (1137)	9	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,014 µg/L
DDD 24' (1143)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
DDD 44' (1144)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
DDE 24' (1145)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
DDE 44' (1146)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
DDT 24' (1147)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
DDT 44' (1148)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Desmétryne (1155)	4	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Diazinon (1157)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Dibromomonochlorométhane (1158)	8	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Dichloroéthane-1,2 (1161)	8	1,25 µg/L	1,25 µg/L	1,25 µg/L
Dichloromonobromométhane (1167)	8	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Dicofol (1172)	8	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Dieldrine (1173)	25	0,005 µg/L	0,036 µg/L	0,017 µg/L
Disulfoton (1492)	13	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Diuron (1177)	10	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Endosulfan (1743)	1	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Endosulfan alpha (1178)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Endosulfan bêta (1179)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Entérocoques (1450)	1	1,0 n/(100mL)	1,0 n/(100mL)	1,0 n/(100mL)
Escherichia coli (E. coli) (1449)	2	1,0 n/(100mL)	3,0 n/(100mL)	2,0 n/(100mL)
Ethion (1183)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Fénitrothion (1187)	16	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Fer (1393)	17	5,0 µg(Fe)/L	10,0 µg(Fe)/L	9,412 µg(Fe)/L
Fipronil (2009)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Fluor (1391)	17	0,05 mg(F)/L	0,119 mg(F)/L	0,06 mg(F)/L
Fluoranthène (1191)	8	0,0025 µg/L	0,0025 µg/L	0,003 µg/L
Heptachlore (1197)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Hexachlorobenzène (1199)	8	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L

Etude du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

Hexachlorocyclohexane alpha (1200)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Hexachlorocyclohexane bêta (1201)	25	0,069 µg/L	0,273 µg/L	0,131 µg/L
Hexachlorocyclohexane delta (1202)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Hexachlorocyclohexane gamma (1203)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Hexazinone (1673)	8	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Hydrocarbures dissous (2962)	16	25,0 µg/L	650,0 µg/L	198,75 µg/L
Hydrogénocarbonates (1327)	17	36,61 mg(HCO3)/L	48,82 mg(HCO3)/L	40,044 mg(HCO3)/L
HYDROXYTERBUTHYLAZINE (1954)	4	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Indéno(1,2,3-cd)pyrène (1204)	8	0,0025 µg/L	0,0025 µg/L	0,003 µg/L
isazofos (1976)	16	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Isoproturon (1208)	5	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Legionella pneumophila (1048)	1	125,0 n/(100mL)	125,0 n/(100mL)	125,0 n/(100mL)
Legionella spp (1047)	1	125,0 n/L	125,0 n/L	125,0 n/L
Magnésium (1372)	17	0,69 mg(Mg)/L	2,43 mg(Mg)/L	2,064 mg(Mg)/L
Malathion (1210)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Manganèse (1394)	17	5,0 µg(Mn)/L	10,0 µg(Mn)/L	9,412 µg(Mn)/L
Méthidathion (1217)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Méthomyl (1218)	5	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Métribuzine (1225)	3	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Mévinphos (1226)	1	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Monuron (1228)	5	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Nickel (1386)	17	2,5 µg(Ni)/L	7,5 µg(Ni)/L	2,794 µg(Ni)/L
Nitrates (1340)	17	0,5 mg(NO3)/L	3,91 mg(NO3)/L	2,049 mg(NO3)/L
Nitrites (1339)	17	0,025 mg(NO2)/L	0,05 mg(NO2)/L	0,049 mg(NO2)/L
Orthophosphates (PO4) (1433)	16	0,05 mg(PO4)/L	0,14 mg(PO4)/L	0,067 mg(PO4)/L
Oxydabilité au KMnO4 à chaud en milieu acide (1315)	13	0,2 mg(O2)/L	0,97 mg(O2)/L	0,544 mg(O2)/L
Oxygène dissous (1311)	17	8,32 mg(O2)/L	11,21 mg(O2)/L	9,084 mg(O2)/L
Parathion éthyl (1232)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Parathion méthyl (1233)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 101 (1242)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 118 (1243)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 138 (1244)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 153 (1245)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 180 (1246)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 28 (1239)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
PCB 52 (1241)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Pendiméthaline (1234)	4	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Potentiel en Hydrogène (pH) (1302)	18	6,79 unité pH	24,2 unité pH	7,913 unité pH
Prométryne (1254)	4	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Propazine (1256)	10	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Propyzamide (1414)	5	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Sélénium (1385)	17	1,0 µg(Se)/L	2,5 µg(Se)/L	2,147 µg(Se)/L
Silice (1348)	17	21,13 mg(SiO2)/L	109,0 mg(SiO2)/L	46,154 mg(SiO2)/L
Simazine (1263)	14	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,011 µg/L
Sodium (1375)	17	7,39 mg(Na)/L	10,4 mg(Na)/L	7,936 mg(Na)/L
Somme Heptachlore époxyde cis/trans (1198)	18	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Sulfates (1338)	17	2,72 mg(SO4)/L	4,3 mg(SO4)/L	3,536 mg(SO4)/L
Température de l'Eau (1301)	18	7,05 °C	25,0 °C	22,419 °C
Terbuméton (1266)	4	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Terbuphos (1267)	17	0,005 µg/L	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Terbuthylazine (1268)	10	0,005 µg/L	0,025 µg/L	0,013 µg/L
Terbutryne (1269)	2	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Tétrachloréthène (1272)	17	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Toluène (1278)	8	0,1 µg/L	0,1 µg/L	0,1 µg/L
Trichloroéthylène (1286)	17	0,25 µg/L	0,25 µg/L	0,25 µg/L
Trifluraline (1289)	4	0,025 µg/L	0,025 µg/L	0,025 µg/L
Turbidité Formazine Néphélométrique (1295)	8	0,05 NTU	0,59 NTU	0,156 NTU
Turbidité Formazine Néphélométrique (1295)	9	0,08 NFU	1,33 NFU	0,34 NFU
Xylène-méta (1293)	1	0,3 µg/L	0,3 µg/L	0,3 µg/L
Xylène ortho + méta + para (5431)	7	0,3 µg/L	0,3 µg/L	0,3 µg/L

Paramètre	Nb Mesures
PCB 209 (1624)	7
Arochlore 1248 (1731)	7
Sulfotep (1894)	7
Endosulfan alpha (1178)	7
Diméthomorphe (1403)	7
Triclopyr (1288)	7
Ethiofencarbe (1874)	7
Tébufénozide (1895)	7
Iprodione (1206)	7
Phosalone (1237)	7
Mécoprop (1214)	7
acifluorfen (1970)	3
Coumaphos (1682)	7
Endrine (1181)	7
Aldrine (1103)	7
fénoxycarbe (1967)	3
Code gelé en 2003 (Dithiométon) (1716)	7
Tralométhrine (1658)	7
DDD 24' (1143)	7
Atrazine déséthyl (1108)	7
Benalaxyl (1687)	7
Piperonyl butoxyde (1709)	7
EPTC (1182)	7
Cycluron (1696)	3
Parathion méthyl (1233)	7
Bromophos méthyl (1124)	7
Procymidone (1664)	7
Flutriafol (1503)	7
Benfluraline (1112)	7
Prosulfocarbe (1092)	7
Diflufenicanil (1814)	7
Chlorsulfuron (1353)	7
Vinclozoline (1291)	7
Oxydéméton-méthyl (1231)	4
Acrinathrine (1310)	7
Diazinon (1157)	7
Cyanazine (1137)	7
Terbutylazine (1268)	7
Diméfuron (1870)	7
Dicofol (1172)	7
Métribuzine (1225)	7
Cyfluthrine (1681)	7
DDE 44' (1146)	7
Propanil (1532)	7
Triadiméfone (1544)	7
2,4,5-T (1264)	7
Propiconazole (1257)	7
Atrazine déisopropyl (1109)	7
Tébufenpyrad (1896)	7
Buprofézine (1862)	3
Mercaptodiméthur (1510)	7
Bromoxynil (1125)	7
Triazamate (1901)	7
Pencycuron (1887)	7
DDT 44' (1148)	7
isazofos (1976)	3
Dimethenamide (1678)	7
Fénuron (1500)	7
Méthoxychlore (1511)	7
Flusilazole (1194)	7
Dichlofluanide (1360)	7
Isodrine (1207)	7
Secbuméton (1262)	3
Desmétryne (1155)	7
Penconazole (1762)	7
Pyrifénos (1663)	7
Ethion (1183)	3
Carbonates (1328)	17
Dichlorprop (1169)	7
Flazasulfuron (1939)	3

Thiodicarbe (1093)	3
2,4-DB (1142)	7
PCB 52 (1241)	7
Bifenthrine (1120)	7
Disulfoton (1492)	7
DDD 44' (1144)	7
Hexachlorocyclohexane gamma (1203)	7
Cyperméthrine (1140)	7
Parathion éthyl (1232)	7
Oxadixyl (1666)	7
Oryzalin (1668)	7
Terbacil (1659)	7
Terbuthylazine déséthyl (2045)	7
Heptenophos (1910)	7
Chlorfenvinphos (1464)	7
Butraline (1126)	7
PCB 118 (1243)	7
Fonofos (1674)	7
Quintozène (1538)	7
Naled (1516)	7
Dinitrocresol (1490)	7
DDT 24' (1147)	7
Dinoterbe (1176)	7
Tolylfluamide (1719)	3
Chloroxuron (1683)	7
Arochlore 1254 (1250)	7
Diclofop-méthyl (1171)	7
Endosulfan bêta (1179)	7
Chlorprophame (1474)	3
Formothion (1504)	7
Fenpropathrine (1188)	7
Myclobutanil (1881)	7
Ethoprophos (1495)	7
Téflubenzuron (1897)	7
Mépronil (1878)	7
Imazaméthabenz (1695)	7
Napropamide (1519)	7
Propazine (1256)	7
Deltaméthrine (1149)	7
Néburon (1520)	7
Lénacile (1406)	7
Cymoxanil (1139)	7
Monolinuron (1227)	7
Dichlorofenthion (1159)	3
PCB 44 (1628)	7
Ethofumésate (1184)	7
Furalaxyl (1908)	7
PCB 28 (1239)	7
Tetraconazole (1660)	7
Prométryne (1254)	7
Propoxur (1535)	3
Triadiméol (1280)	7
Hexaflumuron (1875)	7
Pentachlorophénol (1235)	7
Fluvalinate-tau (1193)	7
Alpha-cyperméthrine (1812)	7
Hexazinone (1673)	7
PCB 138 (1244)	7
Chlorothalonil (1473)	7
Téméphos (1898)	7
Heptachlore (1197)	7
Pyrazophos (1258)	7
Bromopropylate (1685)	7
Epoxiconazole (1744)	7
Fenthion (1190)	7
Diallate (1156)	7
Métolachlore (1221)	7
PCB 105 (1627)	7
Captafol (1127)	7
Esfenvalerate (1809)	7
Carbendazime (1129)	7

Linuron (1209)	7
Isofenphos (1829)	7
Sulcotrione (1662)	7
fluridone (1974)	3
Carbaryl (1463)	7
Escherichia coli (E. coli) (1449)	15
Cyproconazole (1680)	7
Tébuconazole (1694)	7
Déméton-S-méthylsulfone (1154)	7
Métamitron (1215)	7
Propachlore (1712)	3
Flurochloridone (1675)	7
Méthomyl (1218)	7
Diéthofencarbe (1402)	7
Hexachlorocyclohexane alpha (1200)	7
Chlordane (1132)	7
Arochlore 1260 (1251)	7
Triflumuron (1902)	7
Buturon (1531)	3
Métoxuron (1222)	7
Chlorpyrifos-éthyl (1083)	7
Arochlore 1232 (1730)	7
Simazine (1263)	7
Pyridate (1259)	7
Propyzamide (1414)	7
Endosulfan sulfate (1742)	7
Fénitrothion (1187)	7
Fluazifop-butyl (1825)	7
Fenpropidine (1700)	7
PCB 170 (1626)	7
PCB 180 (1246)	7
Méthabenzthiazuron (1216)	7
2,4-D (1141)	7
Entérocoques (1450)	16
Chloridazone (1133)	7
Triallate (1281)	7
Hexachlorocyclohexane delta (1202)	7
Imazail (1704)	3
Hydrogène sulfuré (1343)	17
Pyrimiphos-éthyl (1260)	7
Azinphos méthyl (1111)	7
Bromuconazole (1860)	7
Bifénox (1119)	7
Meptyldinocap (1677)	7
Phenmédiphame (1236)	7
Métalaxyl (1706)	7
phosmet (1971)	3
Atrazine (1107)	7
Bentazone (1113)	7
Cadusafos (1863)	3
Oxamyl (1850)	7
Oxadiazon (1667)	7
Pyriméthanil (1432)	7
Diméthoate (1175)	7
Nuarimol (1883)	7
Propargite (1255)	7
Hexachlorocyclohexane epsilon (2046)	3
Phoxime (1665)	7
Azinphos éthyl (1110)	7
Chinométhionate (1865)	7
Flufenoxuron (1676)	7
Folpel (1192)	7
Aldicarbe (1102)	7
PCB 101 (1242)	7
Triazophos (1657)	7
Pyrimiphos-méthyl (1261)	7
2,4-MCPA (1212)	7
Phorate (1525)	7
Imidaclopride (1877)	7
PCB 153 (1245)	7

Etude du BAC des sources de Belle-Eau-Cadeau et Tabaco

Captane (1128)	7
Pendiméthaline (1234)	7
Alachlore (1101)	7
Chlorophacinone (1684)	7
Somme Heptachlore époxyde cis/trans (1198)	7
Carbofuran (1130)	7
Méthidathion (1217)	7
Dichlorvos (1170)	7
Chlorthal (1867)	3
DDE 24' (1145)	7
Phosphamidon (1238)	7
Lambda-cyhalothrine (1094)	7
Propétamphos (1533)	7
Thiazafuron (1714)	3
Bendiocarbe (1329)	7
Chloronèbe (1341)	7
Mévinphos (1226)	7
Ioxynil (1205)	7
Difénoconazole (1905)	3
Amétryne (1104)	7
Bupirimate (1861)	7
Tétradifon (1900)	7
Perméthrine (1523)	7
mefenacet (1968)	3
Pyridabène (1890)	7
Monuron (1228)	7
Prochloraz (1253)	7
Hexachlorobenzène (1199)	7
Trifluraline (1289)	7
Diflubenzuron (1488)	7
Dinosèbe (1491)	7
Dichlobenil (1679)	7
Tébutame (1661)	7
Ethidimuron (1763)	7
Métobromuron (1515)	7
Pentachlorobenzène (1888)	7
Diuron (1177)	7
Profenofos (1889)	7
Hexaconazole (1405)	7
Isoproturon (1208)	7
Salmonella (1451)	8
2,4-MCPB (1213)	7
Terbuméton (1266)	7
Quinalphos (1891)	7
Fénarimol (1185)	7
2,6-Dichlorobenzamide (2011)	3
Malathion (1210)	7
Chlorpyrifos-méthyl (1540)	7
Bromacil (1686)	7
Fenpropimorphe (1189)	7
Arochlore 1242 (1249)	7
Cyprodinil (1359)	7
Tetrachlorobenzène-1,2,4,5 (1631)	7
Métazachlore (1670)	7
Diniconazole (1871)	7
Chlorméphos (1134)	7
Chlortoluron (1136)	7
Norflurazone (1669)	7
Hexythiazox (1876)	7
Chlorbufame (1336)	7
Aclonifène (1688)	7
PCB 194 (1625)	7
Terbuphos (1267)	7
Carbétamide (1333)	7
Anhydride carbonique libre (1344)	17
Terbutryne (1269)	7
Haloxypop-éthoxyéthyl (1833)	7
Isoxaben (1672)	7
Naptalame (1937)	3

Annexe 5

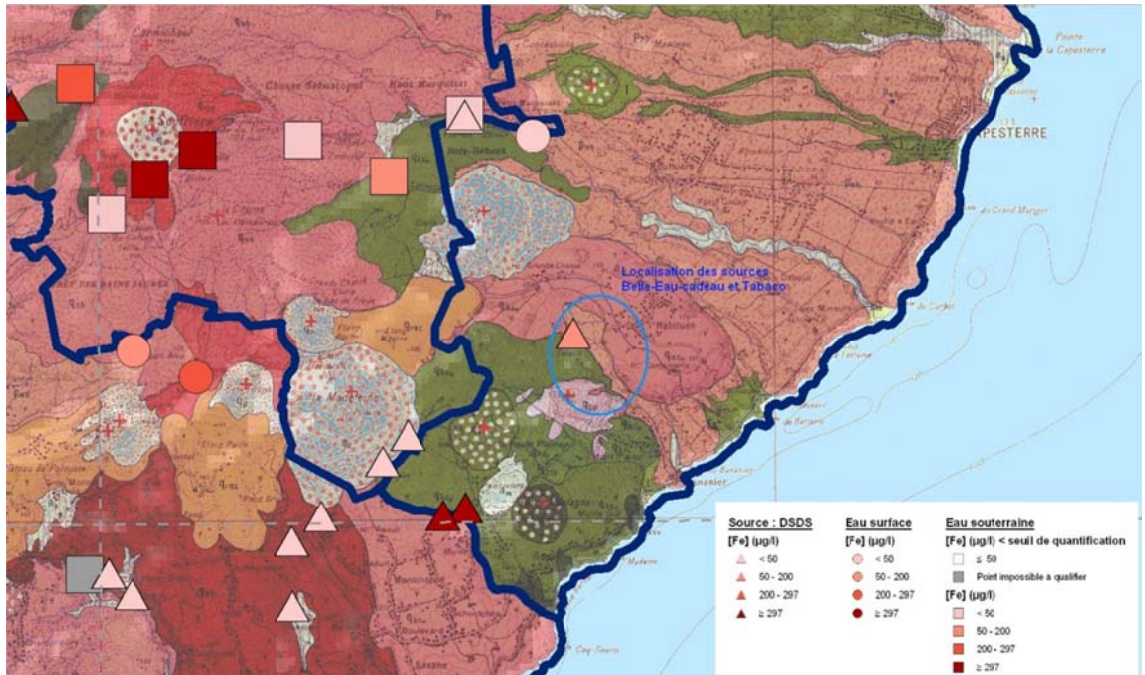
Paramètres in situ (pH et Températures en °C) mesurés sur les sources Belle-Eau-Cadeau et les sources Tabaco entre 2005 et 2010

<i>Sources Belle-Eau-Cadeau</i>		
Date	pH	Température
24/02/2005	6,95	23
24/05/2005	7,5	25,4
23/06/2005	6,9	25,2
28/06/2005	6,9	25
19/07/2005	6,8	26,2
04/08/2005	6,9	24
12/08/2005	7,2	24
29/08/2005	6,9	26
26/09/2005	6,8	24
06/10/2005	7	24
19/10/2005	6,8	24
28/11/2005	6,8	23
24/01/2006	7,13	24
11/05/2006	6,95	23,3
08/06/2006	7,05	24
11/07/2006	7,02	23,3
16/10/2006	7,02	23,5
05/02/2007	7,01	23
03/05/2007	7,04	23,4
28/08/2007	7,09	24
24/09/2007	7,06	24,6
27/11/2007	7,08	24
21/01/2008	6,95	23
07/04/2008	7,11	23
22/07/2008	6,99	23,7
25/11/2008	7,16	23,5
02/03/2009	7,24	25
25/06/2009	7,06	24,5
10/09/2009	7,06	23,6
03/11/2009	7,2	23,5
14/01/2010	7,17	23,4
12/04/2010	7,16	23,5
03/08/2010	7,24	23,6
moyenne	7,04	23,98
minimum	6,8	23
maximum	7,5	26,2

<i>Sources Tabaco</i>		
Date	pH	Température
12/07/2005	6,85	23,3
19/10/2005	7,05	25
28/11/2005	6,8	23
16/02/2006	7	24,5
11/04/2006	7	23
08/06/2006	6,95	23
22/06/2006	6,79	24
28/09/2006	6,81	23
28/11/2006	6,84	23
13/03/2007	7,02	22,8
14/06/2007	6,82	22,6
17/12/2007	7	22,7
13/03/2008	6,97	23
09/06/2008	6,98	23,3
09/09/2008	6,96	22,7
15/12/2008	7,15	23,5
12/03/2009	7,18	23,4
29/06/2009	7,05	24,2
28/09/2009	7,02	23,7
15/12/2009	6,98	24,6
11/02/2010	7,03	24,2
10/06/2010	7	23,6
14/09/2010	6,89	23
moyenne	6,96	23,44
minimum	6,79	22,6
maximum	7,18	25

Annexe 6

Cartographie du fond géochimique en Fer dans la région de la Grande Rivière de Capesterre (d'après carte extraite de la géodatabase du l'étude BRGM/RP-55709-FR)



Annexe 7

Résultats des dénombrements en microbiologie effectués, sur BEC et Tabaco, de 2005 à fin 2010 (d'après données ARS Guadeloupe)

<i>Sources Belle-Eau-Cadeau</i>			
Date de prélèvement	Entérocoques /100ml	Escherichia coli /100ml	Salmonelles sp /SI
24/02/2005	8	21	
23/06/2005	5	1	
06/10/2005	8	2	0
28/11/2005	0	0	
24/01/2006	1	0	0
11/05/2006	2	0	0
11/07/2006	1	0	0
16/10/2006	2	0	
05/02/2007	0	2	0
03/05/2007	2	12	0
28/08/2007	0	0	
27/11/2007	2	0	0
21/01/2008	12	0	0
07/04/2008	1	0	0
22/07/2008	0	0	0
25/11/2008	0	0	
02/03/2009	0	0	
25/06/2009	2	0	
10/09/2009	0	0	
03/11/2009	0	0	
14/01/2010	1	7	
12/04/2010	15	8	0
03/08/2010	1	1	
Maxima	15	21	0

<i>Sources Tabaco</i>			
Date de prélèvement	Entérocoques /100ml	Escherichia coli /100ml	Salmonelles sp /SI
12/07/2005	0	0	
19/10/2005	0	0	0
28/11/2005	0	0	
16/02/2006	0	0	
22/06/2006	0	0	
28/09/2006	0	0	
28/11/2006	0	0	0
13/03/2007	0	0	0
14/06/2007	0	0	0
17/12/2007	0	0	0
13/03/2008	1	0	0
09/06/2008	0	0	0
09/09/2008	0	0	0
15/12/2008	0	0	
12/03/2009	0	0	0
29/06/2009	0	1	
28/09/2009	0	3	
15/12/2009	0	6	0
11/02/2010	0	3	
10/06/2010	0	0	
14/09/2010	0	0	
Maxima	1	6	0



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional de Guadeloupe
Houëlmont
Route de l'Observatoire
97113 – Gourbeyre - Guadeloupe
Tél. : 05 90 41 35 48