

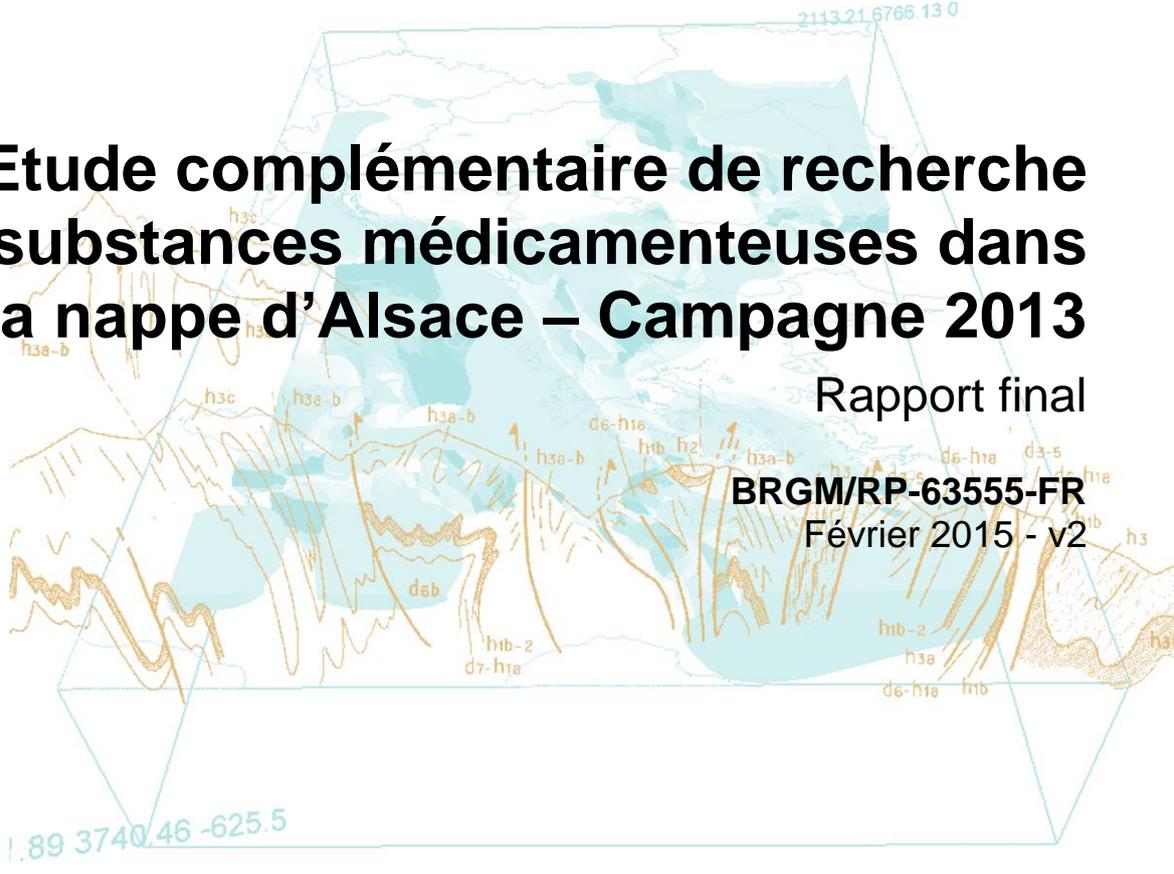
Document public



# Etude complémentaire de recherche de substances médicamenteuses dans la nappe d'Alsace – Campagne 2013

Rapport final

**BRGM/RP-63555-FR**  
Février 2015 - v2





Document public

# Etude complémentaire de recherche de substances médicamenteuses dans la nappe d'Alsace – Campagne 2013

Rapport final

**BRGM/RP-63555-FR**  
Février 2015 – v2

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM 12 EAUK 54

**F. Crastes de Paulet**  
Avec la collaboration de  
**C. Baierer, S. Urban, E. Decouchon, B. Lopez**

**Vérificateur :**

Nom : N. Baran  
Date : 27/05/2014

**Approbateur :**

Nom : A-V. Barras  
Date : 30/06/2014 & 09/02/2015 (v2)  
Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement  
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

**Mots-clés** : résidu médicamenteux, médicament, perturbateur endocrinien, Bisphénol, nonylphénol, bore, eaux souterraines, nappe d'Alsace, Alsace.

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

**Crastes de Paulet F., C. Baierer, S. Urban, Lopez B., Decouchon E.** (2015) – Etude complémentaire de recherche de substances médicamenteuses dans la nappe d'Alsace – Campagne 2013. Rapport final BRGM/RP-63555-FR, 65 p., 33 fig., 14 tabl., 6 ann., 1 CD.

## Synthèse

La Région Alsace, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et la Direction Régionale Alsace du BRGM ont décidé de réaliser une étude, complémentaire aux travaux menés entre 2009 et 2011, sur les résidus médicamenteux et les perturbateurs endocriniens présents dans les eaux souterraines de la nappe d'Alsace. L'objectif du présent programme est d'obtenir une meilleure vision de la contamination à l'échelle de cet aquifère et de mettre en place un réseau d'observation. L'étude est cofinancée par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, la Région Alsace et la Subvention pour Charges de Service Public du BRGM (fiche programme de Service Public 12-EAUK-54).

En raison de leurs relations étroites avec les cours d'eau, dans lesquels les effluents de stations d'épuration (STEP) sont rejetés, les nappes alluviales, telle que la nappe de la Plaine d'Alsace, sont particulièrement exposées et vulnérables aux pollutions.

Suite à ce constat, plusieurs campagnes d'analyses ont été menées à différentes échelles depuis 2009 et ont démontré la présence de résidus médicamenteux dans de nombreux points d'eau souterraine prélevés en Alsace. Néanmoins, la répartition de ces points n'était pas aléatoire, car en partie motivée par une recherche de lien de cause à effet entre les rejets de STEP et les eaux souterraines situées en aval.

La présence de sources multiples de contamination (fuite des réseaux d'assainissement, épandage de boue d'épuration, décharges..) et l'absence de méthodologies avérées pouvant les distinguer ont amené à définir des objectifs généraux pour cette nouvelle campagne de mesures:

- Couvrir de manière plus homogène l'aire de la nappe d'Alsace ;
- Cibler les substances médicamenteuses recherchées en fonction des premiers résultats ;
- Maintenir la plupart des points précédemment prélevés afin de construire une chronique de suivi des substances médicamenteuses et permettre à terme de donner une tendance de l'évolution de leurs concentrations.

Le présent document représente la campagne 2013 de recherche sur les substances médicamenteuses et les perturbateurs endocriniens présents dans les eaux souterraines de la nappe d'Alsace, sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace. Il fournit aux partenaires du projet (Agence de l'Eau Rhin-Meuse et Région Alsace) une description des protocoles d'échantillonnage et d'analyse, ainsi que du contexte hydrogéologique pour le mois de septembre 2013. Les résultats (paramètres in-situ et hydrochimie) de 2013 y sont présentés sous forme de tableaux et de cartes, afin de mettre en évidence d'éventuelles tendances à l'échelle de l'aquifère depuis 2009. Le présent document permet aussi de mieux appréhender les concentrations mesurées au regard de la notion de limite de quantification, ainsi que les perspectives et préconisations relatives à une poursuite du suivi (paramètres, fréquence, localisation...).

Sur les 48 sites prélevés (sur les 50 prévus), il apparaît que 15 d'entre eux sont concernés par la présence d'une, voire plusieurs, substance(s). Parmi les 20 substances recherchées, 4 ont été détectées à des valeurs permettant leur quantification. La **carbamazépine** (anti-épileptique) et le **bisphénol-A** (perturbateur endocrinien) représentent les polluants les plus fréquents de

l'étude. Les autres substances détectées (diclofénac, sulfaméthoxazole) ont été systématiquement associées à la carbamazépine ou au bisphénol-A. D'un point de vue géographique, la carbamazépine a été retrouvée dans les 2 départements alors que le bisphénol-A n'a été retrouvé que dans le Bas-Rhin. Des substances médicamenteuses (paracétamol, acide salicylique, tramadol ...), pourtant relativement fréquentes dans les campagnes précédentes, ont été recherchées sans succès. Ce résultat s'explique en partie par une modification des limites de quantification, évoluant en fonction de la quantité récupérée.

L'analyse du contexte hydrogéologique a permis d'expliquer localement des profils hydrochimiques atypiques, discriminant ainsi l'origine naturelle de l'origine anthropique de certaines fortes teneurs en ions (B, Zn, Fe...). Toutefois, il s'est avéré plus compliqué de faire le lien entre l'environnement des sites et la présence de résidus pharmaceutiques et de perturbateurs endocriniens. Un croisement entre les 176 STEP alsaciennes et les 48 forages étudiés s'est révélé insuffisant pour mettre en évidence des zones de contamination. Plusieurs phénomènes entrent en jeu : dilution, adsorption, ou encore dégradation de l'effluent en fonction de plusieurs facteurs (pH, matière organique...). En rappelant une fois le faible nombre de mesures, il a été intéressant de constater qu'aucune substance n'a été identifiée dans les forages de plus de 30 m de profondeur.

Dans les meilleurs cas, le suivi scientifique entre 2009 et 2013 a permis de prélever à 3 reprises l'eau souterraine dans un même forage (parmi ceux sélectionnés dans le cadre de l'étude). L'effort réalisé doit permettre de jeter les bases d'un suivi plus régulier allant de pair avec une veille sur l'état de la recherche scientifique concernant les polluants émergents.

## Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Préparation de la campagne.....</b>	<b>11</b>
2.1. CHOIX DES SITES.....	11
2.2. CHOIX DES SUBSTANCES .....	13
<b>3. Réalisation de la campagne.....</b>	<b>15</b>
3.1. CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES .....	15
3.1.1. Pluviométrie.....	15
3.1.2. Hydrologie .....	16
3.1.3. Piézométrie.....	16
3.2. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE .....	21
3.2.1. Liste des points mesurés .....	21
3.2.2. Protocole d'échantillonnage et conditionnement .....	22
3.2.3. Protocole d'analyse en laboratoire .....	23
<b>4. Exploitation des résultats .....</b>	<b>27</b>
4.1. APPROCHE QUANTITATIVE .....	27
4.1.1. Paramètres physico-chimiques mesurés in-situ .....	27
4.1.2. Hydrochimie.....	30
4.1.3. Substances identifiées .....	31
4.2. APPROCHE SPATIALISEE EN FONCTION DES PARAMETRES .....	32
4.2.1. Carbamazépine .....	32
4.2.2. Diclofénac.....	33
4.2.3. Sulfaméthoxazole .....	34
4.2.4. Bisphénol-A .....	35
4.2.5. Nonylphénol.....	37
4.2.6. Aluminium .....	37
4.2.7. Bore .....	40
4.2.8. Autres paramètres étudiés .....	42
4.3. EVOLUTION PAR RAPPORT AUX CAMPAGNES ANTERIEURES .....	42
4.3.1. Paramètres physico-chimiques .....	42
4.3.2. Aluminium.....	43
4.3.3. Ibuprofène et ses métabolites .....	43
4.3.4. Acide salicylique .....	45
4.3.5. Carbamazépine .....	46

4.3.6. Diclofénac .....	49
4.3.7. Sulfaméthoxazole .....	51
4.3.8. Bisphénol A .....	54
4.4. APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE.....	56
4.4.1. Répartition des stations d'épuration.....	56
4.4.2. Solubilité des produits détectés .....	58
4.4.3. Profondeur des prélèvements.....	58
4.4.4. Période basses/hautes eaux .....	59
<b>5. Synthèse et conclusion .....</b>	<b>61</b>
<b>6. Perspectives.....</b>	<b>63</b>
<b>7. Bibliographie.....</b>	<b>65</b>

## Liste des figures

Figure 1 - Localisation et origine des 50 points de mesure sélectionnés constituant le réseau d'observation des substances médicamenteuses et des perturbateurs endocriniens à l'échelle de la nappe d'Alsace (Source: BRGM).....	12
Figure 2 - Données pluviométriques pour septembre 2013 .....	15
Figure 3 - Débits de la Zorn et de la Bruch (Sources: DREAL et APRONA) .....	16
Figure 4 - Carte piézométrique de la nappe d'Alsace durant les moyennes eaux de 2009 (Source : APRONA).....	17
Figure 5 - Chroniques piézométriques en différents points de la nappe d'Alsace (Source: APRONA) 19	
Figure 6 - Chroniques piézométriques des ouvrages souterrains suivis par le BRGM à Sessenheim (01995X0012), Fessenheim (03795X0093) et Helsingue (04458X0023) [Source: ADES – BRGM].....	20
Figure 7 - Localisation des points prélevés lors de la campagne de septembre 2013 .....	21
Figure 8 – Exemple de configurations des sites prélevés. ....	23
Figure 9 - Statistiques du pH pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM) .....	27
Figure 10 - Statistiques de la conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM) .....	28
Figure 11 - Statistiques de la teneur en oxygène dissous ( $\text{mg}/\text{L}$ et %) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM).....	28
Figure 12 - Statistiques du potentiel rédox corrigé ( $\text{mV}$ ) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM) .	29
Figure 13 - Statistiques de la température pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM) .....	30
Figure 14 - Statistiques de la concentration en aluminium ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM) .....	30
Figure 15 - Statistiques de la teneur en bore pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM) .....	31
Figure 16 - Proportion relative des 4 molécules médicamenteuses retrouvées durant la campagne de septembre 2013 (Source: BRGM) .....	31

Figure 17 - Teneurs minimales, maximales et moyennes des substances retrouvées dans les eaux souterraines de la campagne de 2013 (Source: BRGM).....	31
Figure 18 - Répartition des teneurs en carbamazépine en 2013 (Source: BRGM) .....	33
Figure 19 - Répartition des concentrations en diclofénac en 2013 (Source: BRGM) .....	34
Figure 20 - Répartition des concentrations en sulfaméthoxazole en 2013 (Source: BRGM) .....	35
Figure 21 - Répartition des concentrations en bisphénol-A en 2013 (Source: BRGM) .....	36
Figure 22 - Comparaison entre l'aluminium et la teneur en Carbamazépine (Source: BRGM) .....	37
Figure 23 - Répartition des concentrations en aluminium en 2013 (Source: BRGM) .....	39
Figure 24 - Répartition des concentrations en bore en 2013 (Source: BRGM) .....	40
Figure 25 - Comparaison entre la conductivité et la concentration en bore pour 46 des 48 sites étudiés (Source: BRGM).....	41
Figure 26 - Comparaison entre les concentrations en bore et en carbamazépine (Source : BRGM) ...	41
Figure 27 - Répartition des concentrations en Carbamazépine pour les sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011 .....	48
Figure 28 – Répartition des concentrations en Diclofénac pour les sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011 .....	50
Figure 29 - Répartition des concentrations en sulfaméthoxazole pour les sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011 .....	53
Figure 30 - Répartition des concentrations en Bisphénol-A pour des sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011 .....	55
Figure 31 - Répartition des stations d'épuration en 2012 (Source : MEDDE - <a href="http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/">http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/</a> ) .....	57
Figure 32 - Comparaison entre la profondeur des 48 ouvrages et les concentrations en carbamazépine, diclofénac, sulfaméthoxazole et Bisphénol-A (Source : BRGM) .....	59
Figure 33 - Rappel des périodes d'échantillonnage pour les campagnes de 2009 à 2013 .....	59

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Liste des substances médicamenteuses et perturbateurs endocriniens analysés dans le cadre de la campagne de 2013. ....	14
Tableau 2 - Conditionnement des échantillons envoyés aux laboratoires (Source: BRGM) .....	22
Tableau 3 – Liste des analyses effectuées en fonction des laboratoires participant à l'étude (Source : BRGM) .....	22
Tableau 4 - Fréquences cumulées pour l'ibuprofène et un des ses métabolites lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS) .....	43
Tableau 5 - Récapitulatif de la teneur en ibuprofène pour la comparaison inter-campagnes .....	44
Tableau 6 - Récapitulatif de la teneur en acide salicylique pour la comparaison inter-campagnes .....	46
Tableau 7 - Fréquences cumulées pour la carbamazépine lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS) .....	46
Tableau 8 - Récapitulatif de la teneur en carbamazépine pour la comparaison inter-campagnes.....	47
Tableau 9 - Récapitulatif de la teneur en diclofénac pour la comparaison inter-campagnes .....	51

Tableau 10 – Fréquences cumulées pour le sulfaméthoxazole lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS) .....	51
Tableau 11 - Récapitulatif de la teneur en sulfaméthoxazole pour la comparaison inter-campagnes..	52
Tableau 12 - Fréquences cumulées pour le Bisphénol-A lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS) .....	54
Tableau 13 - Récapitulatif de la teneur en bisphénol-A pour la comparaison inter-campagnes.....	54
Tableau 14 - Solubilité dans l'eau pour les 4 molécules retrouvées en 2013 (Sources : INRS et <a href="http://esc.syrres.com">http://esc.syrres.com</a> consulté en mai 2014) .....	58

## Liste des annexes

Annexe 1 Chroniques piézométriques des ouvrages suivis par le BRGM .....	67
Annexe 2 Déroulement des prélèvements .....	71
Annexe 3 Mesures physico-chimiques in-situ .....	75
Annexe 4 Résultats du laboratoire BRGM.....	79
Annexe 5 Résultats du laboratoire CARSO.....	89
Annexe 6 Fiches des ouvrages sélectionnés pour la campagne .....	93

# 1. Introduction

La Région Alsace, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et la Direction Régionale Alsace du BRGM ont décidé de réaliser une étude, complémentaire aux travaux menés entre 2009 et 2011, sur les résidus médicamenteux et les perturbateurs endocriniens présents dans les eaux souterraines de la nappe d'Alsace. L'objectif du présent programme est d'obtenir une meilleure vision de la contamination à l'échelle de cet aquifère et de constituer au besoin un réseau de points de mesure pouvant être utilisé lors d'éventuelles autres campagnes de suivi des résidus médicamenteux et assuré ainsi un suivi. L'étude est cofinancée par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, la Région Alsace et la Subvention pour Charges de Service Public du BRGM (fiche programme de Service Public 12-EAUK-54).

Cette initiative est confortée par les recommandations issues d'une synthèse bibliographique du BRGM (Amalric et Bristeau, 2006). En raison de leurs relations étroites avec les cours d'eau, dans lesquels les effluents de stations d'épuration (STEP) sont rejetés, les nappes alluviales, telle que la nappe de la Plaine d'Alsace, sont particulièrement exposées et vulnérables aux pollutions.

Suite à ce constat, plusieurs études BRGM ont été préalablement menées sur le territoire alsacien et à différentes échelles : Communauté Urbaine de Strasbourg (Urban et Guignat, 2011), Région Alsace (Urban *et al.*, 2011), territoire national (Lopez et Laurent, 2013). Ces études ont démontré la présence de résidus médicamenteux dans de nombreux points d'eau souterraine prélevés en Alsace. Néanmoins, la répartition des points d'eau échantillonnés n'était pas aléatoire, car en partie motivée par une recherche de lien de cause à effet entre les rejets de STEP et la qualité des eaux souterraines situées en aval.

La multiplicité des sources de contamination possible (fuites des réseaux d'assainissement, épandage de boue d'épuration, décharges...) et l'absence de méthodologies avérées pouvant les distinguer amènent à définir des objectifs généraux pour cette nouvelle campagne :

- Couvrir de manière plus homogène l'aire de la nappe d'Alsace ;
- Cibler les substances médicamenteuses recherchées en fonction des premiers résultats ;
- Maintenir la plupart des points précédemment prélevés afin de construire une chronique de suivi des substances médicamenteuses et permettre à terme de donner une tendance de l'évolution de leurs concentrations.

Sur la base de ces objectifs, **le projet vise à obtenir un premier bilan plus représentatif de la présence de résidus médicamenteux à l'échelle de la nappe d'Alsace**. Il répond à l'action « Mieux connaître les sources de pollution et les surveiller pour bien agir » du second Plan Régional Santé Environnement (PRSE 2 – 2011/2015) en Alsace.

L'identification des sources potentielles, les relations pression/impacts qu'y en découlent pour les eaux souterraines, la caractérisation et l'identification de ces relations par des traceurs spécifiques devront faire l'objet d'un ou plusieurs projets complémentaires à celui-ci.

Le présent rapport décrit les caractéristiques des substances médicamenteuses recherchées ainsi que les procédures qui ont encadré la campagne de prélèvements de 2013. L'interprétation des résultats (mesures in-situ, hydrochimie, substances médicamenteuses...)

est abordée dans un premier temps de manière synthétique avant de procéder à leur analyse détaillée à l'échelle de l'aquifère en fonction du contexte hydrogéologique et des études antérieures.

## 2. Préparation de la campagne

### 2.1. CHOIX DES SITES

Le choix des points de mesures a eu pour objectif une meilleure répartition spatiale afin de couvrir l'ensemble du périmètre de la nappe alsacienne tout en conservant un maximum de points déjà prélevés pour assurer, à terme, la constitution de chroniques. La liste des points de mesure se base sur la liste des :

- Points analysés par le BRGM lors de la campagne de 2009 dans le cadre de l'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux de l'aquifère rhénan et lors d'une campagne complémentaire en 2011, réalisé sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace (15 points) ;
- Points analysés par le BRGM dans le cadre de l'Observatoire de la nappe au droit de la Communauté Urbaine de Strasbourg (ONAP) de 2009 (2 points) ;
- Points du réseau de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse analysés par le BRGM dans le cadre de la campagne nationale exceptionnelle de 2011 (4 points) ;
- Points retenus pour la campagne nationale menée par l'ARS en 2011 (1 point) ;
- Points supplémentaires prélevés lors des inventaires transfrontaliers n'ayant pas d'historique sur les substances médicamenteuses mais retenus de préférence pour compléter le réseau et obtenir une couverture homogène de la nappe phréatique (28 points).

L'illustration suivante présente la répartition proposée suite à la combinaison de ces sources d'information. Au final, 50 ouvrages souterrains ont été sélectionnés pour constituer ce premier réseau d'observation de la présence de résidus médicamenteux et de perturbateurs endocriniens à l'échelle de la nappe d'Alsace. Ces ouvrages ont fait l'objet d'une reconnaissance sur le terrain préalablement à la campagne de prélèvement. Une fiche technique par ouvrage a ensuite été réalisée, présentant les données techniques mais également les données de contact, d'accès, etc.

*Note : Les fiches techniques des ouvrages sont disponibles en annexe 6 et dans le CD joint au présent rapport.*

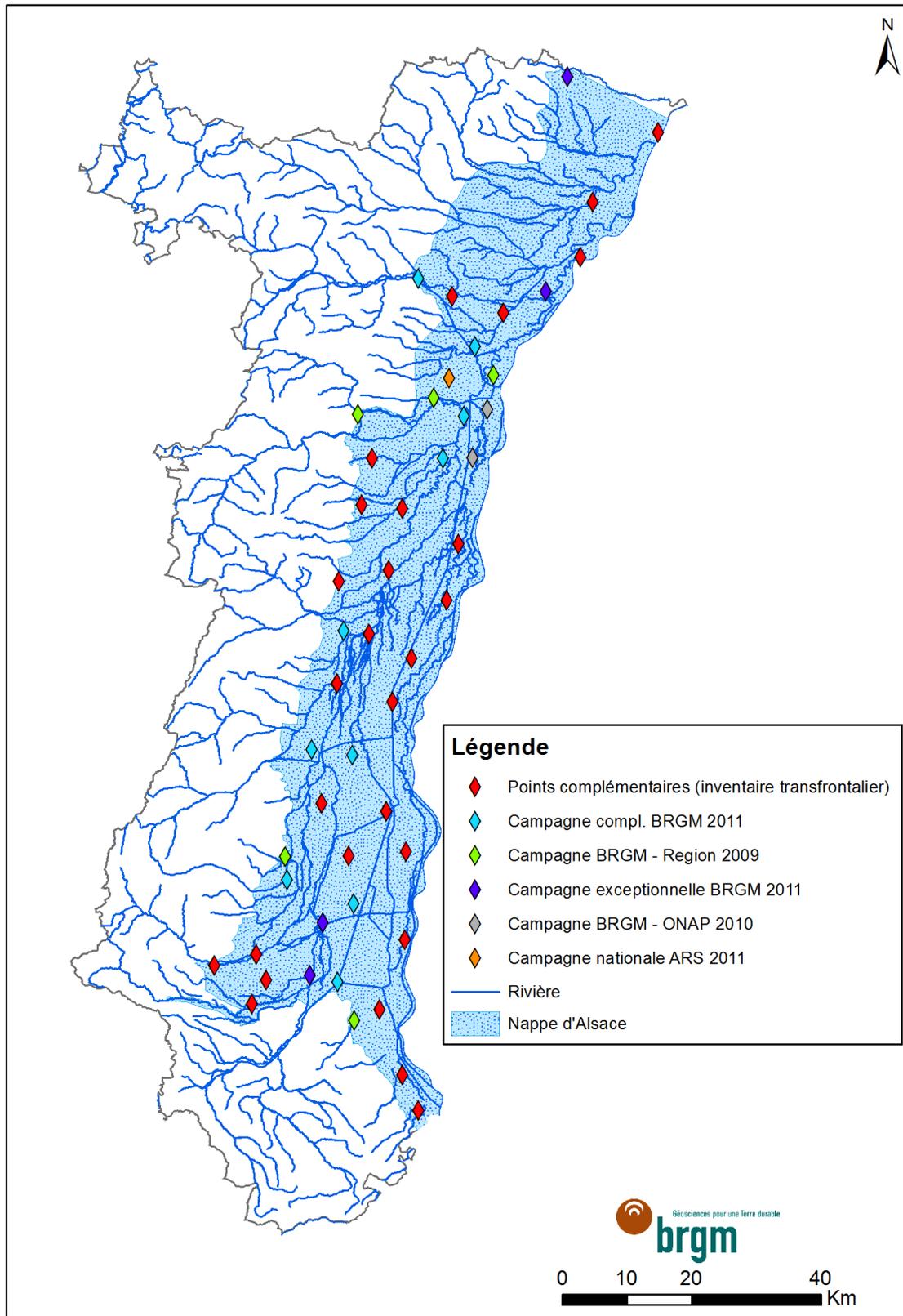


Figure 1 - Localisation et origine des 50 points de mesure sélectionnés constituant le réseau d'observation des substances médicamenteuses et des perturbateurs endocriniens à l'échelle de la nappe d'Alsace (Source: BRGM)

## 2.2. CHOIX DES SUBSTANCES

La liste des substances médicamenteuses retenues pour cette nouvelle campagne reprend la quasi-totalité des substances détectées lors des campagnes régionales précédentes (Urban *et al.*, 2011). Seul l'acide 4-chlorobenzoïque pouvant être le métabolite d'une molécule médicamenteuse mère, mais aussi un produit issu d'autres usages (notamment fongicide), rendant l'interprétation de son origine délicate n'a pas été retenu.

À cette liste ont été ajoutés deux perturbateurs endocriniens: le Bisphénol A (retrouvé lors des campagnes ONAP) et le Nonylphénol.

Enfin, en complément des molécules mères constituant majoritairement la liste préétablie, plusieurs métabolites sont ajoutés à cette liste à titre de test complémentaire (Tableau 1). En effet, les produits de dégradation des substances mère constituent un panel de substances susceptibles d'être détectées et pourraient présenter un risque sanitaire équivalent aux molécules mères.

Action pharmacologique	Molécules médicamenteuses	Type
Analgésique	Paracétamol	Molécule mère
	Tramadol	Molécule mère
	Codéine	Molécule mère
Antibiotique	Sulfaméthoxazole	Molécule mère
Bêtabloquant	Propranolol	Molécule mère
Antiépileptiques	Carbamazépine	Molécule mère
Anti-inflammatoire	Kétoprofène	Molécule mère
	Acide Salicylique	Molécule mère
	Diclofénac	Molécule mère
	Ibuprofène	Molécule mère
	1-Hydroxyibuprofène	Métabolite Ibuprofène
	2-Hydroxyibuprofène	Métabolite Ibuprofène
Antimycosique	Clotrimazol	Molécule mère
Hypolipédiant	fénofibrate	Molécule mère
	Acide fenofibrique	Métabolite fénofibrate
	Gemfibrozil	Molécule mère
	Acide clofibrique	Métabolite clofibrate
Psychotrope	Oxazépam	Molécule mère / Métabolite Diazépam
Perturbateurs endocriniens	Bisphénol A	Molécule mère
	4-Nonylphénol	Molécule mère

Tableau 1 - Liste des substances médicamenteuses et perturbateurs endocriniens analysés dans le cadre de la campagne de 2013.

Ces recherches ciblées s'accompagnent, pour chaque prélèvement, d'une mesure des paramètres physico-chimiques de terrain (température, conductivité, pH, O<sub>2</sub> dissous, potentiel redox) et d'une analyse des concentrations en ions majeurs ainsi que celles de quelques éléments traces comme l'aluminium susceptible d'influer sur la présence ou non de certaines substances. Ces éléments permettent aussi de caractériser les conditions régnant lors du prélèvement.

### 3. Réalisation de la campagne

La campagne de prélèvements d'eau a eu lieu du 16 au 27 septembre 2013.

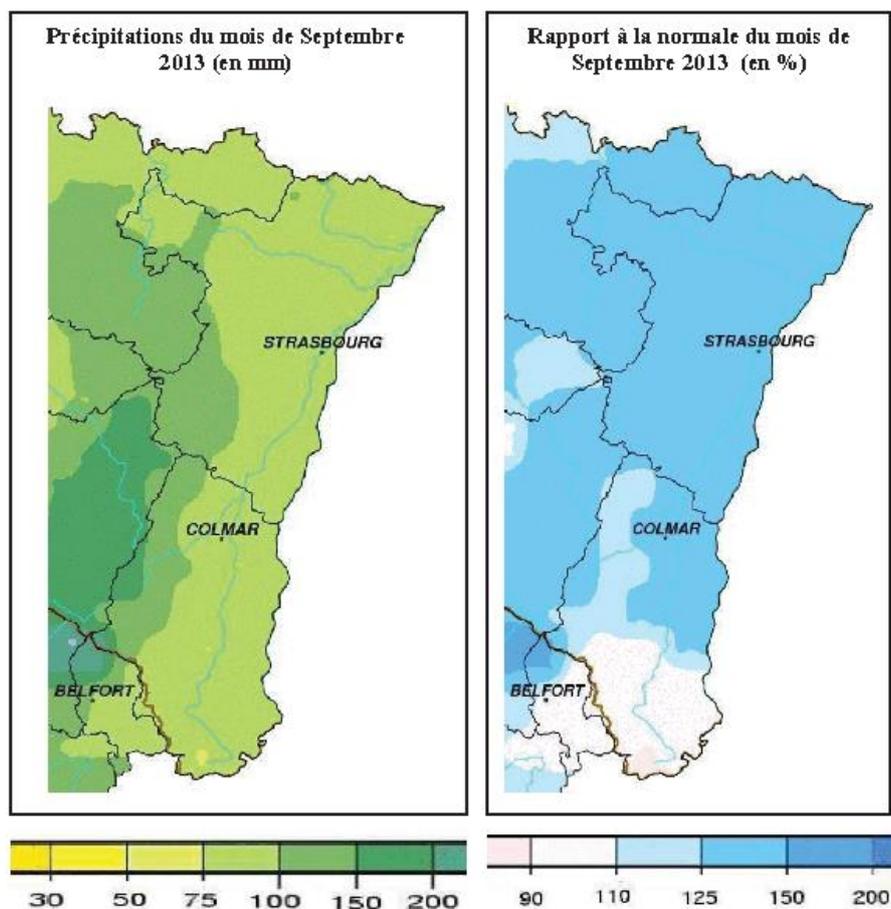
#### 3.1. CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES

Les conditions hydroclimatiques et hydrologiques ont été étudiées à partir des bulletins hydrologiques mensuels édités en collaboration par l'APRONA (Association pour la protection de la nappe phréatique de la Plaine d'Alsace), la DREAL et Météo France.

La piézométrie a été analysée au regard des bulletins de l'APRONA et des relevés du BRGM.

##### 3.1.1. Pluviométrie

À l'échelle du mois de septembre 2013, les précipitations mensuelles sont normales au sud de la région et deviennent excédentaires en remontant vers le nord (+25%). Les cumuls vont de 75 mm à 100 mm en plaine et s'élèvent jusqu'à 200 mm sur le relief vosgien (Figure 2). La 2<sup>nd</sup>e décennie a été la période la plus pluvieuse du mois de septembre.



### 3.1.2. Hydrologie

Concernant les rivières, les débits moyens mensuels sont en nette hausse par rapport au mois d'août 2013, à l'exception du Sundgau où la situation est normale. L'augmentation des débits est de plus en plus sensible à mesure que l'on remonte vers le nord, ainsi que sur les rivières vosgiennes (Figure 3). Les rivières vosgiennes du Haut-Rhin se retrouvent dans une période sèche de 2 à 5 ans, contrairement à la plupart des rivières Bas-Rhinoises (entre 3 et 10 ans humides). Quant au Rhin, celui-ci est dans une situation normale pour la saison.

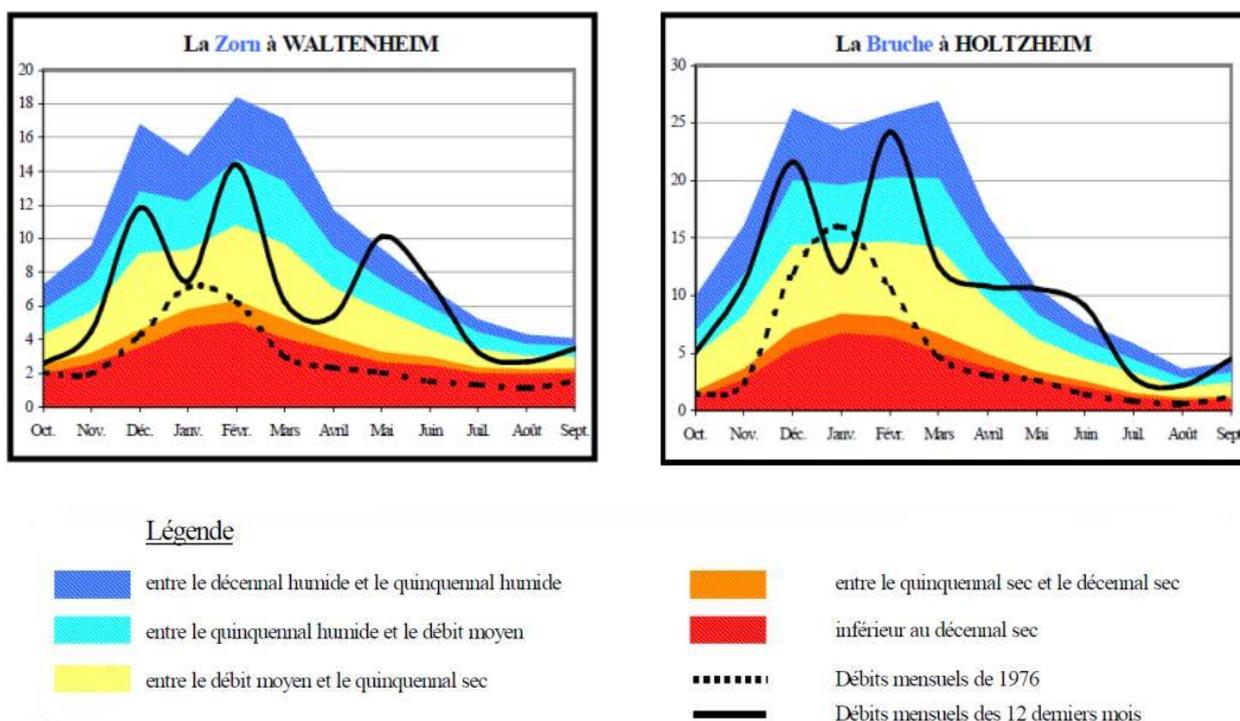


Figure 3 - Débits de la Zorn et de la Bruch (Sources: DREAL et APRONA)

### 3.1.3. Piézométrie

Dans sa partie française, la nappe d'Alsace accompagne la grande majorité des affluents du Rhin et de l'Ill et s'écoule globalement depuis le SSO (Haut-Rhin) vers le NNE (Bas-Rhin).

Les points les plus hauts de la nappe sont situés sur le bord sud-ouest de la plaine, puis le long des massifs vosgiens entaillés par des ruisseaux s'écoulant principalement vers l'Est (Figure 4). La piézométrie culmine alors entre 300 et 250 m, avant de rejoindre la plaine (225 à 200 m) vers Mulhouse. La nappe s'écoule ensuite avec un gradient plus faible vers Strasbourg, et ce, jusqu'à la pointe nord-est de la frontière franco-allemande (110 m).

La fonte des neiges/glaces augmente le débit des cours d'eau vosgiens et de leurs nappes d'accompagnement (orientées E-O), entraînant ainsi une modification locale de la piézométrie de la nappe d'Alsace (de l'ordre de 1 à 5 km).

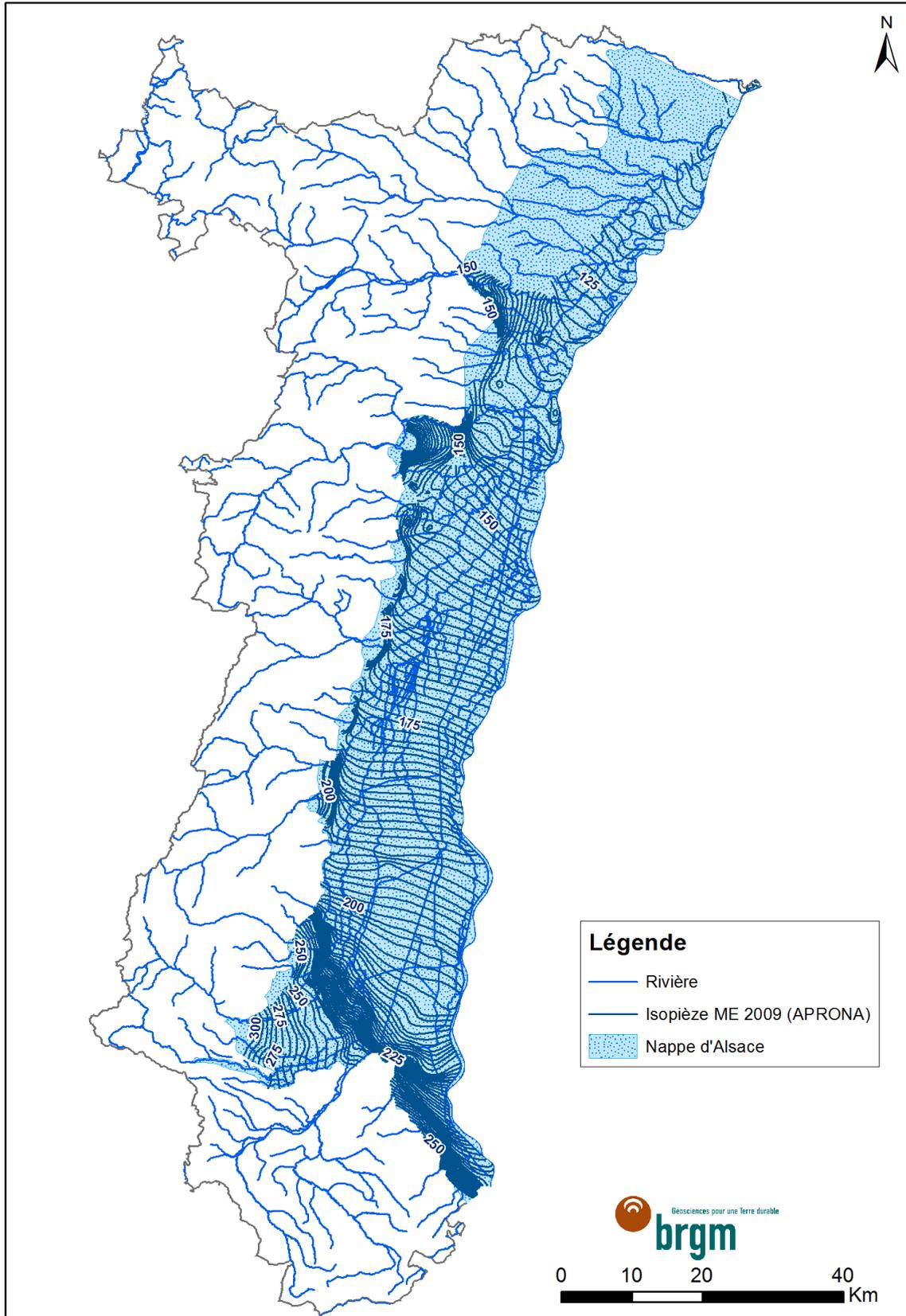


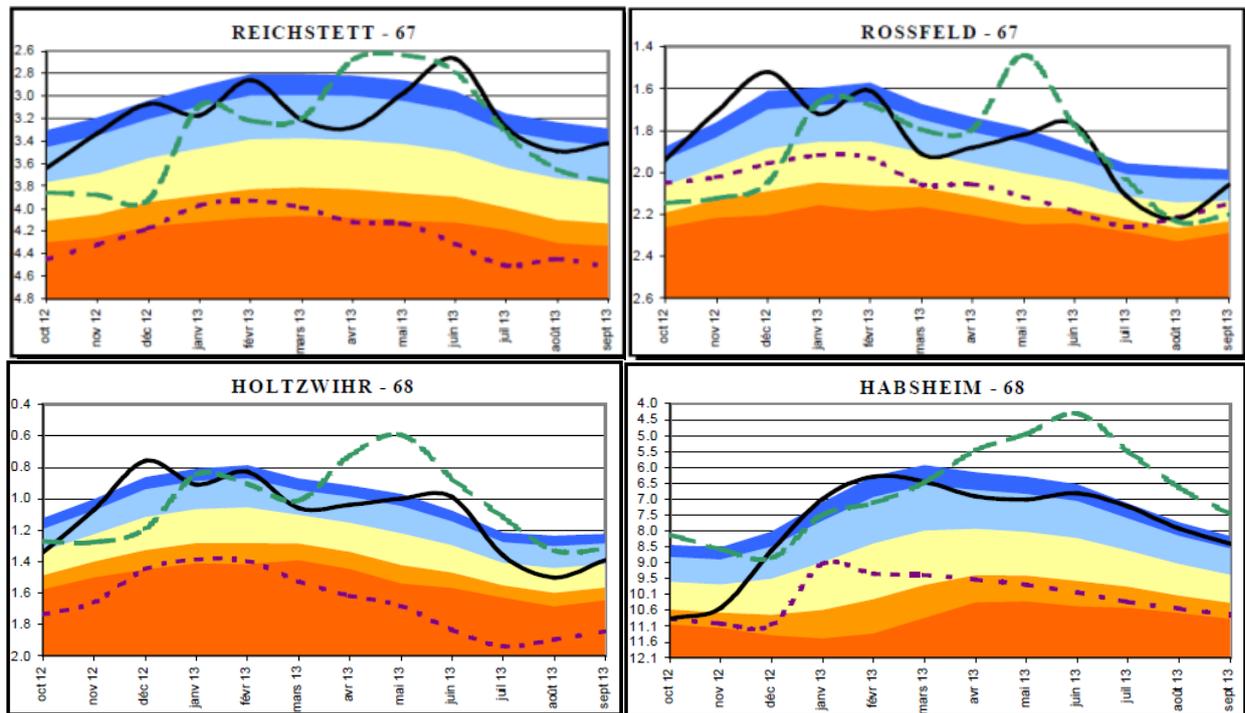
Figure 4 - Carte piézométrique de la nappe d'Alsace durant les moyennes eaux de 2009 (Source : APRONA)

Bien qu'une baisse généralisée ait été observée durant le mois d'août 2013, les tendances concernant les niveaux moyens du mois de septembre sont plus contrastées d'après l'APRONA (Figure 5). Dans l'extrême nord du Bas-Rhin, les niveaux baissent légèrement mais restent au-dessus de la normale (3 ans humides). Dans le reste du Bas-Rhin et jusqu'au nord de Colmar, la tendance est à une légère hausse, avec des niveaux qui repassent au-dessus des moyennes mensuelles. Au sud de Colmar et dans le reste du Haut-Rhin, les niveaux observés sont stables ou en légère baisse et restent encore supérieurs aux normales saisonnières.

À l'échelle intra-annuelle, les niveaux de la 2<sup>nd</sup>e quinzaine de septembre 2013 mesurés sur les ouvrages de Sessenheim (01995X0012), Fessenheim (03795X0093) et Hésingue (04458X0023) par le BRGM correspondent à une période de basses eaux pour toute la nappe d'Alsace (cf. Figure 6). Les observations de l'APRONA sont corroborées : le début de la recharge apparaît de façon plus précoce dans le nord (piézomètre de Sessenheim) que dans le sud de la région.

À l'échelle inter-annuelle, seule une faible tendance haussière des minima annuels peut être observée depuis fin 2011 – début 2012.

**Au regard des chroniques complètes des ouvrages** (disponibles en annexe 1), on peut en conclure que **les prélèvements ont été réalisés dans une période de basses eaux conforme, voire légèrement supérieure, aux normales saisonnières.**



Niveaux de période de retour :

- Entre le décennal humide et le quinquennal humide
- Entre le quinquennal humide et la normale
- Entre la normale et le quinquennal sec
- Entre le quinquennal sec et le décennal sec
- Inférieur au décennal sec

Figure 5 - Chroniques piézométriques en différents points de la nappe d'Alsace (Source: APRONA)

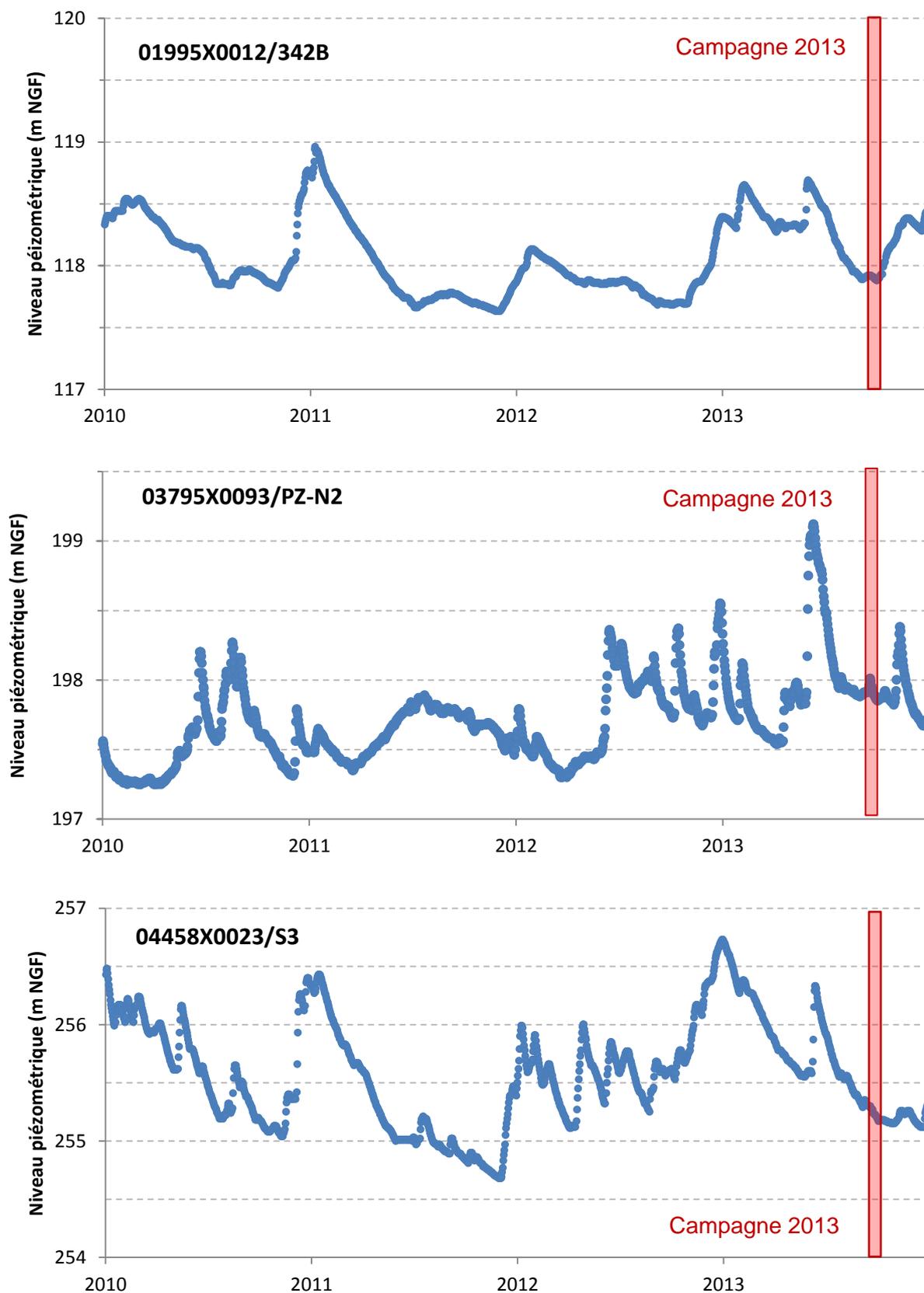


Figure 6 - Chroniques piézométriques des ouvrages souterrains suivis par le BRGM à Sessenheim (01995X0012), Fessenheim (03795X0093) et Helsingue (04458X0023) [Source: ADES – BRGM]

## 3.2. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

### 3.2.1. Liste des points mesurés

La campagne de prélèvements d'eau a eu lieu du 16 au 27 septembre 2013. Elle s'est déroulée sur un ensemble de 48 points. La localisation des points est donnée par la Figure 7 ci-après.

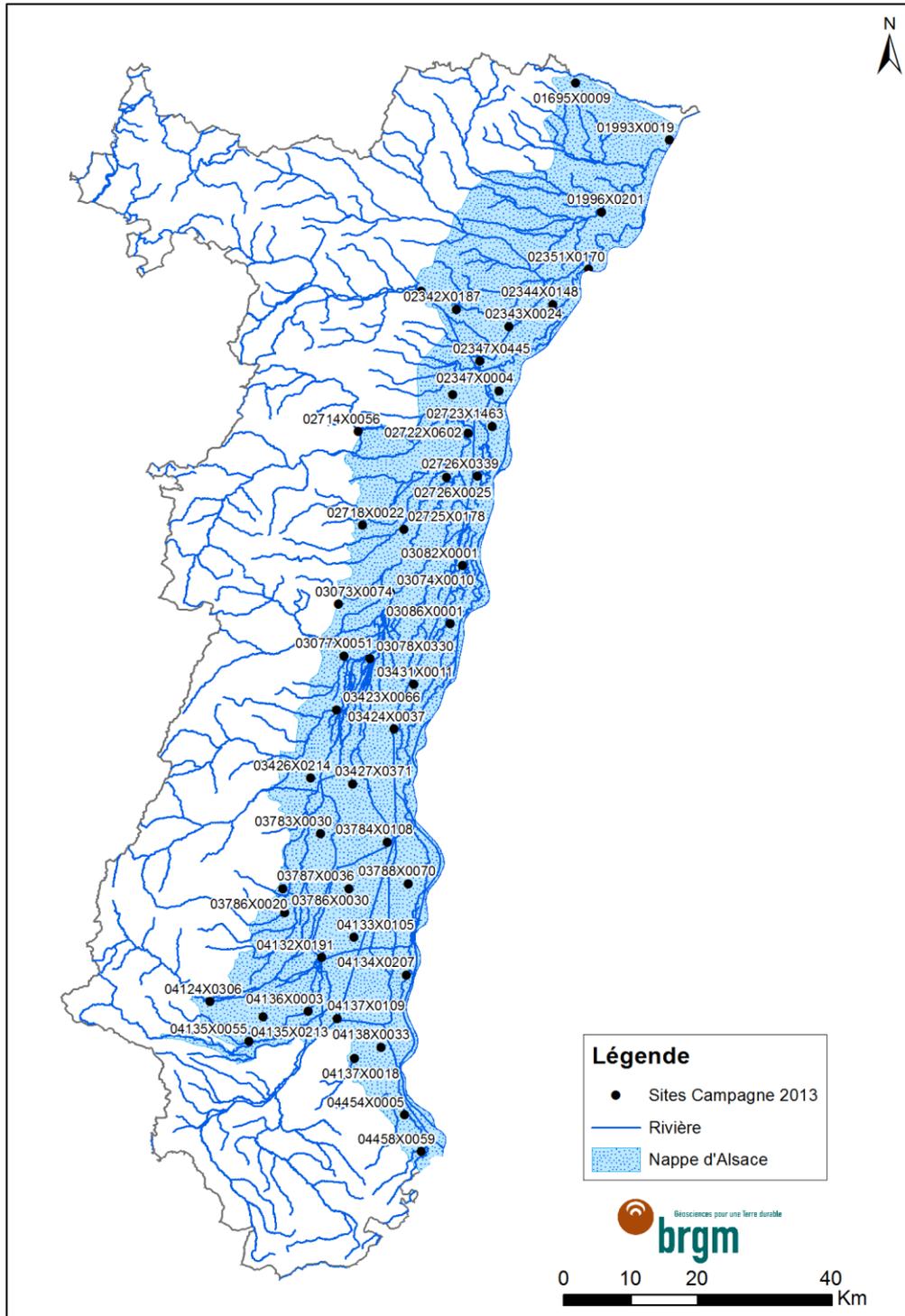


Figure 7 - Localisation des points prélevés lors de la campagne de septembre 2013

Initialement, 50 points étaient prévus points Malgré une reconnaissance préliminaire à la campagne de 2013, 2 points n'ont pu être prélevés du fait de leur configuration. Le puits 04131X0191 situé à Wittelsheim (Nord-Ouest de Mulhouse) fait partie de l'ancien champ captant de Langenzug. Cet ouvrage n'étant plus utilisé depuis longtemps, les données de contact ont été difficiles à trouver et cet ouvrage n'a exceptionnellement pas pu faire l'objet d'un repérage préliminaire. Lors du prélèvement, des incertitudes sur la pompe en place et l'état général de l'ouvrage n'ont pas permis de réaliser le prélèvement. Le forage 02718X0005, station de captage AEP de Griesheim-près-Molsheim (Sud-Ouest de Strasbourg), présentait un niveau piézométrique trop bas lors de la campagne pour être atteint par la pompe de prélèvement.

*Note :* Chaque point mesuré a fait l'objet d'une fiche de terrain. Celle-ci est disponible en annexe 6 et dans le CD joint au présent rapport.

### 3.2.2. Protocole d'échantillonnage et conditionnement

En dehors des ouvrages en exploitation continue, une purge des ouvrages a précédé les échantillonnages jusqu'à stabilisation des paramètres physico-chimiques, ce qui a assuré un renouvellement de la colonne d'eau.

Les prélèvements ont été réalisés soit directement au robinet, soit à l'aide d'une pompe immergée *twister* ou d'une pompe immergée *MP1* (Figure 8). Lorsque cela était possible, un niveau piézométrique a été mesuré avant chaque prélèvement.

Pour réaliser les différentes analyses, chaque prélèvement d'eau souterraine a donné lieu à la prise de différents échantillons pour chacun des deux laboratoires (cf. Tableau 2).

Flaconnage	Destination
3 flaconnages 1L de verre vert	Laboratoire d'analyses du BRGM à Orléans
3 flaconnages 50 mL en polyéthylène (PE)	
1 flaconnage 100 mL en PE	
3 flaconnages 1L de verre brun	Laboratoire d'analyses de CARSO-LSEHL à Lyon
1 flaconnage 500 mL en PE	
1 flaconnage 250 mL en PE	

Tableau 2 - Conditionnement des échantillons envoyés aux laboratoires (Source: BRGM)

Lieu d'analyses	Type d'analyses
Laboratoire d'analyses du BRGM à Orléans	hydrochimie + substances listées dans le Tableau 1 (à l'exception du 4-n nonylphénol, du bisphenol A et de l'acide clofibrique)
Laboratoire d'analyses de CARSO-LSEHL à Lyon	4-n nonylphénol, bisphenol A et acide clofibrique

Tableau 3 – Liste des analyses effectuées en fonction des laboratoires participant à l'étude (Source : BRGM)

Une filtration à 0,45 µm réalisée sur place a été nécessaire pour trois de ces familles de paramètres (cations et métaux, NO<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>, fer et manganèse) afin de stabiliser les paramètres. L'échantillon « cations et métaux » a également été acidifié avec de l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) supra-pur.

Les prélèvements ont été conservés en glacière à basse température, puis envoyés par colis *express* aux laboratoires partenaires pour les analyses.

Les conditions de prélèvements et les mesures physico-chimiques in-situ sont disponibles en annexes 3 et 4.



Figure 8 – Exemple de configurations des sites prélevés.

### 3.2.3. Protocole d'analyse en laboratoire

Lors de la mise en place d'une méthode d'analyse dans les eaux, la limite de quantification est validée conformément à la norme NF T 90-210, par dopages d'échantillons d'eau au niveau de la limite de quantification souhaitée.

La limite de quantification est vérifiée régulièrement en routine de 2 façons :

- **par dopage d'une eau de laboratoire analysée dans la série ;**
- **par contrôle dans chaque échantillon de la récupération d'un composé « traceur » ou « mouchard ».**

Le traceur est ajouté dans chaque échantillon en quantité connue, dès le début du protocole analytique. Il est quantifié, comme tous les autres composés, et on détermine la quantité récupérée. Une récupération complète nous renseigne sur le bon déroulement du protocole

analytique. Une récupération incomplète est significative d'un effet matrice dû à l'échantillon qui a impacté l'extraction et/ou l'analyse.

Ces effets matrice peuvent être nombreux et fréquents dans le cas de l'analyse des médicaments car ce sont des molécules difficiles et délicates à analyser. Cette particularité est d'ailleurs mentionnée dans la norme d'analyse XP T 90-223 de février 2013 : « *La présence d'acides humiques et fulviques dans les eaux naturelles est à l'origine d'interférences plus ou moins sévères par compétition lors de l'étape d'ionisation. Les interférences matricielles peuvent être liées à des contaminants co-extraits de l'échantillon. L'importance de ces interférences est étroitement liée à la nature des échantillons et est généralement plus élevée dans les eaux riches en matières organiques. Elles peuvent se traduire par une augmentation ou une atténuation du signal.* » [5.3 p10].

Dans le cas des médicaments nous utilisons comme traceur le même composé que celui que nous devons doser, mais sous sa forme déterrée, c'est-à-dire une forme synthétisée n'existant pas naturellement (traceur marqué). Ainsi pour chaque médicament, nous disposons d'un traceur ayant les mêmes propriétés physico-chimiques et donc le même comportement que la molécule d'intérêt, comme l'exige la norme. Par exemple, le traceur marqué, utilisé pour l'analyse du paracétamol est le paracétamol-d3. Si le paracétamol-d3 ajouté initialement est faiblement récupéré dans un échantillon, cela signifie que le paracétamol qui se trouve dans l'échantillon l'est aussi. Cela nous permet de tenir compte de cet effet et de le corriger dans le résultat fourni.

Il en est de même pour la limite de quantification :

- **si le traceur marqué est récupéré complètement nous savons que la limite de quantification (par exemple 0,050 µg/l) peut être respectée dans l'échantillon (s'il y avait eu du paracétamol à ce niveau nous l'aurions détecté).**
- **en revanche si le traceur marqué est faiblement récupéré dans un échantillon, par exemple à 40% seulement, une teneur éventuelle de 0,050 µg/l ne peut plus être détectée, car on n'en récupère que 40% soit 0,020 µg/l (en dessous de la limite de quantification). La limite de quantification ne peut pas être respectée. Nous devons donc la réévaluer pour prendre en compte l'effet matrice de cet échantillon, comme suit :  $0,050/40\% = 0,125 \mu\text{g/l}$ .**

La norme XPT 90-223 mentionne cet impact sur la limite de quantification : « *En présence de matières organiques, et de colloïdes, les interférences peuvent être plus nombreuses et les limites de quantification peuvent donc être plus élevées* » [§1 p7].

Conscient des problèmes générés par une augmentation de la limite de quantification lors de la phase suivante d'interprétation, le laboratoire du BRGM a effectué une seconde vérification sur la limite de détection (LD= 1/3.LQ) pour chacun des échantillons concernés afin de vérifier qu'aucun échantillon concerné ne se trouvait entre les valeurs LD et LQ.

En parallèle, il a été demandé au laboratoire CARSO (ayant pris en charge les analyses en bisphénol-A) d'effectuer une vérification des résultats en abaissant leur limite de quantification.

Pour chaque échantillon, les limites de quantification et les résultats d'analyse des laboratoires BRGM et CARSO-LSEHL sont disponibles en annexes 5 et 6.

Enfin, il a été nécessaire de développer pour ce projet la méthode d'analyse pour 2 composés, le tramadol et la codéine. Ces 2 composés ont été dosés par extraction sur cartouche (SPE – extraction en phase solide) puis analyse UPLC/MS-MS.



## 4. Exploitation des résultats

### 4.1. APPROCHE QUANTITATIVE

#### 4.1.1. Paramètres physico-chimiques mesurés in-situ

Pour rappel, les paramètres physico-chimiques ont été mesurés à la suite de la purge des ouvrages et après stabilisation des paramètres.

##### a) pH

Le pH varie entre 6,1 et 8,3 pour une moyenne et médiane proches de 7,1 (Figure 9). Ces valeurs sont conformes à celles observées dans la littérature : le pH médian (en l'absence de contamination) serait de 7,2 (Roux *et al.*, 2005). La valeur maximale de 8,3 a été obtenue au puits 02718X0022 de Goxwiller, où le technicien a détecté une légère odeur soufrée lors du prélèvement.

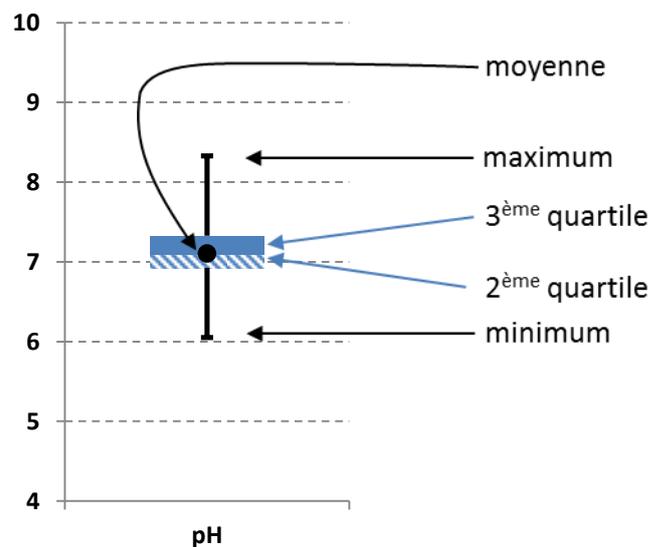


Figure 9 - Statistiques du pH pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM)

##### b) Conductivité

La conductivité (à 25°C) varie entre 333 et 9120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pour une moyenne de 846  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et une médiane de 687  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figure 10). Ces valeurs sont conformes à celles observées dans la littérature : la conductivité médiane (en l'absence de contamination) serait de 655  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Roux *et al.*, 2005). La valeur maximale (9120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), anormalement élevée, est due à l'échantillonnage du puits 04135X0213 sis à proximité d'un site lié à l'exploitation des mines de potasse : les dépôts en surface sont continuellement lessivés par la pluie et s'infiltrent à travers le sol jusque dans la nappe entraînant une forte charge ionique.

En faisant exception de cette valeur anormale, les maxima sont portés par les forages de Reichstett (02347X0445) et Fortschwihr (03427X0371), respectivement 1190 et 1071  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

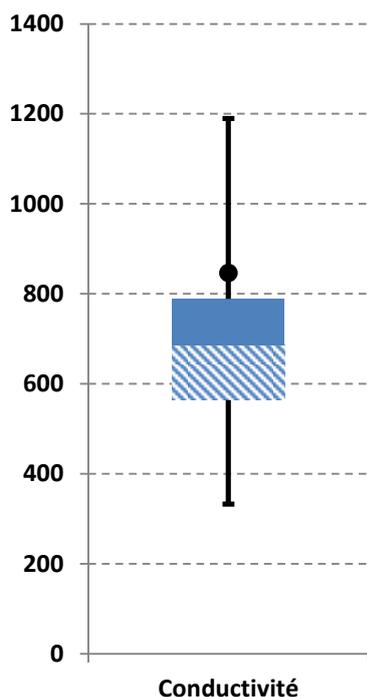


Figure 10 - Statistiques de la conductivité (µS/cm) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM)

### c) O<sub>2</sub> dissous

La teneur en oxygène dissous dans l'eau varie entre 0,6 et 10,4 mg/L, pour une moyenne de 5,0 et une médiane de 4,7 mg/L (Figure 13).

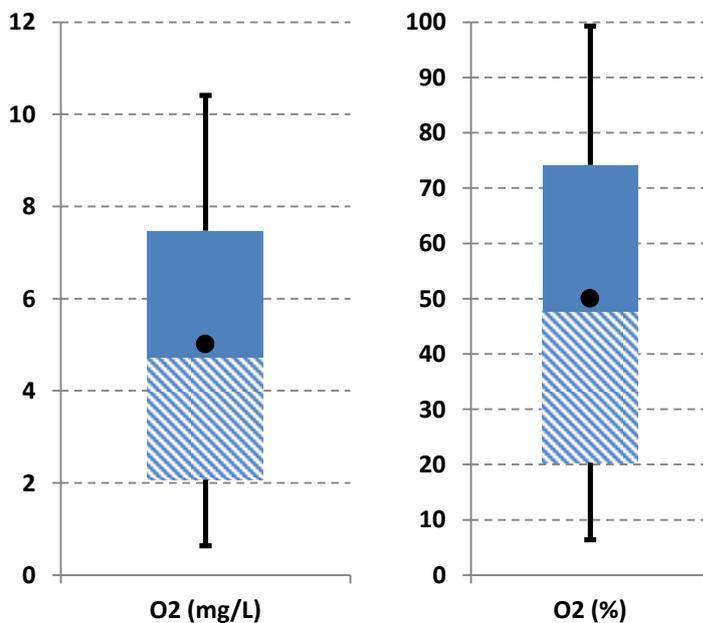


Figure 11 - Statistiques de la teneur en oxygène dissous (mg/L et %) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM)

#### d) **Potentiel rédox corrigé**

Le potentiel rédox corrigé (par rapport à une électrode de référence) varie entre -37,7 et 618,9 mV, pour une moyenne de 421 mV et une médiane de 461 mV (Figure 12). Les 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles sont relativement bien groupés autour de la médiane et de la moyenne, mais le minimum observé (-38 mV) apparaît comme non-cohérent avec le reste des mesures.

Le piézomètre 02726X0339/GRAV est le seul ouvrage échantillonné présentant un potentiel rédox corrigé négatif (-38 mV). Lors du prélèvement, le technicien du BRGM a observé une forte concentration de particules noires en suspension (en début de purge), la présence d'une autre phase liquide comparable à des hydrocarbures, ainsi qu'une forte odeur d'assainissement.

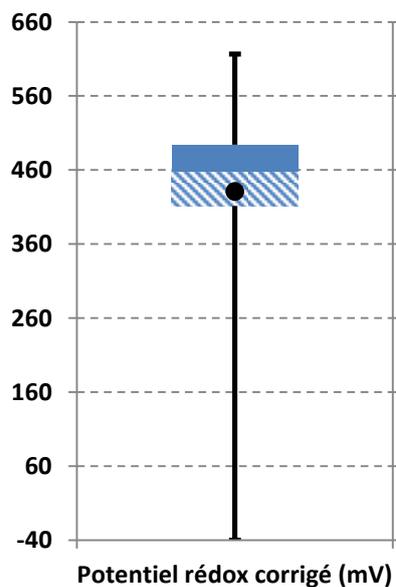


Figure 12 - Statistiques du potentiel rédox corrigé (mV) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM)

#### e) **Température**

La température varie entre 11,2 et 20,7°C, pour une moyenne de 13,6°C et une médiane de 13,1°C (Figure 13). Le maximum a été mesuré pour le point 03426X0214 (Colmar), or le prélèvement a été réalisé dans les locaux de l'entreprise (robinet) situés à plusieurs dizaines de mètres du forage. La même situation est apparue au forage 04137X0055 (Reiningue) sans que cela ne gère une anomalie thermique. On note néanmoins l'existence de fortes valeurs : 18,2°C et 19,7°C, respectivement aux forages 02351X0170 (Dalhunden) et 03788X0070 (Heiteren).

En dehors des valeurs incluses dans le 4<sup>ème</sup> quartile, ces valeurs sont conformes à celles observées dans la littérature : la température (en l'absence d'anomalie thermique) est comprise entre 10 et 15°C pour une moyenne de 13°C (Roux *et al.*, 2005).

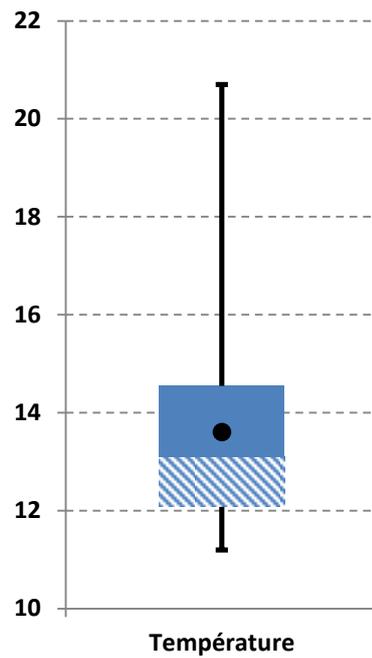


Figure 13 - Statistiques de la température pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM)

#### 4.1.2. Hydrochimie

##### a) Aluminium

La teneur en aluminium ( $Al^{3+}$ ) dans l'eau varie entre 0,53 et 4,8  $\mu g/L$ , pour une moyenne de 1,31  $\mu g/L$ . La valeur la plus forte est obtenue pour l'ouvrage 02726X0339 (ancienne gravière) d'Eschau. La limite de quantification (0,5  $\mu g/L$ ) n'a pas été dépassée pour 3 échantillons.

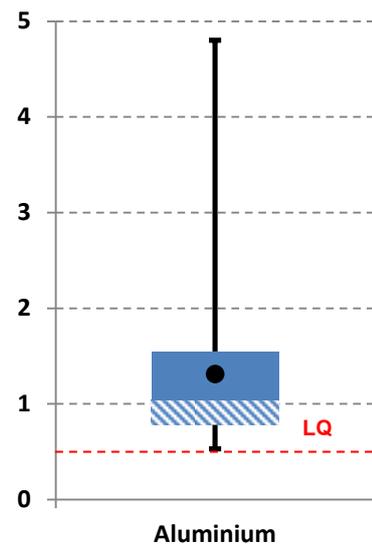


Figure 14 - Statistiques de la concentration en aluminium ( $\mu g/L$ ) pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM)

## b) Bore

La teneur en bore dans l'eau varie entre 10,2 et 830 µg/L, pour une moyenne de 68,44 µg/L (Figure 15). La valeur la plus forte est obtenue pour l'ouvrage 04135X0213 de Wittelsheim ; la plus faible pour le puits 02722X0543 de Wolfisheim. La limite de quantification (0,5 µg/L) a été dépassée pour tous les échantillons.

Dans le cas du bore, les deux valeurs les plus fortes (563 et 830 µg/L) biaisent considérablement le calcul de la moyenne des échantillons : la moyenne est plus de 2 fois supérieure à la médiane (31,2 µg/L), ainsi que supérieure au 3<sup>ème</sup> quartile (57,2 µg/L).

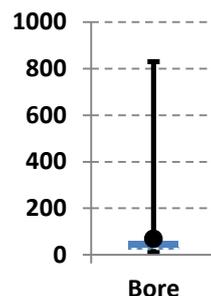


Figure 15 - Statistiques de la teneur en bore pour les 48 sites prélevés (Source: BRGM)

### 4.1.3. Substances identifiées

**Environ 31 % des points** (15 sur 48 échantillons) **présentent un ou plusieurs des résidus recherchés**. Les 33 autres échantillons présentent des teneurs inférieures aux limites de détection/quantification (qui peuvent varier pour une même molécule en fonction des analyses déjà faites sur l'échantillon (cf. §3.2.3).

Seules 4 des 20 substances analysées (soit 20%) parmi les 48 échantillons d'eau souterraine analysée ont été détectées, c'est-à-dire quantifiées avec des concentrations supérieures à la Limite de Quantification (LQ)..

**Les molécules détectées sont, par ordre décroissant d'occurrence, la carbamazépine** (détectée 10 fois sur 48 échantillons, soit avec la fréquence la plus élevée), **le Bisphénol-A** (détecté 6 fois), **le diclofénac et le sulfaméthoxazole** (respectivement détectés 1 fois chacun).

Figure 16 - Proportion relative des 4 molécules médicamenteuses retrouvées durant la campagne de septembre 2013 (Source: BRGM)

**Le bisphénol-A est la molécule retrouvée dans les plus fortes concentrations**. Sa teneur moyenne dans les eaux échantillonnées est plus de 10 fois supérieure à celles des autres résidus détectés (cf. Figure 17).

Molécule	Minimum	Maximum	Moyenne	Nombre d'échantillons
Carbamazépine (ng/L)	20	148	38,6	10
Bisphénol A (ng/L)	150	1150	490	6
Diclofénac (ng/L)	28 *	28 *	28 *	1
Sulfaméthoxazole (ng/L)	47 *	47 *	47 *	1

Figure 17 - Teneurs minimales, maximales et moyennes des substances retrouvées dans les eaux souterraines de la campagne de 2013 (Source: BRGM)

\* Remarque : calcul de la « moyenne » biaisé par la taille de l'échantillon pour cette substance ( $n=1$  valeur).

Parmi les 15 échantillons positifs, 12 échantillons présentent une et uniquement une substance. Seulement 3 contiennent 2 résidus pharmaceutiques et aucun n'en contient plus de 2. On constate ainsi que :

- l'échantillon de l'ouvrage 02726X0339 contient à la fois du diclofénac (28 ng/L – seule valeur mesurée) et du bisphénol-A (1,15 µg/L – valeur maximale) ;
- l'échantillon de l'ouvrage 03786X0030 renferme simultanément du sulfaméthoxazole (47 ng/L – seule valeur mesurée) et de la carbamazépine (148 ng/L – valeur maximale mesurée) ;
- l'échantillon de l'ouvrage 02351X0170 contient à la fois de la carbamazépine (36 ng/L) et du bisphénol-A (0,355 µg/L).

Malgré la faible représentativité (3 ouvrages contenant 2 molécules recherchées), il est intéressant de noter que les échantillons présentant du diclofénac ou du sulfaméthoxazole possèdent également les valeurs maximales en bisphénol-A et en carbamazépine.

Ces résultats sont plutôt en cohérence avec les études similaires menées sur le plan national (bassins Adour-Garonne, Seine-Normandie et Loire Bretagne) et en concordance avec la consommation (bisphénol A - utilisé dans une large variété de produits) et la persistance dans l'environnement (carbamazépine – molécule qui se dégrade difficilement et lentement). Cependant, un certain nombre de classes de médicaments, pourtant « communes », sont absentes des résultats. A titre d'exemple, aucun anti-inflammatoire n'a été retrouvé alors que l'acide salicylique - métabolite de l'aspirine - est très fortement consommé en France.

## 4.2. APPROCHE SPATIALISEE EN FONCTION DES PARAMETRES

### 4.2.1. Carbamazépine

La carbamazépine a été détectée sur 10 échantillons, répartis également entre les départements du Bas-Rhin et du Haut-Rhin.

Les eaux souterraines contaminées semblent constituer 2 groupes géographiques distincts, regroupant chacun 5 points. Ils sont situés respectivement au nord et au sud. Le centre de la zone d'étude est moins, voire non, contaminée (LQ = 20 ng/L).

Au regard des résultats actuels, la carbamazépine semble répartie de façon hétérogène dans l'aquifère alsacien. Deux groupes de points semblent apparaître : l'un dans le Haut-Rhin, grossièrement centré sur les **environs nord et nord-est de l'agglomération de Mulhouse (aval hydraulique)** ; l'autre dans le Bas-Rhin, de l'Eurométropole de Strasbourg en direction du Nord (aval hydraulique) vers Lauterbourg. Ces 2 groupes sont donc séparés par une vaste zone, d'environ 60 km de long entre Colmar et l'extrémité sud de l'agglomération de Strasbourg, où cette substance n'a pas été détectée.

La concentration en carbamazépine la plus forte (148 ng/L) a été relevée pour l'ouvrage 03786X0030 de Merxheim, ce qui constitue la valeur la plus élevée relevée sur ce point depuis les 1ères mesures en 2009 (Pour plus de détail sur le point, voir. annexe 6).

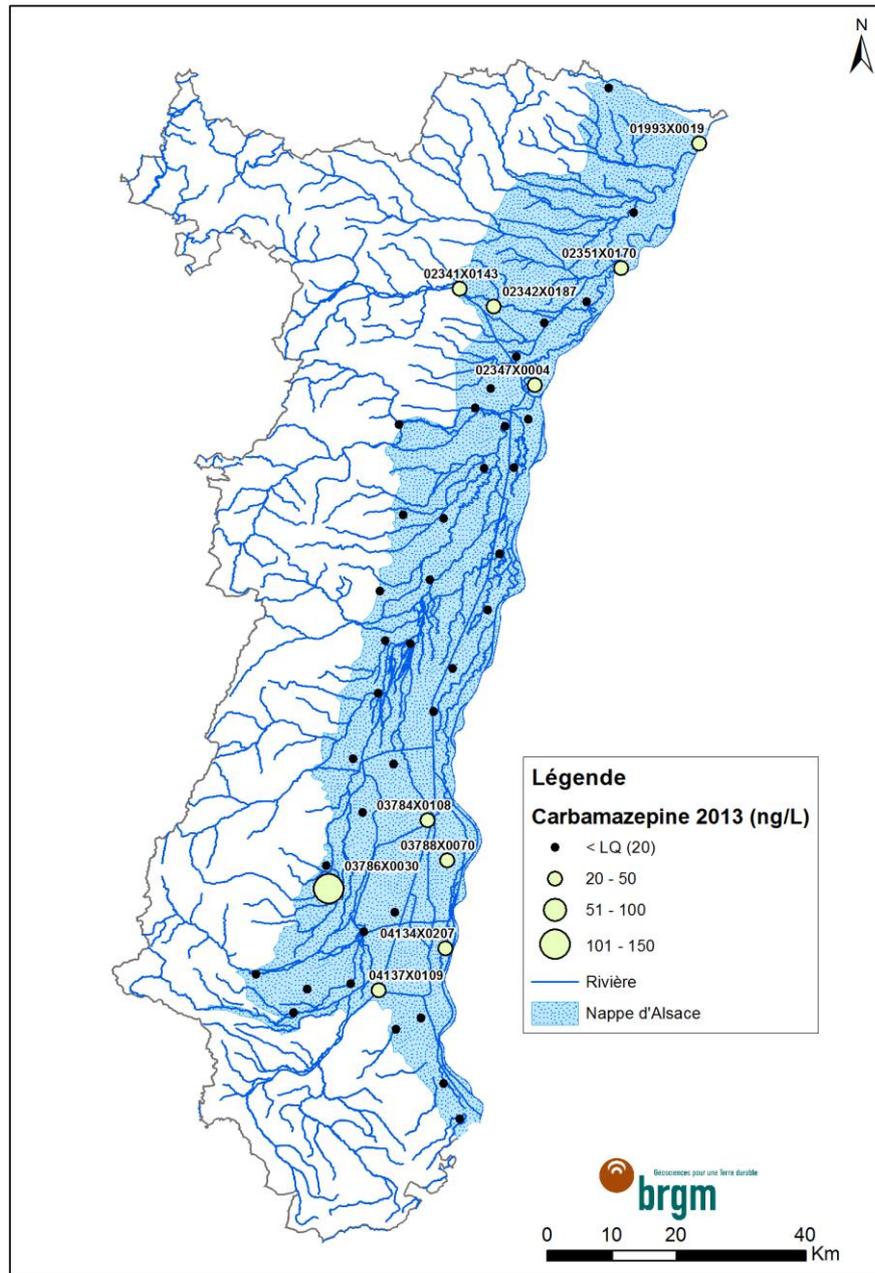


Figure 18 - Répartition des teneurs en carbamazépine en 2013 (Source: BRGM)

#### 4.2.2. Diclofénac

Seul l'ouvrage 02726X0339 d'Eschau (67), situé à environ 10 km au sud de Strasbourg (gravière), a mis en évidence la présence de diclofénac dans la nappe d'Alsace (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La concentration a été mesurée à 28 ng/L (LQ = 20 ng/L pour 46 échantillons, 65 et 85 ng/L pour 2 échantillons).

Cet ouvrage a également été identifié pour sa concentration en bisphénol-A (§ 4.2.4), en aluminium (§ 4.2.6) et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

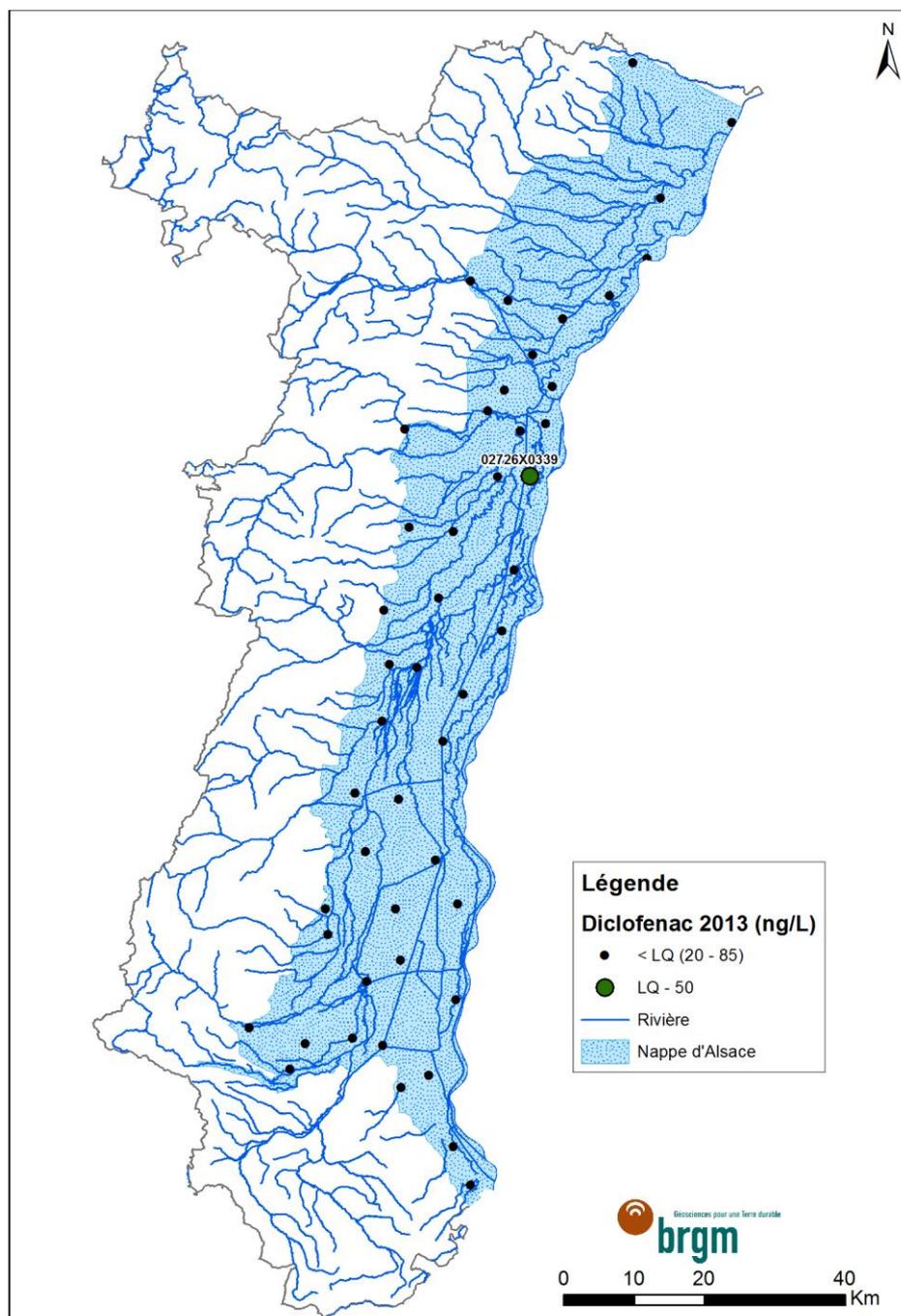


Figure 19 - Répartition des concentrations en diclofénac en 2013 (Source: BRGM)

#### 4.2.3. Sulfaméthoxazole

Seul l'ouvrage 03786X0030 de Merxheim (68) a mis en évidence la présence de sulfaméthoxazole dans la nappe d'Alsace (Figure 20). La concentration a été mesurée à 47 ng/L (LQ = 20 ng/L pour les 48 échantillons).

Cet ouvrage a également été identifié pour sa forte concentration en carbamazépine (§ 4.2.1).

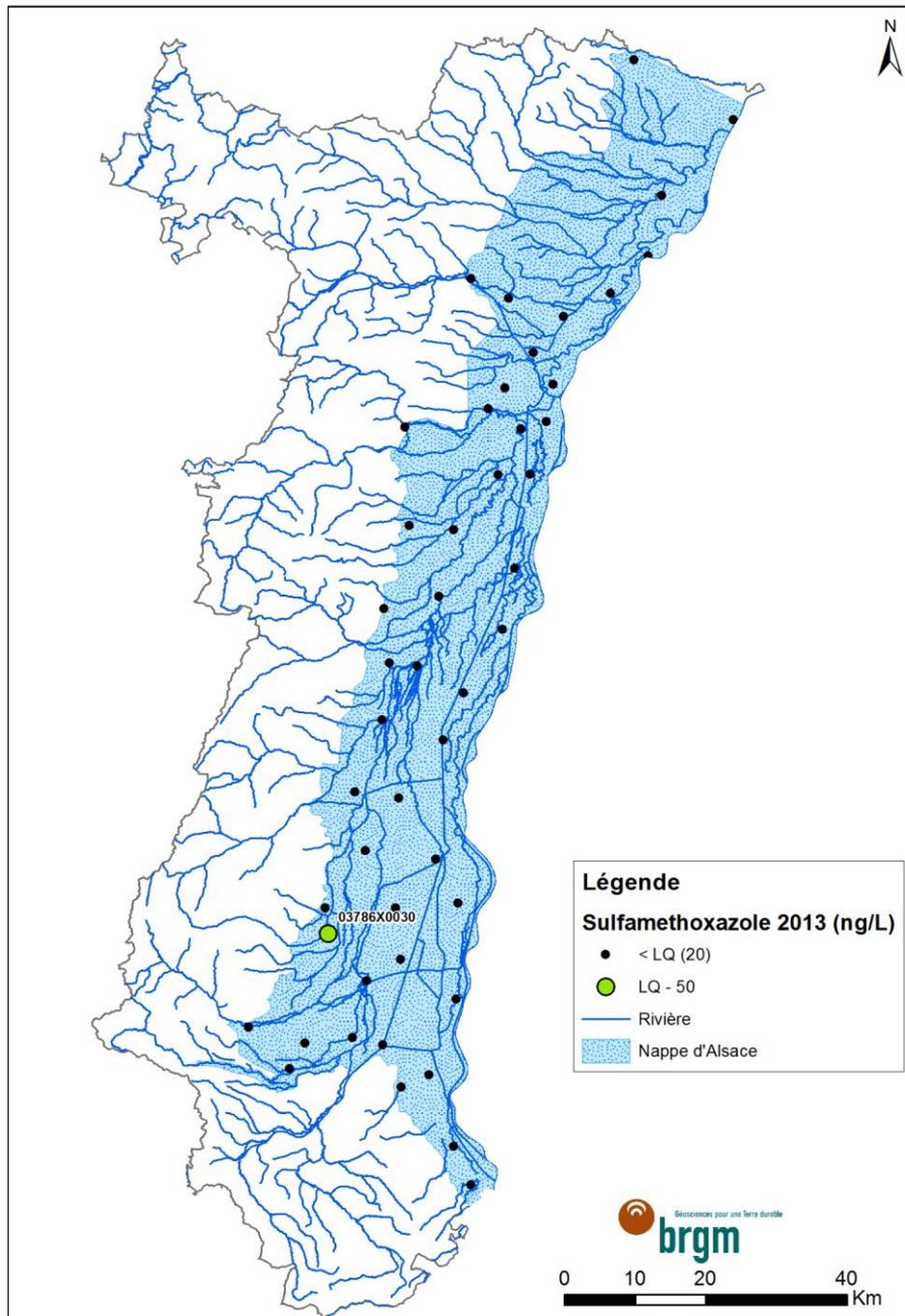


Figure 20 - Répartition des concentrations en sulfaméthoxazole en 2013 (Source: BRGM)

#### 4.2.4. Bisphénol-A

*Note :* Initialement à 0,2 µg/L, la limite de quantification pour le bisphénol-A a été abaissée à 0,1 µg/L grâce aux efforts du laboratoire d'analyse ; permettant ainsi la quantification d'un point supplémentaire.

Le bisphénol-A, perturbateur endocrinien, a été retrouvé essentiellement dans le Bas-Rhin (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les 6 sites concernés se trouvent préférentiellement dans la partie la plus centrale de la plaine d'Alsace.

La concentration en bisphénol-A la plus forte (1,15 µg/L) a été relevée par l'ouvrage 02726X0339 (ancienne gravière) d'Eschau. Les autres concentrations ont des valeurs comprises entre 0,1 et 0,5 µg/L (100 et 500 ng/L).

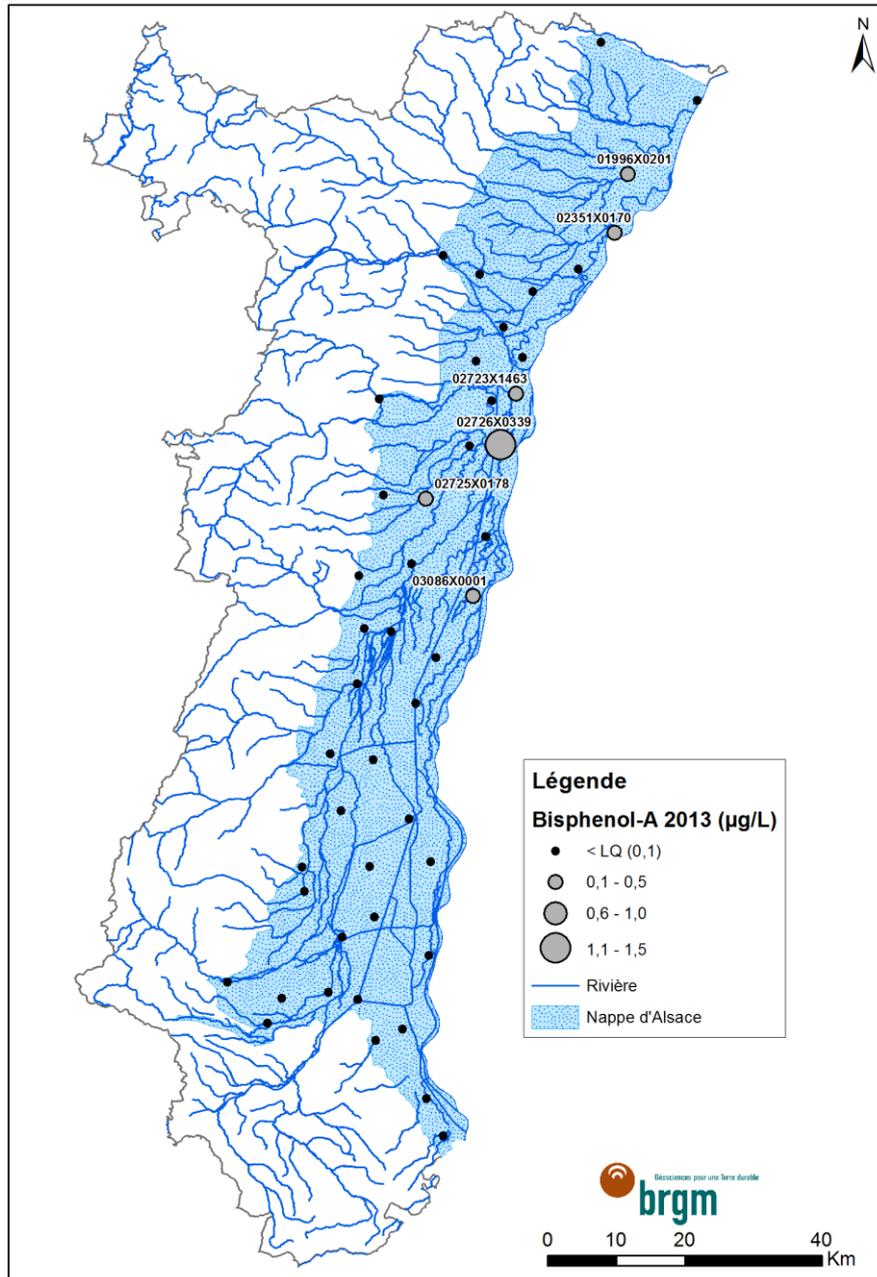


Figure 21 - Répartition des concentrations en bisphénol-A en 2013 (Source: BRGM)

#### 4.2.5. Nonylphénol

Le 4n-nonylphénol n'a pas été détecté sur les 48 sites échantillonnés. (LQ = 0,1 µg/L).

#### 4.2.6. Aluminium

La limite de quantification de l'aluminium (0,5 µg/L) a été dépassée dans 45 des 48 sites prélevés (§ 4.1.2. a). La répartition des concentrations les plus élevées, ainsi que celle des plus faibles, ne laissent pas apparaître d'élément géographique discriminant de façon claire (Figure 23). À titre d'exemple, 3 des 6 valeurs supérieures à 2 µg/L sont regroupées à proximité de Strasbourg mais côtoient des valeurs relativement faibles.

En plus des caractéristiques propres à chaque produit pharmaceutique (pKa, solubilité dans l'eau...), des travaux de recherche récents (notamment Bui et Choi ; 2010) ont confirmé l'influence de la force ionique, la présence de cations divalents ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), la présence de cations trivalents ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) et la teneur en matière organique dans l'eau vis-à-vis de l'adsorption de produits médicamenteux sur la partie siliceuse d'un sédiment. Conformément au cahier des charges, l'influence de la concentration en aluminium est abordée dans ce rapport.

En comparant graphiquement les concentrations en  $\text{Al}^{3+}$  et en carbamazépine (résidu trouvé préférentiellement dans les eaux souterraines durant la campagne de septembre 2013), aucune corrélation positive ou négative n'a pu être identifiée (Figure 22). L'échantillon statistique est trop faible : les points ayant une valeur supérieure à la limite de quantification respective pour l'aluminium et la carbamazépine sont en nombre plutôt réduit (10 pour 48 sites prélevés). Bui et Choi (2010) pointent néanmoins que la carbamazépine est faiblement influencée par la présence de cations trivalents.

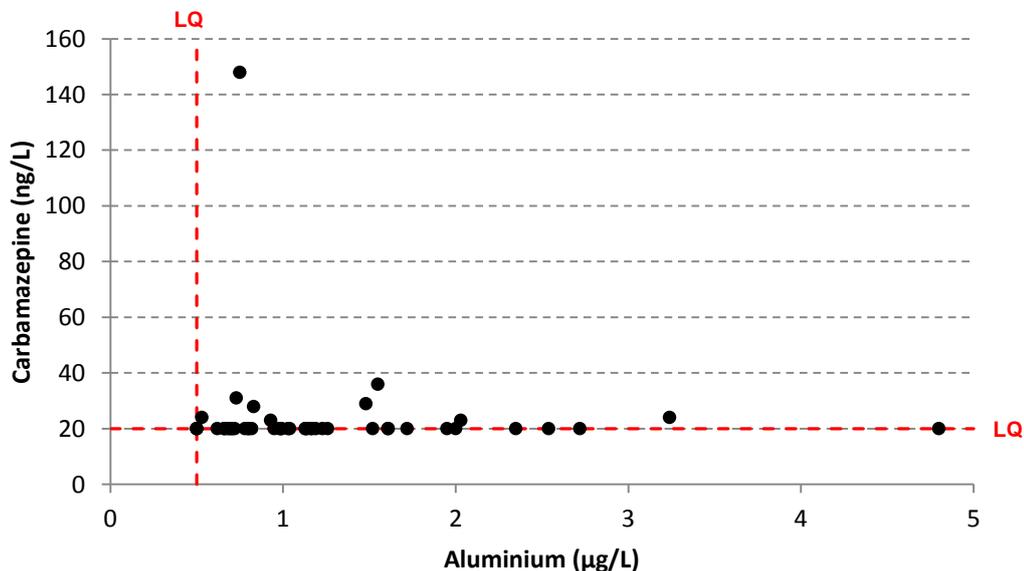


Figure 22 - Comparaison entre l'aluminium et la teneur en Carbamazépine (Source: BRGM)

*Remarque :* Par défaut, les valeurs inférieures à la LQ ont été fixées arbitrairement à la valeur de la LQ sur le graphique (20 ng/L ; 0,5 µg/L).

De plus, le nombre de mesures est également trop faible pour calculer une valeur correspondant au fond géochimique naturel. Brenot *et al.* (2007) avait fait le même constat : pour tout le bassin Rhin-Meuse, seules 30 stations étaient disponibles (représentant 997 analyses) pour réaliser ce calcul.

L'exercice de comparaison n'a pu être répété avec la teneur en diclofénac et en sulfaméthoxazole du fait d'un échantillon statistique encore plus réduit (ces 2 substances n'ont été mesurées que dans 2 ouvrages). Il est seulement permis de constater que le forage 02726X0339 (ancienne gravière d'Eschau), seul site ayant détecté la présence de diclofénac en 2013, possède aussi la concentration en  $Al^{3+}$  la plus élevée (4,8  $\mu g/L$ ).

Bien que n'ayant actuellement pas connaissance d'un lien entre l'adsorption du bisphénol-A et la teneur en cations trivalents, le constat d'un échantillon statistique trop restreint est similaire. Il est seulement permis de constater que le forage 02726X0339 (ancienne gravière d'Eschau), possède respectivement les teneurs en  $Al^{3+}$  et bisphénol-A les plus élevées.

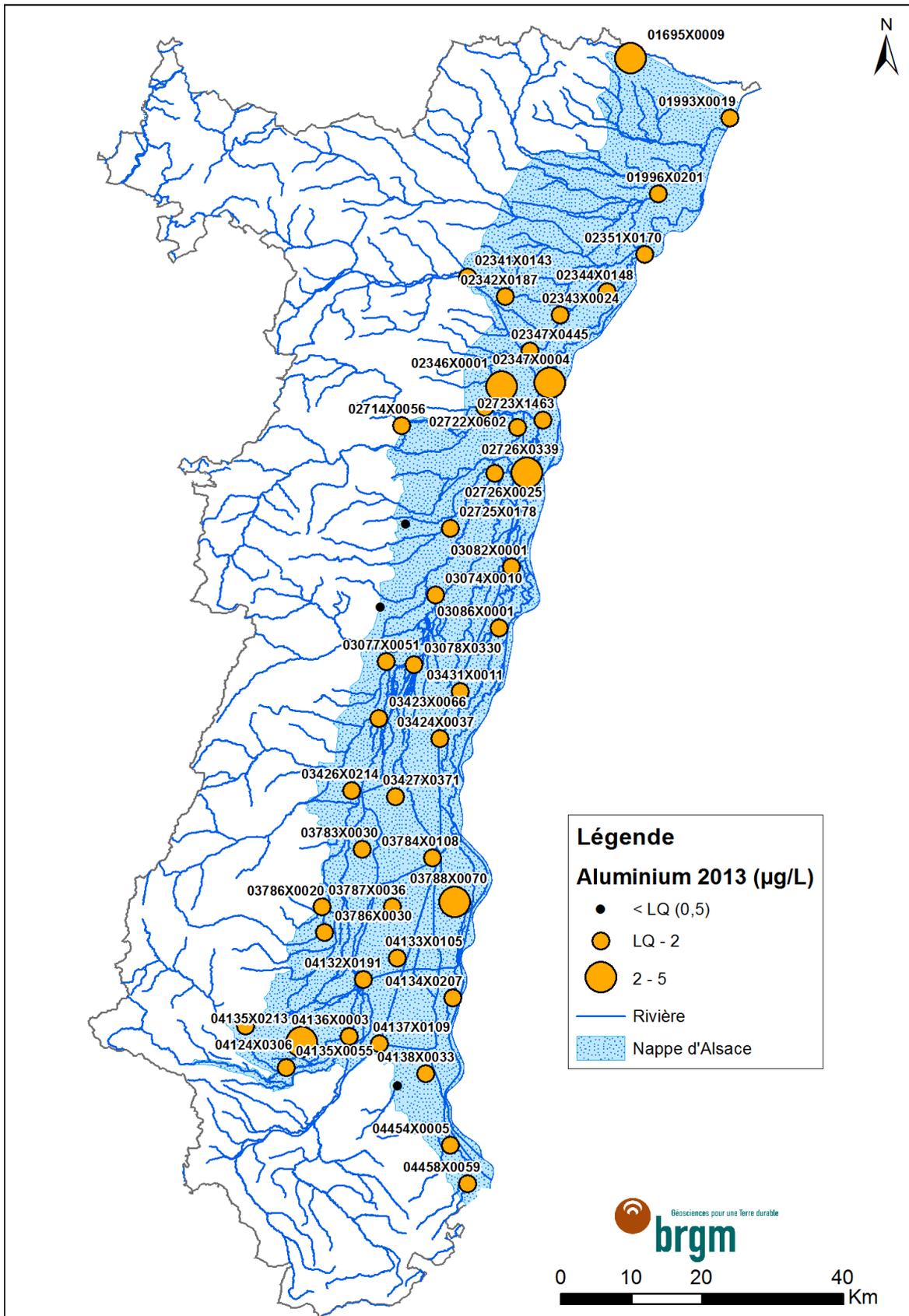


Figure 23 - Répartition des concentrations en aluminium en 2013 (Source: BRGM)

#### 4.2.7. Bore

Les concentrations mesurées dépassent le seuil de quantification (0,5 µg/L) et s'échelonnent de 10,2 µg/L (puits 02722X0543 de Wolfisheim) à 830 µg/L (forage 04135X0213 de Wittelsheim).

La répartition des concentrations les plus élevées, ainsi que celle des plus faibles, ne laissent pas apparaître d'élément géographique discriminant de façon claire. Le fond géochimique en bore a été fixé à 65 µg/L dans la nappe d'Alsace (Urban *et al.*, 2011) et 9 sites dépassent cette valeur-seuil (Figure 24). 7 de ces 9 sites semblent se regrouper autour des agglomérations de Strasbourg et Mulhouse, mais des valeurs plus faibles sont présentes dans ces 2 zones.

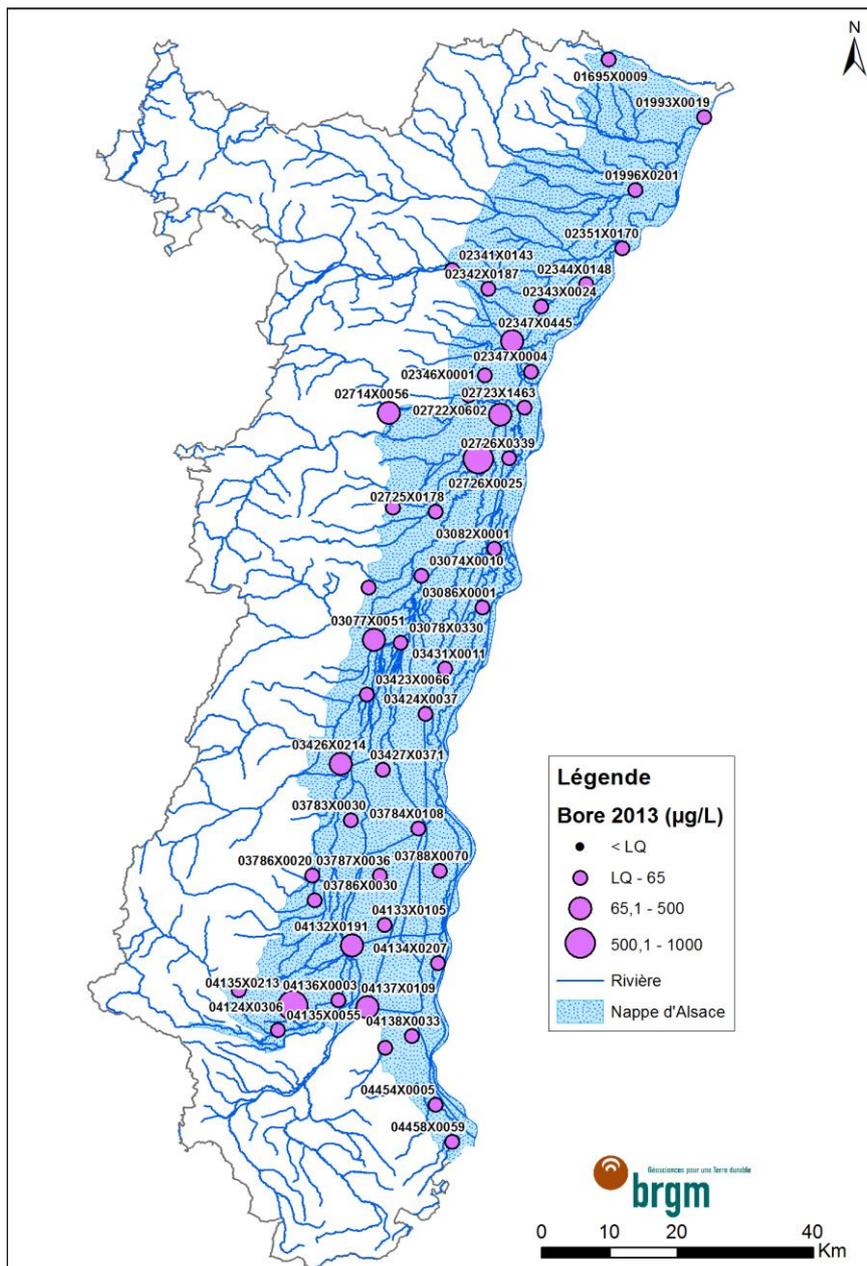


Figure 24 - Répartition des concentrations en bore en 2013 (Source: BRGM)

En comparant graphiquement la concentration en B et la conductivité, aucune corrélation positive ou négative n'a pu être identifiée : le nuage de points ne fait apparaître aucune structure proche d'une droite de régression linéaire ou autre (Figure 25).

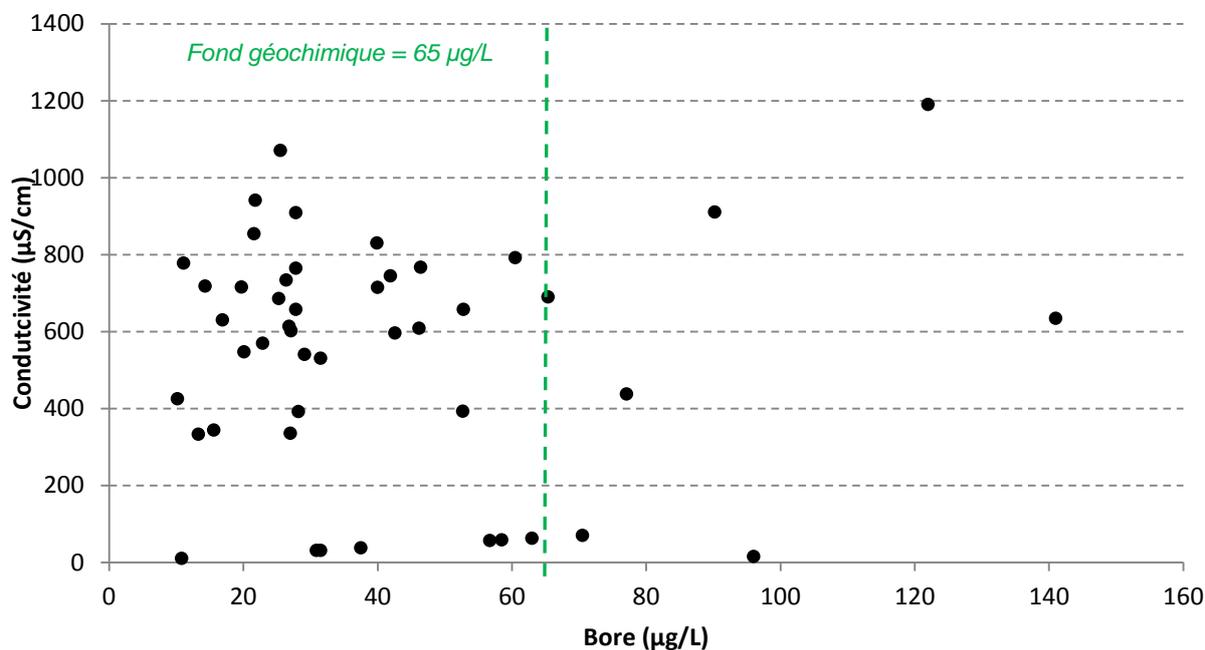


Figure 25 - Comparaison entre la conductivité et la concentration en bore pour 46 des 48 sites étudiés (Source: BRGM)

Concernant un éventuel lien entre la teneur en bore et la présence de carbamazépine (molécule la plus fréquente dans les échantillons de 2013), l'échantillon statistique est trop faible : trop peu de points dépassent la LQ pour la carbamazépine (Figure 26).

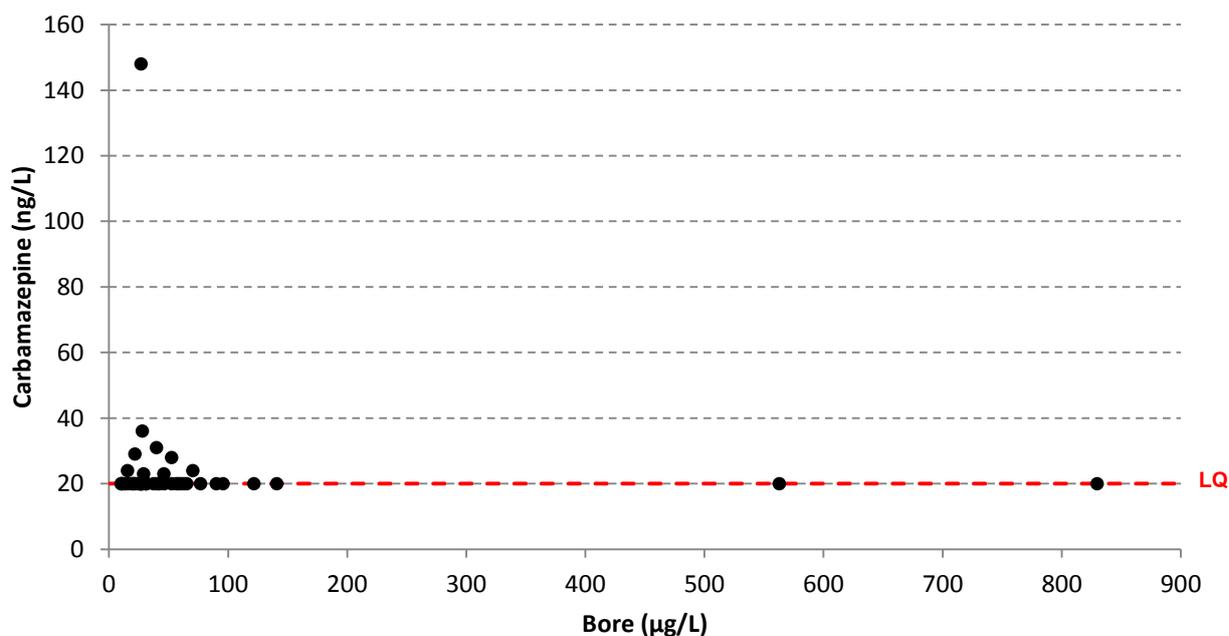


Figure 26 - Comparaison entre les concentrations en bore et en carbamazépine (Source : BRGM)

#### 4.2.8. Autres paramètres étudiés

Parmi les 48 sites prélevés, un faible nombre d'entre eux concentre les valeurs maximales observées pour les autres paramètres étudiés dans le cadre de cette étude :

- Le forage 04135X0213 de Wittelsheim possède les teneurs en B (§ 4.1.2 b)), Cl, Cu, K, Li et Na les plus fortes, nettement supérieures à leurs moyennes et médianes respectives. Il en est de même pour la conductivité (§ 4.1.1 b). Au regard de la coupe géologique du forage (alternance de sables, d'argiles et graviers grossiers du Quaternaire), une origine anthropique pour ces maxima est à privilégier. En effet, ce site est implanté à proximité d'un ancien site des Mines de Potasse d'Alsace ;
- Le forage 04124X0306 de Vieux-Thann possède les teneurs en As et Mn les plus fortes, nettement supérieures à leurs moyennes et médianes respectives. Pourtant, ces valeurs ne dépassent pas le fond géochimique en Mn, qui serait compris entre 820 et 6170 µg/L (Brenot *et al.*, 2007). Quant à l'arsenic, la valeur de son fond géochimique considérée comme proche de 6 µg/L pour la nappe d'Alsace (Brenot *et al.*, 2007) n'est largement dépassée que par cet ouvrage en 2013. Au regard de la coupe géologique du forage (galets grossiers du Quaternaire), une origine anthropique pour ces maxima serait à privilégier. Le forage est situé dans une zone industrielle, en aval hydraulique et/ou à proximité de plusieurs sites industriels ayant considérablement pollué la nappe (As, Cl, Hg, hydrocarbures...) par le passé. Plusieurs sites BASOL et BASIAS sont répertoriés.;
- Le forage 03073X0074 de Dambach-la-Ville se démarque par ses teneurs maximales en Zn et Fe. Bien qu'anormales par rapport aux autres échantillons tirés de la nappe d'Alsace, ces valeurs pourraient être le reflet « naturel » de l'influence d'un bassin versant à dominante granitique incluant des filons métallifères (massif de Ste-Marie-aux-Mines) situé à environ 1km en amont hydraulique ;
- Le forage 02347X0445 de Reichstett présente les teneurs en Ca et Mg les plus fortes, sans pour autant que celles-ci soient très éloignées de leur médiane et moyenne respectives. Ces valeurs sont proches des mesures réalisées antérieurement sur le même piézomètre (2003 et 2009), ce qui permet de les considérer comme faisant partie du fond géochimique (alluvions carbonatées).

#### 4.3. EVOLUTION PAR RAPPORT AUX CAMPAGNES ANTERIEURES

*Note :* Dans ce rapport, les molécules pharmaceutiques et perturbateurs endocriniens identifiés en 2013 font l'objet d'un traitement spécifique incluant une cartographie des concentrations mesurées lors des campagnes antérieures. Pour les molécules non détectées en 2013, mais présentes antérieurement, seul un tableau comparatif est fourni.

##### 4.3.1. Paramètres physico-chimiques

###### a) Conductivité

Lors de la campagne régionale de 2009-2011, les forages de Reichstett (02347X0445) et Fortschwihr (03427X0371) présentaient déjà les valeurs de conductivité les plus fortes, respectivement 1172 µS/cm et 1120 µS/cm (Urban *et al.*, 2011). Ces valeurs semblent donc stables et reflètent bien les caractéristiques de la nappe (§ 4.2.8).

## b) Potentiel rédox

Lors de la campagne de 2010 au droit de la CUS, le potentiel redox du forage 02726X0339 d'Eschau était le plus faible (110 mV) mais loin d'être négatif comme en 2013 (-38 mV). Cette anomalie, reliée aux teneurs les plus élevées en  $Al^{3+}$ ,  $NH_4^+$ , diclofénac et bisphénol-A (déjà identifié en 2010) mesurées en 2013, serait la confirmation d'une contamination anthropique locale déjà identifiée en 2010.

### 4.3.2. Aluminium

Une corrélation entre l'ion  $Al^{3+}$ , ou tout autre ion trivalent, n'a pas été étudié dans les campagnes antérieures.

### 4.3.3. Ibuprofène et ses métabolites

Durant la campagne nationale exceptionnelle (Lopez et Laurent, 2013), le 1-Hydroxyibuprofène et l'ibuprofène apparaissaient respectivement 22<sup>ème</sup> et 24<sup>ème</sup> position du classement des substances pharmaceutiques retrouvées les plus fréquemment dans les eaux souterraines à l'échelle nationale. Contrairement à d'autres bassins, leur présence dans le bassin Rhin-Meuse n'avait pas été quantifiée (Tableau 7).

Substance	Fréquence cumulée à l'échelle nationale	Fréquence cumulée dans le bassin Rhin-Meuse
1-Hydroxyibuprofène	0,6%	-
Ibuprofène	0,5%	-

Tableau 4 - Fréquences cumulées pour l'ibuprofène et un des ses métabolites lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS)

Néanmoins, le rapport RP-61853-FR relatant cette campagne indique que : « *La comparaison des résultats entre bassins n'est toutefois pas totalement rigoureuse, puisque tous les bassins n'ont pas analysé le même nombre de paramètres [...] De plus, le nombre total d'analyses pour chaque paramètre varie entre les bassins. En effet, le nombre de points prélevés est différent selon les bassins. Une vingtaine de points ont été prélevés dans les bassins Rhin-Meuse et Artois-Picardie, tandis qu'une centaine de points l'ont été en Adour-Garonne, RM&C et Seine-Normandie et 140 en Loire-Bretagne* ».

En 2013, l'ibuprofène et ses métabolites (1-Hydroxyibuprofène et 2-Hydroxyibuprofène) n'ont pas été retrouvés dans les eaux souterraines échantillonnées.

Lors de la campagne régionale 2011, le 2-Hydroxyibuprofène avait été retrouvé préférentiellement dans les rejets de STEP alors que l'ibuprofène était détecté majoritairement dans les eaux souterraines (Urban *et al.*, 2011). Les concentrations comprises en ibuprofène étaient comprises entre 19 et 324 ng/L (Urban *et al.*, 2011). Les 9 sites touchés par cette contamination étaient situés uniquement dans le Bas-Rhin.

En 2009-2011, seul le piézomètre 03427X0371 de Fortschwihr (Haut-Rhin) avait mis en évidence une concentration en 2-Hydroxyibuprofène de 669 ng/L. Pour ce dernier ouvrage, peu profond (5 m environ) dans le Ried (alluvions récentes du Fossé rhénan), la pollution était la plus importante relevée mais son origine demeurait inconnue étant donné l'absence de STEP à proximité immédiate. L'influence d'une fuite d'une canalisation d'eaux usées ou celle d'un

rejet d'un système d'assainissement non collectif restaient les hypothèses les plus vraisemblables.

En revanche, sur le territoire de la CUS, les 12 piézomètres de la campagne de 2010 n'avaient pas mis en évidence la présence d'ibuprofène et ses métabolites (Urban et Guignat, 2011).

Pour les 4 piézomètres issus de la campagne exceptionnelle de 2011, aucune valeur n'avait dépassé les limites de quantification (LQ = 5 ng/L pour l'ibuprofène et le 1-Hydroxyibuprofène). Il en est de même pour le piézomètre issu de la campagne nationale ARS (LQ(ibuprofène) = 10 ng/L ; 1- et 2-hydroxyibuprofène non mesurés).

Code BSS	Historique	Ibuprofène (ng/L)	
		2009 - 2011	2013
02346X0001	ARS campagne nationale	< LQ	< LQ
02723X1463	Campagne CUS 2010	< LQ	< LQ
02726X0339	Campagne CUS 20 10	< LQ	< LQ
01695X0009	Campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02344X0148	Campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04132X0191	Campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04136X0003	Campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02347X0004	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02714X0056	Campagne Région 2009	32 (2009)	< LQ
02722X0543	Campagne Région 2009	324 (2009)	< LQ
03786X0020	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
04137X0018	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02341X0143	Campagne Région compl. 2011	19 (2009) < LQ (2011)	< LQ
02347X0445	Campagne Région compl. 2011	20 (2009) < LQ (2011)	< LQ
02722X0602	Campagne Région compl. 2011	29 (2009) < LQ (2011)	< LQ
02726X0025	Campagne Région compl. 2011	210 (2009) < LQ (2011)	< LQ
03077X0051	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009)	< LQ
03426X0214	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009) < LQ (2011)	< LQ
03427X0371	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009) 18 (2011)	< LQ
03786X0030	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009) < LQ (2011)	< LQ
04133X0105	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009)	< LQ
04137X0109	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009) < LQ (2011)	< LQ

Tableau 5 - Récapitulatif de la teneur en ibuprofène pour la comparaison inter-campagnes

#### 4.3.4. Acide salicylique

Pour rappel, l'acide salicylique a des origines anthropiques, mais aussi naturelles. Il peut notamment être produit par les racines du saule (dont l'écorce est utilisée depuis l'Antiquité pour ses propriétés curatives) ; l'Alsace appartient à l'aire de répartition de plusieurs des 360 espèces regroupées dans le genre « saule ». Comme l'ont indiqué Urban et Guignat (2011) : « cette origine multiple de l'acide salicylique rend délicate l'établissement d'un lien entre sa concentration de cette molécule et celles d'autres molécules pharmaceutiques. »

Comme vu précédemment, la teneur en acide salicylique n'a pas dépassé la limite de quantification, qui varie de 50 ng/L (pour 24 des 48 échantillons analysés) à 357 ng/L (1 échantillon). Les raisons de cette variation sont abordées au paragraphe 3.2.3.

En 2010, sur le territoire de la CUS (Urban et Guignat, 2011), l'acide salicylique avait été détecté sur les 12 piézomètres Seuls 2 d'entre eux ont été repris dans la présente étude. Le piézomètre 02726X0339 (ancienne gravière sur la commune d'Eschau) présentait une teneur en acide salicylique de 116 ng/L en juillet 2010. Si la limite de quantification était alors de 18 ng/L, elle est de 238 ng/L en 2013 pour ce même ouvrage. Une concentration proche de 116 ng/L n'aurait donc pas pu être quantifiée, mais probablement détectée en 2013 (LD  $\approx$  80 ng/L). Pour rappel, ce piézomètre avait été identifié comme le 2<sup>nd</sup> site le plus contaminé pour la campagne sur le territoire de la CUS. Quant au piézomètre 02723X1463, celui-ci avait détecté une concentration de 28 ng/L (LQ = 18 ng/L). Sa limite de quantification en 2013 est de 135 ng/L, une concentration de 28 ng/L n'aurait donc pu être ni quantifiée, ni détectée en 2013 (LD  $\approx$  45 ng/L).

Pour les 4 piézomètres issus de la campagne exceptionnelle de 2011, aucune valeur n'avait dépassé les limites de quantification en 2011 (LQ = 0,2  $\mu$ g/L) et 2013. Il en était de même pour le piézomètre issu de la campagne nationale ARS (LQ = 25 ng/L).

Enfin, quant aux 15 piézomètres échantillonnés lors de la campagne régionale de 2009-2011, aucune valeur n'avait dépassé les limites de quantification (respectivement 18 et 36 ng/L en 2009-2011). Pour rappel, lors de cette campagne, 7 forages tous situés dans le Haut-Rhin (Munchhouse, Illzach, Habsheim et Colmar), avaient mis en évidence la présence d'acide salicylique dans les eaux souterraines. Les concentrations de 2009 et 2011 étaient comprises entre 20 et 188 ng/L ; la majorité d'entre elles étant inférieures au seuil de quantification de 2013.

Code BSS	Historique	Acide salicylique (ng/L)	
		2009-2011	2013
02723X1463	campagne CUS 2010	28	< LQ
02726X0339	campagne CUS 2010	116	< LQ
01695X0009	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02344X0148	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04132X0191	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04136X0003	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02346X0001	ARS campagne nationale	< LQ	< LQ
02347X0004	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02714X0056	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02722X0543	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ

03786X0020	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
04133X0105	Campagne Région compl. 2011	188 (2009)	< LQ
04137X0018	Campagne Région 2009	23 (2009)	< LQ
02722X0602	Campagne Région compl.2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02726X0025	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02341X0143	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02347X0445	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
03077X0051	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009)	< LQ
03426X0214	Campagne Région compl. 2011	20 (2009) < LQ (2011)	< LQ
03427X0371	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009) 22 (2011)	< LQ
03786X0030	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009) 27 (2011)	< LQ
04137X0109	Campagne Région compl. 2011	36 (2009) 65 (2011)	< LQ

Tableau 6 - Récapitulatif de la teneur en acide salicylique pour la comparaison inter-campagnes

#### 4.3.5. Carbamazépine

Durant la campagne nationale exceptionnelle (Lopez et Laurent, 2013), la carbamazépine apparaissait en 2<sup>nde</sup> position (derrière le paracétamol) du classement des substances pharmaceutiques retrouvées les plus fréquemment dans les eaux souterraines à l'échelle nationale. Sa présence dans le bassin Rhin-Meuse était localement plus faible qu'à l'échelle de toute la métropole (Tableau 7).

Substance	Fréquence cumulée à l'échelle nationale	Fréquence cumulée dans le bassin Rhin-Meuse
Carbamazépine	14,7%	10,9%

Tableau 7 - Fréquences cumulées pour la carbamazépine lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS)

Pour les 4 piézomètres issus de la campagne exceptionnelle de 2011, seul l'ouvrage 04136X0003 avait dépassé les limites de quantification à 2 reprises en 2011 (LQ = 3 ng/L), mais pas en 2013 (LQ = 20 ng/L). Quant au piézomètre issu de la campagne nationale ARS, la carbamazépine n'avait pas été détectée (LQ = 5 ng/L) en 2011, tout comme en 2013.

Code BSS	Historique	Carbamazépine (ng/L)	
		2009-2011	2013
02723X1463	campagne CUS 2010	7	< LQ
02726X0339	campagne CUS 2010	< LQ	< LQ
01695X0009	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02344X0148	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ

Code BSS	Historique	Carbamazépine (ng/L)	
		2009-2011	2013
04132X0191	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04136X0003	campagne exceptionnelle BRGM 2011	5 – 16 (2011)	< LQ
02346X0001	ARS campagne nationale	< LQ	< LQ
02347X0004	Campagne Région 2009	28 (2009)	23
02714X0056	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02722X0543	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
03786X0020	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
04133X0105	Campagne Région compl. 2011	16 (2009)	< LQ
04137X0018	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02722X0602	Campagne Région compl. 2011	4 (2009) 5 (2011)	< LQ
02726X0025	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02341X0143	Campagne Région compl. 2011	22 (2009) 34 (2011)	28
02347X0445	Campagne Région compl.2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
03077X0051	Campagne Région compl.2011	4 (2009)	< LQ
03426X0214	Campagne Région compl.2011	6 (2009) 7 (2011)	< LQ
03427X0371	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	<LQ
03786X0030	Campagne Région compl.2011	45 (2009) 60 (2011)	148
04137X0109	Campagne Région compl. 2011	27 (2009) 30 (2011)	24

Tableau 8 - Récapitulatif de la teneur en carbamazépine pour la comparaison inter-campagnes

Les concentrations en carbamazépine mesurées sur des sites prélevés sur la période 2009-2011 et sélectionnés pour la campagne de 2013 sont reprises sur la Figure 27.

In fine, la carbamazépine a été quantifiée dans 10 points d'eau échantillonnés de la nappe d'Alsace lors des campagnes antérieures, et seulement 4 d'entre eux présentent encore des traces (parfois importantes) de carbamazépine.

Au regard de ces chiffres, la carbamazépine est le résidu pharmaceutique retrouvé le plus fréquemment dans la partie française de la nappe d'Alsace.

Il est à noter que l'ouvrage 03786X0030 (Merxheim) avec 148 ng/L représente la valeur la plus haute mesurée pour cette partie de l'aquifère depuis 2009. [Des valeurs supérieures ont été mesurées pour des forages situés dans le Bade-Württemberg mais l'étude de Sacher *et al.* (2011) ne précise pas les aquifères impactés].

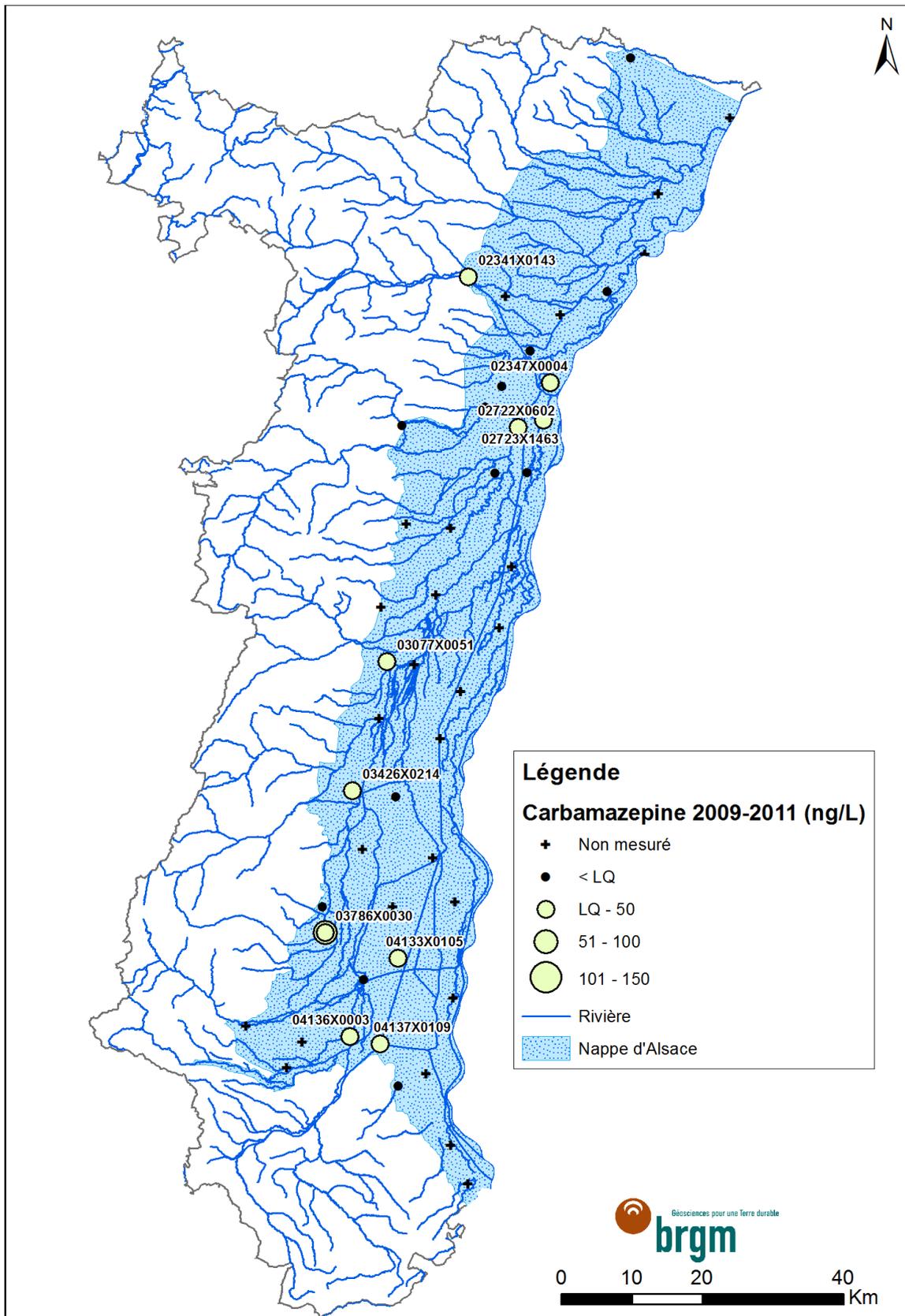


Figure 27 - Répartition des concentrations en Carbamazepine pour les sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011

#### 4.3.6. Diclofénac

Suite à la campagne nationale exceptionnelle (Lopez et Laurent, 2013), le diclofénac n'a représenté qu'une fréquence cumulée d'apparition de 0,2% à l'échelle nationale (35<sup>ème</sup> position - environ - dans le classement des substances pharmaceutiques).

Situé sur le territoire de la CUS, le piézomètre 02726X0339 (ancienne gravière sur la commune d'Eschau) est le seul ouvrage ayant mis en évidence la présence de diclofénac (28 ng/L) durant la campagne de 2013 (LQ = 20 ng/L). Lors de la campagne de 2010, sa teneur était inférieure à la limite de quantification (LQ = 7 ng/L) tout comme les 11 autres ouvrages souterrains échantillonnés en 2010.

Pour tous les autres points mesurés en 2013, le diclofénac avait été détecté sur seulement deux d'entre eux en 2009 - 2011 : le piézomètre 03427X0371 de Fortschwihhr présentait une concentration de 9 ng/L. Des soupçons de pollution ponctuelle liée à un système d'assainissement avaient été évoqués (§4.3.1). Le 2<sup>nd</sup> site correspondait au puits AEP 02341X0143 de Mommenheim, situé environ 2,5 km en aval hydraulique de la STEP de Schwindratzheim (au bord de la Zorn), qui n'avait rien montré en 2009 (teneur inférieure à la LQ), puis une teneur de 9 ng/L avait été mesurée en 2011.

Les concentrations en diclofénac mesurées sur des sites prélevés sur la période 2009- 2011 et sélectionnés pour la campagne de 2013 sont reprises sur la Figure 28.

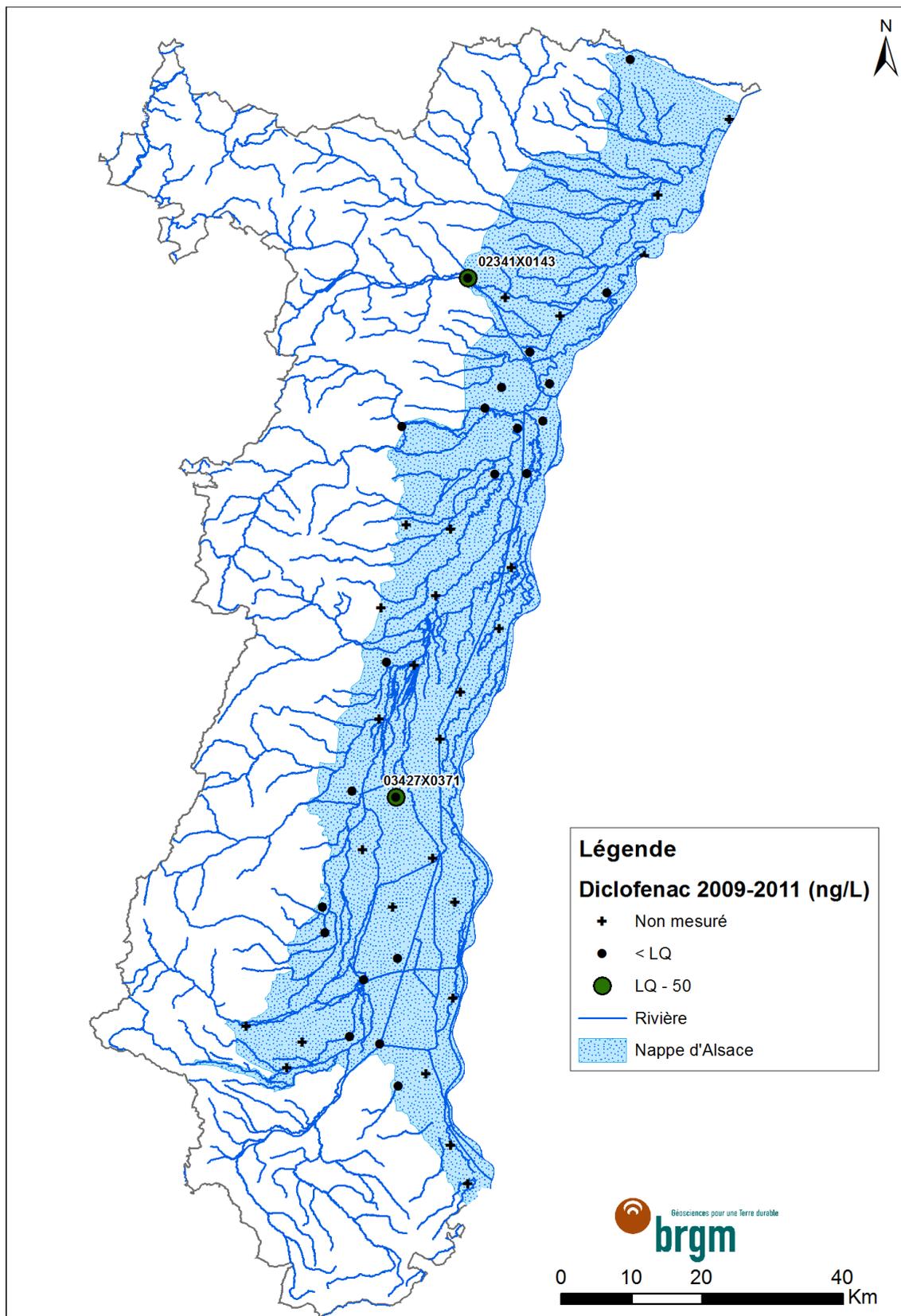


Figure 28 – Répartition des concentrations en Diclofénaac pour les sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011

Code BSS	Historique	Diclofénac (ng/L)	
		2009-2011	2013
02723X1463	campagne CUS 2010	< LQ	< LQ
02726X0339	campagne CUS 2010	< LQ	28
01695X0009	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02344X0148	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04132X0191	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04136X0003	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02346X0001	ARS campagne nationale	< LQ	< LQ
02347X0004	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02714X0056	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02722X0543	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
03786X0020	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
04133X0105	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009)	< LQ
04137X0018	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02722X0602	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02726X0025	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02341X0143	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 9 (2011))	< LQ
02347X0445	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
03077X0051	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009)	< LQ
03426X0214	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
03427X0371	Campagne Région compl. 2011	9 (2009) < LQ (2011)	< LQ
03786X0030	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
04137X0109	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ

Tableau 9 - Récapitulatif de la teneur en diclofénac pour la comparaison inter-campagnes

#### 4.3.7. Sulfaméthoxazole

Durant la campagne nationale exceptionnelle (Lopez et Laurent, 2013), le sulfaméthoxazole apparaissait en 6<sup>ème</sup> position du classement des substances pharmaceutiques retrouvées les plus fréquemment dans les eaux souterraines à l'échelle nationale (Tableau 10).

Substance	Fréquence cumulée à l'échelle nationale (%)	Fréquence cumulée dans le bassin Rhin-Meuse (%)
Sulfaméthoxazole	3,2%	-

Tableau 10 – Fréquences cumulées pour le sulfaméthoxazole lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS)

Code BSS	Historique	Sulfamethoxazole (ng/L)	
		2009-2011	2013
02723X1463	campagne CUS 2010	< LQ	< LQ
02726X0339	campagne CUS 2010	< LQ	< LQ
01695X0009	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02344X0148	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04132X0191	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04136X0003	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02346X0001	ARS campagne nationale	< LQ	< LQ
02347X0004	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02714X0056	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02722X0543	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
03786X0020	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
04133X0105	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009)	< LQ
04137X0018	Campagne Région 2009	< LQ (2009)	< LQ
02722X0602	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02726X0025	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02341X0143	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
02347X0445	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
03077X0051	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009)	< LQ
03426X0214	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
03427X0371	Campagne Région compl. 2011	< LQ (2009 - 2011)	< LQ
03786X0030	Campagne Région compl. 2011	23 (2009) 6 (2011)	47
04137X0109	Campagne Région compl. 2011	9 (2009) 7 (2011)	< LQ

Tableau 11 - Récapitulatif de la teneur en sulfamethoxazole pour la comparaison inter-campagnes

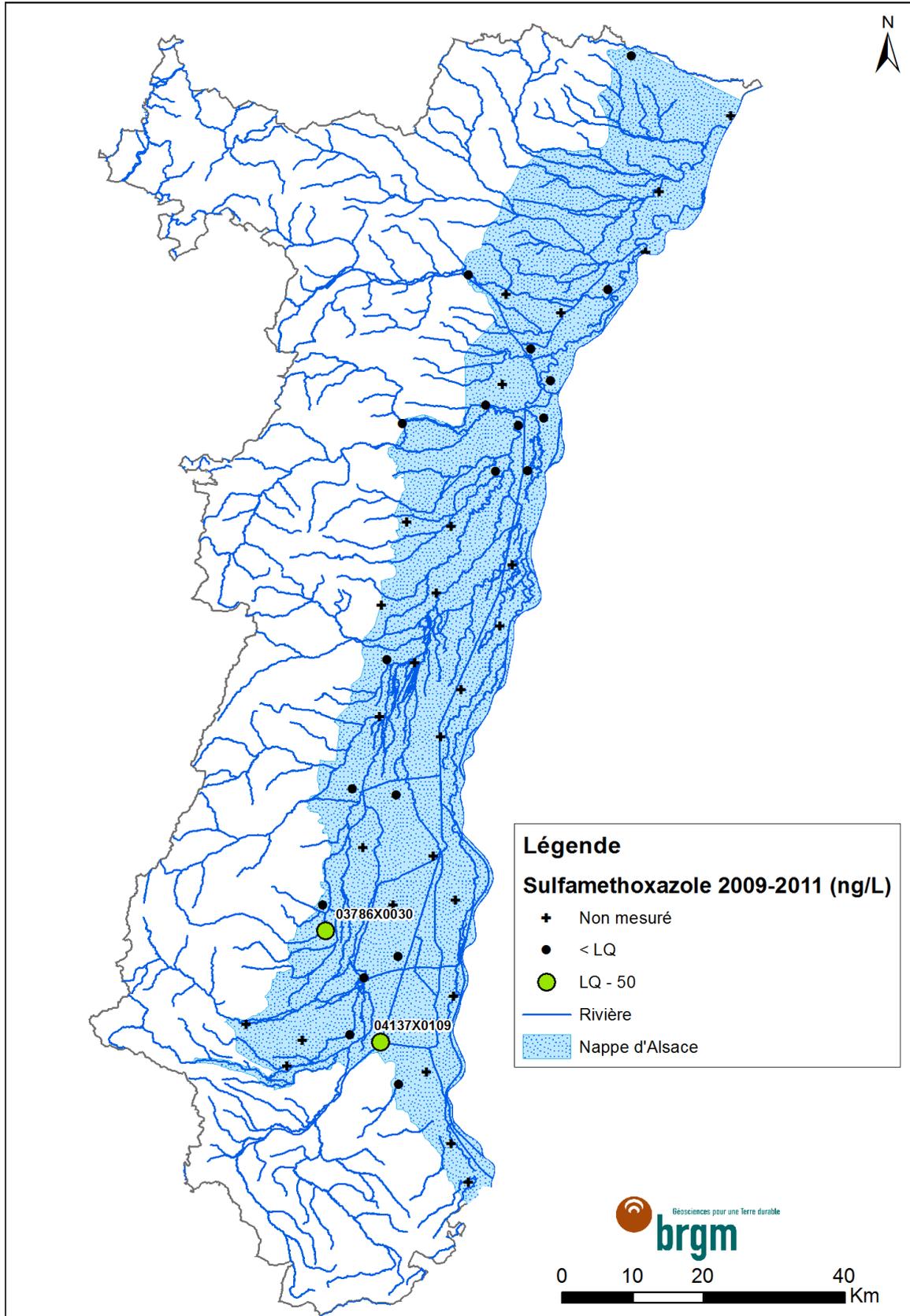


Figure 29 - Répartition des concentrations en sulfaméthoxazole pour les sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011

Les concentrations en sulfaméthoxazole mesurées sur la période 2009- 2011 et sélectionnés pour la campagne de 2013 sont reprises sur la Figure 29. Les 2 sites concernés se situent dans la moitié sud de l'aquifère (Haut-Rhin).

Comme l'indique un paragraphe précédent, le sulfaméthoxazole a été détecté uniquement sur le forage 03786X0030 de Merxheim (47 ng/L). Celui-ci avait déjà mis en évidence une contamination en 2009 (valeur maximale) et en 2011 (égale à la LQ).

Le forage 04137X1019 d'Illzach présentait en 2009-2011 des teneurs plus faibles, à peine supérieures à la limite de quantification (LQ = 6 ng/L). Avec une limite de 20 ng/L en 2013, une concentration similaire à celles de 2009 et 2011 a pu ne pas être détectée.

#### 4.3.8. Bisphénol A

Durant la campagne nationale exceptionnelle (Lopez et Laurent, 2013), le bisphénol-A apparaissait en 8<sup>ème</sup> position du classement des substances industrielles retrouvées dans les eaux souterraines (avec LQ = 0,1 µg/L). Sa présence dans le bassin Rhin-Meuse était relativement plus faible qu'à l'échelle de toute la France métropolitaine (Tableau 12) et n'avait alors pas été détectée dans la nappe d'Alsace mais dans le secteur du Ballon d'Alsace.

Substance	Fréquence cumulée à l'échelle nationale	Fréquence cumulée dans le bassin Rhin-Meuse
Bisphénol-A	8,0%	1,8%

Tableau 12 - Fréquences cumulées pour le Bisphénol-A lors de la campagne exceptionnelle (Sources : BRGM, ARS)

Sur le territoire de la CUS, les piézomètres 02726X0339 (ancienne gravière) et 02723X1463 (en aval hydraulique d'un hôpital) ont fait partie des 6 ouvrages ayant détecté du bisphénol A en 2010, pour des concentrations respectives de 108 ng/L et 67 ng/L (avec LQ = 30 ng/L). Ces valeurs de 2010 sont nettement inférieures à celles mesurées en 2013 : 1150 ng/L et 384 ng/L (avec LQ = 0,1 µg/L). Le bisphénol-A n'a été recherché que pour la campagne exceptionnelle de 2011 et celle réalisée en 2010 pour la CUS. Il n'y a donc pas d'autres valeurs de référence pour les autres points échantillonnés.

Les concentrations en bisphénol-A mesurées sur des points prélevés sur la période 2009- 2011 et sélectionnés pour la campagne de 2013 sont reprises sur la Figure 28.

Code BSS	Historique	Bisphénol-A (ng/L)	
		2010-2011	2013
02723X1463	campagne CUS 2010	67	1150
02726X0339	campagne CUS 2010	108	384
01695X0009	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
02344X0148	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04132X0191	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ
04136X0003	campagne exceptionnelle BRGM 2011	< LQ	< LQ

Tableau 13 - Récapitulatif de la teneur en bisphénol-A pour la comparaison inter-campagnes

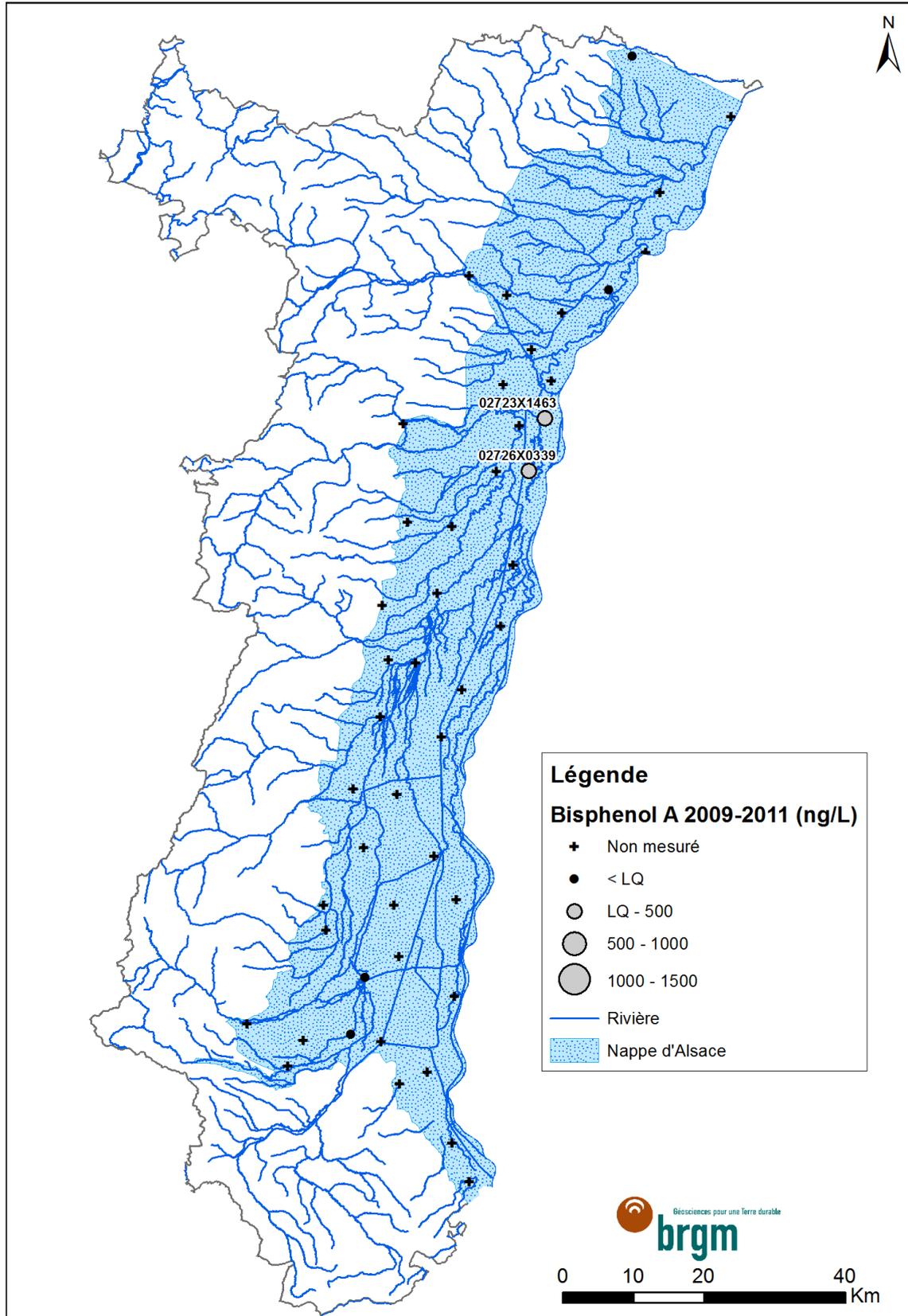


Figure 30 - Répartition des concentrations en Bisphénol-A pour des sites provenant d'une campagne antérieure réalisée entre 2009 et 2011

## 4.4. APPROCHE HYDROGEOLOGIQUE

### 4.4.1. Répartition des stations d'épuration

D'après les données du MEDDE, 176 stations d'épuration étaient référencées en 2012 dans la région Alsace (dont 4 sont encore jugées comme non-conformes). D'un point de vue numérique, les STEP sont inégalement réparties : 109 se sont situées dans le Bas-Rhin ; 77 dans le Haut-Rhin (Figure 31). De même, la somme des tailles d'agglomération en équivalents habitants (EH) est déséquilibrée : 1812591 EH pour le Bas-Rhin (62% du total) ; 1096506 EH pour le Haut-Rhin (38%).

À l'exception de 2 sites, la totalité des STEP rejette leurs effluents (après traitements) dans un cours d'eau de surface. La pollution peut donc migrer et/ou être atténuée (dilution, adsorption, biodégradation...) sur des zones éloignées du site d'épuration. Les 2 exceptions correspondent aux STEP de Labaroche (68) et Petit-Landau (68), respectivement 150 et 600 EH, où les effluents sont directement réinjectés dans le sol. Seule la STEP de Petit-Landau est incluse dans le périmètre de la nappe d'Alsace. Le site de mesure le plus proche de Petit-Landau en 2013 est le forage 04134X0207 de Bantzenheim (situé 10 km au nord) ; d'autres STEP rejetant dans les cours d'eau sont nettement plus proches de ce piézomètre.

Trois STEP dépassent les 100 000 EH : Strasbourg, Mulhouse et Colmar. Toutes sont situées dans le périmètre de la nappe d'Alsace. Les effluents des STEP de Strasbourg et Mulhouse rejoignent le Rhin, tandis que ceux de Colmar atteignent l'Ill.

Bien que l'origine principale des molécules recherchées durant cette étude soit liée aux effluents de STEP et qu'une contamination des eaux de surface soit avérée, la superposition de la carte de répartition des STEP avec celles des 4 molécules retrouvées en 2013 ne permet de constater une relation directe entre la répartition (et/ou la taille) des STEP et la répartition (et/ou la concentration) en polluants émergents.

Une étude incluant une estimation du volume des effluents et des caractéristiques hydrogéologiques (perméabilité) des cours d'eau de la plaine d'Alsace permettrait d'estimer le flux en direction de l'aquifère.

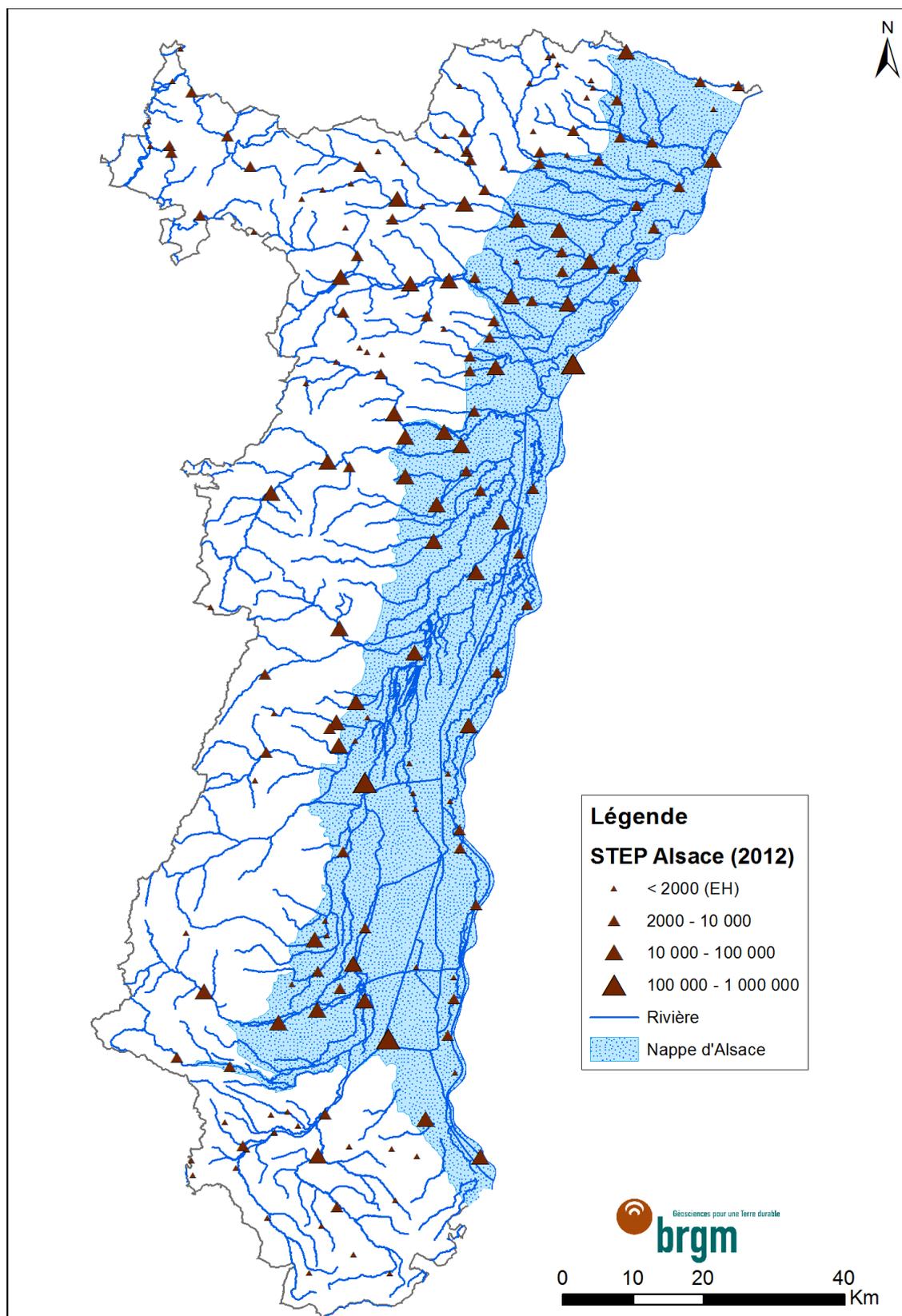


Figure 31 - Répartition des stations d'épuration en 2012 (Source : MEDDE - <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/> )

#### 4.4.2. Solubilité des produits détectés

La forte représentation de la carbamazépine dans l'eau souterraine est due à plusieurs facteurs propres à cette molécule (solubilité dans l'eau, pKa...) et aux conditions des milieux traversés (ces derniers pouvant varier entre la source d'émission et le point d'échantillonnage). Il est intéressant de noter que de fortes variations de la solubilité dans l'eau parmi les substances retrouvées (Tableau 14). À titre d'exemple, la carbamazépine possède une solubilité dans l'eau de l'ordre de 50 fois celle du diclofénac, mais proche de celle du Bisphénol-A.

Substance	Solubilité dans l'eau (mg/L)
Carbamazépine	112 (25°C)
Diclofénac	2,4 (25°C)
Sulfaméthoxazole	120 à 300 (25°C) / 610 (37°C)
Bisphénol A	120 (25°C)

Tableau 14 - Solubilité dans l'eau pour les 4 molécules retrouvées en 2013 (Sources : INRS et <http://esc.syrres.com> consulté en mai 2014)

Comme indiqué dans un rapport précédent (Urban *et al.*, 2011), la carbamazépine « est particulièrement étudiée en raison de sa forte persistance dans l'environnement (Andreozzi *et al.*, 2002). Elle est peu biodégradable et est faiblement éliminée lors de son passage en station d'épuration (Joss *et al.*, 2005). »

Pour la nappe d'Alsace, l'influence de solubilité dans l'eau ne peut être considérée comme le facteur principal contraignant la répartition des contaminants. En effet, en comparant ces valeurs de solubilité avec les concentrations mesurées dans la nappe d'Alsace, aucune relation linéaire n'apparaît : le sulfaméthoxazole (détecté une seule fois en 2013) a une solubilité égale voire supérieure à celles de la carbamazépine et du bisphénol-A (les 2 composés retrouvés le plus fréquemment durant cette même campagne).

#### 4.4.3. Profondeur des prélèvements

Pour la nappe d'Alsace comme pour l'ensemble des aquifères, les sorties de STEP ne sont pas les seules sources de contamination possibles. Une pollution peut avoir lieu à partir d'un site industriel, d'une zone de rejet/décharge sauvage, d'une rupture sur une conduite d'assainissement ou en sortie de systèmes d'assainissement non collectif... Etant donné l'alternance de sédiments argilo-sableux, voire de graviers, au sein de cet aquifère, il paraît pertinent de présumer que le temps d'infiltration verticale des polluants dans la nappe est proportionnelle à la profondeur.

La Figure 32 tente de comparer la profondeur de prélèvement avec la teneur en carbamazépine (substance la plus fréquemment retrouvée). Le nombre de sites contaminés est relativement réduit (15 parmi 48 forages) rend fragile toute analyse statistique. De plus, il est important de prendre en compte le fait que certains de ces forages sont actifs (usage agricole ou industriel, eau potable) alors que d'autres sont des forages inactifs (puits, piézomètre, sondage) et ont nécessité un pompage avec une pompe de plus faible débit en comparaison. Le rayon d'influence lors du pompage est donc variable suivant les forages considérés. Néanmoins, il est intéressant de noter qu'au-delà de 30 m, aucune des substances recherchées en 2013 n'a été détectée (en notant que seuls 11 des 48 forages font plus de 30 m de profondeur).

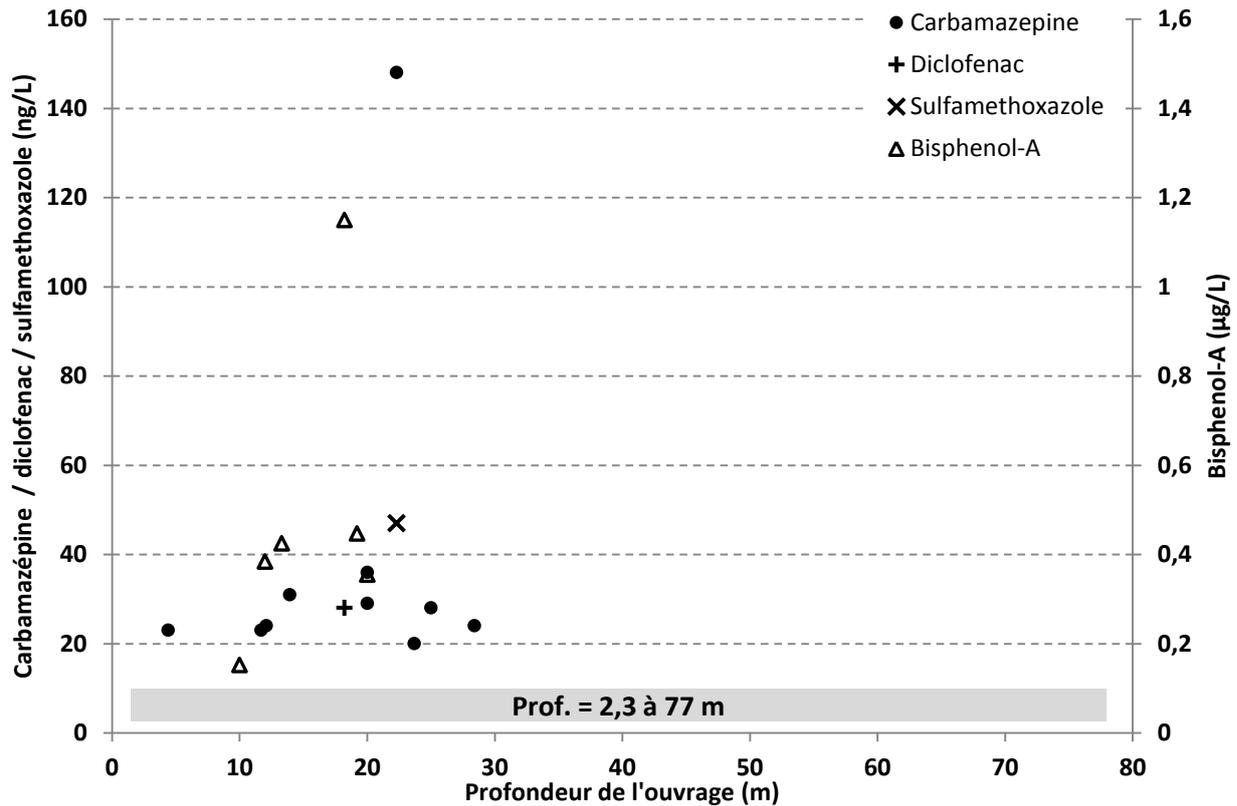


Figure 32 - Comparaison entre la profondeur des 48 ouvrages et les concentrations en carbamazépine, diclofénac, sulfaméthoxazole et Bisphénol-A (Source : BRGM)

#### 4.4.4. Période basses/hautes eaux

Pour la nappe d'Alsace, la majorité des périodes d'échantillonnage de 2009 à 2013 correspondent à des niveaux plutôt bas, voire à des périodes basses eaux (Figure 33). Les points ayant été rarement repris d'une campagne sur l'autre au cours des 4 dernières années, il est actuellement difficile d'étudier l'éventuel impact d'une variation intra-annuelle du niveau piézométrique sur la présence de résidus médicamenteux et de perturbateurs endocriniens dans cet aquifère.

Campagne	Période d'échantillonnage
Nationale ARS 2009	Octobre
CUS 2010	Juillet
Région 2009	Juillet et octobre
Avenant Région 2011	Février
Nationale BRGM 2011	Mai et septembre
Région 2013	Septembre

Figure 33 - Rappel des périodes d'échantillonnage pour les campagnes de 2009 à 2013



## 5. Synthèse et conclusion

Les relevés piézométriques du BRGM (sur sites) et de l'APRONA (réseau piézométrique) ont clairement montré que le mois de septembre 2013 a correspondu à une période annuelle où les niveaux piézométriques étaient relativement bas (« basses eaux »), bien que légèrement supérieurs à la normale par endroits.

En réalisant des prélèvements avec un protocole identique, les analyses menées par le BRGM ont permis de mieux connaître l'étendue de la contamination sur 48 sites répartis sur toute la nappe d'Alsace par des substances médicamenteuses et des perturbateurs endocriniens.

Les limites de quantification ont pu être supérieures à celles des campagnes précédentes mais leur définition en fonction du taux de récupération d'un traceur (ajouté par le laboratoire) permet d'augmenter la confiance accordée aux résultats d'analyse.

15 sites sont impactés par la présence d'une, ou plusieurs, substance(s). En considérant uniquement la présence/absence de contaminants, leur localisation ne fait pas apparaître de répartition préférentielle. Il a donc été nécessaire d'étudier ces sites au regard de chaque paramètre, tout en sachant que chaque médicament possède des propriétés chimiques propres (solubilité dans l'eau, pKa...). Il en est de même pour les milieux traversés depuis le point d'émission et le site d'échantillonnage (pH, force ionique, température...).

Parmi les 20 substances sélectionnées, 4 ont été détectées dans la nappe d'Alsace. La carbamazépine (anti-épileptique) et le Bisphénol-A (perturbateur endocrinien) représentent les polluants les plus fréquents de l'étude. Les sites ayant détecté d'autres substances (diclofénac, sulfaméthoxazole) ont systématiquement mesuré des teneurs importantes en carbamazépine ou en bisphénol-A. Des substances médicamenteuses (paracétamol, acide salicylique, tramadol ...), pourtant relativement « communes » dans les eaux souterraines et déjà retrouvées lors de campagnes antérieures en Alsace, ont été recherchées sans succès. Néanmoins, leur absence doit être relativisée étant donné le faible nombre de substances identifiées (4) et le nombre de sites touchés (15).

La carbamazépine représente la substance retrouvée la plus fréquemment : 10 quantifications pour 18 analyses de contaminant, soit 56%. En 2013, 2 zones géographiques semblent s'individualiser alors que celles-ci sont nettement moins visibles lors des campagnes précédentes. Aucune tendance concernant l'évolution de cette molécule ne se dégage clairement à l'aide éléments cartographiques. La campagne de 2013 confirme, une fois de plus, que la carbamazépine peut constituer un intéressant traceur pour la contamination en polluants émergents.

Pour le sulfaméthoxazole (antibiotique), le forage de Merxheim a été le seul à révéler sa présence (47 ng/L). Ce site avait déjà identifié lors d'une campagne précédente, ainsi que celui d'Illzach. Tous deux sont situés dans la partie sud-ouest de l'aquifère (Haut-Rhin).

Détecté également à deux reprises lors des campagnes précédentes, le diclofénac (anti-inflammatoire) a été identifié sur un site différent en 2013 (28 ng/L à Eschau). Sa quantification à des concentrations relativement faibles (par rapport aux résidus recherchés) et sa variabilité spatiale au cours des dernières années rendent difficile toute analyse.

Quant au bisphénol-A, les concentrations (comprises entre 0,1 et 1,15 µg/L) sont les plus fortes relevées en 2013. Pour cette année, sa présence a uniquement été détectée dans le Bas-Rhin.

L'historique des mesures est actuellement trop partiel pour étudier son évolution à l'échelle de l'aquifère depuis 2009. Néanmoins, la campagne de 2013 confirme l'existence d'une contamination répartie de façon hétérogène (déjà identifiée en 2010 sur le territoire de la CUS). In fine, la campagne de 2013 confirme que le Bisphénol-A peut être représenté comme un marqueur d'une pollution d'origine anthropique.

En comparant les résultats de 2013 à ceux de campagnes antérieures, il est donc important de noter que la variabilité s'exprime à plusieurs niveaux :

- Nombre : Bien que celui-ci soit intimement lié au nombre de molécules initialement recherchées, le nombre de substances détectées a varié d'une campagne sur l'autre ;
- Nature : Les molécules détectées ne sont pas les mêmes d'une campagne à l'autre. La carbamazépine est une des rares substances à avoir été retrouvées lors de chaque campagne ;
- Concentration : Localement, peu de sites présentent une stabilité de la concentration mesurée pour une substance donnée ;
- Répartition : La contamination n'est pas la même en fonction des molécules. De plus, pour une molécule donnée, cette répartition peut changer au fil des années ;

L'analyse du contexte environnant des points échantillonnés permet d'expliquer localement des profils hydrochimiques atypiques, discriminant ainsi l'origine naturelle (alluvions carbonatées pour Reichstett ; couches métallifères pour Dambach-la-ville) de l'origine anthropique (Mines de Potasse d'Alsace à Wittelsheim, zone industrielle polluée vers Vieux-Thann).

Un croisement entre les 176 STEP alsaciennes et les 48 forages étudiés s'est révélé insuffisant pour mettre en évidence des zones de contamination préférentielles à l'échelle de l'aquifère. Plusieurs phénomènes entrent en jeu : dilution, adsorption, ou encore dégradation de l'effluent en fonction de plusieurs facteurs (pH, matière organique...).

En rappelant une fois de plus le faible nombre de mesures, il est intéressant de constater qu'aucune substance n'a été identifiée dans les forages de plus de 30 m de profondeur.

Dans les meilleurs cas, le suivi entre 2009 et 2013 a permis de prélever à 3 reprises l'eau souterraine dans un même forage (parmi ceux sélectionnés dans le cadre de l'étude). Sachant que la diversité et la concentration en molécules pharmaceutiques en sortie de STEP varient au cours de l'année, ainsi que d'une année à l'autre, il est trop tôt pour statuer sur l'existence de réelles tendances à l'échelle de la nappe d'Alsace, ou d'identifier une tendance pour une zone de plusieurs dizaines de km<sup>2</sup>.

## 6. Perspectives

Bien que le maillage de 50 sites soit relativement homogène, il apparaît que la partie nord-ouest de l'aquifère (à proximité de Haguenau) est trop faiblement représentée. Lors d'une campagne ultérieure, un (des) site(s) devra être recherché dans cette zone pour parfaire la connaissance de l'extension de la contamination en résidus pharmaceutiques.

La limite de quantification (LQ) devra faire l'objet d'une attention particulière pour toute prochaine campagne. En effet, les progrès technologiques en matière de détection et de quantification vont aller de façon croissante et il est nécessaire de pouvoir comparer les résultats futurs, actuels et passés en ayant conscience des limites propres à chaque outil utilisé.

D'autres molécules (metformine, sotalol, erythromycine...) pourraient être ajoutées pour de futures campagnes - à condition que des avancées techniques en matière d'échantillonnage et d'analyse soient réalisées pour certaines d'entre elles (metformine). Le futur suivi devra donc aller de pair avec une veille scientifique dans le domaine des polluants médicamenteux émergents.

Cette étude confirme que le suivi des concentrations en bore (B) est non-pertinent. Dans l'avenir, l'utilisation des isotopes du bore ( $^{11}\text{B}$  et  $^{10}\text{B}$ ) pourraient s'avérer intéressante afin de faire la distinction entre une origine naturelle et une origine anthropique (perborate présent dans les lessives). D'autres traceurs alternatifs, liés à l'assainissement et aux STEP, sont également à l'étude et pourraient être disponibles pour de futures campagnes.

En sélectionnant en priorité des points d'eau analysés lors des campagnes précédentes, il a été possible de jeter les bases d'un suivi chronologique des teneurs en résidus médicamenteux et en perturbateurs endocriniens. Si les données sont parfois trop peu nombreuses pour mettre en évidence des tendances, la construction d'un historique pour les sites prélevés permettra à court terme de distinguer les enjeux locaux (pollution temporaire ou accidentelle) des problèmes globaux (pollution diffuse et régulière). De plus, une fréquence de suivi plus élevée (2 fois par an par exemple) faciliterait la mise en évidence d'une possible influence des niveaux d'eaux (hautes / basses eaux annuelles). De la même façon, une connaissance plus approfondie des caractéristiques des sites échantillonnés permettrait de mieux appréhender les éventuelles relations eau de surface/eau souterraine.

Ce travail de suivi devra aller de pair avec une meilleure compréhension des facteurs influençant la mobilisation et la dégradation de chaque classe de médicaments.

Concernant la gestion des données, il paraît essentiel que toutes les analyses relatives aux études sur les résidus médicamenteux et les perturbateurs endocriniens soient versées dans une base de données codifiées avec le référentiel SANDRE. Le site ADES ([www.ades.eaufrance.fr](http://www.ades.eaufrance.fr)) pourrait constituer un outil adéquat pour la sauvegarde, la transmission et la réutilisation de ces données scientifiques.



## 7. Bibliographie

**Amalric L., Bristeau S.** (2006) - Composés perturbateurs endocriniens et autres molécules organiques émergentes dans les eaux souterraines : état des lieux. BRGM/RP-54484-FR, 69 p., 14 ill., 2 ann.

**Blum A., Allier D., Ghestem J.-P., Lopez B., Moly F.** (2011) - Campagne exceptionnelle des substances présentes dans les eaux souterraines. Contribution au cahier des charges techniques – BRGM/RP-59135-FR, 202 p. 7 ann.

**Brenot A., Gourcy L., Allier D., Mascré C., Pons A., Chery L., Blum A.** (2007) Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines. Cinq volumes (Bassin Artois-Picardie, Bassin Rhin-Meuse, Bassin Seine-Normandie, Bassin Loire-Bretagne, Bassin Adour-Garonne). Rapport BRGM/RP-55346-FR, 774 p. 5 vol., 200 ill., 35 ann., 34 pht. A3 coul

**Bui T.X., Choi H.** (2010) Influence of ionic strength, anions, cations, and natural organic matter on the adsorption of pharmaceuticals to silica. *Chemosphere* 80 (2010) / Elsevier, p. 681-686.

**Lopez B., Laurent A.** (2013) - Campagne exceptionnelle d'analyse des substances présentes dans les eaux souterraines de métropole. Rapport final BRGM/RP-61853-FR, 116 p., 100 ill., 4 ann.

**LUBW** (2006) - Grundwasser-Überwachungsprogramm, Ergebnisse der Beprobung 2006

**Roux J.-C. et al.** (2005) - Aquifères et eaux souterraines en France. Ouvrage BRGM éditions. 2 vol., 944 p.

**Sacher F., Lange F.T., Brauch H.-J., Blankenhorn I.** (2001) - Pharmaceuticals in groundwaters : Analytical methods and results of a monitoring program in Baden-Württemberg, Germany. *Journal of Chromatography A*, 938 (1-2), pp. 199-210.

**Urban S., Geneviev M., Guignat S.** (2011) - Etude pilote sur les résidus médicamenteux dans la nappe d'Alsace. Région Alsace – Inventaire transfrontalier 2009 de la qualité de la nappe rhénane. Rapport final BRGM/RP-58187-FR, 118 p., 61 ill., 5 tabl., 8 ann.

**Urban S. Guignat S.** (2011) - Etude pilote sur les résidus médicamenteux et perturbateurs endocriniens dans les eaux souterraines sur le territoire de la CUS. Rapport final BRGM/RP-60553-FR, 60 p., 7 ann.

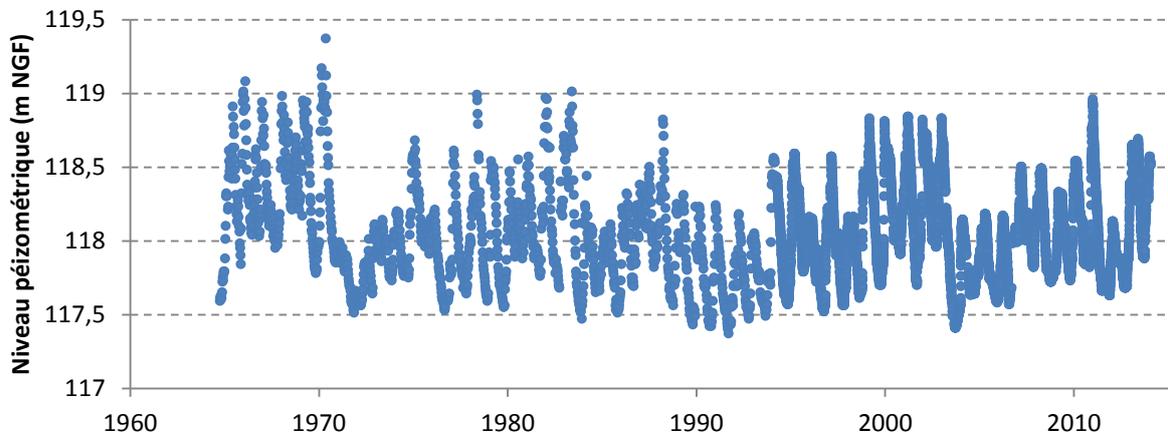


## **Annexe 1**

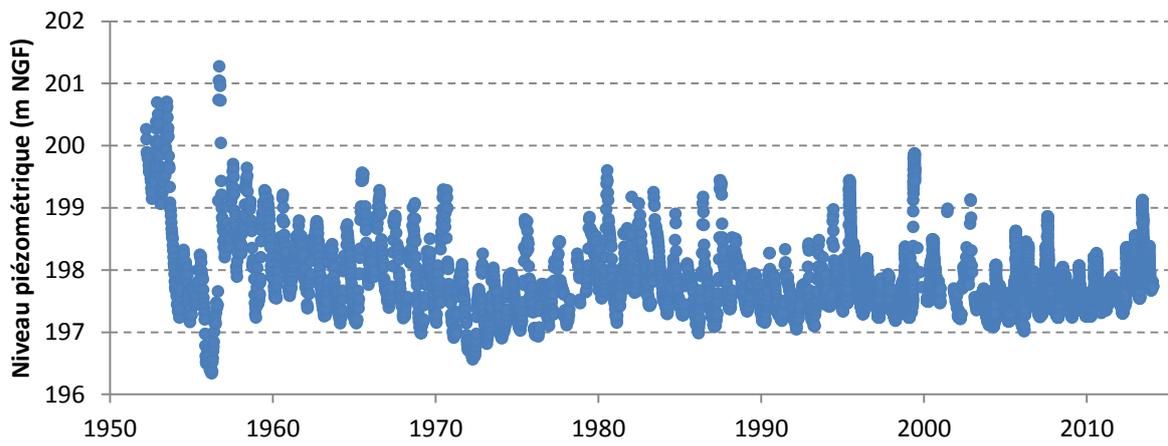
# **Chroniques piézométriques des ouvrages suivis par le BRGM**



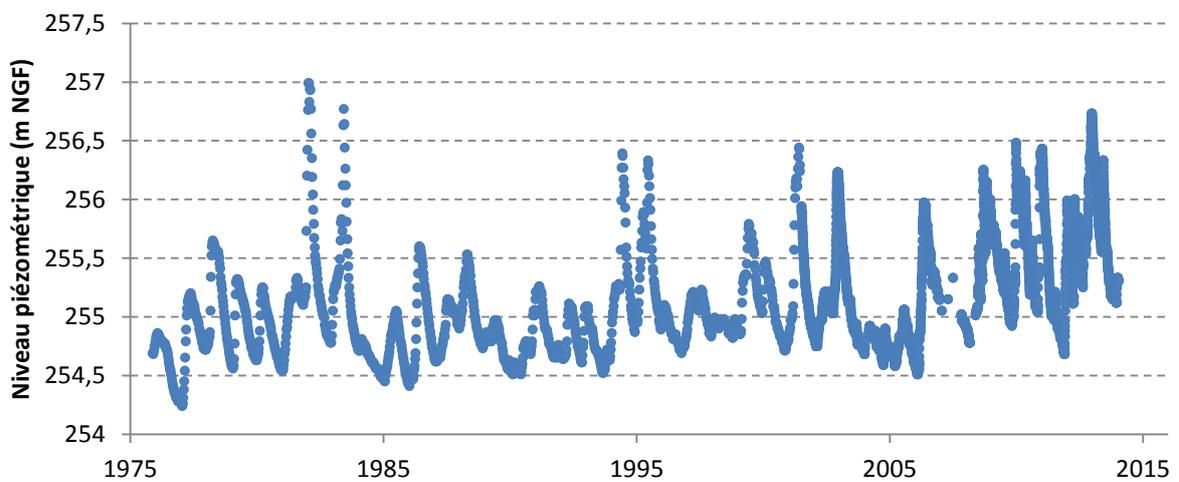
**01995X0012/342B**



**03795X0093/PZ-N2**



**04458X0023/S3**





## **Annexe 2**

### **Déroulement des prélèvements**



Date	Heure de prélèvement	N° BSS	Niveau statique (en m)	Type de pompe	Niveau pompe (en m)
16/09/2013	14h15	03074X0010	2.81	au robinet	-
16/09/2013	15h10	03431X0011	4.165	au robinet	-
16/09/2013	15h55	03086X0001	2.19	twister	-10
17/09/2013	9h05	02725X0178	2.22	twister	6
17/09/2013	11h15	03073X0074	5.125	robinet	-
17/09/2013	12h00	02718X0022	7.94	MP1	20
17/09/2013	14h10	02347X0004	1.94	au robinet	-
17/09/2013	15h15	02351X0170	7.53	twister	12
17/09/2013	16h55	02714X0056	1.35	twister	1.5
18/09/2013	8h30	03082X0001	0.53	au robinet	-
18/09/2013	9h45	02726X0647	1.83	twister	19
18/09/2013	10h40	02723X1463	3.49	twister	10
18/09/2013	12h10	02722X0602	2.22	twister	4
18/09/2013	14h00	02722X0543	5.05	MP1	32
18/09/2013	15h00	02346X0001	-	au robinet	-
18/09/2013	16h10	02347X0445	3.215	twister	9
18/09/2013	17h30	02343X0024	1.69	twister	21
19/09/2013	8h30	02341X0143	5.45	au robinet	-
19/09/2013	9h20	02344X0148	2.31	au robinet	-
19/09/2013	10h30	01996X0201	3.98	twister	10
19/09/2013	14h00	02718X0005	13.695	pas de prélèvement	
19/09/2013	15h40	02726X0025	-	au robinet	-
19/09/2013	16h45	02342X0187	2.385	au robinet	-
20/09/2013	8h20	01695X0009	2.965	MP1	30
20/09/2013	9h00	01993X0019	2.71	au robinet	-
23/09/2013	11h05	03427X0371	2.03	twister	5
23/09/2013	12h10	04132X0191	7.19	twister	21
23/09/2013	13h15	03786X0030	2.7	au robinet	-
23/09/2013	13h50	03786X0020	-	au robinet	-
23/09/2013	14h40	03783X0030	-	au robinet	-
23/09/2013	15h40	03426X0214	-	au robinet	-
23/09/2013	16h30	03784X0108	-	au robinet	-
24/09/2013	08h40	03077X0051	7.85	twister	10
24/09/2013	10h40	03078X0330	2.86	MP1	25
24/09/2013	11h30	03424X0037	3.01	twister	10
24/09/2013	13h00	03423X0066	-	au robinet	-
24/09/2013	14h15	03788X0070	3.45	twister	10
24/09/2013	15h00	03787X0036	-	au robinet	-
24/09/2013	16h00	04134X0207	10.76	MP1	20
25/09/2013	9h25	04124X0306	4.595	twister	10

<i>Date</i>	<i>Heure de prélèvement</i>	<i>N° BSS</i>	<i>Niveau statique (en m)</i>	<i>Type de pompe</i>	<i>Niveau pompe (en m)</i>
25/09/2013	11h00	04135X0213	-	au robinet	-
25/09/2013	12h00	04131X0191	pas de prélèvement		
25/09/2013	14h15	04133X0105	-	au robinet	-
25/09/2013	15h00	04136X0003	-	au robinet	-
25/09/2013	17h00	04137X0109	17.35	au robinet	-
26/09/2013	8h45	04458X0059	21.76	au robinet	-
26/09/2013	9h30	04454X0005	-	au robinet	-
26/09/2013	10h00	04137X0018	8.7	twister	11
26/09/2013	14h00	04135X0055	-	au robinet	-
27/09/2013	9h30	04138X0033	19.23	MP1	36

## **Annexe 3**

### **Mesures physico-chimiques in-situ**

Rappel : les paramètres physico-chimiques ont été mesurés à la suite de la purge des ouvrages et après stabilisation des paramètres.



Indice BSS	pH	Conductivité à 25° C (µS/cm)	O <sub>2</sub> dissous (mg/L)	O <sub>2</sub> dissous (%)	Potentiel Redox (mV)	Pot. Redox corrigé (mV)	Température (° C)	Notes du technicien préleveur
01695X0009	6,88	547	0,99	9,1	210,4	427	11,3	
01993X0019	7,37	541	4,71	46,2	244,4	459	14,2	
01996X0201	7,06	830	1,53	14,7	231,5	448	12,0	
02341X0143	6,93	658	3,21	30,2	12,7	229	11,8	
02342X0187	6,65	715	8,70	82,4	303,0	519	11,9	
02343X0024	7,15	718	0,88	8,4	-78,8	137	11,7	
02344X0148	7,19	745	2,70	25,2	203,2	420	11,6	
02346X0001	7,12	658	5,96	58,6	403,5	619	12,9	
02347X0004	7,29	609	3,62	37,5	209,2	422	15,9	
02347X0445	6,77	1190	1,16	11,5	-99,3	115	14,5	
02351X0170	7,48	392	1,57	17,1	102,3	314	18,2	
02714X0056	7,36	634	3,92	40,1	259,4	473	15,3	
02718X0005	Non prélevé							
02718X0022	8,26	333	1,46	14,1	166,7	383	12,0	<i>légère odeur soufrée</i>
02722X0543	7,30	425	0,70	6,9	156,0	372	12,1	
02722X0602	7,15	690	0,95	9,9	138,2	352	15,2	
02723X1463	7,07	792	2,62	26,6	93,4	308	14,7	
02725X0178	7,32	716	1,91	18,2	240,7	457	11,3	
02726X0025	7,49	788	9,62	95,5	221,8	436	14,0	
02726X0339	7,99	393	2,36	23,0	-253,2	-38	12,8	<i>Nombreuses particules noires en suspension, traces d'hydrocarbures, odeur assainissement</i>
03073X0074	6,77	630	4,07	39,5	-50,8	165	12,7	
03074X0010	7,19	765	2,12	21,0	217,5	433	12,2	
03077X0051	6,87	941	6,34	61,4	264,2	479	13,2	
03078X0330	7,24	854	1,91	18,0	280,0	496	11,7	
03082X0001	7,37	614	7,97	77,3	279,6	495	12,5	
03086X0001	7,08	686	4,76	46,6	219,6	435	12,5	
03423X0066	7,60	778	7,10	67,1	262,7	478	12,4	

Indice BSS	pH	Conductivité à 25° C (µS/cm)	O <sub>2</sub> dissous (mg/L)	O <sub>2</sub> dissous (%)	Potentiel Redox (mV)	Pot. Redox corrigé (mV)	Température (° C)	Notes du technicien préleveur
03424X0037	7,23	602	7,40	71,7	281,9	497	13,2	
03426X0214	7,07	911	6,59	74,9	253,8	464	20,7	Prélèvement au robinet des WC de l'entreprise. Plusieurs dizaines de mètres entre le puits et le prélèvement.
03427X0371	7,03	1071	3,74	39,7	225,8	439	15,3	
03431X0011	7,18	570	7,30	72,3	232,3	447	13,3	
03783X0030	7,43	596	10,29	99,3	257,7	471	16,5	
03784X0108	7,02	438	7,72	82,0	250,2	464	14,7	
03786X0020	7,00	734	9,44	91,1	285,7	501	13,0	
03786X0030	6,50	336	7,47	72,1	283,4	499	12,1	
03787X0036	7,46	909	9,49	97,0	282,6	497	14,8	
03788X0070	7,60	344	4,35	48,8	273,9	484	19,8	
04124X0306	6,44	767	0,64	6,4	-8,3	207	12,9	
04131X0191	Non prélevé							
04132X0191	7,03	-	7,49	73,1	266,7	483	11,7	
04133X0105	6,98	546,0	8,08	84,0	250,6	465	13,7	
04134X0207	6,95	531	7,11	73,9	288,6	503	13,7	
04135X0055	6,55	642	8,51	89,8	308,9	523	14,5	
04135X0213	6,05	9120	1,49	15,1	180,6	395	13,8	Puits MDPA - Risque de concentration en chlorures élevée
04136X0003	6,43	982,0	5,84	57,9	296,6	512	13,3	
04137X0018	6,91	916	2,50	24,4	236,4	453	11,7	
04137X0109	6,94	623,0	6,09	67,3	274,4	487	16,9	
04138X0033	7,18	714	10,41	98,0	309,5	526	11,2	
04454X0005	7,35	687,0	7,24	71,6	319,6	535	13,2	
04458X0059	6,80	921,0	8,96	87,3	304,6	520	12,2	

## **Annexe 4**

### **Résultats du laboratoire BRGM**

Rappel: les originaux des résultats du laboratoire du BRGM sont disponibles sur le CD accompagnant le présent rapport.



Référence : 13-6-042-A\_03-12-2013

		*Al (Aluminium)	*As (Arsenic)	*B (Bore)	*Ca (Calcium)	*Cl (Chlorures)	*Cu (Cuivre)	*Fe (Fer)	*K (Potassium)	*Li (Lithium)	*Mg (Magnésium)	*Mn (Manganèse)	*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	*Na (Sodium)	*SO4 (Sulfates)	*SiO2 (Silice)	*Zn (Zinc)	CO3 (Carbonates)	Fet (Fer total)	HCO3 (Bicarbonates)	Mnt (Manganèse total)
	LQ	0.5	0.05	0.5	0.5	0.5	0.1	0.02	0.5	0.1	0.5	0.1	0.05	0.01	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	5	0.02	5	0.1
	UNITE	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
CODE BSS	DATE																						
03074X0010	16/09	0.72	0.57	27.8	98.1	94.9	1.05	< LQ	3.4	4.59	9.0	0.28	< LQ	< LQ	14.3	31.2	36.4	10.5	3.01	< LQ	< LQ	205	.10
03086X0001	16/09	0.68	0.43	22.9	96.3	46.3	0.29	< LQ	2.4	2.13	11.2	0.15	< LQ	< LQ	15.0	22.4	39.3	7.8	0.57	< LQ	0.19	270	8.87
03431X0011	16/09	1.14	0.30	25.3	83.1	20.6	3.88	< LQ	2.1	2.27	10.3	0.26	< LQ	< LQ	21.8	12.5	32.6	8.3	4.69	< LQ	< LQ	261	.16
02725X0178	17/09	0.71	0.36	19.7	101.5	62.0	0.16	< LQ	2.0	10.9	14.5	0.21	< LQ	< LQ	16.8	12.7	52.9	12.9	0.58	< LQ	< LQ	240	81.7
03073X0074	17/09	< LQ	0.17	16.9	75.8	20.8	1.77	13.70 4	1.2	35.6	17.8	156	0.06	< LQ	1.6	13.1	69.3	15.2	2972	< LQ	13.37	197	160
02718X0022	17/09	< LQ	0.11	13.3	26.5	39.9	1.12	0.043	1.5	11.3	11.3	13.6	< LQ	< LQ	< LQ	12.5	27.4	2.1	< LQ	< LQ	17.07	89	73.7
02347X0004	17/09	2.03	1.12	46.2	76.7	40.2	1.53	< LQ	6.3	4.32	8.5	2.12	< LQ	0.04	2.9	22.4	33.3	9.3	24.8	< LQ	0.04	252	3.13
02351X0170	17/09	1.55	3.85	28.2	53.2	15.8	0.46	0.027	2.1	5.54	6.9	301	0.21	< LQ	< LQ	9.1	14.8	8.8	7.55	< LQ	0.61	173	471
02714X0056	17/09	0.82	7.95	141	68.5	16.2	1.13	< LQ	40.7	14.1	9.8	0.72	< LQ	< LQ	21.0	13.0	19.3	12.4	2.15	< LQ	< LQ	297	1.58
03082X0001	18/09	0.80	0.14	26.8	90.2	26.2	0.72	< LQ	2.0	1.86	10.0	0.10	< LQ	< LQ	16.6	13.8	33.9	7.2	45.7	< LQ	< LQ	245	.10
02726X0339	18/09	4.80	5.39	52.7	48.4	19.1	0.22	0.076	4.2	3.05	3.5	61.8	2.08	< LQ	< LQ	11.1	27.0	12.2	0.90	< LQ	3.19	155	75.8
02723X1463	18/09	0.99	0.27	60.5	118.3	59.0	0.22	< LQ	3.3	3.86	11.9	0.81	< LQ	< LQ	14.7	25.0	60.5	9.5	1.10	< LQ	< LQ	300	2.26
02722X0602	18/09	1.72	0.61	65.4	93.6	57.6	0.74	< LQ	4.2	6.25	10.6	0.30	< LQ	< LQ	6.4	28.1	41.7	11.5	1.04	< LQ	< LQ	256	.28
02722X0543	18/09	0.70	0.47	10.2	58.6	25.8	0.10	< LQ	1.4	5.59	8.7	18.5	< LQ	0.27	14.6	7.5	33.6	11.3	< LQ	< LQ	3.65	145	29.3
02346X0001	18/09	2.72	0.50	27.8	90.7	33.8	2.44	< LQ	2.7	6.44	19.2	< LQ	< LQ	< LQ	16.3	12.5	51.0	13.2	2.32	< LQ	< LQ	260	< LQ
02347X0445	18/09	1.13	0.06	122	152.6	75.9	0.22	< LQ	26.3	7.64	33.1	73.9	0.06	< LQ	3.0	33.2	155.7	13.6	0.82	< LQ	0.06	447	204
02343X0024	18/09	0.99	1.25	14.3	113.9	26.2	0.11	1.263	1.1	2.68	17.9	308	0.11	< LQ	< LQ	7.6	190.9	16.7	1.65	< LQ	1.30	192	328
02341X0143	19/09	0.83	2.24	52.8	90.9	31.9	1.55	1.358	3.4	10.6	14.0	465	0.21	< LQ	7.8	12.9	81.1	11.9	73.5	< LQ	1.24	249	492
02344X0148	19/09	1.16	0.18	41.9	106.8	44.9	2.64	< LQ	2.6	3.74	14.2	2.45	< LQ	< LQ	11.5	21.0	48.9	10.0	9.49	< LQ	< LQ	329	2.21
01996X0201	19/09	0.80	0.19	39.9	127.7	49.5	0.31	< LQ	2.4	73.8	9.4	< LQ	< LQ	< LQ	7.1	25.8	113.9	9.4	0.67	< LQ	< LQ	307	84.1
02726X0025	19/09	1.61	0.26	563	100.9	61.6	0.27	< LQ	11.4	6.77	14.5	3.74	< LQ	< LQ	20.7	25.2	56.6	11.8	5.83	< LQ	0.03	301	2.11
02342X0187	19/09	0.73	1.02	40.0	76.4	77.7	2.31	< LQ	4.7	4.58	12.4	27.9	< LQ	0.05	24.5	32.5	53.6	14.2	45.4	< LQ	< LQ	187	21.0
01695X0009	20/09	2.35	1.59	20.1	87.1	12.4	0.19	< LQ	1.2	9.45	12.8	15.3	< LQ	< LQ	1.5	5.3	22.7	10.1	12.4	< LQ	0.68	306	148
01993X0019	20/09	0.93	0.19	29.1	83.9	21.3	0.27	< LQ	2.8	3.27	8.7	6.48	< LQ	< LQ	2.8	11.8	27.5	7.6	0.64	< LQ	0.02	272	7.34
03427X0371	23/09	1.04	0.96	25.5	135.4	164.1	0.23	< LQ	3.8	7.39	12.7	0.39	0.14	< LQ	34.5	46.5	29.8	11.9	0.64	< LQ	< LQ	267	1.94
04132X0191	23/09	0.98	0.69	96.0	91.1	243.0	0.31	< LQ	23.0	8.58	10.5	< LQ	0.07	< LQ	59.9	192.3	80.0	9.9	< LQ	< LQ	< LQ	235	< LQ
03786X0030	23/09	0.75	2.40	27.0	30.4	38.0	1.63	< LQ	3.4	0.47	5.6	0.15	< LQ	< LQ	14.5	17.8	16.9	9.8	4.51	< LQ	< LQ	87	.38
03786X0020	23/09	1.03	0.66	26.4	108.6	34.1	2.08	< LQ	1.8	19.7	17.3	< LQ	< LQ	< LQ	39.3	14.7	46.9	11.1	4.08	< LQ	< LQ	300	< LQ
03783X0030	23/09	2.00	0.44	42.6	80.1	38.2	4.92	< LQ	5.6	3.55	5.8	0.96	< LQ	< LQ	19.4	27.5	25.0	8.8	15.5	< LQ	< LQ	245	.73
03426X0214	23/09	0.78	1.69	90.2	105.9	114.5	0.92	0.021	4.3	3.77	18.6	23.1	< LQ	< LQ	39.6	39.9	56.0	17.6	14.0	< LQ	0.34	228	164
03077X0051	24/09	0.95	2.92	77.1	99.7	123.8	0.93	< LQ	10.2	3.85	15.4	< LQ	< LQ	< LQ	62.0	48.0	53.5	12.1	9.31	< LQ		186	
03784X0108	23/09	1.48	0.26	21.8	63.8	12.6	0.83	< LQ	1.9	2.49	8.6	0.47	< LQ	< LQ	10.4	8.6	25.1	4.8	28.6	< LQ		208	
03078X0330	24/09	1.13	0.34	21.6	109.2	117.8	0.30	< LQ	2.4	4.32	10.0	0.29	< LQ	< LQ	18.6	38.2	29.5	10.4	1.44	< LQ	< LQ	236	125
03424X0037	24/09	1.17	0.37	27.1	94.6	20.3	0.16	< LQ	1.6	2.77	12.0	< LQ	< LQ	< LQ	24.3	8.1	31.3	9.1	0.67	< LQ	< LQ	278	.22
03423X0066	24/09	1.19	0.37	11.1	103.7	123.8	0.62	< LQ	1.8	6.02	8.2	< LQ	< LQ	< LQ	14.9	27.0	35.6	10.5	3.18	< LQ	< LQ	163	< LQ
03788X0070	24/09	3.24	0.74	15.6	47.5	10.7	0.41	< LQ	1.7	4.71	6.3	< LQ	< LQ	< LQ	5.0	7.6	23.2	3.3	< LQ	< LQ	< LQ	156	1.22
03787X0036	24/09	1.61	0.23	27.8	117.0	135.1	1.19	< LQ	3.1	5.99	10.9	0.49	< LQ	< LQ	24.4	42.7	26.0	11.1	18.2	< LQ	0.03	240	.49

		*Al (Aluminium)	*As (Arsenic)	*B (Bore)	*Ca (Calcium)	*Cl (Chlorures)	*Cu (Cuivre)	*Fe (Fer)	*K (Potassium)	*Li (Lithium)	*Mg (Magnésium)	*Mn (Manganèse)	*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	*Na (Sodium)	*SO4 (Sulfates)	*SiO2 (Silice)	*Zn (Zinc)	CO3 (Carbonates)	Fet (Fer total)	HCO3 (Bicarbonates)	Mnt (Manganèse total)
	LQ	0.5	0.05	0.5	0.5	0.5	0.1	0.02	0.5	0.1	0.5	0.1	0.05	0.01	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	5	0.02	5	0.1
	UNITE	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
CODE BSS	DATE																						
04134X0207	24/09	1.52	0.27	31.5	82.3	15.3	0.16	< LQ	2.0	2.41	10.3	0.27	< LQ	< LQ	30.1	8.2	24.8	5.1	0.91	< LQ	0.03	244	3.74
04124X0306	25/09	1.95	42.2	46.4	56.3	120.8	0.15	1.435	14.3	1.15	11.6	3229	0.19	< LQ	0.5	59.6	50.5	13.4	1.81	< LQ	1.95	163	3217
04135X0213	25/09	2.54	1.24	830	104.7	2872.9	23.1	0.079	168.2	234	15.4	265	0.08	< LQ	7.0	1659.1	141.2	31.7	57.2	< LQ	7.17	43	356
04133X0105	25/09	1.26	0.28	30.9	78.3	29.3	0.27	< LQ	2.0	5.78	9.0	0.39	< LQ	< LQ	20.0	13.9	27.7	7.8	2.78	< LQ	< LQ	226	.22
04136X0003	25/09	0.69	0.33	56.7	115.5	177.8	1.11	< LQ	2.0	5.72	23.5	0.13	< LQ	< LQ	33.9	28.4	45.3	21.9	8.05	< LQ	< LQ	118	< LQ
04137X0109	25/09	0.53	1.24	70.5	88.0	37.4	0.75	< LQ	9.2	6.15	10.9	< LQ	< LQ	< LQ	13.7	16.9	34.5	7.4	2.52	< LQ	0.05	236	.93
04458X0059	26/09	0.66	0.69	58.5	151.0	34.1	1.89	< LQ	2.5	2.51	24.3	< LQ	< LQ	< LQ	33.2	16.2	40.1	12.1	2.01	< LQ	< LQ	444	.16
04454X0005	26/09	1.23	0.31	37.5	96.6	31.5	0.85	< LQ	4.0	2.36	18.9	0.13	< LQ	< LQ	27.5	12.2	24.6	7.4	49.9	< LQ	< LQ	292	.18
04137X0018	26/09	< LQ	0.43	31.5	139.5	35.7	0.54	< LQ	3.4	7.81	21.0	31.5	0.41	0.03	57.8	15.4	26.9	8.6	152	< LQ	0.05	405	29.8
04135X0055	26/09	0.66	0.39	10.8	99.1	33.5	8.16	< LQ	0.5	4.45	13.8	0.82	< LQ	< LQ	47.2	8.9	18.0	17.7	16.8	< LQ	< LQ	266	.50
04138X0033	27/09	0.62	0.12	63.0	108.0	32.9	< LQ	< LQ	2.0	4.93	16.1	0.25	< LQ	< LQ	26.3	15.3	24.1	8.6	0.56	< LQ	0.31	332	3.91

Référence : 13-6-042-B\_17-12-2013

		*Acide fenofibrique	*Diclofénac	*Diclofénac	*Diclofénac	*Kétoprofène	*Kétoprofène	*Oxazépam	*Propranolol	*Propranolol	*Sulfaméthoxazole	1-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	
	LQ	40	20	65	85	20	150	20	25	80	20	50	50	125	130	135	160	170	180
	UNITE	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
CODE BSS	DATE																		
03074X0010	16/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
03086X0001	16/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
03431X0011	16/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02725X0178	17/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
03073X0074	17/09	< LQ		< LQ			< LQ	< LQ	< LQ		< LQ	< LQ							< LQ
02718X0022	17/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02347X0004	17/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02351X0170	17/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02714X0056	17/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
03082X0001	18/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02726X0339	18/09	< LQ	28			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ							< LQ
02723X1463	18/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02722X0602	18/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02722X0543	18/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02346X0001	18/09	< LQ			< LQ	< LQ		< LQ		< LQ		< LQ	< LQ						
02347X0445	18/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02343X0024	18/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02341X0143	19/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02344X0148	19/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
01996X0201	19/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ		< LQ					
02726X0025	19/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
02342X0187	19/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ					< LQ		
01695X0009	20/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
01993X0019	20/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
03427X0371	23/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
04132X0191	23/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ			< LQ				
03786X0030	23/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		47	< LQ	< LQ						
03786X0020	23/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
03783X0030	23/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ						
03426X02	23/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ		< LQ					

		*Acide fenofibrique	*Diclofénac	*Diclofénac	*Diclofénac	*Kétoprofène	*Kétoprofène	*Oxazéпам	*Propranolol	*Propranolol	*Sulfaméthoxazole	1-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène	2-Hydroxyibuprofène		
	LQ	40	20	65	85	20	150	20	25	80	20	50	50	125	130	135	160	170	180	
	UNITE	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
CODE BSS	DATE																			
14																				
03077X0051	24/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
03784X0108	23/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
03078X0330	24/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
03424X0037	24/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
03423X0066	24/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
03788X0070	24/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
03787X0036	24/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04134X0207	24/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04124X0306	25/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ							< LQ	
04135X0213	25/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04133X0105	25/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04136X0003	25/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04137X0109	25/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04458X0059	26/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04454X0005	26/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04137X0018	26/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04135X0055	26/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							
04138X0033	27/09	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ		< LQ	< LQ	< LQ							

		Acide Salicylique															
	LQ	50	128	132	135	147	152	156	161	167	172	179	192	200	227	238	357
	UNITE	ng/l	ng/l														
CODE BSS	DATE																
03074X0010	16/09	< LQ															
03086X0001	16/09	< LQ															
03431X0011	16/09	< LQ															
02725X0178	17/09			< LQ													
03073X0074	17/09																< LQ
02718X0022	17/09														< LQ		
02347X0004	17/09				< LQ												
02351X0170	17/09									< LQ							
02714X0056	17/09											< LQ					
03082X0001	18/09	< LQ															
02726X0339	18/09															< LQ	
02723X1463	18/09				< LQ												
02722X0602	18/09							< LQ									
02722X0543	18/09						< LQ										
02346X0001	18/09									< LQ							
02347X0445	18/09	< LQ															
02343X0024	18/09													< LQ			
02341X0143	19/09														< LQ		
02344X0148	19/09											< LQ					
01996X0201	19/09									< LQ							
02726X0025	19/09				< LQ												
02342X0187	19/09												< LQ				
01695X0009	20/09									< LQ							
01993X0019	20/09											< LQ					
03427X0371	23/09	< LQ															
04132X0191	23/09	< LQ															
03786X0030	23/09	< LQ															
03786X0020	23/09	< LQ															
03783X0030	23/09	< LQ															
03426X0214	23/09		< LQ														
03077X0051	24/09	< LQ															
03784X0108	23/09	< LQ															
03078X0330	24/09			< LQ													
03424X0037	24/09		< LQ														
03423X0066	24/09	< LQ															
03788X0070	24/09	< LQ															
03787X0036	24/09	< LQ															
04134X0207	24/09	< LQ															
04124X0306	25/09									< LQ							
04135X0213	25/09	< LQ															

		Acide Salicylique															
	LQ	50	128	132	135	147	152	156	161	167	172	179	192	200	227	238	357
	UNITE	ng/l	ng/l														
CODE BSS	DATE																
04133X0105	25/09	< LQ															
04136X0003	25/09	< LQ															
04137X0109	25/09	< LQ															
04458X0059	26/09	< LQ															
04454X0005	26/09	< LQ															
04137X0018	26/09								< LQ								
04135X0055	26/09	< LQ															
04138X0033	27/09	< LQ															

Etude complémentaire de recherche de substances médicamenteuses dans la nappe d'Alsace – Campagne 2013

		Carbamazé pine	Clotrimaz ol	Codéine	Fénofibra te	Gemfibro zil	Gemfibro zil	Gemfibro zil	Ibuprofè ne	Ibuprofè ne	Paracéta mol	Tramadol	Tramadol													
	LQ	20	50	50	50	20	60	110	50	300	50	125	130	135	140	145	150	155	160	170	175	180	250	50	130	
	UNITE	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	
CODE BSS	DATE																									
03074X0010	16/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ													< LQ		
03086X0001	16/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
03431X0011	16/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02725X0178	17/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
03073X0074	17/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ	< LQ														< LQ	
02718X0022	17/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02347X0004	17/09	23	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02351X0170	17/09	36	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02714X0056	17/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
03082X0001	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02726X0339	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ						< LQ										< LQ	
02723X1463	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02722X0602	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02722X0543	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02346X0001	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ		< LQ		< LQ														< LQ		< LQ	
02347X0445	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02343X0024	18/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02341X0143	19/09	28	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
02344X0148	19/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ				< LQ												< LQ	
01996X0201	19/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ										< LQ						< LQ	
02726X0025	19/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ								< LQ								< LQ	
02342X0187	19/09	31	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ					< LQ											< LQ	
01695X0009	20/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ														< LQ	
01993X0019	20/09	23	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ			< LQ													< LQ	
03427X0371	23/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ														< LQ		< LQ	
04132X0191	23/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ														< LQ		< LQ	
03786X0030	23/09	148	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ										< LQ						< LQ	
03786X0020	23/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ					< LQ											< LQ	
03783X0030	23/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ					< LQ											< LQ	
03426X0214	23/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ					< LQ											< LQ	
03077X0051	24/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ											< LQ					< LQ	
03784X0108	23/09	29	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ											< LQ					< LQ	
03078X0330	24/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ							< LQ									< LQ	
03424X0037	24/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ							< LQ									< LQ	
03423X0066	24/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ											< LQ					< LQ	
03788X0070	24/09	24	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ											< LQ					< LQ	
03787X0036	24/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ											< LQ					< LQ	
04134X0207	24/09	20	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ					< LQ											< LQ	
04124X0306	25/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ						< LQ										< LQ	
04135X0213	25/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ				< LQ												< LQ	
04133X0105	25/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ					< LQ											< LQ	

Etude complémentaire de recherche de substances médicamenteuses dans la nappe d'Alsace – Campagne 2013

		Carbamazépine	Clotrimazol	Codéine	Fénofibrate	Gemfibrozil	Gemfibrozil	Gemfibrozil	Ibuprofène	Ibuprofène	Paracétamol	Tramadol	Tramadol													
	LQ	20	50	50	50	20	60	110	50	300	50	125	130	135	140	145	150	155	160	170	175	180	250	50	130	
	UNITE	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
CODE BSS	DATE																									
04136X0003	25/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ								< LQ							< LQ		
04137X0109	25/09	24	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ												< LQ			< LQ		
04458X0059	26/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ									< LQ						< LQ		
04454X0005	26/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ					< LQ										< LQ		
04137X0018	26/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ												< LQ			< LQ		
04135X0055	26/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ				< LQ											< LQ		
04138X0033	27/09	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ			< LQ		< LQ													< LQ		

## **Annexe 5**

### **Résultats du laboratoire CARSO**



CARSO - Laboratoire Santé Environnement Hygiène de Lyon  
Export réalisé le 09/01/2014 16:30

		Analyses physicochimiques de base					Alkylphénols	Divers	Antilipémiants
METHODE		TH	TH	TH	COT	KMNO4	GC/MS- ALKPHEμ@	HPLC/MS/MS-SPEO- PSμ@	HPLC/MS/MS-SPE- LIGB@
CODE SANDRE				1345	1841	1315	5474	2766	5408
ANALYSE		Calcium à partir du TH	Magnésium à partir du TH	TH (Titre Hydrotimétrique)	Carbone organique dissous (COD) <0.45 μm	Indice permanganate	4-n nonylphénol	Bisphénol A	Acide clofibrique
UNITE		mg/l Ca++	mg/l Mg++	°F	mg/l C	mg/l O2	μg/l	μg/l	ng/l
CODE BSS	REFERENCE								
03431X0011	LSE1309-25754	87.1	12.1	26.7	0.4	3.3	<0.100	<0.100	<10
03074X0010	LSE1309-25755	100.5	12.3	30.1	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03086X0001	LSE1309-25756	99.3	12.6	30.0	0.4	<0.5	<0.100	0.447	<10
03073X0074	LSE1309-25757	81.3	19.5	28.3	1.5	1.5	<0.100	<0.100	<10
02718X0022	LSE1309-25758	33.1	12.2	13.3	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
02725X0178	LSE1309-25759	102.7	15.9	32.2	0.5	<0.5	<0.100	0.152	<10
02723X1463	LSE1309-27308	121.5	12.9	35.6	0.7	0.5	<0.100	0.384	<10
02726X0339	LSE1309-27309	55.5	4.5	15.7	7.1	7.2	<0.100	1.150	<10
03082X0001	LSE1309-27311	96.0	11.1	28.5	0.4	<0.5	<0.100	<0.100	<10
02351X0170	LSE1309-27367	58.9	7.7	17.9	1.4	1.2	<0.100	0.355	<10
02714X0056	LSE1309-27368	75.5	11.2	23.4	1.4	0.7	<0.100	<0.100	<10
02347X0004	LSE1309-27369	84.1	9.6	24.9	1.0	0.7	<0.100	<0.100	<10
02343X0024	LSE1309-29133	115.9	18.8	36.6	1.9	1.1	<0.100	<0.100	<10
02341X0143	LSE1309-29136	98.5	14.9	30.7	1.7	0.5	<0.100	<0.100	<10
02344X0148	LSE1309-29137	112.6	14.8	34.2	0.6	<0.5	<0.100	<0.100	<10
01996X0201	LSE1309-29138	137.2	10.1	38.4	1.2	0.6	<0.100	0.425	<10
02346X0001	LSE1309-29139	95.4	20.1	32.1	0.6	0.5	<0.100	<0.100	<10
02722X0543	LSE1309-29140	63.2	9.2	19.5	0.5	0.8	<0.100	<0.100	<10
02347X0445	LSE1309-29141	163.4	34.9	55.1	1.5	0.9	<0.100	<0.100	<10
02722X0602	LSE1309-29142	96.4	10.9	28.6	0.8	<0.5	<0.100	<0.100	<10
01993X0019	LSE1309-30677	69.8	9.1	21.2	0.6	<0.5	<0.100	<0.100	<10
01695X0009	LSE1309-30681	90.8	13.5	28.2	0.7	<0.5	<0.100	<0.100	<10
02342X0187	LSE1309-30682	83.5	13.8	26.5	1.7	0.7	<0.100	<0.100	<10
02726X0025	LSE1309-30683	81.8	15.7	26.9	0.8	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04132X0191	LSE1309-32981	94.3	11.2	28.1	0.8	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03786X0030	LSE1309-32982	33.8	6.3	11.0	0.7	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03786X0020	LSE1309-32983	112.3	17.5	35.2	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03427X0371	LSE1309-32984	143.3	13.6	41.3	0.7	1.0	<0.100	<0.100	<10
03077X0051	LSE1309-33783	102.3	18.0	33.0	1.0	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03783X0030 Ville : St Croix en Plaine	LSE1309-33784	84.5	6.9	23.9	0.6	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03426X0214	LSE1309-33785	107.8	21.5	35.7	0.9	0.5	<0.100	<0.100	<10
03784X0108	LSE1309-33786	67.4	9.1	20.6	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03788X0070	LSE1309-34236	45.5	6.3	13.9	0.7	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03423X0066	LSE1309-34239	107.1	10.7	31.1	0.2	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03424X0037	LSE1309-34240	98.8	12.8	29.9	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
03078X0330	LSE1309-34241	113.3	10.5	32.6	0.7	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04124X0306	LSE1309-34406	66.9	13.	22.1	2.2	1.5	<0.100	<0.100	<10
04134X0207	LSE1309-34407	84.8	11.1	25.7	0.4	<0.5	<0.100	<0.100	<10

METHODE	Analyses physicochimiques de base					Alkylphénols	Divers	Antilipémiants	
	TH	TH	TH	COT	KMNO4	GC/MS-ALKPHEμ@	HPLC/MS/MS-SPEO-PSμ@	HPLC/MS/MS-SPE-LIGB@	
CODE SANDRE			1345	1841	1315	5474	2766	5408	
ANALYSE	Calcium à partir du TH	Magnésium à partir du TH	TH (Titre Hydrotimétrique)	Carbone organique dissous (COD) <0.45 μm	Indice permanganate	4-n nonylphénol	Bisphénol A	Acide clofibrigue	
UNITE	mg/l Ca++	mg/l Mg++	°F	mg/l C	mg/l O2	μg/l	μg/l	ng/l	
CODE BSS	REFERENCE								
03787X0036 Eau robinet	LSE1309-34630	119.6	11.5	34.3	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04135X0213	LSE1309-36578	116.6	18.5	36.7	1.3	8.6	<0.100	<0.100	<10
04133X0105	LSE1309-36584	83.5	9.5	24.7	0.4	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04136X0003	LSE1309-36585	115.0	25.8	39.3	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04137X0109	LSE1309-36586	91.3	11.5	27.5	0.6	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04458X0059	LSE1309-36587	146.4	24.8	46.7	0.7	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04137X0018	LSE1309-36588	149.7	23.1	46.9	1.2	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04454X0005	LSE1309-36589	99.8	20.0	33.1	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04138X0033	LSE1309-37471	109.8	16.5	34.2	0.5	<0.5	<0.100	<0.100	<10
04135X0055	LSE1309-37472	102.5	14.3	31.5	0.4	<0.5	<0.100	<0.100	<10

## **Annexe 6**

### **Fiches des ouvrages sélectionnés pour la campagne**

(sur CD-rom)



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction Territoriale Alsace**  
Parc Activités Porte Sud  
Rue Pont du Péage – Bâtiment H1  
67118 - Geispolsheim - France  
Tél.: 03 88 77 48 90