

Document public



Document public

Programme 2017-2018 de développement de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR)

Rapport final

BRGM/RP-68860-FR
Décembre 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

E. Giuglaris, S. Schomburgk, H. Tissoux, S. Urban,
avec la collaboration de A. Brugeron, L. Guillemain, F. Husson, T. Krauffel, A. Manlay

Vérificateur :

Nom : D. Allier

Fonction : Hydrogéologue

Date : 20/12/2019

Signature :

Approbateur :

Nom : D. Salquèbre

Fonction : Directeur régional délégué

Date : 06/01/2020

Signature :

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

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Alsace, Ribeauvillé, SIGES, article, BSS, BRAR, fossé rhénan, aquifère, coupe géologique, coupe technique, paramètre hydrodynamique, âge des eaux, temps de transfert, pollution

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

Giuglaris E., Manlay A., D., Schomburgk S., Tissoux H., Urban S., avec la participation de Brugeron A., Guillemain L., Husson F., Krauffel T., Manlay A. (2019) – Programme 2017-2018 de développement de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR). Rapport final. BRGM/RP-68860-FR, 82 p., 24 ill., 2 tabl., 5 ann.

Synthèse

La Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR) est une base de données dédiée à l'Aquifère rhénan ainsi qu'un programme d'études scientifiques contribuant à une meilleure connaissance de cette ressource d'un intérêt majeur. Sa mise en place en 1994 sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace s'est inscrite dans une politique de protection et de gestion patrimoniale de la nappe du Fossé rhénan supérieur, menée tant au niveau régional que transfrontalier.

Les travaux de développement de la banque régionale de l'aquifère rhénan ainsi que les études contribuant à l'enrichir et à améliorer la connaissance de l'aquifère rhénan sont réalisés par le BRGM. Ils sont placés sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace, devenue Région Grand Est. Plusieurs programmes se sont succédés, encadrés par des conventions de partenariat entre la Région, le BRGM et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (1994-1999, 2003-2006, 2008-2010, 2011-2014, 2015- 2016).

Depuis décembre 2014, le site internet de la BRAR a été refondu sous la forme d'un portail internet intitulé « Système d'Information pour la gestion des Eaux Souterraines (SIGES) » tout en gardant une emprise géographique spécifique à l'aquifère rhénan et ciblant principalement un public « expert ».

Le programme 2017-2018 a permis de poursuivre le développement de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR), et d'enrichir ainsi les connaissances géologiques et hydrogéologiques de la plaine d'Alsace. Les principaux ajouts (coupes géologiques, synthèses, communications) et données nouvelles (paramètres hydrodynamiques, articles, etc.) et mises à jour des données existantes sont consultables sur le site web du SIGES Aquifère Rhénan, qui constitue la « vitrine » de la BRAR.

Les résultats du programme 2017-2018 sont présentés selon les principaux axes de travail suivants :

- Enrichissement de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan : nouvelles données sur les points d'eau, bibliographie et synthèse sur les temps de transfert ;
- Amélioration de la connaissance de l'aquifère rhénan : réalisation d'une synthèse hydrogéologique en zone de bordure, et de coupes (hydro)géologiques transversales ;
- Enrichissement du contenu et nouvelles fonctionnalités du SIGES : nouveaux articles, mises à jour, log géo-hydrogéologique interrogeant le modèle LOGAR, etc. ;
- Diffusion des données, analyse de la fréquentation du site, et communications (événements).

Dans l'objectif de poursuivre l'amélioration de la qualité des données du territoire alsacien, il est proposé à l'avenir de poursuivre la démarche. Parmi les actions à maintenir figure notamment la valorisation des données brutes sur le sous-sol, à travers la collecte, la bancarisation et la diffusion des coupes géologiques et techniques, ou encore des paramètres hydrodynamiques, ainsi que des travaux pour améliorer les correspondances entre le modèle LOGAR, les coupes transversales géologiques et la BDLISA.

Enfin, la diffusion des données sur internet devrait évoluer, à travers la réflexion qui a été engagée en 2019 sur la fusion des SIGES Aquifère Rhénan et Rhin-Meuse. Cette évolution implique un travail significatif sur le contenu éditorial du site (rubriques, articles), dont les modalités seront à coordonner avec le déploiement potentiel d'une future version « v3 » des SIGES au niveau national.

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1. Introduction | 9 |
| 2. Enrichissement de la banque régionale de l'aquifère rhénan | 11 |
| 2.1. INTEGRATION DE NOUVELLES DONNEES SUR LES POINTS D'EAU | 11 |
| 2.1.1. Paramètres hydrodynamiques | 11 |
| 2.1.2. Coupes géologiques et techniques de forages..... | 12 |
| 2.2. BIBLIOGRAPHIE SUR LE SOUS SOL ET LES POLLUTIONS DE LA NAPPE RHENANE, SYNTHESE SUR LES TEMPS DE TRANSFERT | 14 |
| 2.2.1. Introduction | 14 |
| 2.2.2. Notions d'âge des eaux, durée d'écoulement, durée de renouvellement (terminologie), et temps de transfert | 15 |
| 2.2.3. Principales données bibliographiques sur la nappe d'Alsace | 16 |
| 2.2.4. Ages des eaux et vitesse d'écoulement de la nappe..... | 17 |
| 2.2.5. Temps de transfert de polluants..... | 17 |
| 3. Amélioration de la connaissance de l'aquifère rhénan..... | 21 |
| 3.1. SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE EN ZONE DE BORDURE..... | 21 |
| 3.1.1. Sélection de la zone d'étude : secteur de Ribeauvillé | 21 |
| 3.1.2. Présentation des résultats de la synthèse hydrogéologique..... | 21 |
| 3.2. COUPES (HYDRO)GEOLOGIQUES TRANSVERSALES SIMPLIFIEES | 23 |
| 3.2.1. Objectif et choix de l'emplacement des coupes..... | 23 |
| 3.2.2. Réalisation : méthodologie | 26 |
| 3.2.3. Coupe BRAR n°1 | 28 |
| 3.2.4. Coupe BRAR n°2 | 30 |
| 4. Enrichissement du contenu et nouvelles fonctionnalités du SIGES aquifère rhénan | 33 |
| 4.1. ENRICHISSEMENT DU CONTENU DU SITE INTERNET | 33 |
| 4.1.1. Nouveaux articles | 33 |
| 4.1.2. Actualités | 34 |
| 4.1.3. Mises à jour, liens vers d'autres sites web | 34 |
| 4.2. NOUVELLES FONCTIONNALITES | 34 |
| 4.2.1. Log géo-hydrogéologique (modèle LOGAR) | 34 |
| 4.2.2. Formulaire de téléchargement des données de la BRAR..... | 36 |
| 4.2.3. Paramètres hydrodynamiques | 36 |
| 5. Diffusion des données, analyse de la fréquentation du site web, et communications | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1. ANALYSE STATISTIQUE SUR LA FREQUENTATION DU SITE..... | 39 |
| 5.2. DOCUMENTS DE COMMUNICATION..... | 41 |
| 5.2.1. Plaquette d'information sur le SIGES Aquifère Rhénan | 41 |
| 5.2.2. Livret de présentation de la BRAR..... | 41 |
| 5.3. EVENEMENTS « CAFE SIGES »..... | 42 |
| 5.4. AUTRES COMMUNICATIONS..... | 42 |
| 6. Conclusions et perspectives..... | 43 |
| 7. Bibliographie | 45 |

Liste des illustrations

| | |
|--|----|
| Illustration 1 : Extrait de la page d'accueil du SIGES Aquifère Rhénan (http://sigesar.brgm.fr) ... | 9 |
| Illustration 2 : capture d'écran de l'interface du logiciel « forage » (http://forages.johann-elsass.net/index.php , J. Elsass) - exemple de l'ouvrage BSS003UQSO à Marckolsheim | 13 |
| Illustration 3 : coupe géologique et technique au format BRAR - exemple de l'ouvrage BSS003UQSO à Marckolsheim | 14 |
| Illustration 4 : localisation géographique de la zone de bordure de « Ribeauvillé » | 22 |
| Illustration 5 : Esquisse –bloc 3D, version provisoire représentant le contexte hydrogéologique du secteur de Ribeauvillé (A. Genna) | 23 |
| Illustration 6 : Localisation de coupes géologiques transverses réalisées dans le cadre du programme InterReg MONIT (LUBW, 2006 ; Elsass et Rau, 1995)..... | 24 |
| Illustration 7 : Localisation des deux coupes géologiques (fond carto. IGN) | 25 |
| Illustration 8 : Coupe BRAR-n°1 | 25 |
| Illustration 9 : Coupe BRAR-n°2 | 26 |
| Illustration 10 : Report sur Arcgis en coupe des informations nécessaires à la réalisation de la coupe | 27 |
| Illustration 11 : Codage lithostratigraphique des logs et des unités géologiques | 27 |
| Illustration 12 : Codage lithologique des logs | 28 |
| Illustration 13 : Courbes isohypsides de la base des alluvions à 1/200 000 issue de la carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Mulhouse (379)..... | 29 |
| Illustration 14 : Courbes isohypsides de la base des alluvions à 1/250 000 issues de la carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Neuf-Brisach (378). | 29 |
| Illustration 15 : Localisation du profil sismique EW09 par rapport à la coupe BRAR 2 | 30 |
| Illustration 16 : Toit des marnes oligocènes soulignant un paléo-réseau hydrographique pliocène orienté vers le sud au débouché de la vallée de la Bruche dans la plaine du Rhin (Simler et al., 1967)..... | 31 |
| Illustration 17 : extrait de l'espace cartographique du SIGES – zones d'attention dans le secteur ouest de Strasbourg..... | 33 |

| | |
|---|----|
| Illustration 18 : exemple de log géo-hydrogéologique, à Erstein (67) | 35 |
| Illustration 19 : Activation de la couche « Pompages d'essai avec paramètres » sur le SIGES aquifère rhénan, extrait cartographique dans le secteur de Wittelsheim (68) ... | 37 |
| Illustration 20 : Légende des ouvrages avec pompages d'essai..... | 37 |
| Illustration 21 : ouvrages avec pompages d'essai – visualisation par paramètre, exemple de la transmissivité dans le secteur de Wittelsheim (68) | 38 |
| Illustration 22 : statistiques de consultation du SIGES Aquifère Rhénan, depuis sa création | 39 |
| Illustration 23 : extrait de la 1 ^{ère} page du livret de présentation dédié à la BRAR..... | 41 |
| Illustration 24 : présentation au salon Cycl'eau à l'occasion d'un « pitch » (BRGM, 2019)..... | 42 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Liste des ouvrages de la liste des points d'eaux prioritaires disposant de données dans les archives du BRGM | 11 |
| Tableau 2 : Articles (ou rubriques) les plus visités | 40 |

Liste des annexes

| | |
|--|----|
| Annexe 1 Enrichissement de la BRAR : liste des points d'eau avec saisie des paramètres hydrodynamiques, et coupes géologiques et techniques d'ouvrages | 49 |
| Annexe 2 Coupes (hydro)géologiques transversales simplifiées..... | 55 |
| Annexe 3 Description et exploitation du modèle LOGAR pour la mise en œuvre du « log géo-hydrogéologique » | 61 |
| Annexe 4 Plaquette d'information du SIGES Aquifère Rhénan | 69 |
| Annexe 5 Livret de présentation de la banque de données BRAR..... | 73 |

1. Introduction

La BRAR - Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan – est une base de données relatives à l'Aquifère rhénan ainsi qu'un programme d'études scientifiques contribuant à une meilleure connaissance de cette ressource d'un intérêt majeur. Sa mise en place en 1994 sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace s'est inscrite dans une politique de protection et de gestion patrimoniale de la nappe du Fossé rhénan supérieur, menée tant au niveau régional que transfrontalier.

Les travaux de développement de la banque régionale de l'aquifère rhénan ainsi que les études contribuant à l'enrichir et à améliorer la connaissance de l'aquifère rhénan sont réalisés par le BRGM. Ils sont placés sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace, devenue Région Grand Est. Plusieurs programmes se sont succédés, encadrés par des conventions de partenariat entre la Région Alsace, le BRGM et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (1994-1999, 2003-2006, 2008-2010, 2011-2014, 2015- 2016).

Depuis décembre 2014, le site internet de la BRAR a été refondu sous la forme d'un portail internet intitulé « Système d'Information pour la gestion des Eaux Souterraines (SIGES) » tout en gardant une emprise géographique spécifique à l'aquifère rhénan et ciblant principalement un public « expert ». La structure de ce portail internet a été développée par le BRGM à une échelle nationale, et mise en œuvre selon différents découpages géographiques. Elle permet la diffusion, la publication et la valorisation de l'information publique dans le domaine des eaux souterraines.



Illustration 1 : Extrait de la page d'accueil du SIGES Aquifère Rhénan (<http://sigesar.brgm.fr>)

Une nouvelle convention a été signée entre la Région Grand Est et le BRGM le 29 mai 2017, afin de poursuivre le développement de la BRAR pour 2 ans. Ce nouveau programme bénéficie également d'un financement de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse. Il s'attache à réaliser :

- La poursuite des travaux historiques de la BRAR qui sont :
 - o L'enrichissement de la BRAR via l'intégration de nouvelles données sur les points d'eau et de références des études réalisés sur l'aquifère rhénan;
 - o L'amélioration de la connaissance via la réalisation de synthèse hydrogéologique en zone de bordure et la réalisation de coupes hydrogéologiques transverses.
- L'administration et le développement du site web « siges aquifère rhénan » ;
- La communication sur les travaux de la BRAR.

Le présent rapport fait état des travaux réalisés en 2017 et 2018.

2. Enrichissement de la banque régionale de l'aquifère rhénan

2.1. INTEGRATION DE NOUVELLES DONNEES SUR LES POINTS D'EAU

2.1.1. Paramètres hydrodynamiques

Le travail réalisé en 2018 s'est focalisé sur vingt-cinq points d'eau identifiés comme étant prioritaires par l'agence de l'eau Rhin-Meuse (AERM), lors de l'établissement de la convention de la BRAR 2017-2018.

La recherche des données a été menée dans un premier temps par l'analyse des bases des données disponibles et les archives disponibles au BRGM. En complément, les antennes du haut Rhin et du Bas Rhin de l'ARS ont été contactées pour les ouvrages ayant un usage d'alimentation en eau potable (AEP). Une absence de documents est constatée sur la majorité des 25 ouvrages identifiés. En effet, seul 5 points (cf. Tableau 1) disposent d'informations et ont fait l'objet d'une saisie des données.

| Indice BSS | Données sélectionnées pour l'intégration dans la BRAR |
|-----------------|---|
| 04138X0239/F3 | Essai de pompage |
| 03795X0107/B1 | Essai de pompage + coupe géologique |
| 03787X0100/F | Essai de pompage |
| 03795X0111/GWM2 | Essai de pompage + coupe géologique |
| 03795X0112/GWM1 | Essai de pompage + coupe géologique |

Tableau 1 : Liste des ouvrages de la liste des points d'eaux prioritaires disposant de données dans les archives du BRGM

Le manque de données mis en évidence lors de ces recherches, attire l'attention sur des besoins d'actions complémentaires, et notamment sur :

- Les données d'essai de pompage de longue durée, permettant d'obtenir des paramètres hydrodynamiques fiables, sont peu nombreuses sur la nappe d'Alsace ;
- Les données de coefficients d'emmagasinement sont particulièrement rares, or, des travaux récents dans la plaine d'Alsace montrent l'influence forte de ce paramètre notamment sur la connaissance des vitesses de propagation avec diverses implications (présence d'émergences, transfert de polluants, etc.) ;
- Pour aller plus loin, au-delà des bases de données, il s'agirait d'approfondir les recherches dans les éventuelles archives papier disponibles (exploitants, bureaux d'étude, etc.).

D'autres points d'eau ont été identifiés en complément, du fait qu'ils disposaient de données d'essais, soit une liste de 23 ouvrages, qui s'ajoutent aux 5 ouvrages indiqués ci-dessus.

L'ensemble des données hydrodynamiques sont intégrées dans la BSS-eau. La liste des 28 points d'eau concernés est présentée en annexe 1. Pour rappel, la BSS-eau comprend toutes les données hydrodynamiques de la BRAR depuis 2015.

2.1.2. Coupes géologiques et techniques de forages

La Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan référence à ce jour les coupes géologiques et techniques de 800 points d'eau, répertoriés sur le territoire alsacien. Dans le but d'enrichir la base de données de la BRAR, il a été convenu d'atteindre 850 coupes dans le cadre du programme 2017/2018.

Pour ces ouvrages supplémentaires, il s'agit d'acquérir et de mettre en forme les données permettant d'éditer un log (ou coupe) géologique et une coupe technique au « format BRAR ».

Le choix des 50 points d'eau à traiter a été conditionné par 2 critères :

- Dans un premier temps, la localisation des points d'eau : le but étant d'enrichir la BRAR, il a été décidé de choisir en priorité les points d'eau situés dans des secteurs disposant de peu de coupes au format BRAR, afin d'étendre le plus possible la couverture des points d'eau référencés sur le territoire ;
- Le second critère a été guidé par la disponibilité des documents accessibles (rapports d'études, dossiers techniques, etc.) : les points d'eau retenus disposent d'informations jugées suffisantes sur la nature des terrains traversés (log géologique), ainsi que sur la réalisation de l'ouvrage (coupe technique).

En fine, le travail a été menée sur une liste de 51 ouvrages (cf. liste en annexe 1), soit 50 ouvrages disposant d'une coupe géologique et technique, et un ouvrage disposant uniquement d'une coupe technique.

L'existence d'informations sur les paramètres hydrodynamiques a parfois été prise en compte. Ce type de données peut être disponible suite à la réalisation de pompages d'essais (cf. partie 2.1.1), mais elle est rare. La plupart du temps, ce sont des informations sur le débit de pompage qui ont été intégrées, et éventuellement sur le débit spécifique (rapporté à un rabattement d'1 m du niveau de la nappe).

En effet, lorsque les documents originaux présentent des données de pompages d'essais (débit maximal d'essai "Q_{max}" et le rabattement associé de la nappe " Δh ") jugées utilisables, les débits spécifiques "Q_s" sont calculés selon le calcul suivant : $Q_s = \frac{Q_{max}}{\Delta h}$, les résultats sont arrondis au centième.

Dans certains cas, les hauteurs de rabattement rapportées dans les documents originaux peuvent être plus grandes que la profondeur maximale des forages, ces résultats sont donc purement théoriques, ont probablement été obtenus à la suite d'une interprétation, et ils n'ont donc pas été retenus. Ne connaissant pas la méthode d'obtention de ces valeurs, les points d'eau retenus et étant dans cette situation ne font pas l'objet d'un calcul du débit spécifique. Dans d'autres cas, le débit maximal d'essai est communiqué, mais la hauteur du rabattement associé ne l'est pas de sorte que le débit spécifique ne peut pas non plus être calculé.

L'ensemble des 50 coupes géologiques et techniques a été réalisé à l'aide du logiciel forage (cf. Illustration 2), dans lequel les données ont été saisies, et qui permet l'édition des coupes BRAR au format voulu.

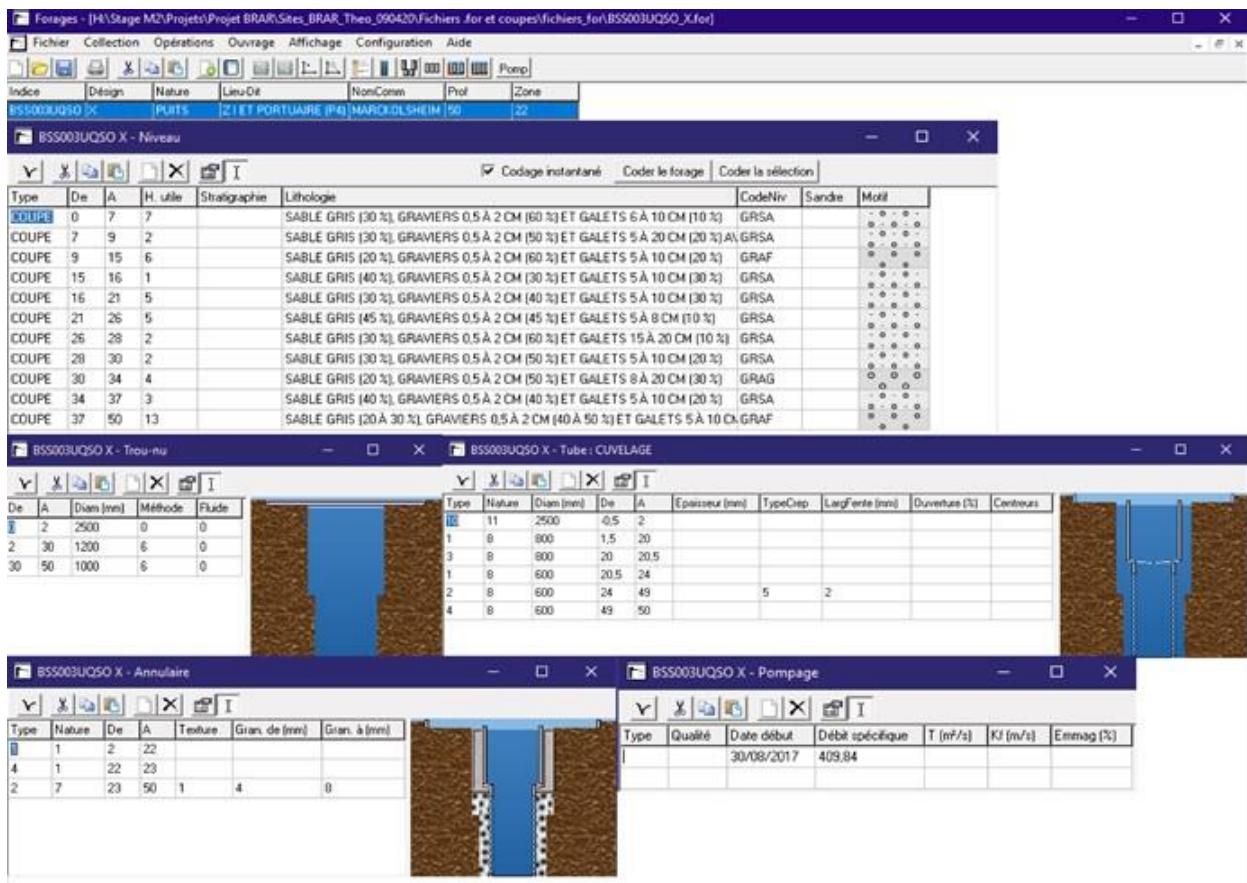


Illustration 2 : capture d'écran de l'interface du logiciel « forage » (<http://forages.johann-elsass.net/index.php>, J. Elsass) - exemple de l'ouvrage BSS003UQSO à Marckolsheim

A partir des données géologiques disponibles pour chaque forage, le logiciel permet la création d'un log de la lithologie en place sur l'ensemble de la profondeur forée.

L'opérateur, en charge de la saisie, retranscrit ces informations dans l'onglet « Niveau » et peut alors choisir dans la base de données du logiciel ou bien créer lui-même les motifs lithologiques qu'il estime correspondre le plus fidèlement aux formations en place.

L'opérateur peut ensuite retranscrire les informations concernant l'ouvrage en place. Ces informations sont renseignées dans 4 onglets différents : le trou-nu, le cuvelage, l'annulaire externe/interne et enfin les données relatives au pompage.

Lors de la réalisation des coupes géologiques et techniques, l'interprétation des données originales a été limitée afin que les coupes restent le plus factuelles possible.

Les fiches résultantes au format BRAR (cf. Illustration 3) sont éditées en version pdf pour en permettre la visualisation notamment depuis l'espace cartographique du SIGES Aquifère Rhénan.

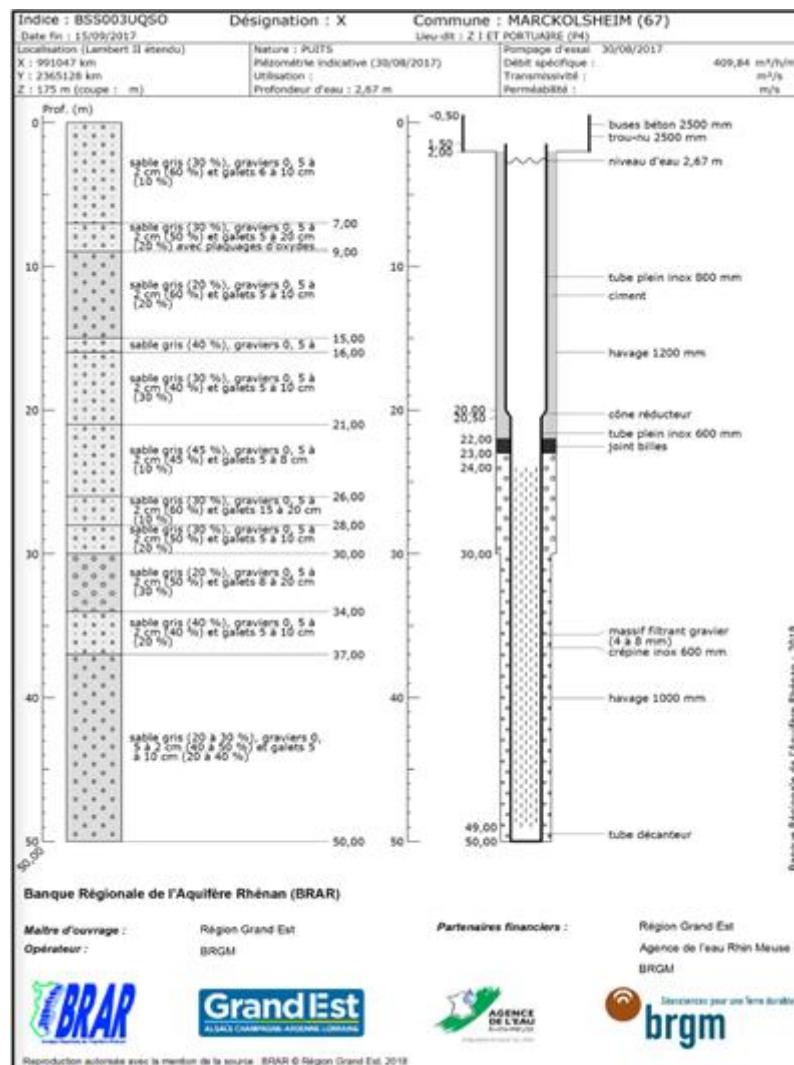


Illustration 3 : coupe géologique et technique au format BRAR - exemple de l'ouvrage BSS003UQSO à Marckolsheim

2.2. BIBLIOGRAPHIE SUR LE SOUS SOL ET LES POLLUTIONS DE LA NAPPE RHENANE, SYNTHESE SUR LES TEMPS DE TRANSFERT

2.2.1. Introduction

L'intégration des nouveaux rapports et études se fait progressivement dans la base de donnée du BRGM, que ce soit des rapports d'études réalisés par le BRGM mais aussi un certain nombre de rapports publics d'études menées par d'autres organismes (universités, bureaux d'études, etc.). Ainsi, 77 rapports réalisés par des organismes extérieurs au BRGM et 48 rapports réalisés par le BRGM ont été intégrés dans le cadre du programme 2017-2018.

Le travail de **synthèse réalisé en 2019** et présenté dans cette partie est axé sur les études portant sur les **temps de transferts vers la nappe et au sein de l'aquifère**. Il s'agit d'éléments d'estimation de l'âge des eaux et/ou des temps de transfert de polluants via les eaux souterraines. Ce travail a été mené sur la base d'une recherche bibliographique régionale et nationale.

2.2.2. Notions d'âge des eaux, durée d'écoulement, durée de renouvellement (terminologie), et temps de transfert

J. Margat définit trois concepts complémentaires faisant appel à la notion de temps appliquée aux eaux souterraines (Margat, 1967) : l'âge des eaux, la durée d'écoulement et la durée de renouvellement.

L'âge des eaux se réfère à un évènement passé : celui de l'infiltration d'une eau météorique, ou plus précisément son entrée dans un système aquifère. L'âge mesuré d'une eau établit la période entre cette entrée et le prélèvement ponctuel.

La durée d'écoulement est celle des eaux d'un point amont à un point aval d'un aquifère. Elle se déduit de la vitesse d'écoulement comme suit : T (durée d'écoulement) = D (distance concernée) / V (vitesse d'écoulement)

Enfin la notion de **renouvellement** repose sur des données de bilan hydrologique d'une nappe incluant des estimations de recharge, réserve, vidange et prélèvement. Si l'on estime le système à l'équilibre (recharge = vidange + prélèvement = débit moyen annuel Q ; avec V = volume de la réserve totale) alors l'on peut exprimer soit :

- un taux de renouvellement annuel Q/V , c'est-à-dire la fraction de la réserve renouvelée annuellement ;
- soit la durée de renouvellement V/Q , c'est-à-dire le nombre d'années théoriquement nécessaire pour renouveler entièrement la nappe.

Ce calcul ne peut constituer qu'une approche préliminaire sujette à précaution. Par exemple, rien ne prouve a priori que toute la masse d'eau de la réserve d'une nappe soit également touchée par le renouvellement.

L'âge d'une eau souterraine fait appel aux résultats de datations obtenus par les méthodes isotopiques. L'analyse isotopique de l'élément carbone (radioélément ^{14}C) permet d'identifier des eaux vieilles de plusieurs milliers d'années. La méthode basée sur le tritium (radioélément ^{3}H) cible une tranche d'âge nettement plus récente, postérieure à la production massive de cet isotope de l'hydrogène durant les essais nucléaires des années 1960 autour du globe. La troisième méthode vise des âges également récents et a pour référence la présence dans l'atmosphère de chlorofluorocarbones (CFCs) et d'hexafluorure de soufre (SF_6) utilisé à l'origine comme gaz de réfrigération. A ces méthodes radioisotopiques, il faut ajouter celles basées sur l'analyse des isotopes stables, comme celles de l'eau (^{18}O et ^{2}H) ou du Strontium (^{86}Sr et ^{87}Sr) qui affinent l'interprétation des datations en apportant des indications sur la ou les origines des eaux échantillonnées.

La durée d'écoulement et la durée de renouvellement d'une nappe sont des concepts hydrodynamiques complémentaires à celui de l'âge des eaux comme le souligne J. Margat, mais ces durées ne doivent pas être assimilées à des âges.

La notion de **temps de transfert** est par ailleurs utilisée, communément en bibliographie, et dans les paragraphes ci-après. Il correspond au temps de migration d'une substance dans le milieu souterrain pour parcourir une distance entre deux points, incluant la migration au sein de la zone non saturée (avant d'atteindre l'aquifère) et saturée (aquifère).

Les pollutions suivent les mêmes voies que l'eau météorique pour contaminer la nappe lorsque les molécules sont solubles. Néanmoins les temps de transfert sont généralement conditionnés par les sols et la zone non saturée, avant d'atteindre la nappe. C'est particulièrement le cas pour les intrants agricoles comme les fertilisant nitratisés et les pesticides. Alors que les eaux traversent

la zone non saturée, les molécules peuvent être stockées dans le sol et libérés progressivement induisant ainsi un allongement du temps de transfert. Ce phénomène de stockage suivi de relargage est sans doute la cause de la persistance de la présence de ces polluants dans les eaux souterraines, plusieurs années après leur interdiction (cas de l'atrazine dont l'utilisation a été interdite en 1991 en Allemagne et en 2003 en France). Au cours de ces transferts, les molécules peuvent se dégrader et éventuellement produire des métabolites, par exemple la déséthylatrazine issus de la dégradation du pesticide d'origine, l'atrazine. De fait, les études des phénomènes de transfert doivent prendre en compte non seulement les molécules mères mais aussi leurs produits de dégradation. Les mesures *in situ* effectuées, les modélisations de transfert mais aussi les analyses d'eaux comparées aux périodes de traitement en surface permettent d'estimer les temps de transfert spécifiques à ces polluants.

2.2.3. Principales données bibliographiques sur la nappe d'Alsace

La nappe d'Alsace est associée aux alluvions plio-quaternaires du Fossé Rhénan. Si d'une manière globale on peut considérer une relative homogénéité des formations alluvionnaires, les influences auxquels est soumise la nappe d'Alsace sont multiples. Les études menées le long de la bordure ouest, comme par exemple autour et en amont de la localité de Merxheim (Chabart, 2004) montrent l'influence de l'apport des rivières, comme des aquifères de bordure, dans la composition des eaux de la nappe. A d'autres endroits, comme par exemple dans la zone de Sierentz – Ottmarsheim (Kloppmann, 2003) l'influence du Rhin et du canal Rhin - Rhône s'ajoutent aux apports venant du Sundgau.

D'une manière générale, les études sur la base d'analyses isotopiques (Kloppmann, 2010) comme celles qui analysent le comportement hydrodynamique de la nappe (Longuevergne, 2006 ; Urban, 2010) montrent que le comportement de la nappe et des eaux qui la composent résultent de l'influence variable dans le temps et dans l'espace :

- des rivières dont les bassins versants sont situés dans les Vosges ou le Sundgau ;
- des aquifères de la bordure ouest (Vosges, Collines sous-Vosgiennes ou Sundgau) associés ou non à ces rivières ;
- du Rhin ;
- des précipitations directes dans la plaine alluviale.

Toutes ces entités contribuent à la recharge de la nappe et donc complexifient l'étude de l'âge des eaux comme celle de l'origine des pollutions.

Enfin, comme l'indique la synthèse transfrontalière des études géochimique et isotopique déjà évoquée (Kloppmann, 2010), une composante profonde des eaux de la nappe se distingue avec :

- l'existence d'une réserve d'eau ancienne datant de la fin du Pléistocène (cf. partie 2.2.4);
- la contribution de remontées le long de failles, d'eaux fortement minéralisées, provenant du socle et des sédiments secondaires et tertiaires.

En ce qui concerne les formations superficielles, plus de 20 types de sols différents couvrent la nappe rhénane (N. Surdyk, 2011), ce qui rend les conditions de transfert de polluants de la surface vers l'aquifère extrêmement variables. A cela s'ajoute une pluviométrie variable sur l'ensemble du fossé Rhénan qui influe sur le transfert. Cinq zones climatiques ont ainsi été prises en compte par les projets Interreg MoNit et LOGAR (Liaison Opérationnelle pour la Gestion de l'Aquifère Rhénan), et trois d'entre elles couvrent la majeure partie de la surface de la nappe d'Alsace.

2.2.4. Ages des eaux et vitesse d'écoulement de la nappe

Les analyses d'eau effectuées dans des forages profonds (Kloppmann, 2010) indiquent la présence d'une « composante d'âge ancienne avec un temps de résidence supérieur à 10 000 ans. On serait donc en présence d'eaux qui ont été rechargées à la fin du Pléistocène, lors de la dernière glaciation et sous un climat significativement plus froid que l'actuel. ». D'autre part certaines eaux profondes (zone d'Illkirch, Kloppmann 1999) contiennent manifestement des eaux issues d'un filtre de rive (filtration par les berges du Rhin) dont l'âge est de l'ordre de quelques milliers d'années. Toutefois il apparaît qu'aucune eau profonde n'est exempte de mélange avec des eaux nettement plus jeunes comme en témoigne la présence de polluants relativement récents (nitrates, pesticides).

A ces composantes anciennes s'ajoutent - de manière croissante vers la surface - des composants plus jeunes mis en évidence par les teneurs en tritium (Kloppmann 1997, 1999, 2010 ; Urban & al 2013) : l'infiltration des eaux analysées date des années 1960 jusqu'à une ancienneté de l'ordre d'une dizaine d'années, selon les cas. Enfin, dans le cadre de deux études concernant la zone de bordure de la nappe avec le Sundgau (Urban & al 2013 ; Kloppmann 2013), l'analyse des gaz réfrigérants contenus dans l'eau (CFC et SF₆) a permis de mettre en évidence la présence d'eaux d'âge égal ou inférieur à dix ans.

Pour la période récente et dans une zone située le long de la rive droite du Rhin (Allemagne), au sud de Fribourg, le temps de transfert des eaux du Rhin, via la filtration des berges, a été estimé à plus de quarante mois (Königer & Al, 2001).

Si les apports provenant des précipitations en surface de la Plaine d'Alsace, ou bien celui des rivières et du Rhin en interaction souvent directe avec la nappe, sont toujours des apports d'eaux jeunes, ce n'est pas nécessairement le cas des zones de bordure : certains aquifères qui se connectent à l'aquifère alluvial, tels que l'aquifère plio-quaternaire d'Haguenau ou bien l'aquifère pliocène multicouches de Wissembourg / Bad Bergzabern, contiennent des eaux d'âge estimé à quelques dizaines d'années (aquifère de Haguenau ; Urban & Ouerghi, 2017) à plusieurs centaines d'années (aquifère de Wissembourg – Bas Bergzabern, Kloppmann, 2011). Les nappes des formations de bordure ajoutent donc l'âge propre de leurs eaux, en alimentant la nappe alluviale de la plaine d'Alsace.

2.2.5. Temps de transfert de polluants

Le bilan présenté ici concerne principalement les résultats des études relatives aux pollutions dites « diffuses », liées à la présence de pesticides et de concentrations élevées en nitrates. Ces polluants trouvent leur origine, en grande partie, dans l'utilisation de fertilisants azotés et de produits phytosanitaires, notamment en agriculture.

Le transfert des nitrates

L'étude pilotée par la chambre d'agriculture du Bas-Rhin et réalisée par le **BRGM (Baran et al, 2005) en collaboration avec le CNRS et l'INRA** a porté sur les flux d'eau et d'intrants agricoles dans des parcelles utilisées pour des grandes cultures (betteraves, maïs, choux, blé, pommes de terre) dans la région d'Obernai. Dans des sols loessiques homogènes avec des épaisseurs de 4 à 20 mètres, plusieurs carottages ont été effectués, suivis d'analyses d'intrants (pour l'essentiel les nitrates) et isotopiques (datation avec le tritium). L'analyse comparative des résultats, avec des simulations, décrivent des vitesses de flux de nitrates de l'ordre de **quelques décimètres par an dans ce type de sol**. Dans la même étude, concernant les pesticides, le devenir de

l'atrazine et de son principal métabolite, la déséthylatrazine, fût testé sans obtenir de valeur fiable compte tenu des faibles valeurs de concentration en profondeur, ou de leur absence.

Les autres études locales réalisées par le BRGM se focalisent, à la demande des acteurs locaux ou régionaux sur l'origine des fertilisants azotés, les vecteurs de transfert (rivières ou aquifères de bordure), leur éventuelle dénitrification et leur parcours une fois la Nappe d'Alsace atteinte (Chabart 2004, Kloppmann, Chabart & Schomburgk 2004 ; Urban & al 2013 ; Kloppmann 2013).

A l'échelle de la Nappe Rhénane, les projets franco-allemands INTEREG MoNit et LOGAR ont montré une bonne corrélation entre les simulations de transfert de nitrates dans la nappe, au droit des cultures dans la plaine rhénane, et les cartographies de concentrations issues des inventaires transfrontaliers. En comparaison avec l'étude mentionnée auparavant ayant porté sur des sols loessiques épais de la région d'Obernai, le postulat général appliqué à ces simulations à l'échelle de la plaine rhénane fût un bilan et un **transfert effectif de nitrates** vers la nappe, dans un **laps de temps de l'ordre d'un an**, pour toutes les occupations agricoles et quels que soient les sols rencontrés.

Le transfert des pesticides

Parmi les pesticides étudiés, l'atrazine et son principal métabolite, la déséthylatrazine ont fait l'objet de plusieurs études en raison de leur impact significatif sur les eaux de la nappe rhénane. Pesticide utilisé de manière répandue, il fût cependant interdit d'usage en Allemagne en 1991, puis en France en 2003 et finalement en 2004 pour l'Union Européenne dans son ensemble. Sa persistance dans les eaux de la Nappe Rhénane après les interdictions, tant en Allemagne qu'en France, a amené à se pencher sur ses modalités de transfert dans les sols et la zone non saturée en général.

Comme le montre la synthèse produite par le BRGM en 1999 (Mouvet et al, 1999) et la modélisation BRGM réalisée en 2011 (Surdyk, 2011), les modalités de transfert des pesticides dans les sols dépendent de multiples paramètres liés aux sols (caractéristiques physico-chimiques, type d'écoulement des eaux d'infiltration, activités microbiennes), du climat (pluviométrie), des propriétés de la molécule concernée (dégradation/ persistance, production de métabolites, conditions d'adsorption/désorption) et de ses modalités d'application selon les cultures. A cet ensemble de paramètres s'ajoute le fait que les quantités mesurées sont relativement faibles, de l'ordre du µg/L (eaux dans les sols ou dans l'aquifère). Néanmoins, malgré la complexité occasionnée par la prise en compte de l'ensemble de ces facteurs, les deux études précitées comme celle effectuée en 2013 ciblant deux zones particulières (Urban et Al, 2013) font apparaître que l'existence de phénomènes de stockage/déstockage dans les sols et plus généralement dans la **zone non-saturée** allonge le temps de transfert de **l'atrazine** (et de **son principal métabolite**) vers la nappe après son application en surface. En prenant les dates d'interdiction respectives en Allemagne (1991) et en France (2003), ce phénomène de relargage ou de **transfert retardé vers la nappe est estimé à plus de 5 ans**. Cette estimation est bien entendu indicative au regard de la variabilité des sols rencontrés dans la plaine d'Alsace et plus globalement la plaine rhénane.

De telles études avec modélisation ont eu un intérêt particulier pour l'atrazine, ce pesticide ayant été largement appliqué avant son interdiction progressive. Ces interdictions offraient même l'occasion d'observer les phénomènes de concentrations décroissantes dans les sols et dans la nappe d'Alsace. Elles sont **difficilement reproductibles car actuellement de multiples molécules se sont substituées à l'atrazine** avec des champs d'application divers.

Plus récemment, le **projet transfrontalier ERMES-Rhin 2016** (nappe du Rhin supérieur) a donné lieu à des prélèvements d'eau souterraine au droit d'environ 1500 points répartis entre Bâle et Mayence/Wiesbaden. Les analyses de cet état des lieux ont porté notamment sur 41 pesticides disposant de valeurs seuils pour l'eau potable.

Les résultats montrent que 14% des points de mesure présentent un dépassement de la limite de potabilité (0,1 µg/L pour une molécule seule ou 0,5 µg/L pour la somme). La diversité des molécules détectées est notable : parmi les 41 substances analysées, 36 ont été quantifiées au moins une fois par un des partenaires du projet. Les herbicides sont les molécules les plus retrouvées, notamment l'atrazine et certains de ses métabolites, la simazine, la bentazone et le S-métolachlore, reconnus comme étant des herbicides du maïs et de la betterave.

En termes d'évolution des concentrations, les conclusions du projet ERMES-Rhin 2016 indiquent une lente dégradation de l'atrazine, et de ses métabolites, l'atrazine déséthyl (DEA) et l'atrazine désisopropyl (DIA). A l'époque des prélèvements (2016), l'atrazine était déjà interdite depuis 25 ans en Allemagne. Sa quantification et celle de ses métabolites (DEA, DIA) ayant régressé de manière notable dans le Bade-Wurtenberg, une évolution similaire peut raisonnablement être attendue dans les prochaines années côté alsacien. Il est à noter cependant que la situation au regard d'un autre métabolite, l'atrazine désisopropyl déséthyl (DEDIA), recherché pour la 1^{ère} fois à cette échelle, reste préoccupante.

3. Amélioration de la connaissance de l'aquifère rhénan

3.1. SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE EN ZONE DE BORDURE

3.1.1. Sélection de la zone d'étude : secteur de Ribeauvillé

La sélection de la zone d'étude a été réalisée principalement sur la base de trois critères :

- La localisation des pollutions en nitrates et pesticides résultant du projet ERMES ;
- L'historique des synthèses hydrogéologiques en zone de bordure ;
- La présence de captages AEP et leur problématique (historique, abandon...).

Le suivi de la qualité des eaux de la nappe d'Alsace met en évidence une pollution des eaux souterraines notamment en nitrates et pesticides. Cette pollution, en général diffuse, est présente à des concentrations particulièrement élevées en certains points de la zone de bordure de la nappe. Or, la complexité du fonctionnement hydrogéologique de ces zones à l'interface de trois entités géomorphologiques rend difficile l'interprétation, la recherche des sources de pollution et les actions à entreprendre.

Une pollution diffuse de la nappe s'observe particulièrement au niveau de la zone de bordure de Ribeauvillé avec la plus forte concentration en pesticides relevée sur la nappe d'Alsace en 2016. Le lien avec les vignobles situés sur le champ de fracture de Ribeauvillé, secteur en amont hydraulique de la plaine, est peu connu, notamment en raison de la faible connaissance de l'hydrogéologie locale.

Le secteur de Ribeauvillé, représenté ci-après (cf. Illustration 4), a donc fait l'objet d'une synthèse hydrogéologique.

3.1.2. Présentation des résultats de la synthèse hydrogéologique

Rapport d'étude

La compréhension du fonctionnement hydrogéologique de la zone de bordure de Ribeauvillé est complexe du fait de l'existence du champ de fractures. En effet, d'un point de vue géologique, elle se situe à l'interface de trois unités géomorphologiques qui se succèdent d'ouest en est : les Vosges cristallines et/ou gréseuses, les collines sous vosgiennes et enfin la plaine d'Alsace.

Cette synthèse s'est appuyée essentiellement sur l'analyse et l'interprétation de données historiques, disponibles via 1) des rapports et notes réalisés depuis les années 1960, 2) des ouvrages captant les eaux souterraines, comportant des informations quantitatives et qualitatives, et 3) des cartes, réalisées notamment depuis les 10 dernières années.

La synthèse a permis d'effectuer une synthèse des connaissances disponibles sur le secteur et de proposer des pistes d'action en termes d'amélioration des connaissances.

L'ensemble des résultats est présenté dans un rapport dédié, référencé sous le n°BRGM/RP-69753-FR.

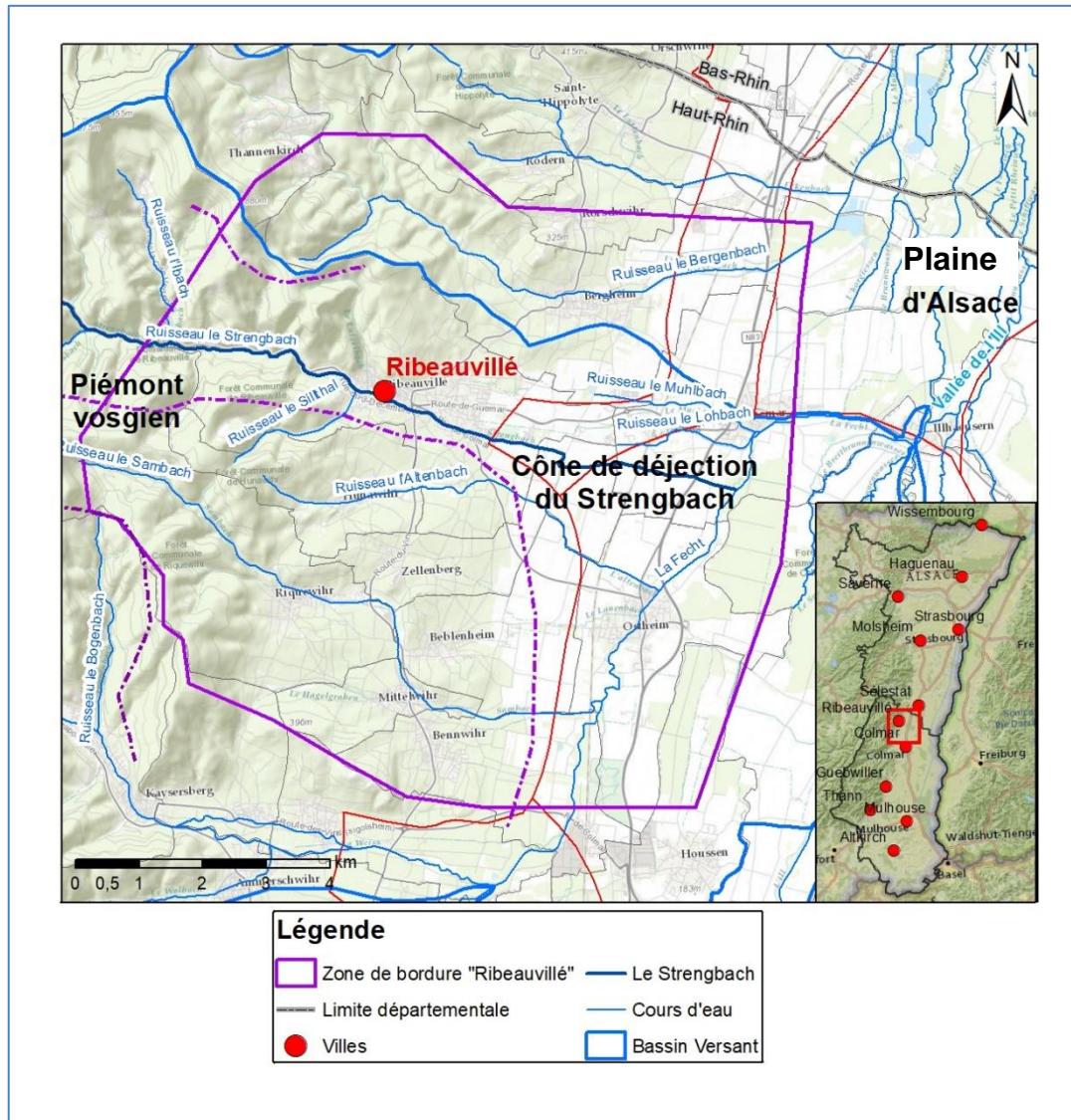


Illustration 4 : localisation géographique de la zone de bordure de « Ribeauvillé »

Esquisse – bloc 3D

En complément du rapport d'étude complet, un travail spécifique a été réalisé afin de représenter le contexte hydrogéologique de la zone de bordure de Ribeauvillé (cf. Illustration 5) sous une forme illustrée et accessible à tous.

La version finale de cette esquisse est présente sur le SIGES, dans la rubrique dédiée aux zones de bordure.

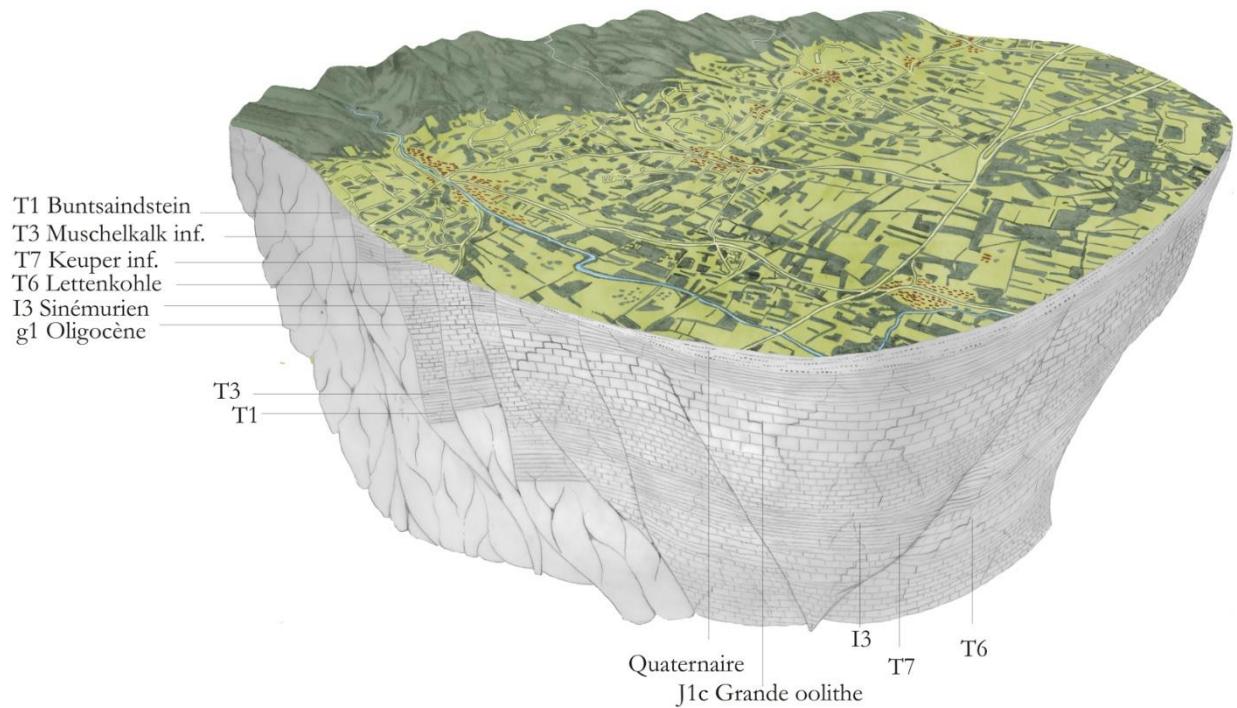


Illustration 5 : Esquisse -bloc 3D, version provisoire représentant le contexte hydrogéologique du secteur de Ribeauvillé (A. Genna)

3.2. COUPES (HYDRO)GEOLOGIQUES TRANSVERSALES SIMPLIFIEES

3.2.1. Objectif et choix de l'emplacement des coupes

L'objectif de cette tâche a consisté en la réalisation de deux coupes géologiques, avec des indications de la lithologie, à travers les formations quaternaires du Fossé Rhénan. Elles ont également une vocation hydrogéologique, avec la représentation des principales formations alluviales aquifères.

Ces coupes traversent transversalement le Fossé rhénan, depuis la bordure du Massif vosgien jusqu'à la frontière allemande. Elles sont produites sous un « format dessin » avec pour vocation d'être imprimées et diffusées, mais elles ne sont pas utilisables en termes de modélisation numérique.

Les localisations identifiées en concertation avec les partenaires du projet sont 1) le secteur de Mulhouse et 2) le secteur d'Obernai ou Sélestat.

Le choix des deux coupes géologiques s'est porté sur la base des critères suivants :

- Cohérence globale entre les études antérieures et les travaux en cours, afin d'avoir une répartition homogène le long du fossé : localisation des coupes transversales antérieures (cf. Illustration 6), synthèses hydrogéologiques... ;

- Disponibilité de la donnée et connaissances géologiques du secteur : nombre de forages comprenant des coupes géologiques, complexité de la structure géologique... ;

Au final, les deux tracés retenus (cf. Illustration 7, Illustration 8, Illustration 9) sont, pour la coupe 1 entre Berrwiller et Blodelsheim, au nord de Mulhouse (68), et pour la coupe 2 entre Heiligenstein (sud d'Obernai) et Erstein (67).

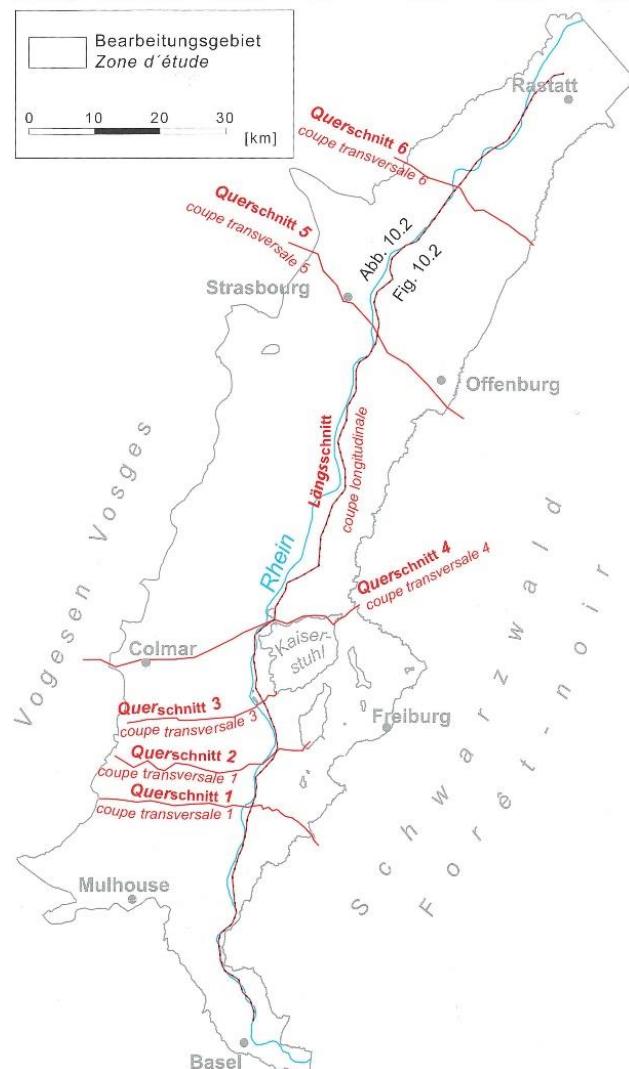


Illustration 6 : Localisation de coupes géologiques transverses réalisées dans le cadre du programme InterReg MONIT (LUBW, 2006 ; Elsass et Rau, 1995)



Illustration 7 : Localisation des deux coupes géologiques (fond carto. IGN)

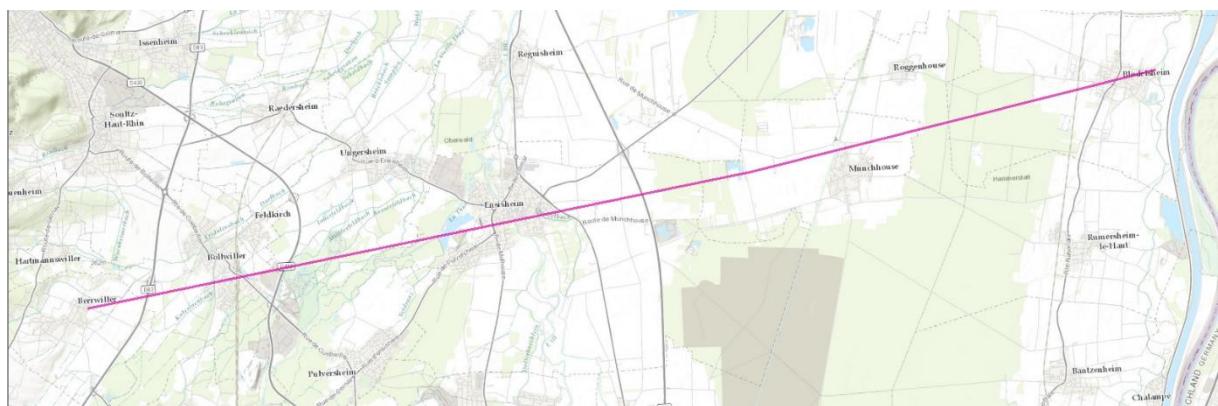


Illustration 8 : Coupe BRAR-n°1

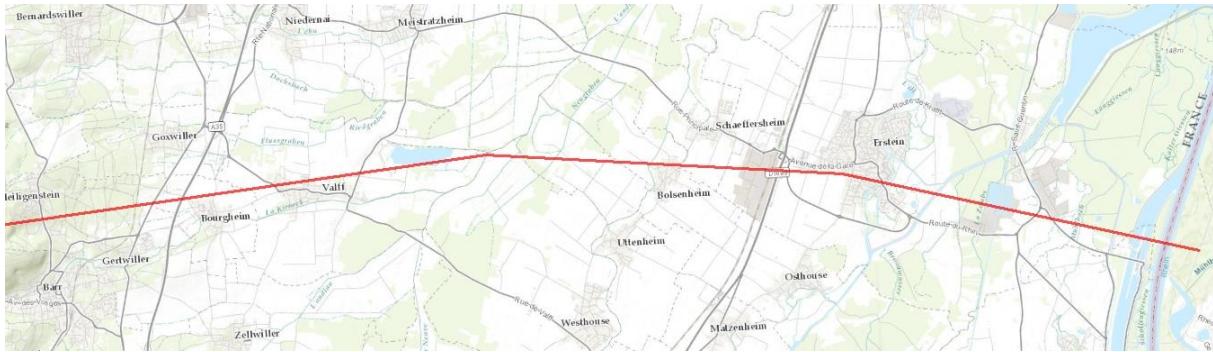


Illustration 9 : Coupe BRAR-n°2

3.2.2. Réalisation : méthodologie

Les coupes ont été réalisées en tenant compte de l'état des connaissances au moment de leur réalisation. Elles résultent de l'interprétation de données partielles et dont la connaissance peut être amenée à évoluer ou à être révisée.

Elles ont été réalisées en utilisant les données issues du démonstrateur RGF Vosges-Fossé-Rhénan (VFR) (<http://rgf.brgm.fr/page/vosges-fosse-rhenan-pilote-rgf>). Elles sont ainsi labellisées RGF (<http://rgf.brgm.fr/>).

Le travail a été mené en respectant les contraintes suivantes :

- Dépouillement des données disponibles sur les forages ;
- Mises en cohérence des informations géologiques (études, données de forages, données géophysiques...) ;
- Adaptation au caractère hydrogéologique.

Elles ont été réalisées en suivant le protocole présenté ci-après.

Un report en coupe a été effectué sur un logiciel SIG¹ (Arcgis ®ESRI), grâce à un développement technique du BRGM :

- De la surface topographique le long du tracé de la coupe (altitude NGF) ;
- Des principales communes le long du tracé ;
- Des cours d'eau interceptant le tracé ;
- Des limites géologiques de la carte lithostratigraphique en formations-membres du démonstrateur RGF VFR interceptant le tracé ;
- Des interfaces des sondages BSS renseignés en termes de lithologie, labellisés RGF, présents dans une emprise d'un kilomètre de part et d'autre du tracé ;
- Des structures identifiées dans les sondages de la BSS.

¹ SIG : Système d'Information Géographique

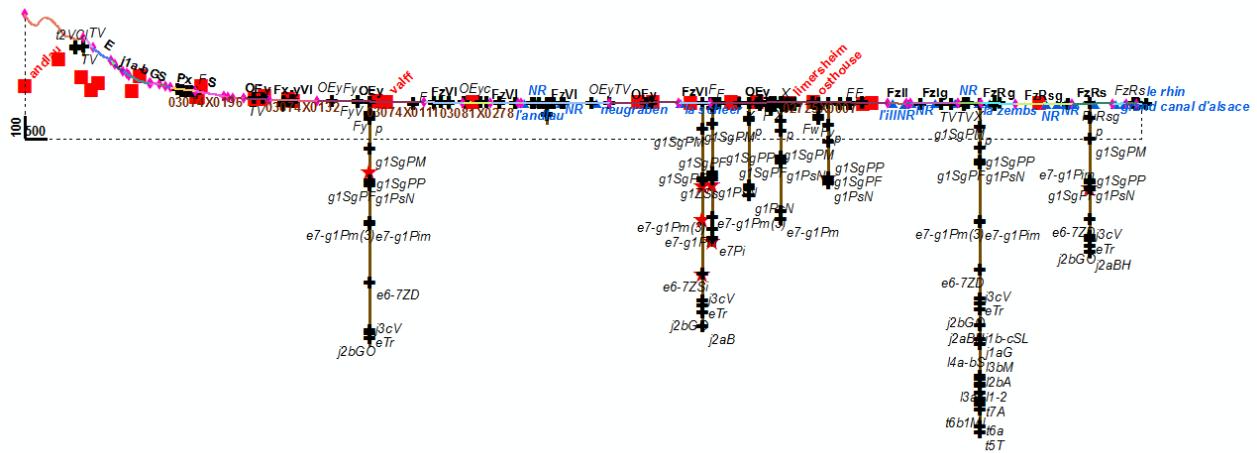


Illustration 10 : Report sur Arcgis en coupe des informations nécessaires à la réalisation de la coupe

Le tout est ensuite exporté en format image sous Adobe Illustrator pour être entièrement redessiné.

À partir de ces informations, les coupes ont donc été tracées. Elles sont présentées en annexe 2.

Les logs des sondages sont codés et représentés en :

- Lithostratigraphie (légende couleur des unités géologiques, également utilisés pour les formations dessinées sur la coupe, voir légende ci-dessous). Les couleurs utilisées (CMJN) sont tirées de la charte chronostratigraphique internationale pour le Jurassique, l'Oligocène et le Pliocène. Pour le Quaternaire (alluvions, dépôts de pente et de solifluxion, loess et dépôts anthropiques) les couleurs sont traditionnelles des cartes géologiques à 1/50 000, celles de la charte chronostratigraphique internationale étant trop proches pour être distinguées.



Illustration 11 : Codage lithostratigraphique des logs et des unités géologiques

- Lithologie (légende ci-dessous)

Lithologie des sondages

| | |
|--|------------------------|
| | loess |
| | limon |
| | sable |
| | gravier |
| | argile |
| | sable, gravier |
| | sable, argile |
| | limon, sable, gravier |
| | argile, sable, gravier |
| | marne |

Illustration 12 : Codage lithologique des logs

3.2.3. Coupe BRAR n°1

La coupe BRAR-1 est localisée entre Berrwiller à l'ouest et Blodelsheim à l'est (68). Elle fait 24,7 km de long. Y sont représentées les formations oligocènes qui n'ont pas été distinguées et qui forment le substratum des formations quaternaires, lesquelles reposent directement dessus. Le Pliocène n'est pas représenté au niveau de la coupe.

Les formations quaternaires présentes sont constituées d'alluvions et de dépôts anthropiques. Des formations loessiques ou dépôts de pentes d'épaisseur significative, à l'échelle de restitution retenue, n'ont pas été traversés au niveau de la coupe.

La base des alluvions a été déterminée à partir des profondeurs reconnues dans les descriptions des forages de la BSS retenus pour ce travail (37 sondages utilisés dont 31 atteignant la base du Quaternaire) et des cartes des isohypsides de la base des alluvions produites avec les cartes géologiques de la carte géologique de la France à 1/50 000, feuilles de Mulhouse (413) et de Neuf-Brisach (378).



Illustration 13 : Courbes isohypes de la base des alluvions à 1/200 000 issue de la carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Mulhouse (379).

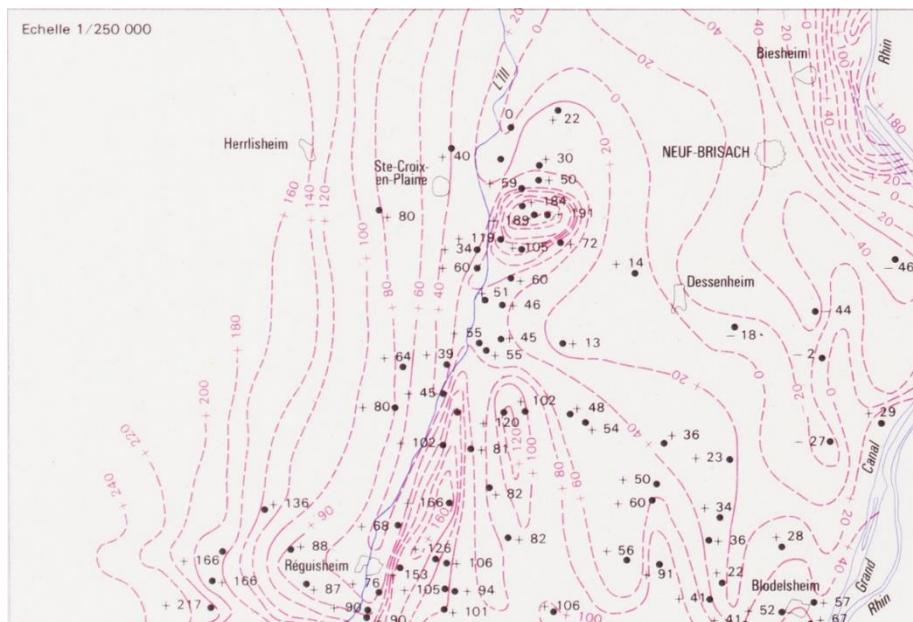


Illustration 14 : Courbes isohypes de la base des alluvions à 1/250 000 issues de la carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Neuf-Brisach (378).

La présence de structures de type « faille », bien connue dans le fossé Rhénan et affectant l’ensemble de la pile sédimentaire jusqu’au Quaternaire récent (Bertran et al, 2006) n’ont pas pu être mises en évidence dans les descriptions de sondages BSS le long du tracé. Seul un profil sismique était disponible, et seulement sur la partie orientale du tracé de la coupe (sim86mu04, projet GeORG, 2013) mais ne présentait pas une résolution suffisante pour être utilisable sur les premières centaines de mètres de profondeur. Toutefois des failles supposées ont été représentées, affectant l’Oligocène, sur la base de la littérature. Une partie de ces structures se

prolonge probablement dans le Quaternaire, sans que nous ayons d'indices sur le tracé de la coupe. Seul le diapirisme, visible au niveau d'Ensisheim, est bien documenté (i.e. carte géologique à 1/50 000, feuille 413 - Mulhouse).

Les alluvions récentes représentées ont pu être distinguées selon leur origine à l'occasion du chantier RGF Vosges - Fossé rhénan (VFR) en alluvions d'origine vosgienne et cônes de déjections, alluvions de l'Ill et alluvions du Rhin. Les alluvions plus anciennes avaient, dans le cadre du RGF-VFR, toutes été codées en Fy, soit en tant qu'alluvions würmiennes. Devant le manque de données chronologiques, nous avons préféré ici les représenter en tant que « alluvions anciennes ». La description lithologique des forages BSS proposée dans le cadre du RGF-VFR donne peu de détails lithologiques au sein des passes décrites. Nous n'avons pas pu faire de sous-ensembles lithologiques au sein des alluvions anciennes. Toutefois, une tendance ressort, avec des alluvions plus argileuses du côté vosgien, et plus sablo-graveleuses du côté du fossé rhénan. Cette distinction a été utilisée pour marquer une limite supposée entre alluvions vosgiennes et alluvions rhénanes. A la base des alluvions quaternaires, on trouve un niveau pouvant faire plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur constitué d'argiles plastiques jaunes. Ce niveau était nommé « de transition » dans les descriptions initiales des forages, puis rattaché à l'Oligocène dans le cadre du RGF-VFR.

3.2.4. Coupe BRAR n°2

La coupe BRAR-2, localisée entre Heiligenstein et Erstein (67) fait 21.6 km de long. Y sont représentées les formations pliocènes et quaternaires (alluvions, dépôts de pente et de solifluxion, loess et dépôts anthropiques) sur leur substratum oligocène, lequel n'a pas été différencié.

La présence de structures de type « faille » est bien connue dans le fossé rhénan. Ces dernières affectent l'ensemble de la pile sédimentaire, jusqu'au Quaternaire récent (Bertran et al., 2006). Toutefois, aucune donnée de structure affectant le Plio-Quaternaire n'a pu être mise en évidence ni dans la bibliographie ni dans les descriptions de sondages BSS le long du tracé. Bien que d'une résolution limitée pour la subsurface, des profils sismiques ont été observés. Le profil EW09 (Beccaletto et al., 2014) met en évidence les structures cassantes qui ont été reportées dans la coupe au niveau de l'Oligocène.

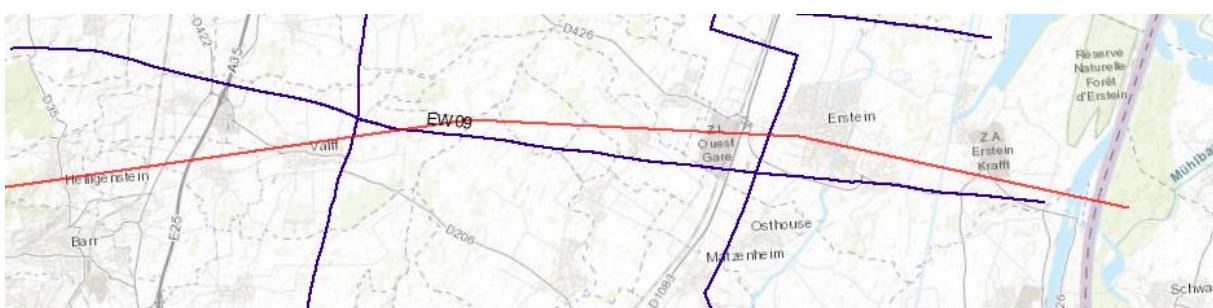


Illustration 15 : Localisation du profil sismique EW09 par rapport à la coupe BRAR 2

La remontée de l'Oligocène sous la partie occidentale du seuil d'Erstein n'est renseignée que par un seul sondage (02725X0005). Nous avons choisi de la faire figurer néanmoins car le surcreusement du Pliocène à cet endroit est mentionné également en bibliographie (Simler et al., 1967). Le rôle de la facturation ne pouvant être établi avec certitude dans ce surcreusement, le prolongement de la faille a été représenté en pointillé.

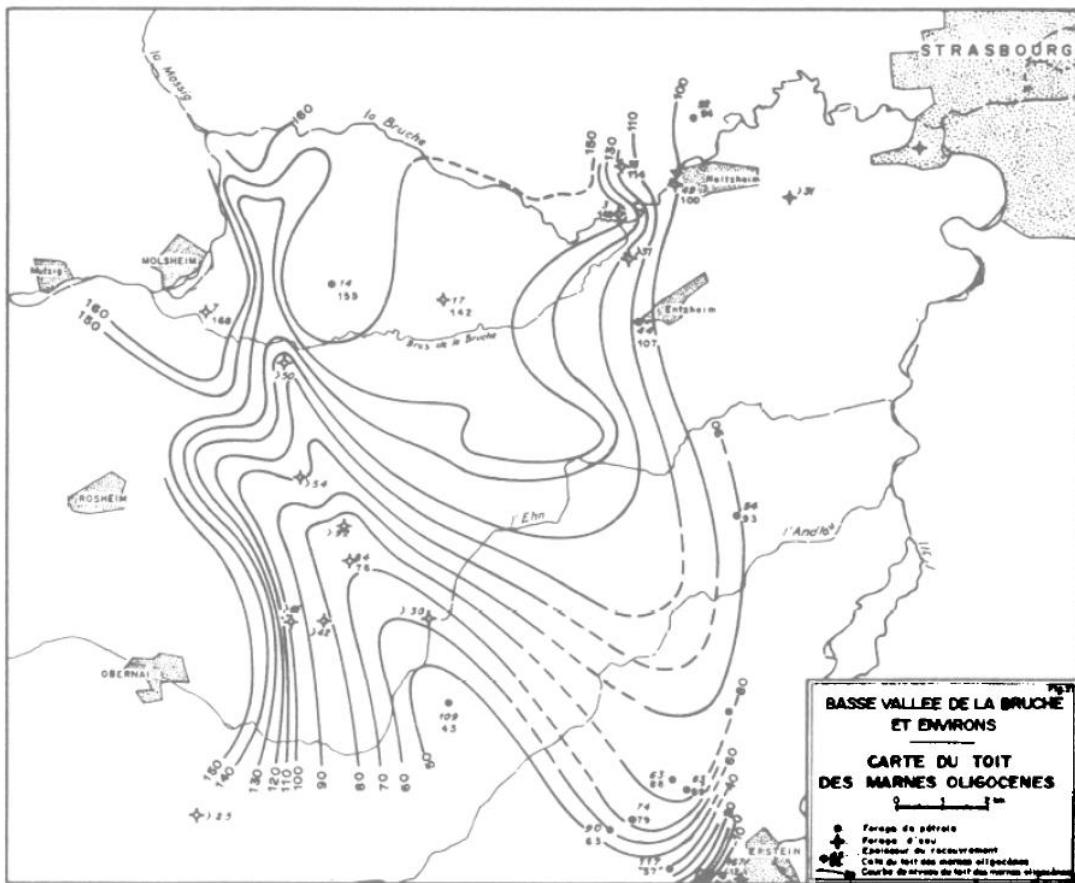


Illustration 16 : Toit des marnes oligocènes soulignant un paléo-réseau hydrographique pliocène orienté vers le sud au débouché de la vallée de la Bruche dans la plaine du Rhin (Simler et al., 1967)

La description lithologique des forages BSS proposée dans le cadre du RGF-VFR a permis de distinguer la base des alluvions quaternaire des dépôts pliocènes. Dans ces derniers, on note une argilosité des sédiments qui n'est pas présente dans les alluvions quaternaires sus-jacentes. Au sommet des dépôts alluviaux quaternaires, on retrouve les séquences loessiques, essentiellement déposées au dernier maximum glaciaire et les séquences alluviales limoneuses holocènes des lits majeurs des rivières vosgiennes, de l'III et du Rhin. Au sein des alluvions quaternaires, les sédiments décrits sont essentiellement sablo-graveleux. Quelques logs de forage décrivent des passes uniquement sableuses ou uniquement graveleuses, très rarement limoneuses ou argileuses. Dans tous les cas, il n'est pas possible de corrélérer les passes pour identifier des lentilles (limoneuses par exemple) significatives au regard des données disponibles, comme cela a pu être fait dans les coupes proposées par Elsass et Rau en 1995.

La source des matériaux composant les alluvions a souvent été donnée dans les logs décrits. Cela a permis de distinguer les alluvions récentes à holocène des rivières vosgiennes, de l'III et du Rhin. Concernant les alluvions sous-jacentes, cela n'a pas été possible.

4. Enrichissement du contenu et nouvelles fonctionnalités du SIGES aquifère rhénan

4.1. ENRICHISSEMENT DU CONTENU DU SITE INTERNET

Le SIGES aquifère rhénan a permis de diffuser les résultats de différents projets et actualités sur le territoire alsacien.

4.1.1. Nouveaux articles

Parmi les projets valorisés, deux sujets en particulier peuvent être cités. Il s'agit d'études réalisées par le BRGM, dont les résultats sont présentés dans des articles dédiés :

- Le projet « **zones d'attention** » (rubrique qualité) : outil cartographique des zones au sein desquelles des pollutions d'origine industrielle ont été constatées, dans les eaux souterraines du grand système aquifère plio-quaternaire de la Plaine d'Alsace ;
- Le potentiel des eaux souterraines pour l'irrigation (rubrique quantité) : cartographies de potentiel des eaux souterraines pour l'irrigation sur différentes typologies de bassins versants en Alsace, pour 9 secteurs d'étude. Les travaux réalisés ont permis de caractériser l'accessibilité et la disponibilité de ressources en eaux plus profondes, une analyse de la résistance à la sécheresse, et d'identifier les secteurs en tension quantitative sur la ressource.

En complément, les résultats détaillés des projets sont présentés dans des rapports publics, accessibles notamment via la rubrique bibliographie.

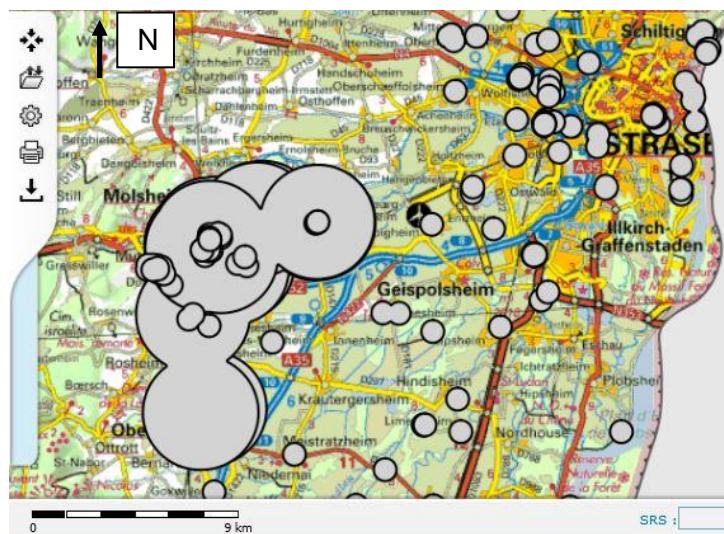


Illustration 17 : extrait de l'espace cartographique du SIGES – zones d'attention dans le secteur ouest de Strasbourg

4.1.2. Actualités

Différentes actualités ont été diffusées sur le SIGES aquifère rhénan en 2017 et 2018, pour informer de mises à jour sur le site ou d'événements notables liés aux nappes d'eau souterraines.

Parmi ces actualités, on peut citer notamment :

- Nouveaux articles (cf. paragraphe ci-dessus) ;
- Mises à jour d'informations accessibles sur le SIGES, telles que la nouvelle version du référentiel hydrogéologique de la BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères) ;
- Bulletins de situation des nappes ;
- Journée nationale des SIGES, journée régionale dédiée à la géothermie.

4.1.3. Mises à jour, liens vers d'autres sites web

L'ajout de nouveaux liens vers d'autres sites web a été effectué dans l'onglet accessible en haut de page web, notamment pour :

- Aires d'alimentation de captages (<https://aires-captages.fr/>) : ressources techniques et réseaux d'acteur ;
- Géothermies (<https://www.geothermies.fr/>) : renseignements généraux et pratiques sur l'énergie géothermique.

Par ailleurs, au-delà du lien vers le site de l'observatoire de la nappe d'Alsace, des échanges ont eu lieu avec l'Aprona, pour évaluer les possibilités de faciliter l'accès mutuel aux données, notamment bibliographiques.

A ce stade, les échanges n'ont pas permis à ce jour d'identifier des actions concrètes à ce sujet.

A noter, sur la page web des « liens » indiqués sur le site de l'observatoire de la nappe, l'adresse <http://brar.brqm.fr/> nécessite d'être actualisée en <http://sigesar.brqm.fr>.

4.2. NOUVELLES FONCTIONNALITES

4.2.1. Log géo-hydrogéologique (modèle LOGAR)

Le réseau d'experts pour une « Liaison Opérationnelle pour la Gestion de l'Aquifère Rhénan (LOGAR) » a été mis en place en 2012, dans la continuité des travaux transfrontaliers pour la protection de la nappe rhénane. Le réseau rassemble les acteurs et les compétences techniques permettant de disposer d'outils d'aide à la décision spécifiques à la protection de la nappe du Rhin supérieur.

Dans le cadre du programme 2017-2018 de la BRAR, les travaux du réseau LOGAR ont été déployés avec l'outil « log géo-hydrogéologique », une nouvelle fonctionnalité, accessible sur l'espace cartographique.

Bénéficiant d'une mutualisation avec d'autres SIGES, notamment les SIGES Centre et Aquitaine, cet outil a été déployé sur le SIGES aquifère rhénan. Il est basé sur le modèle LOGAR, dont la grille s'affiche sur l'espace cartographique du SIGES. En cliquant dans une maille, le log s'affiche

et présente la succession des principales formations de l'aquifère alluvial rhénan et leur épaisseur (cf. Illustration 18).

Le modèle LOGAR est basé sur un maillage carré de 100 m de côté et distingue deux formations aquifères dans la plaine du Rhin supérieur : les formations de Neuenburg et de Breisgau. Après analyse, celles-ci correspondent respectivement aux alluvions récentes (complexe Riss-Würm) et anciennes de la BDLISA. Dans le modèle LOGAR, ces formations sont subdivisées en 10 couches. Une présentation du modèle est faite en annexe 3.



Illustration 18 : exemple de log géo-hydrogéologique, à Erstein (67)

A partir des cotes (toit et mur de l'aquifère), il est possible d'associer l'épaisseur des formations du modèle aux entités BDLISA correspondantes. Toutefois, il est à noter que le modèle LOGAR ne distingue pas toutes les entités de la même manière que le référentiel hydrogéologique. Les alluvions vosgiennes ne sont ainsi pas différenciées des alluvions rhénanes. Par ailleurs, les intercalaires argileux sont inclus dans la géométrie du modèle et différenciés des alluvions à partir des paramètres hydrodynamiques. L'association de ces informations à la BDLISA pourrait alors donner lieu à certaines lacunes dans le log, localement.

Parmi les perspectives, dans le but d'accéder à l'empilement des formations géologiques sous-jacentes à l'aquifère modélisées dans le modèle LOGAR, il pourrait être envisagé de s'appuyer sur un modèle géologique tels que ceux réalisés dans le cadre du RGF Vosges-Fossé Rhénan ou du projet GeORG.

Enfin, une réflexion a été menée sur les possibilités d'ajout d'informations complémentaires au log géo-hydrogéologique, telles que le niveau piézométrique moyen modélisé (en m NGF), ou encore la coupe géologique et technique de la BRAR la plus proche. Il s'est avéré que ce type d'ajouts nécessite des développements importants, nécessitant de lever différents verrous techniques, et qui mériterait une coordination des SIGES au niveau régional ou national. Il n'a donc pas pu être mis en œuvre dans le cadre du programme 2017-2018.

NB : au-delà de l'accès dans le choix des couches, dans la partie droite de l'espace cartographique du SIGES, un accès direct a par ailleurs été mis en place dans les outils situés dans la partie gauche de l'espace cartographique. Le log géo-hydrogéologique y est noté « log régional LISA »

4.2.2. Formulaire de téléchargement des données de la BRAR

Afin de disposer d'éléments d'information sur la consultation des données de la BRAR, à travers l'espace cartographique du SIGES Aquifère Rhénan, un formulaire a été mis en place lors d'une demande de téléchargement des données.

Il permettra, à terme, aux partenaires du SIGES, de disposer d'éléments d'information sur le nombre de personnes, et sur leur profil (type d'organisme), pour de futures réflexions sur d'éventuelles adaptations dans la mise à disposition des données.

Pour répondre aux exigences du Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD), un article dédié a été rédigé sur le SIGES. Il est consultable lors de la saisie des informations par l'internaute, qui confirme qu'il en a bien connaissance.

4.2.3. Paramètres hydrodynamiques

Lors du programme 2015-2016, la BRAR a été enrichie de données relatives aux paramètres hydrodynamiques (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement...).

Au total, 775 points d'eau ayant fait l'objet de pompages d'essai avaient été recensés (Brugeron, Guignat, 2017). Les valeurs des paramètres hydrodynamiques avaient été saisies vers la BSS Eau, qui correspond au modèle EAU de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM. La visualisation sur l'espace cartographique du SIGES aquifère rhénan avait été rendu possible par une couche, présentant une simple localisation des points renseignés avec des paramètres hydrodynamiques, sans distinction du type de données disponibles. Un lien vers la fiche national BSS Eau était d'ores et déjà disponible.

Lors du programme 2017-2018, après réflexion sur la possibilité d'intégrer les données de paramètres hydrodynamiques à la fiche Ma Commune, le choix a finalement été porté sur un déploiement et une visualisation plus poussée des données sur l'espace cartographique. Cette action a pu bénéficier d'une mutualisation avec le SIGES Centre-Val de Loire.

Ainsi, le service de diffusion cartographique des données issues des pompages d'essai de la BSS EAU a été amélioré. Ce service, mis en production à l'automne 2019, permet désormais de visualiser cartographiquement le contenu d'un dossier BSS en terme d'informations sur les paramètres hydrodynamiques.

Après avoir coché la couche « Pompages d'essai avec paramètres » dans « Pompages d'essai » (cf. Illustration 19), les ouvrages ayant fait l'objet d'essai de puits et d'essai de nappe s'affichent sous forme de cercle.

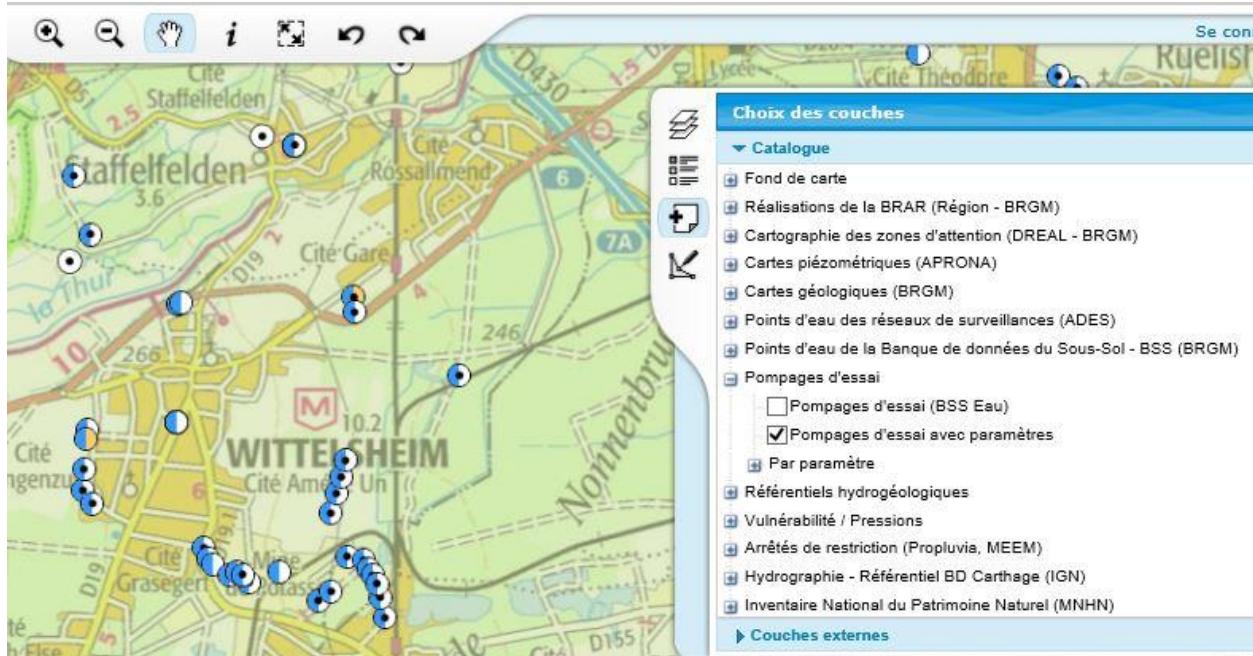


Illustration 19 : Activation de la couche « Pompages d'essai avec paramètres » sur le SIGES aquifère rhénan, extrait cartographique dans le secteur de Wittelsheim (68)

La légende est organisée de la façon suivante (cf. Illustration 20) :

- les demi-cercles bleu renseignent une transmissivité, celle-ci a été établie par l'interprétation d'un essai de nappe, les demi-cercles orange correspondent à l'évaluation du coefficient d'emmagasinement. Les deux couleurs, bleu et orange, figurent l'estimation des deux paramètres pour un même ouvrage ;
- la présence d'un point noir au centre du cercle indique la présence d'autres données, telles que le débit maximum d'exploitation, le débit spécifique, ou le débit critique.

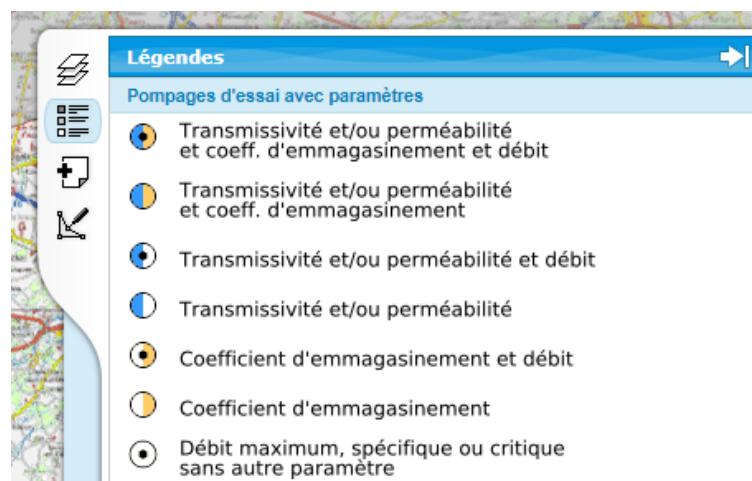


Illustration 20 : Légende des ouvrages avec pompages d'essai

Les informations bancarisées sont variables selon la nature de l'essai réalisé.

En complément, l'ajout d'une visualisation par paramètre, permet d'afficher uniquement les points disposant d'un paramètre hydrodynamique choisi, parmi les principaux paramètres disponibles :

transmissivité, coefficient d'emmagasinement, perméabilité, débits de pompage maximum, critique et spécifique. L'illustration 21 présente ci-dessous l'exemple des points d'eau disposant de données de transmissivité dans le secteur de Wittelsheim.

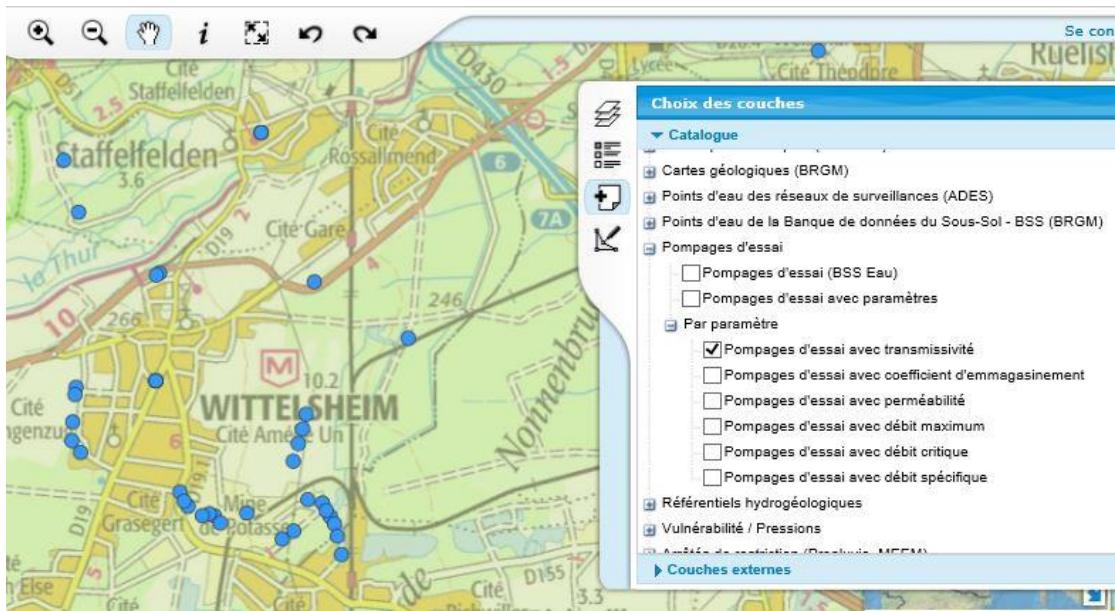


Illustration 21 : ouvrages avec pompages d'essai – visualisation par paramètre, exemple de la transmissivité dans le secteur de Wittelsheim (68)

5. Diffusion des données, analyse de la fréquentation du site web, et communications

5.1. ANALYSE STATISTIQUE SUR LA FREQUENTATION DU SITE

Un bilan des statistiques de consultation du SIGES Aquifère Rhénan a été réalisé en fin d'année 2019, via l'outil de statistiques de fréquentation intégré à SPIP et le logiciel indépendant de mesure de statistiques web Matomo. Les résultats sont présentés ci-après.

Informations générales de fréquentation du site

- Nombre de visites par mois (source : SPIP)

On constate une augmentation régulière de la fréquentation du site web du SIGES Aquifère Rhénan à partir de sa mise en ligne en 2014 (cf. Illustration 22), vraisemblablement liée au programme 2015-2016, et au programme 2017-2018 (objet du présent rapport), puis une diminution à partir du mi-2019.

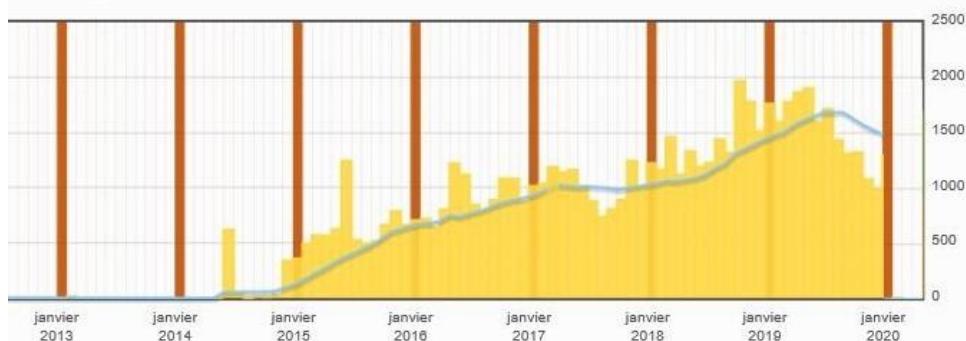


Illustration 22 : statistiques de consultation du SIGES Aquifère Rhénan, depuis sa création

Le nombre de visites était d'environ 500 par mois en 2015. Il a ensuite atteint environ 1000 visites mensuelles en 2017. A fin 2018, l'atteinte d'un nombre maximum de consultations de l'ordre de 2000 est à noter. A fin 2019, le nombre de consultations mensuel moyen s'établit autour de 1500, soit 50 visites /jour.

- Chiffres-clé (source : Matomo) :
 - Total de **26480 visites** ;
 - **3 min 34 s** : durée moyenne d'une visite ;
 - **51 %** visiteurs ayant « survolé » (quitté le site après une page) ;
 - **4,3 actions** par visite (pages vues, téléchargements, liens sortants, etc.) ;
 - **3524 téléchargements, 3095 téléchargements uniques**.

Informations détaillées de consultation

Les statistiques ont été consultées pour la période allant du 20/06/2014 au 08/08/2018.

- Type périphérique utilisé :
 - 83,8 % : PC/bureau ;
 - 11,8 % : smartphone ;
 - 3,6 % : tablette ;
 - 0,8 % : divers/inconnu.
- Informations relatives aux liens entrants et aux actions par visite :
 - 7596 entrées directes, soit environ 30 % des visites ;
 - 15586 depuis des moteurs de recherche, soit environ 60 % des visites (plus de 90 % des entrées par moteur recherche le sont via Google) ;
 - 2554 via d'autres sites web, soit environ 10 % des visites (ex : Canopé académie de Strasbourg, SIGES Rhin-Meuse, Aprona).

NB : le reste des entrées correspond à des visites sans « type d'acquisition » par Matomo.

- Informations sur les 10 articles/rubriques les plus visités

| Article/rubrique | Vues | Temps moyen sur la page |
|--------------------------------------|------|-------------------------|
| Espace cartographique | 4960 | 1 min 12 sec |
| Rubrique « la nappe d'Alsace » | 4377 | 38 sec |
| Rubrique « géologie en Alsace » | 3344 | 33 sec |
| Onglet « consultation des données » | 2494 | 26 sec |
| Rubrique « BRAR » | 2861 | 22 sec |
| Histoire géologique de l'Alsace | 2666 | 42 sec |
| Le Fossé Rhénan | 2104 | 1 min 11 sec |
| Hydrodynamisme de la nappe | 1790 | 1 min 3 sec |
| Les dépôts éoliens et loessiques | 1614 | 55 sec |
| Les alluvions rhénanes et vosgiennes | 1694 | 1 min 21 sec |

Tableau 2 : Articles (ou rubriques) les plus visités

- Informations relatives aux couches d'information de l'espace cartographique

NB : les statistiques couvrent la période de mai 2018 (mise en place de l'outil) à décembre 2019

Les 10 couches d'information les plus ajoutées à l'espace cartographique sont :

- 1) Piézométrie moyennes eaux 2019 : 333
- 2) Piézométrie basses eaux 1991 : 246
- 3) BSS – toutes les données de la Banque du Sous-Sol : 231
- 4) Pompages d'essai (BSS Eau) : 231
- 5) Points d'eau de la BSS EAU avec des mesures de niveau d'eau : 205
- 6) Points d'eau de la BSS EAU : 192
- 7) Ressources en eaux souterraines en Alsace : 187
- 8) Piézomètres : 166
- 9) Nature des alluvions : 141
- 10) Cours d'eau : 138

5.2. DOCUMENTS DE COMMUNICATION

Dans la continuité des programmes précédents, l'objectif est de communiquer et diffuser les données scientifiques sur l'aquifère rhénan, vers un public plus large. Il s'agit de contribuer à une meilleure compréhension et donc une meilleure sensibilisation à la préservation de la nappe d'Alsace.

5.2.1. Plaquette d'information sur le SIGES Aquifère Rhénan

Sous la forme d'une plaquette au format A5 (cf. annexe 4), ce document présente le SIGES Aquifère Rhénan en tant que « nouvel outil de valorisation de la banque de données BRAR ».

Elle apporte des éléments d'information sur le site web du SIGES, le type d'informations disponibles, les outils mis à disposition tels que l'espace cartographique et le moteur de recherche bibliographique. Assortie d'illustrations, cette plaquette informe également sur le programme de la banque régional de l'aquifère rhénan, et sur les partenaires du projet.

5.2.2. Livret de présentation de la BRAR

Ce document fait une présentation plus complète, et dédiée à la banque de données BRAR. Il est présenté en annexe 5.

Edité en 2018, il présente sous la forme d'un livret de 8 pages :

- Présentation générale de la BRAR et historique (p1) ;
- Pilotage et objectif de la BRAR (p2) ;
- La BRAR, une base de données créée sous Oracle à partir de données gérées par le BRGM (p3) ;
- Travaux de cartographie et programme d'étude (p4-6);
- Un site internet dédié (SIGES Aquifère Rhénan) qui intègre désormais les standards du web 2.0 (p7) ;
- Les produits de la BRAR (p8).

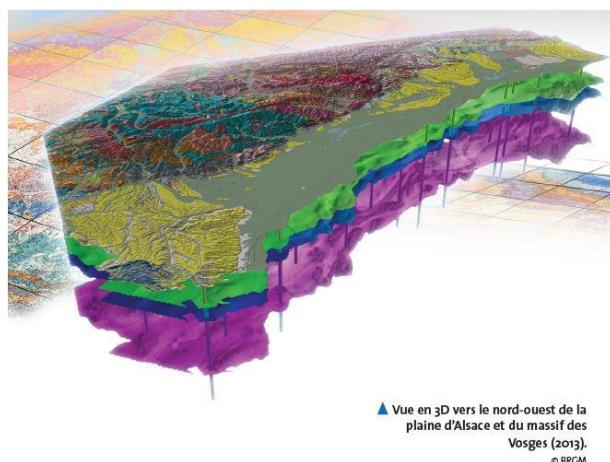


Illustration 23 : extrait de la 1^{ère} page du livret de présentation dédié à la BRAR

5.3. EVENEMENTS « CAFE SIGES »

Afin de favoriser les échanges, des réunions ont été organisées autour du SIGES aquifère rhénan dans un format convivial : les « cafés SIGES »

Ce type d'événement a pour objectif de recueillir les attentes et les besoins vis-à-vis des travaux de la BRAR et du SIGES. Le public étant composé d'utilisateurs avertis, la présentation s'est axée sur les évolutions du SIGES Aquifère Rhénan, et en particulier sur le programme de travail 2017-2018.

Un premier café SIGES a été organisé le 22 février 2018, dans les locaux du BRGM Strasbourg. Il a permis de réunir un public de spécialistes, avec la présence notamment d'hydrogéologues agréés, d'hydrogéologues indépendants, et de bureaux d'études spécialisés dans les eaux souterraines.

Un deuxième café SIGES s'est déroulé le 25/04/2019, et a été l'occasion de renforcer les liens entre les SIGES Aquifère Rhénan et Rhin-Meuse. La préparation d'une fusion de ces deux SIGES a notamment été discutée. Ce projet de fusion est en attente de validation à fin 2019.

A noter que ce type d'événement permet de conserver un lien fort avec les professionnels locaux du domaine de l'hydrogéologie : besoins généraux, problématiques rencontrées sur la connaissance des eaux souterraines du territoire, évolution des méthodologies ou des bases de données...

5.4. AUTRES COMMUNICATIONS

Parmi les autres communications et événements, on peut citer la présentation du SIGES Aquifère Rhénan et de la BRAR lors du salon Cycl'Eau à Strasbourg début décembre 2019.

En effet, les SIGES Aquifère Rhénan et Rhin-Meuse ont été mis en avant lors d'un « pitch », c'est-à-dire d'une présentation succincte dans un espace dédié du salon, qui a été l'occasion de communiquer sur les différents outils et données disponibles sur le SIGES.

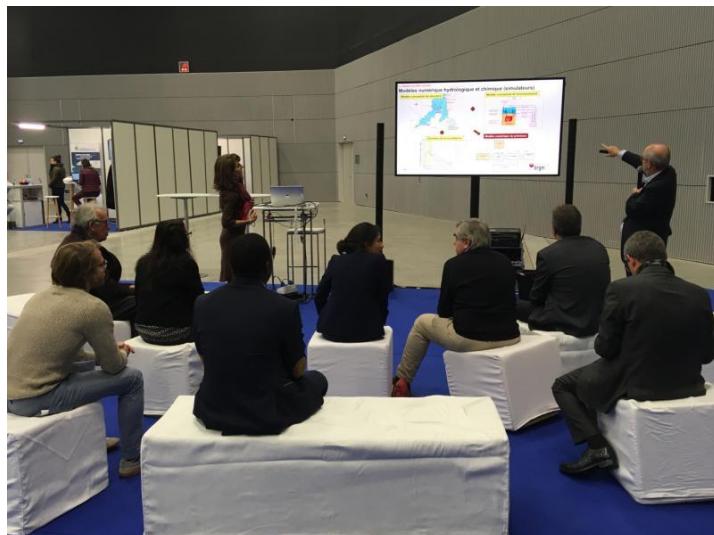


Illustration 24 : présentation au salon Cycl'eau à l'occasion d'un « pitch » (BRGM, 2019)

6. Conclusions et perspectives

Le programme 2017-2018 a permis de poursuivre le développement de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR), et d'enrichir ainsi les connaissances géologiques et hydrogéologiques de la plaine d'Alsace.

Les principaux ajouts (coupes géologiques, synthèses, communications) et données nouvelles (paramètres hydrodynamiques, articles, etc.) et mises à jour des données existantes sont consultables sur le site web du SIGES Aquifère Rhénan, qui constitue la « vitrine » de la BRAR.

Dans l'objectif de poursuivre l'amélioration de la qualité des données du territoire alsacien, il est proposé à l'avenir de poursuivre la démarche.

Parmi les actions à maintenir figure notamment la valorisation des données brutes sur le sous-sol, à travers la collecte, la bancarisation et la diffusion des coupes géologiques et techniques, ou encore des paramètres hydrodynamiques. Des travaux sont par ailleurs à mener pour améliorer les correspondances entre le modèle LOGAR (via la mise en ligne des logs), les coupes transversales géologiques (basé sur le RGF) et la BDLISA (référentiel hydrogéologique français).

Enfin, la diffusion des données sur internet devrait évoluer, à travers la réflexion qui a été engagée en 2019 sur la fusion des SIGES Aquifère Rhénan et Rhin-Meuse.

Cette évolution implique un travail significatif sur le contenu éditorial du site (rubriques, articles), dont les modalités seront à coordonner avec le déploiement potentiel d'une future version « v3 » des SIGES au niveau national. Elle permettrait d'améliorer la visibilité du site, de faciliter la recherche d'informations sur les eaux souterraines auprès des experts et d'engager une nouvelle dynamique.

De plus, les sites internet évoluent pour être facilement consultables sur différents supports (tablettes, téléphones), d'où l'intérêt de poursuivre les développements.

Avec environ 1 500 consultations par mois, le SIGES Aquifère Rhénan et son espace cartographique représente un outil très utile pour les acteurs de l'eau sur le territoire.

7. Bibliographie

Baran N., Bourgeois M., Flehoc C. & Normand B. (2005) : Détermination de la vitesse de transfert de l'eau, des nitrates et autres solutés en zone non saturée dans un loess profond Rap. BRGM/RP-53440 : 88 p.

Bauer M., Lorenz E., Elsass P., Kloppmann W. & Wirsing G. (2005) : Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the Southern Upper Rhine Graben; Springer Verlag 2005, pp. 565 - 579

Beccaletto L., Capar L., Badinier G., Marc S. (2014) - Étude sismique Non-Exclusive du Fossé rhénan français - Rapport de traitement et d'interprétation - Apport de la sismique à la connaissance géologique du Fossé rhénan français. Rapport final. BRGM/RC-63950-FR, 150 p., 33 Fig., 2 Ann., 1 cd.)

Bertrand, G., Elsass, P., Wirsing, G., Luz, A. (2006) - Quaternary faulting in the Upper Rhine Graben revealed by high resolution multi channel reflection seismic. – Geoscience, 338:574 – 580; Elsevier.)

Brugeron A., Guignat S. (2017) – Région Grand Est. Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan. (BRAR) Rapport final sur les travaux réalisés dans le cadre du programme 2015-2016. BRGM/RP-66690-FR. 55 p., 31 ill., 3 ann.

Chabart M. (2004) : Transferts piémont-nappe dans la région de Merxheim / Synthèse des connaissances et propositions. Rap. BRGM/RP-52975 : 86 p.

Elsass et Rau (1995) - Notice des coupes hydrogéologiques de la feuille Strasbourg-Offenburg. Rapport BRGM RP-38272-FR.

Elsass P., Menillet F. (1999) : Inventaire 1998 de la qualité des eaux des aquifères du Sundgau. Notice hydrogéologique. Rap. BRGM/RR-40722-FR : 23 p.

Kloppmann W. (1997) : INTERREG II / résultats des analyses hydrogéochemiques et isotopiques de la nappe d'Alsace (région de Strasbourg). Rap. BRGM/RR-39784 : 68 p.

Kloppmann W (1999) INTERREG II. Caractéristiques hydrogéochemiques et isotopiques de l'aquifère rhénan. Rapport BRGM R 40596: 107 p.

Kloppmann W (2000) Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin Supérieur. Résultats des études sur les couches profondes de l'aquifère: analyses isotopiques. Rap BRGM RP 50297(FR): 21 p.

Kloppmann W. (2003) : Etude isotopique de la pollution azotée de la nappe d'Alsace entre Sierentz et Ottmarsheim. Rapport final. Rap. BRGM/RP-52331 : 69 p.

Kloppmann W., Chabart M. & Schomburgk S. (2004) : Transferts piémont-nappe dans la région de Merxheim (Haut-Rhin), Phase 2 : étude géochimique et isotopique. Rap. BRGM/RP-53547 : 41 p.

Kloppmann W., Widory D., Pauwels H., Schomburgk S., Graveline N. & Elsass P. (2005) : Inventaire transfrontalier 2003 de la qualité des eaux souterraines de la vallée du Rhin Supérieur / étude isotopique (N, B) de l'origine des nitrates. Rap. BRGM/RP-54028 : 76 p.

Kloppmann W. (2010) : Synthèse des travaux scientifiques portant sur la salure de l'aquifère rhénan (méthodes géochimiques et isotopiques). Rapport final. Rap. BRGM/RP-59171-FR : 86 p.

Kloppmann W. (2011) : Evolution géochimique et isotopique des eaux du Pliocène de Wissembourg/Bad Bergzabern 1999 – 2010. Rap. BRGM/RP-60053 : 45 p.

Kloppmann W. (2013): Etude isotopique de la pollution azotée des captages Kabis et St-Louis, Haut-Rhin. Rap. BRGM/RP-62777: 57 p.

Koniger P. Uhlenbrook, S. & Leibundgut Ch.; Jaeger L. & Mayer H. (2001): Isotope hydrological investigation on groundwater origin in the flood plain of the Upper Rhine Valley; Seiler and Wohnlich (eds) New approaches characterizing groundwater flow. Swets Zeitlinger Lisse, pp: 363–366

Longuevergne L. (2006) : Analyse statistique de la dynamique de la nappe d'Alsace. Rapport de stage dans le cadre de la région Alsace – Interreg III « Outils pédagogique sur la nappe rhénane » Rap. BRGM RP-53326-FR : 80 p.

LUBW (2006) - Structures hydrogéologiques et caractéristiques hydrauliques – INTERREG IIA MoNit « modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates. Publication du programme INTERREG.

LUBW (2006a) - INTERREG III A. Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin supérieur (MoNit). Modélisation hydrodynamique et transport des nitrates. 186 p.

LUBW (2006b) - INTERREG III A. Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin supérieur (MoNit). Structure hydrogéologique et caractéristiques hydrauliques. 162 p.

Margat J. (1965) : Age des eaux souterraines et renouvellement des nappes, Réflexions sur les bases de l'hydrochronologie. Rap BRGM DS. 65 A. 88. : 24 p.

Mouvet C, Elsass P., Dictor M.C., Baran N. (1999) : Devenir de phytosanitaires (en particulier les s-triazines) au-delà de la zone racinaire. Rap. BRGM/RR-40928-FR : 96 p.

Région Alsace (2012) - INTERREG IV. Liaison Opérationnelle pour la Gestion de l'Aquifère Rhénan (LOGAR). 252 p.

Simler L., Millot G., Fischer E., Gilly S. (1967) - La basse vallée de la Bruche à l'époque pliocène. In: Bulletin du Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine, tome 20, n°3, Vosges – Alsace. pp. 167-173;

Surdyk N., Urban S. (2011) : Modélisation des transferts de produits phytosanitaires dans les sols de la vallée du Rhin Supérieur. Rapport final. Rap. BRGM/RP-60246-FR : 64 p.

Urban S., Genevier M. & Guignat S. (2010) : Optimisation du réseau piézométrique de la nappe d'Alsace. Rap. BRGM/RP-58670-FR : 88 p.

Urban S., Winckel A., Surdyk N., Gourcy L. & Mazoyer E. (2013): Etude prospective de l'évolution des concentrations en nitrates et phytosanitaires pour les captages de Mommenheim et de la ville de Mulhouse (Hardt Sud). Rap. BRGM/RP-61711: 144 p.

Urban S & Ouerghi Y. (2017) : Réservoir minier de Pechelbronn
Transfert des flux vers la Nappe d'Alsace, Synthèse des données géologiques, hydrogéologiques et hydrographiques, Perspectives de simulation. Rap. BRGM-RP-67739-FR : 60 p.

Annexe 1

Enrichissement de la BRAR : liste des points d'eau avec saisie des paramètres hydrodynamiques, et coupes géologiques et techniques d'ouvrages

Points d'eau ayant fait l'objet d'une saisie des paramètres hydrodynamiques

| | Code BSS | Durée de l'essai en h | Débit spécif. en m ² /h | Débit crit. en m ³ /h | Débit max exploit. en m ³ /h | Coeff. d'emm. Moy. (S) [nappes captives] | Transm. (T) du pompage d'essai en m ² /s | Perm. (K) en m/s | Débit max de l'essai (m ³ /h) |
|------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|--|---|------------------|--|
| Points d'eaux AERM prélistés | 04138X0239/F3 | | | | 200 | | | | 242 |
| | 03795X0107/B1 | 8 | | | | | | | 7,2 |
| | 03787X0100/F | 10 | | | | | | | 122,2 |
| | 03795X0111/GWM2 | 8 | | | | | 5,13E-02 | 2,57E-03 | 5,3 |
| | 03795X0112/GWM1 | 8 | | | | | 6,27E-03 | 1,84E-04 | 5,15 |
| Points d'eaux complém. | 03426X0094/F2 | 72 | 8,89 | 100 | 80 | | 1,60E-03 | 2,50E-05 | 100 |
| | 03423X0066/F1 | 56 | | 400 | | 0,0001 | 0,07 | | 495 |
| | 03423X0080/F | 101 | | | 200 | | 0,077 | | 468 |
| | 04761X0089/F2 | 8 | | | | 5,00E-05 | 2,30E-05 | | 5,1 |
| | 03782X0170/F | 36 | | | | | 0,13 | 5,50E-03 | 72 |
| | 03077X0164/F | 168 | | | | | 0,58 | | 1026 |
| | 02722X0262/CLIM | 60 | | | | | | | 300 |
| | 04764X0034/F | 4 | 1,92 | | | | | | 44,4 |
| | 02347X0463/P1 | | 422,54 | | | 3,00E-03 | 1,20E-01 | | 600 |
| | 02347X0464/P2 | | 386,22 | | | 1,00E-03 | 0,1 | | 500 |
| | 02346X0239/P2 | 7 | | | | | | | 880 |
| | 01996X0260/PUITS | 6 | | | | | | | 260 |
| | 04138X0222/F | 10 | | | 150 | | | | 212 |
| | 04138X0228/P2 | | | | 150 | | | | 225 |
| | BSS003CMQW/X | 8 | | | | | | | 15 |
| | BSS003CMQA/X | 8 | | | | | | | 15 |
| | BSS003CKSW/X | 8 | | | | | | | 40 |
| | BSS003CKSC/X | 8 | | | | | | | 40 |
| | BSS003DMMK/X | 9 | | | | | | | 80 |
| | BSS003DMNE/X | 9 | | | | | | | 80 |
| | BSS003AEOO/X | 9 | | | | | | | 80 |
| | BSS003AENU/X | 9 | | | | | | | 80 |
| | BSS003UILY/X | 29,5 | | | | | | | 99 |

Ouvrages ayant fait l'objet d'une saisie de la coupe géologique et/ou technique

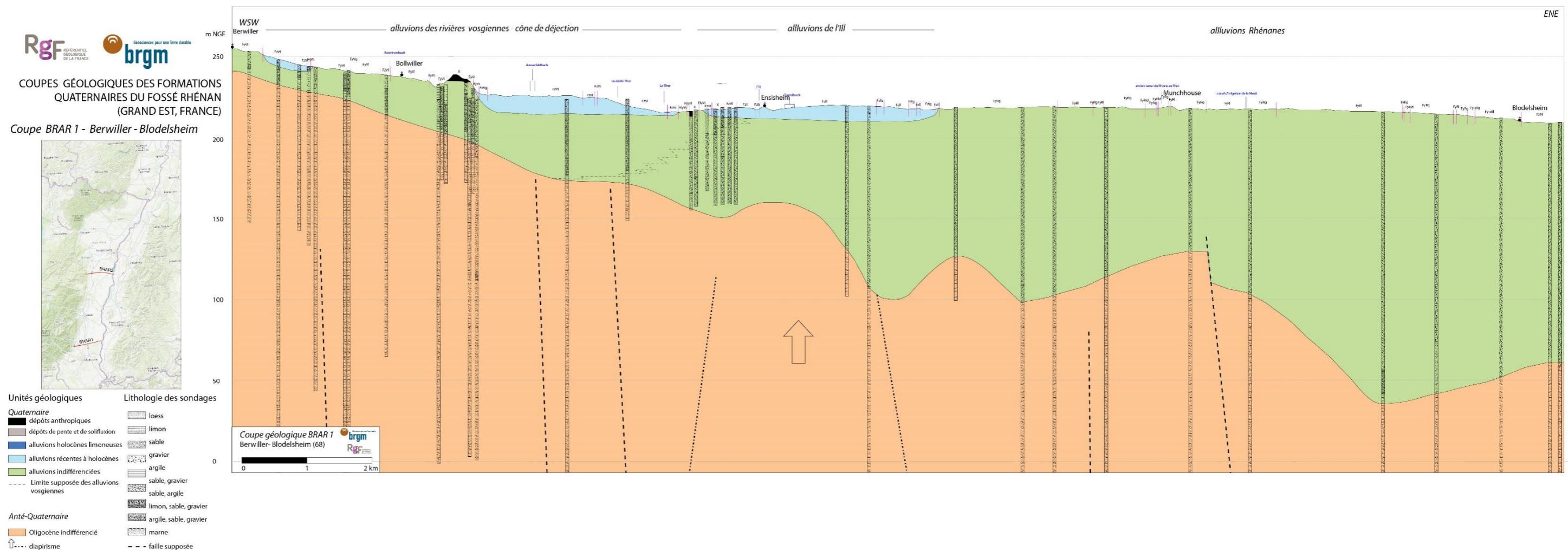
| Indice | désignation | nature | département | commune | coupe tech. | coupe géol. |
|------------|-------------|------------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|
| 02341X0173 | SD10 | Forage | Bas-Rhin | HOCHFELDEN | ok | ok |
| 02722X0238 | INC | Forage | Bas-Rhin | ILLKIRCH GRAFFENSTADEN | ok | ok |
| 02727X0078 | S2 | Sondage | Bas-Rhin | ILLKIRCH GRAFFENSTADEN | ok | ok |
| 03423X0076 | F2 | Piezomètre | Haut-Rhin | BERGHEIM | ok | ok |
| 03426X0236 | WINTZ3 | Piezomètre | Haut-Rhin | COLMAR | ok | ok |
| 03428X0100 | MUM1 | Forage | Haut-Rhin | MUNTZENHEIM | ok | non |
| 04454X0144 | PZ1 | Piezomètre | Haut-Rhin | SAINT-LOUIS | ok | ok |
| BSS003ABXI | X/FCPT | Forage | Bas-Rhin | STRASBOURG | ok | ok |
| BSS003AENU | X | puits de rejet | Bas-Rhin | BENFELD | ok | ok |
| BSS003CAXM | X | Puits de captage | Haut-Rhin | WINTZENHEIM | ok | ok |
| BSS003CFAK | X | Captage AEP | Haut-Rhin | GUEMAR | ok | ok |
| BSS003DJLI | X | Piezomètre | Haut-Rhin | SAINT-LOUIS | ok | ok |
| | | | | | | |
| BSS003DVYS | X | Forage | Haut-Rhin | ISSENHEIM | ok | ok |
| BSS003EGES | X | Forage | Bas-Rhin | LA WANTZENAU | ok | ok |
| BSS003EKUC | X | Forage | Bas-Rhin | LA WANTZENAU | ok | ok |
| BSS003ETRM | X | Forage | Bas-Rhin | DAMBACH LA VILLE | ok | ok |
| BSS003FBKG | X | Forage | Bas-Rhin | MUTZIG | ok | ok |
| BSS003FBQU | X | Piezomètre | Bas-Rhin | PFULGRIESHEIM | ok | ok |
| BSS003GMIA | X/PZ27 | Piezomètre | Haut-Rhin | BIESHEIM | ok | ok |
| BSS003GNKC | X/PZ1 | Piezomètre | Haut-Rhin | ROUFFACH | ok | ok |
| BSS003GSCA | X/PZ36 | Piezomètre | Haut-Rhin | CHALAMPE | ok | ok |
| BSS003GYXE | X | Forage | Haut-Rhin | EGUISHEIM | ok | ok |
| BSS003IBCA | X/PZ6 KABIS | Piezomètre | Haut-Rhin | BLOTZHEIM | ok | ok |
| BSS003IUMW | X | Captage | Bas-Rhin | LA WANTZENAU | ok | ok |
| | | | | | | |
| BSS003KBPQ | X | Forage | Haut-Rhin | COLMAR | ok | ok |
| BSS003KDMA | X/P | Puits | Haut-Rhin | STRASBOURG | ok | ok |
| BSS003KEZI | X | Forage | Bas-Rhin | WIWERSHEIM | ok | ok |
| | | | | | | |
| BSS003KLAG | X/FCPT | Captage | Haut-Rhin | NEUF BRISACH | ok | ok |
| BSS003KOBM | X/PZ-1 | Piezomètre | Bas-Rhin | STRASBOURG | ok | ok |
| BSS003LACO | X/F | Forage | Haut-Rhin | ASPACH-MICHELBACH | ok | ok |
| BSS003LBYA | X/ER_R2D | Forage | Bas-Rhin | ERSTEIN | ok | ok |
| BSS003LJXY | X/PZB | Piezomètre | Bas-Rhin | STRASBOURG | ok | ok |
| BSS003MACS | X | Forage | Bas-Rhin | GEISPOLSHEIM | ok | ok |
| BSS003MAEA | X | Forage | Bas-Rhin | HAGUENAU | ok | ok |
| BSS003MAEG | X | Forage | Haut-Rhin | SAINT-LOUIS | ok | ok |
| BSS003MAFU | X | Forage | Bas-Rhin | WINTZENHEIM | ok | ok |
| BSS003MAGO | X | Forage | Haut-Rhin | SOULTZ HAUT RHIN | ok | ok |

| | | | | | | |
|------------|-----------|-------------|-----------|---------------------|----|----|
| BSS003MAHI | X | Forage | Haut-Rhin | ASPACH-MICHELBACH | ok | ok |
| BSS003MAIW | X | Forage | Bas-Rhin | ERSTEIN | ok | ok |
| BSS003MAOA | X | Forage | Bas-Rhin | WIWERSHEIM | ok | ok |
| BSS003MATQ | X | Forage | Bas-Rhin | RIEDSELTZ | ok | ok |
| BSS003MAUK | X | Forage | Haut-Rhin | STUTZHEIM OFFENHEIM | ok | ok |
| BSS003MFDM | X | Captage gth | Bas-Rhin | STRASBOURG | ok | ok |
| BSS003NOBE | X | Forage | Haut-Rhin | ROUFFACH | ok | ok |
| BSS003OCWO | X | Piezomètre | Bas-Rhin | WINGEN-SUR-MODER | ok | ok |
| BSS003RACO | X/PZ1-bis | Piezomètre | Haut-Rhin | VILLAGE-NEUF | ok | ok |
| BSS003TXOW | X | Puits | Haut-Rhin | FLAXLANDEN | ok | ok |
| BSS003UFLM | X | Puits | Bas-Rhin | STRASBOURG | ok | ok |
| BSS003UIJQ | X | Forage | Bas-Rhin | STRASBOURG | ok | ok |
| BSS003UOSA | X | Puits | Bas-Rhin | SELESTAT | ok | ok |
| BSS003UQSO | X | Puits | Bas-Rhin | MARCKOLSHEIM | ok | ok |

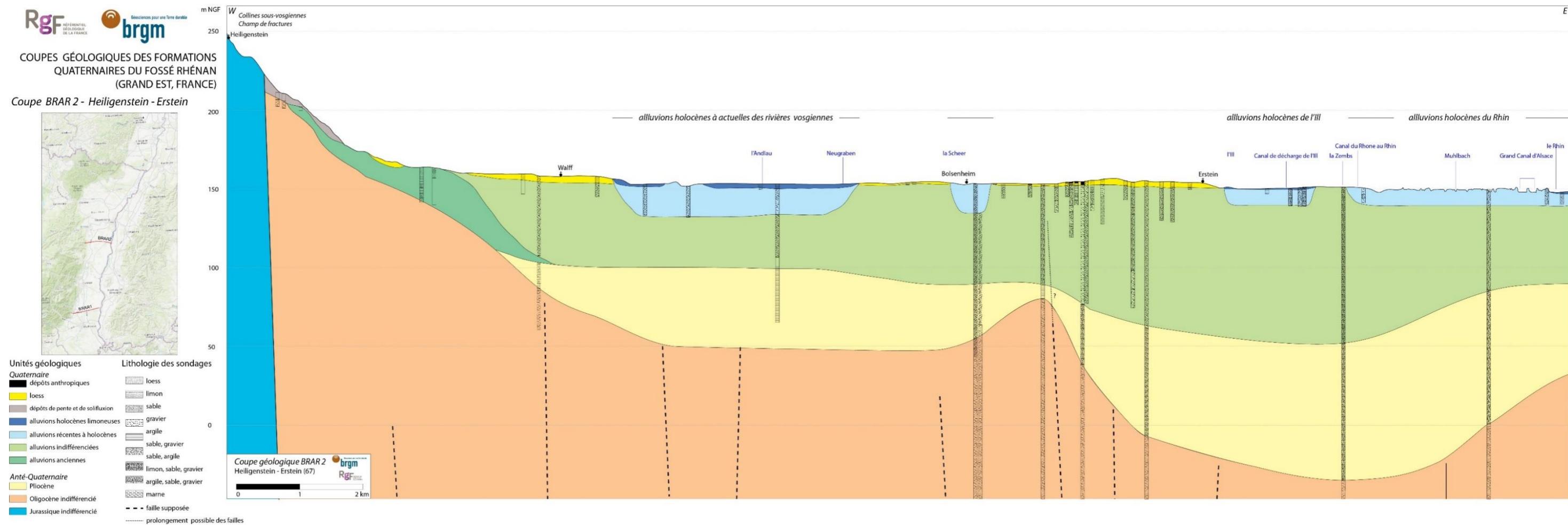
Annexe 2

Coupes (hydro)géologiques transversales simplifiées

Coupe n° 1 : Berwiller - Blodelsheim



Coupe n° 2 : Heiligenstein - Erstein



Annexe 3

Description et exploitation du modèle LOGAR pour la mise en œuvre du « log géo-hydrogéologique »

1. Description de la géométrie du modèle LOGAR

1.1. DISCRETISATION HORIZONTALE DU MODELE LOGAR :

Imposée par la méthode des différences finies, la discréttisation est fondée sur un maillage constitué de lignes et de colonnes. Ce maillage est orienté au Nord et est constitué de mailles carrées. Dans l'objectif de simuler le transport dans l'aquifère, la discréttisation utilisée est homogène et les mailles de petite taille pour assurer une solution numérique stable (Péclet de discréttisation de l'ordre de 1). Pour ces raisons, les mailles utilisées ont un coté de longueur 100 m. Cette discréttisation correspond au modèle MoNit. Cette discréttisation très fine a conduit à définir un maillage constitué de 949 colonnes et 1619 lignes. 4106195 mailles représentent l'intérieur de la zone modélisée, mailles pour lesquelles l'hydrodynamique et le transport sont simulés.

1.2. DISCRETISATION VERTICALE DU MODELE LOGAR :

Le modèle numérique est construit sur la base des deux unités hydrogéologiques des formations du Neuenburg et de Breisgau (LUBW, 2006b). Celles-ci ont été discréttisées en 10 couches verticales, 5 chacune (cf. Figure 1).

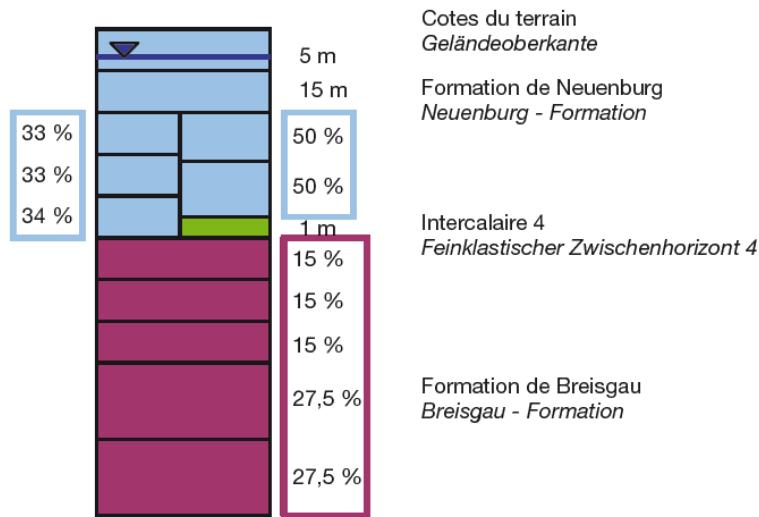


Figure 1 : Représentation schématique de la discréttisation verticale du modèle LOGAR (Région Alsace, 2012)

Le choix de cette discréttisation en 10 couches s'est faite afin de pouvoir représenter au mieux la variabilité verticale de la perméabilité (induite par la présence d'intercalaires argileux plus ou moins épais) au sein de ces deux formations. Dans la zone du chenal rhénan oriental, entre le Kaiserstuhl et la baie de Fribourg, par exemple, seules les 5 couches supérieures sont utilisées. Par ailleurs, l'horizon intercalaire 4 au Nord de la zone étudiée entre Baden-Baden et Karlsruhe qui, dans cette zone, a une épaisseur estimée à 1 m, est représenté par la couche numéro 5. De plus, dans la conception du modèle, il a été tenu compte de perméabilités plus importantes dans les 20 mètres supérieurs de la formation de Neuenburg par rapport aux couches inférieures, conformément aux informations hydrogéologiques.

La base de la première couche du modèle se situe à 5 m sous la surface piézométrique observée en régime moyen. La deuxième couche a une épaisseur de 15 m. La partie supérieure de la formation de Neuenburg est ainsi décrite par ces deux premières couches. Les couches 3 à 5 représentent la partie inférieure de la formation de Neuenburg. Cette partie est discrétisée dans le modèle numérique par 3 couches de même épaisseur. La zone constituée de l'horizon intercalaire 4 entre les formations de Neuenburg et du Breisgau est représentée par la 5^{ème} couche d'une épaisseur de 1 m dans le secteur concerné. Dans cette zone, les couches 3 et 4 représentent, pour moitié chacune, la partie inférieure de la formation du Breisgau.

La formation du Breisgau, elle aussi discrétisée en 5 couches, est représentée par les couches 6 à 8 ayant chacune une épaisseur égale à 15 % de l'épaisseur totale de la formation, et par les couches 9 et 10, d'épaisseur chacune égale à 27,5 % de l'épaisseur totale.

La discrétisation verticale montre que la discrétisation la plus fine se situe près de la surface du sol et que l'épaisseur des couches augmente avec la profondeur. Par cette discrétisation, il a donc été possible de représenter l'interface formation de Neuenburg-formation du Breisgau et de reproduire les perméabilités plus élevées dans les 20 m supérieurs de la formation de Neuenburg.

1.3. PRISE EN COMPTE DES INTERCALAIRES ARGILEUX :

Dans le modèle MoNit, seul l'intercalaire 4 a été pris en compte jusqu'à présent. Dans le modèle LOGAR, celui-ci constitue une couche à part entière. Entre temps, des informations détaillées sont disponibles sur la répartition d'autres intercalaires (intercalaires 1 - 4, intercalaire de Pfuhlgriesheim, intercalaire de Riegel et intercalaire Alsace du sud).

La possibilité d'associer une couche du modèle à chacun des horizons a été vérifiée à l'aide de la stratigraphie des différentes formations. Ceci n'étant pas réalisable, la perméabilité verticale des couches dans lesquelles les intercalaires apparaissent, a été réduite du facteur 10 à 1 000 en fonction du nombre d'intercalaires dans une maille du modèle. La localisation des intercalaires est présentée par la Figure 2.

Les intercalaires 1 à 4 apparaissent seulement localement dans la zone nord du modèle. L'intercalaire Alsace du sud se situe entre Colmar et Mulhouse dans la zone de la limite ouest du modèle. L'intercalaire de Pfuhlgriesheim n'apparaît que dans la zone d'extension au nord-ouest de Strasbourg. Du côté allemand, l'intercalaire de Riegel qui n'apparaît que dans la baie de Fribourg a été introduit.

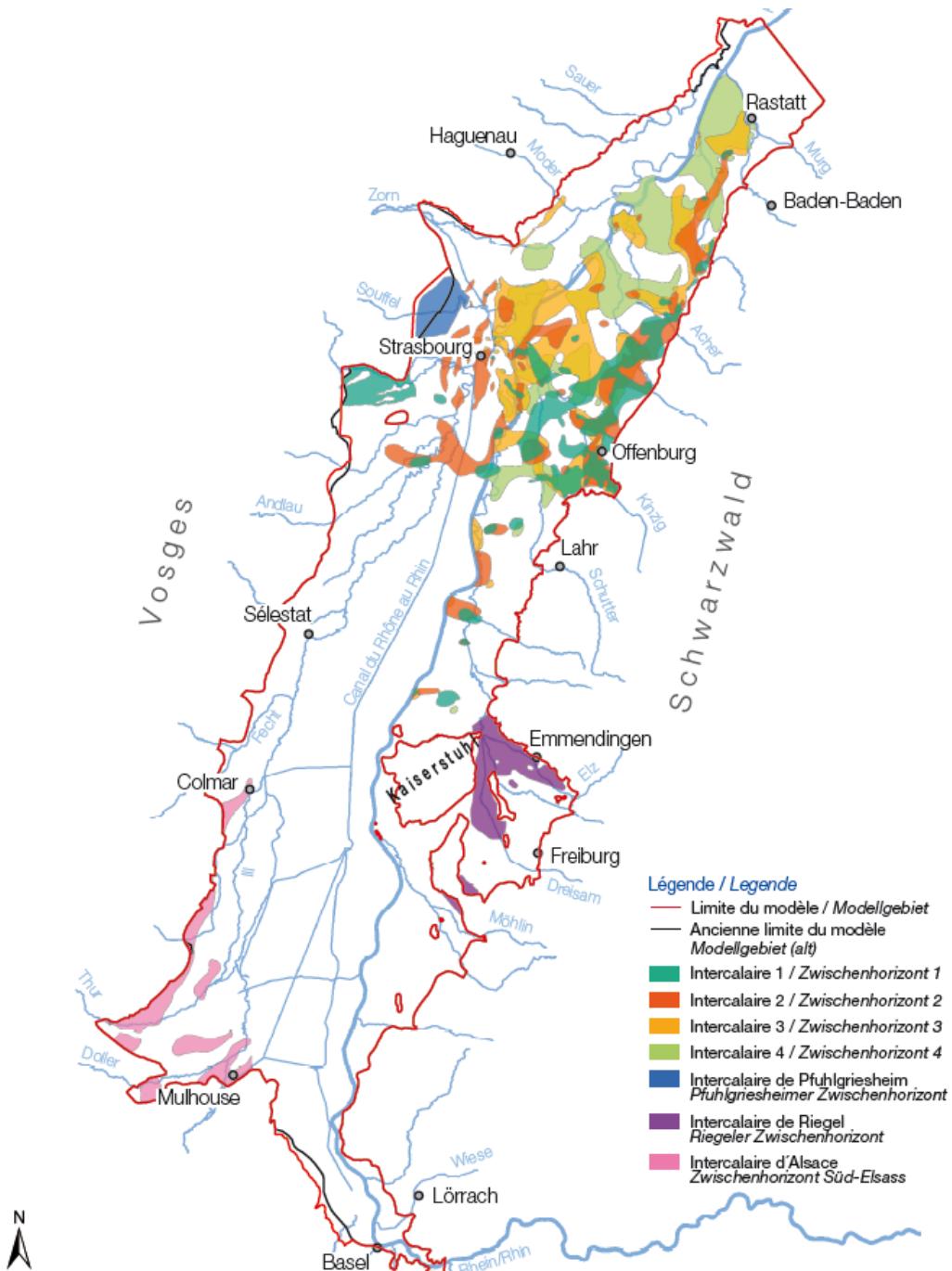


Figure 2 : Localisation des intercalaires argileux pris en compte dans le modèle LOGAR (Région Alsace, 2012)

2. Exploitation du modèle LOGAR pour la création d'un outil de log

2.1. ASSOCIATION AVEC LA BDLISA

La mise en place de l'outil de log, nommé « log géo-hydrogéologique » dans le SIGES Aquifère Rhénan, nécessite d'associer les données issues de la géométrie du modèle avec limites des entités hydrogéologiques (BDLISA).

La structure alluvionnaire du fossé rhénan est un mélange de sédiments fins et grossiers (cf. Figure 3). La BDLISA distingue verticalement les alluvions anciennes (correspondant à la formation de Breisgau) et récentes (correspondant au complexe Riss-Würm ou formation de Neuenburg) (LUBW, 2006b). Ces alluvions rhénanes reposent sur les marnes oligocènes. Le substratum tertiaire est localement recouvert par un mélange plio-quaternaire, pas ou peu perméable, composé de sables très silteux et argileux (appelé couche de Iffezheim). Il est à noter toutefois que le modèle LOGAR ne différencie pas les alluvions rhénanes des alluvions vosgiennes, à l'inverse de la BDLISA.

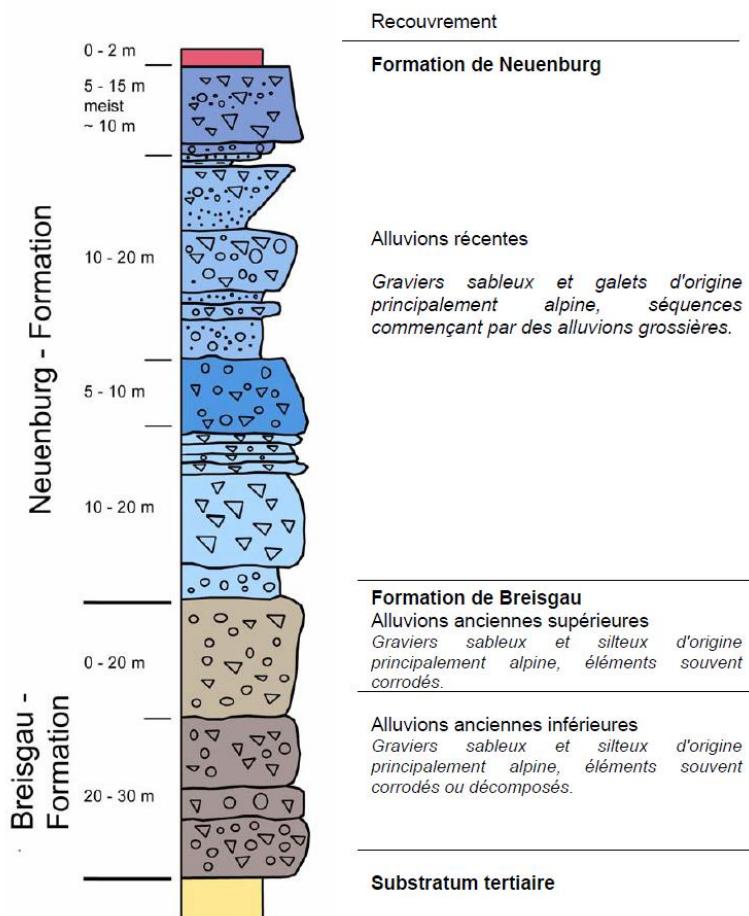


Figure 3 : Log schématique du sud du Fossé rhénan supérieur (LUBW, 2006a)

Par contre, la discréétisation verticale du modèle en 10 formations constitue un découpage beaucoup plus fin que celui actuellement en vigueur dans la BDLISA. Pour permettre la réalisation de ce log mêlant modèle et référentiel national, un regroupement des formations modélisées a donc été nécessaire.

Ce regroupement ne dégrade pas forcément l'information utile (épaisseur des alluvions rhénanes récentes et anciennes). En effet, les 5 premières formations modélisées présentent des épaisseurs parfois d'un ordre décimétrique et une lithologie très semblable. Il est donc pratiquement impossible de les différencier sur des données de terrain ou à la consultation de coupes géologiques de forage.

La seule exception notable concerne les secteurs où des intercalaires argileux sont nettement mis en évidence au sein de la Formation de Neuenburg ou dans sa partie inférieure (via les grilles de perméabilité verticale du modèle). Ces intercalaires sont d'ailleurs bien identifiés dans la BDLISA au travers de 4 entités 221AA07, 221AA11, 221AA19 et 221AA21.

Les données extraites des fichiers MODFLOW du modèle LOGAR sont au format raster .tiff et représente le toit de la 1^{ère} et les murs des 10 couches discrétisées. L'épaisseur des formations modélisées dans LOGAR peut ensuite être recalculée de manière simple. Il est donc tout à fait envisageable d'associer les épaisseurs des alluvions anciennes et récentes aux entités BDLISA correspondantes.

2.2. DIFFICULTES ENVISAGEES

Dans le secteur de la nappe rhénane, la BDLISA inclue également les intercalaires argileux de certaines formations :

- 221AA07 : Alluvions vosgiennes récentes de la Zorn avec intercalaire argileux en Plaine d'Alsace ;
- 221AA11 : Alluvions vosgiennes récentes de la Bruche avec intercalaire argileux en Plaine d'Alsace ;
- 221AA19 : Alluvions rhénanes récentes à actuelles avec intercalaire argileux ;
- 221AA21 : Intercalaires argileux de la Plaine d'Alsace.

Le recouplement avec les informations du modèle LOGAR peut s'avérer plus complexe dans ce cas, faute de couche propre aux intercalaires argileux dans le modèle régional. Ces derniers ayant été pris en compte grâce à la perméabilité, il est envisagé de retrouver leur profondeur et leur épaisseur à partir de rasters de distribution de la perméabilité du modèle dans les différentes couches.

Dans le cas moins favorable, le log peut également avoir deux niveaux de précision entre le modèle et la BDLISA. C'est-à-dire que, dans le cas des alluvions rhénanes récentes avec intercalaires argileux, l'épaisseur de cette formation sera associée à celle de la formation de Neuenburg, mais les intercalaires argileux ne seront pas localisés dans le log.

Annexe 4

Plaquette d'information du SIGES Aquifère Rhénan

Pour en savoir plus :

Sur le SIGES Aquifère rhénan
<http://sigesar.brgm.fr>

Direction régionale Grand Est
 Délégation régionale Alsace
 Parc Activités Porte Sud
 Rue Pont du Reage
 Bâtiment H1
 67118 GEISPOLSHEIM
 Tel: 03 88 77 48 90
 Fax: 03 88 76 12 26

Sur les autres SIGES

Bassin hydrographique Rhin-Meuse
 SIGES Rhin-Meuse :
<http://sigesrm.brgm.fr>

Bassin hydrographique Seine-Normandie
 SIGES Seine-Normandie :
<http://sigessn.brgm.fr>

Bassin hydrographique Adour-Garonne
 SIGES Aquitaine :
<http://sigesaq.brgm.fr>
 SIGES Midi-Pyrénées :
<http://sigesmp.brgm.fr>

SIGES Poitou-Charentes-Limousin
<http://sigespcl.brgm.fr>

Bassin hydrographique Artois-Picardie
 SIGES Nord-Pas de Calais :
<http://sigesnp.brgm.fr>

Sur le BRGM
 Centre scientifique et technique
 3 avenue Claude Guillemin
 BP 36000
 45060 ORLEANS CEDEX 2
 Tel: 02 38 64 54 54
 Fax: 02 38 64 35 15

Forage deau

www.brgm.fr

 Géosciences pour une Terre durable



SIGES Aquifère rhénan
 Système d'information pour la gestion de l'Aquifère rhénan

Accueil Géologie en Alsace La nappe d'Alsace Banque de données BRAR

<http://sigesar.brgm.fr>

SIGES Aquifère rhénan

Système d'information pour la gestion des eaux souterraines de l'Aquifère rhénan



Le SIGES Aquifère rhénan, un nouvel outil de valorisation de la Banque de données BRAR

 GrandEst

 AgENCE RÉGIONALE DE L'EAU
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE

 Géosciences pour une Terre durable

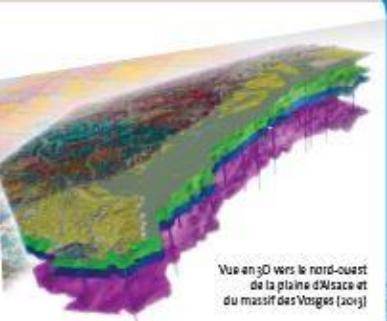
› SIGES Aquifère rhénan



Elaboré dans le cadre du programme de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR), sous maîtrise d'ouvrage de la Région Grand Est, le SIGES Aquifère rhénan est un portail internet de diffusion et de valorisation de la connaissance de l'aquifère rhénan.

Ce site, développé et piloté par le BRGM, rassemble les informations sur l'aquifère rhénan et les aquifères associés (Pliocène d'Haguenau et Sundgau). Il concourt à la protection de la ressource en eau (collecte, synthèse et mise à disposition des données sur la nappe et le sous-sol) et vise le développement de la connaissance de l'aquifère rhénan (étude hydrogéologique, caractérisation qualitative et quantitative du réservoir, paramètres hydrodynamique et productivité, hydrodynamisme, cartographie des zones potentiellement vulnérables aux pollutions).

Le SIGES Aquifère rhénan succède à l'ancien site BRAR ; il hérite de ses données et de ses fonctionnalités tout en s'enrichissant avec de nouvelles informations et applications qu'il intègre dans un environnement plus convivial et accessible.



Vue en 3D vers le nord-ouest de la plaine d'Alsace et du massif des Vosges (2015)

Le SIGES Aquifère rhénan, le nouveau portail d'accès aux données sur la nappe d'Alsace

Le SIGES Aquifère rhénan est un outil qui permet de trouver en quelques clics des données sur la géologie et l'hydrogéologie locale ainsi que sur les produits spécifiques à la BRAR comme les coupes géologiques et techniques des points d'eau remarquables, les cartes du substratum, de la nature des alluvions, des ressources en eau et des formations superficielles.

Pour trouver une information, l'internaute dispose d'une recherche par mots-clés et d'un accès par menus thématiques : « Géologie en Alsace », « Nappe d'Alsace », « Banque de données BRAR » et « Bibliographie ».



La page d'accueil propose différentes actualités régionales, les événements marquants qui concernent la nappe d'Alsace ainsi que les dernières évolutions techniques du site internet. Des accès transversaux permettent de consulter des contenus techniques : « Espace cartographique » et « Consultation des données ».

L'outil cartographique permet d'afficher et de visualiser l'ensemble des couches produites dans le cadre de la BRAR, par le BRGM au niveau local et national et par d'autres acteurs de l'eau souterraine (APRONA, Agence de l'eau Rhin-Meuse) grâce aux outils permettant l'interopérabilité.

Les cartes géologiques, la piézométrie, les logs hydrogéologiques sur le référentiel LISA, les limites de masses d'eau, l'accès aux données sur les Eaux Souterraines (ADES)... sont ainsi mis à disposition. Un lien vers le SIGES de bassin Rhin-Meuse renvoie sur les données des autres aquifères présents en Alsace.

Des formulaires de recherche (par point d'eau, commune, entité hydrogéologique et secteur géographique...) permettent d'interroger les bases de données nationales et régionales. Le fond documentaire alsacien sur le sous-sol et les eaux souterraines référence plus de 10 000 documents (rapports techniques et rapports de l'administration) couvrant un large spectre historique depuis la fin du 19^e siècle.

Le SIGES Aquifère rhénan met à disposition de chaque citoyen et de chaque acteur (experts, professionnels, élus, collectivités, bureaux d'études...), les informations nécessaires pour nourrir le débat public, faciliter la prise de décision et répondre ainsi aux enjeux sociétaux et environnementaux alsaciens.



Annexe 5

Livret de présentation de la banque de données BRAR

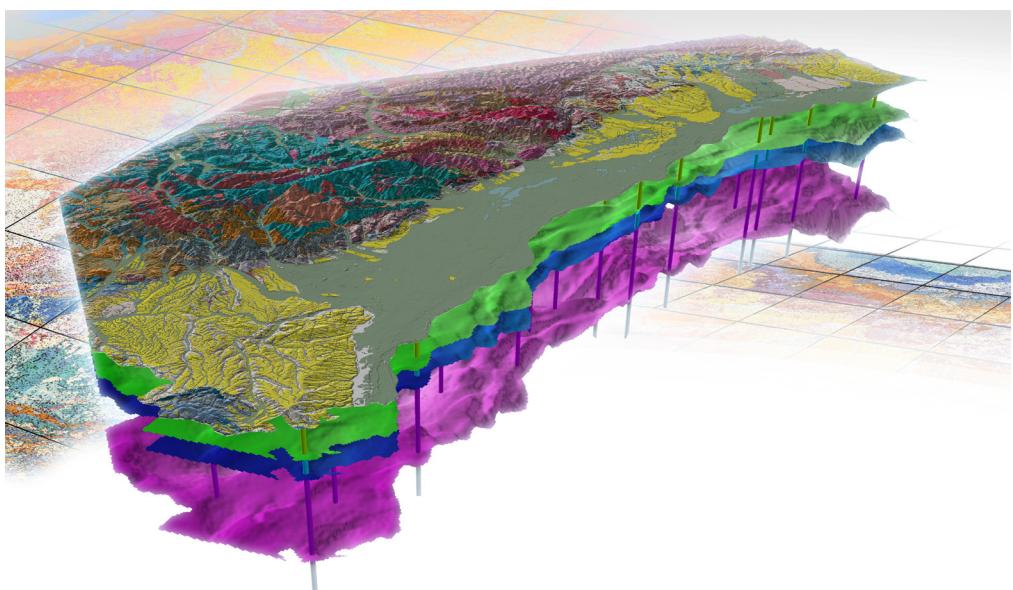
La Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR)

2018

La BRAR – Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan – est une base de données relatives à l'Aquifère rhénan ainsi qu'un programme d'études scientifiques contribuant à une meilleure connaissance de cette ressource d'un intérêt majeur.

Sa mise en place en 1994 sous maîtrise d'ouvrage de la Région Grand Est s'est inscrite dans une politique de protection et de gestion patrimoniale de la nappe du Fossé rhénan supérieur menée tant au niveau régional et que transfrontalier.

Un logo spécifique lui est associé.



▲ Vue en 3D vers le nord-ouest de la plaine d'Alsace et du massif des Vosges (2013).
© BRGM

PILOTAGE

Des conventions pluriannuelles de partenariat pour piloter les programmes

OBJECTIF

Collecter, saisir et mettre à disposition l'ensemble des données sur l'aquifère de la Plaine d'Alsace

BASE DE DONNÉES

La BRAR, une base de données créée sous Oracle à partir de données gérées ou pilotées par le BRGM

TRAVAUX ET PRODUITS

Travaux de cartographie et programme d'étude, une expertise de la Délégation régionale Alsace du BRGM

SITE INTERNET

Un site internet dédié qui intègre désormais les standards du web 2.0



Géosciences pour une Terre durable

PILOTAGE

Des conventions pluriannuelles de partenariat pour piloter les programmes

Les programmes techniques sont définis en comités et font l'objet de conventions pluriannuelles de partenariat entre la Région et le BRGM. Ils bénéficient également d'une participation de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse au titre des Contrats cadre pour la protection de l'hydrosystème rhénan et de fonds FEDER ; leur durée a varié au cours des programmes (de 2 à 5 ans).

La BRAR a vu le jour en 1994 et depuis, 5 conventions ont été signées : 1994-1999, 2003-2006, 2008-2010, 2011-2014 et 2015-2016.

Le programme est supervisé par une instance de pilotage comprenant un représentant de la Région Grand Est et un représentant de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse.

La maîtrise d'ouvrage est assurée par la Région Grand Est. Anciennement, la DREAL participait à ce comité ainsi que l'APRONA (convention 2000).

Cette instance définit annuellement les priorités des actions à conduire, qui sont formalisées dans une note présentant le programme annuel prévisionnel.

OBJECTIF

Collecter, saisir et mettre à disposition l'ensemble des données sur l'aquifère de la Plaine d'Alsace

Depuis 20 ans, ce programme permet la collecte, la saisie et la mise à disposition de tous, de données sur l'aquifère de la Plaine d'Alsace via son site internet d'une part et, d'autre part, la réalisation d'études scientifiques sur l'aquifère rhénan.

Au moment de sa mise en place, cette base de données est unique en France ; elle doit répondre au mieux aux spécificités alsaciennes pour la protection de la ressource en eau.

La connaissance du sous-sol et des points de vulnérabilité des eaux souterraines est un élément essentiel pour la protection de la ressource en eau.

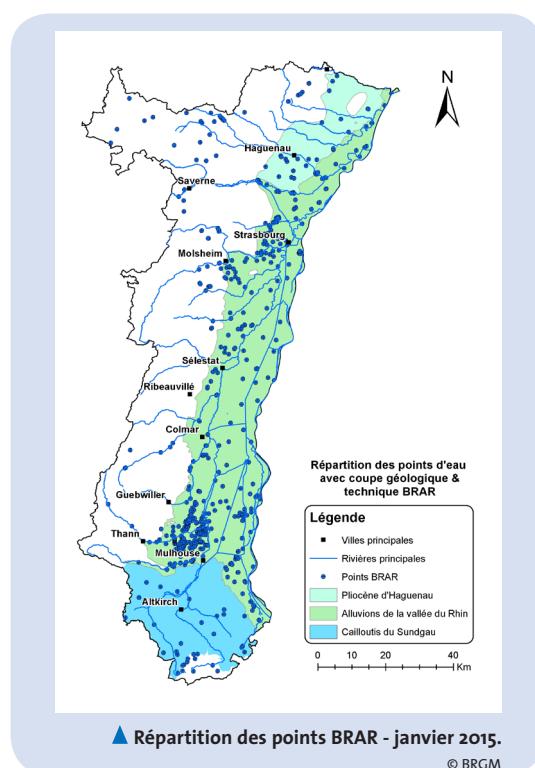


▲ Collecte, saisie et mise à disposition des données.



BASE DE DONNÉES

La BRAR, une base de données créée sous Oracle à partir de données gérées par le BRGM



La base de données a été créée en 1994 sous Oracle¹ à partir :

- des données sur les forages de la BSS gérée par le BRGM ;
- de la Banque de données sur les captages d'eau potable de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse (la BERM) ;
- de l'Atlas des points d'accès à la nappe de la DREAL réalisé par le BRGM ;
- de l'inventaire de 255 points d'accès à la nappe de la EMS réalisé par le BRGM pour la communauté urbaine ;
- de l'Atlas des points d'accès à la nappe de l'APRONA.

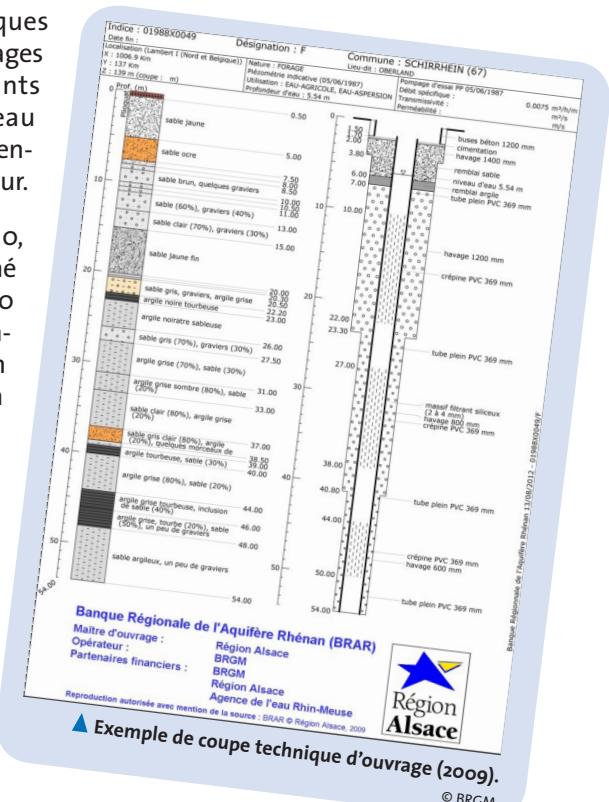
Cette liste a été complétée en 1997 par les données issues de l'identification des puits du **Syndicat des Irrigants** subventionnés par la Région Grand Est.

Cette base contient des données ponctuelles - coupes techniques d'ouvrages, résultats de pompages d'essai, profondeurs de points connus du substratum, niveau d'eau statique de la nappe - renseignant tous types d'utilisateur.

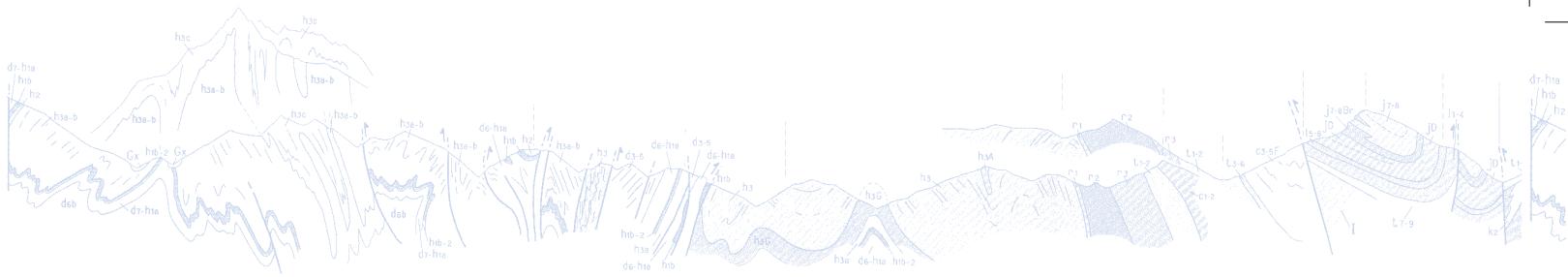
Lors du programme 2008-2010, un effort particulier a été mené pour renseigner plus de 4000 points sur le niveau d'eau rencontré lors de la création d'un ouvrage. Cette information très utile pour les bureaux d'études, les entreprises travaillant dans la géothermie ou tous projets de construction et d'aménagement, et bien sûr pour les particuliers qui se renseignent sur la présence de la nappe au droit de leur propriété.

En 1995, la BRAR comptait 150 coupes techniques d'ouvrages. 20 ans plus tard, elle en comprend plus de 700, chiffre atteint à l'issue du programme 2014.

Une base documentaire sur les études datées de 1880 à 1980, du Service de la carte Géologique d'Alsace et de Lorraine (SGAL) mais également de son précurseur, *die geologische Landesanstalt von Elsass-Lothringen*, est mise en place.



¹ Le fonctionnement du site est exposé en détail dans le rapport BRGM/RP-51950-FR.



TRAVAUX ET PRODUITS

Travaux de cartographie et programme d'étude

La géométrie de l'aquifère

En 1995, la BRAR a établi une première géométrie de la nappe (cartographie de son substratum et de son épaisseur) en appui aux travaux du projet LIFE de modélisation transfrontalière de l'aquifère du Rhin supérieur. La carte du substratum du Bassin potassique sera elle révisée en 1996.

La carte des formations superficielles

Initié en 2000, le BRGM élabore dans le cadre des programmes successifs de la BRAR jusqu'en 2010, une **cartographie des formations superficielles de la Plaine d'Alsace**. Ces couches de couverture et de protection de la nappe déterminent en grande partie la nature des sols et leur qualité agricole, et contrôlent la répartition des habitats naturels, faunistiques et floristiques, voire de certaines espèces animales protégées.

De façon anecdotique, cette carte permet par exemple de déterminer les zones de loess profonds du Kochersberg qu'affectionnent particulièrement l'emblématique Grand Hamster Sauvage.

Cette carte a été élaborée sur support numérique multicouche au 1/25 000 et peut ainsi être valorisée dans de multiples études : elle constitue encore aujourd'hui une donnée régionale de référence. Elle a été mise en ligne via le SIGES Aquifère rhénan en 2014.



▲ Grand Hamster (*Cricetus cricetus*), autrefois appelé "Marmotte de Strasbourg" ou "Kornfarel" (petit cochon des blés), fait partie intégrante du patrimoine faunistique alsacien comme la cignogne.

© G. Baumgart

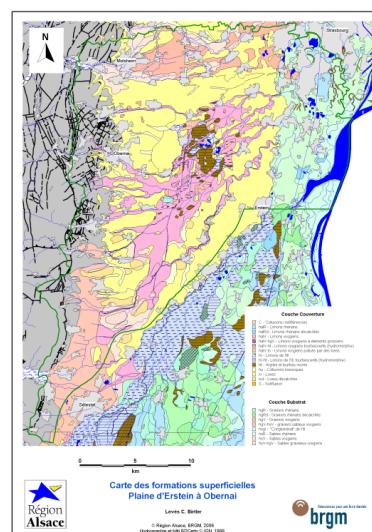
Comme autre utilisation, cette carte des formations de couverture de l'aquifère permet de créer des **cartes de temps de transfert des polluants** et d'en dériver des **cartes de vulnérabilité de la nappe**.

De plus, elle complète parfaitement les données de l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace et contribue à une gestion plus adaptée de l'espace agricole.



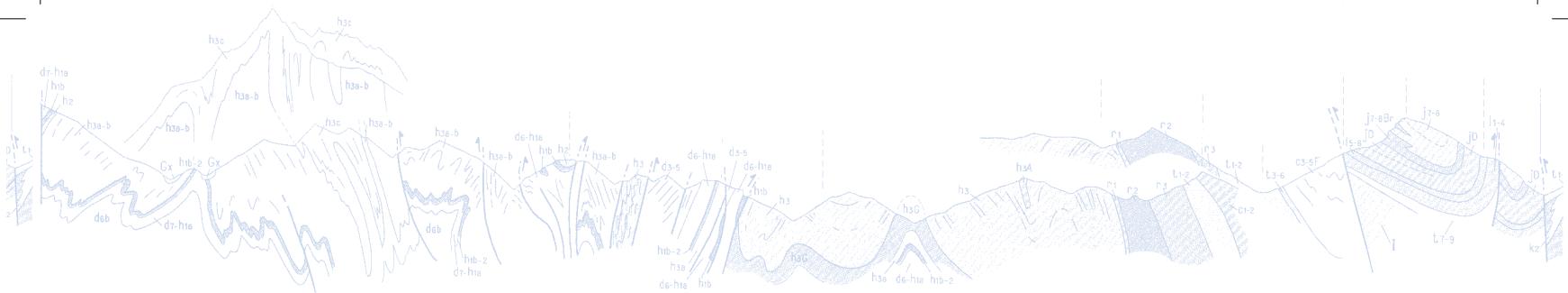
▲ Exemples de sondages à la tarière à main et à la moto-tarière réalisés dans le cadre de la BRAR.

© BRGM



▲ Cartographie des formations superficielles de la Plaine d'Alsace (2006).

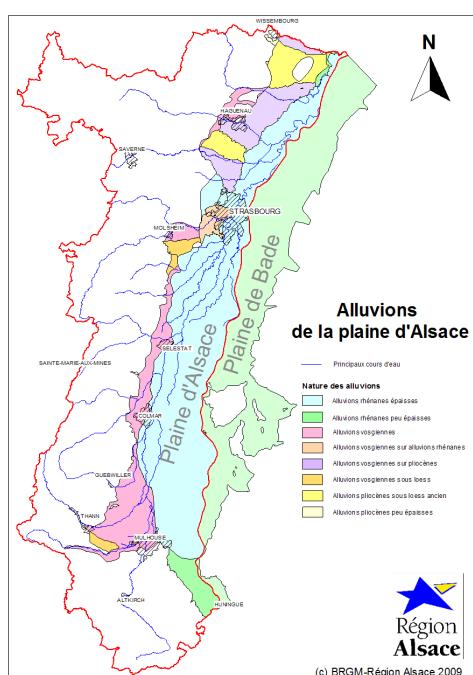
© BRGM



La carte de la nature des alluvions de la Plaine d'Alsace

La carte de la nature des alluvions de la Plaine d'Alsace distingue les alluvions rhénanes d'origine alpine, épaisses ou peu épaisses, les alluvions vosgiennes qui peuvent aussi être sous couverture de loess, sur alluvions rhénanes ou sur alluvions pliocènes, et enfin les alluvions pliocènes peu épaisses ou recouvertes de loess anciens.

Mise à disposition sur le site SIGES, elle permet à l'utilisateur averti de savoir si les alluvions sont carbonatées (alluvions rhénanes) ou acides (alluvions vosgiennes et pliocènes) et d'anticiper la chimie des eaux ou encore les sens d'écoulement.



▲ Carte de la nature des alluvions de la Plaine d'Alsace (2009).

© BRGM

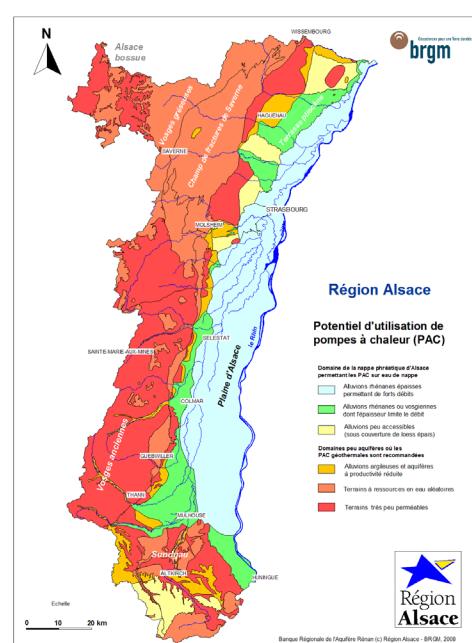
Ressources en eau associées

Au Nord, l'aquifère du Pliocène de Haguenau qui recèle de ressources en eau protégées de très bonne qualité a fait l'objet de travaux de la BRAR (convention 2008-2010). Plus de 300 forages ont été recensés, analysés pour **produire une carte des épaisseurs de cette réserve**.

Au Sud, les **cailloutis du Sundgau** sont le siège d'une nappe dont la qualité pose des problèmes mais qui constitue une ressource indispensable au maintien de l'économie de ce secteur. Les données issues d'une étude menée par la Région fin des années 90 ont été valorisées par une **cartographie** avant leur intégration dans la base de données BRAR.

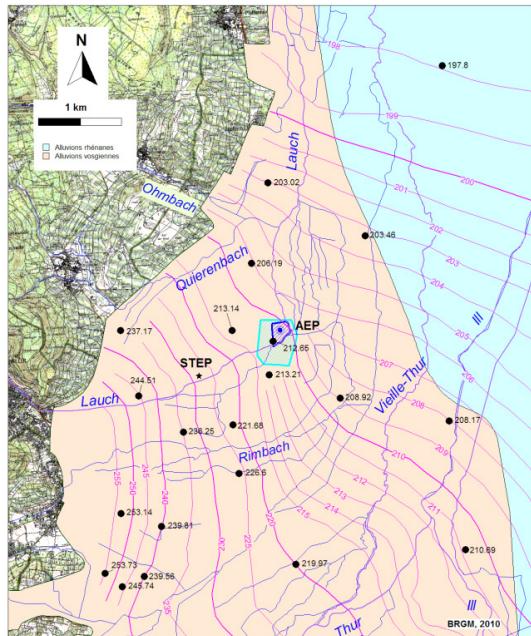
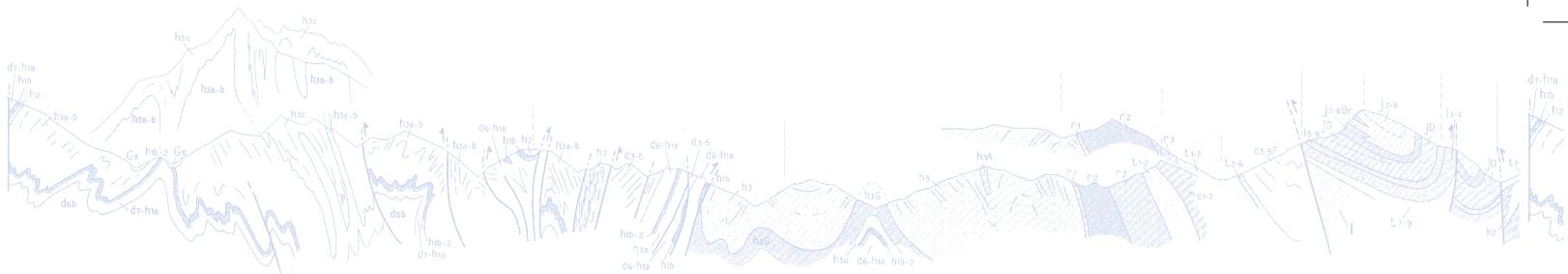
Géothermie : exploitation et protection de la nappe

Dans un contexte de relance des énergies renouvelables, en 2008, une **carte des ressources en eau** en Alsace a été réalisée pour l'information du public sur les possibilités d'utilisation de pompes à chaleur (PAC) sur nappe ou sur sonde thermique.



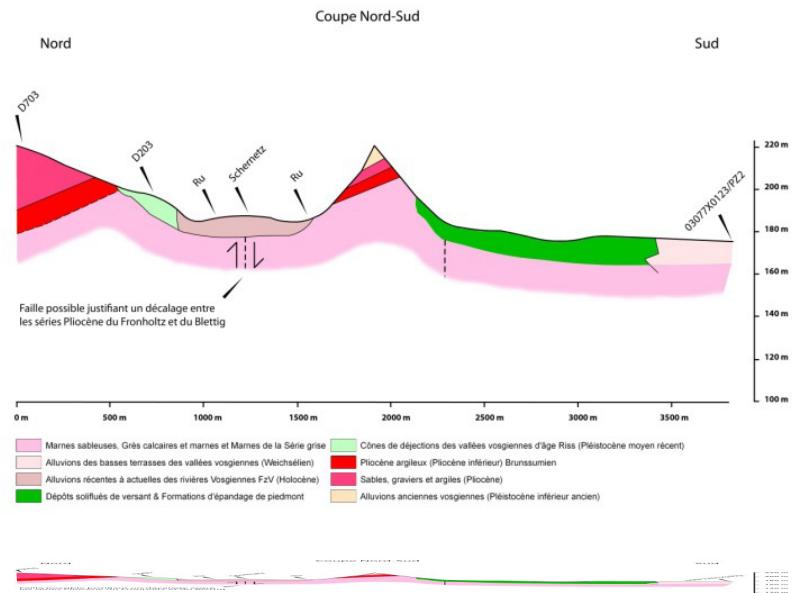
▲ Potentiel d'utilisation des pompes à chaleur (2008).

© BRGM



▲ Carte piézométrique en moyennes eaux (mesures du 3 juin 2008).

© BRGM



▲ Coupe géologique Nord-Sud (2012), entre Epfig et Dambach-La-Ville, colline du Plettig (Haut : échelle des altitudes exagérée & Bas : géométrie réelle).

© BRGM

Les zones de bordure ou de piedmont de la nappe

La compréhension des mécanismes de fonctionnement de la nappe en zone de bordure est nécessaire à toute interprétation des résultats de suivis qualitatifs de la nappe et s'impose comme préalable à tous programmes d'actions de lutte contre les pollutions aux nitrates et produits phytosanitaires dans ces zones de piedmont. Un programme d'étude des **zones de bordure « mal connues »** a donc été initié dans le cadre de la BRAR.

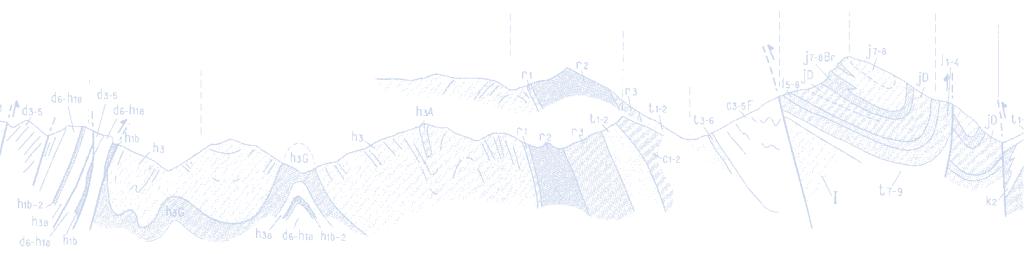
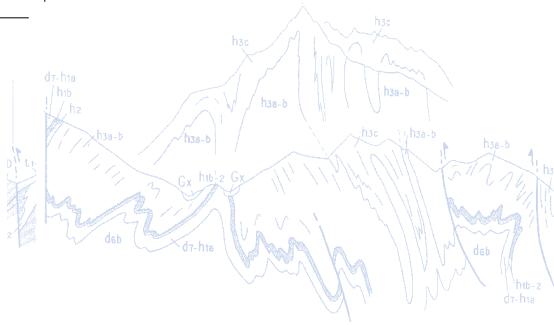
Lors du programme 2008-2010, une étude de la zone de Guebwiller-Merxheim a été engagée en collaboration avec l'APRONA et la Mission eau du SIPEP de Merxheim-Gundolsheim. A partir d'un réseau de suivi piézométrique temporaire de 13 points et des points de suivi de l'APRONA, une carte des moyennes eaux de juin 2008 a notamment été élaborée.

En 2012, une pré-étude de la zone de bordure Epfig – Dambach-La-Ville a été menée en collaboration avec l'APRONA. Il s'agit d'un secteur complexe où les apports d'eau issus du massif vosgien s'ajoutent à ceux des aquifères des col-

lines sous-vosgiennes pour finalement alimenter la nappe phréatique et où une pollution chronique liée aux nitrates est constatée depuis 1980. Deux profils géologiques ont alors été réalisés. Ils constituent un préalable à une étude de synthèse sur secteur qui reste à mener.

Puis un travail plus systématique a été initié en 2013 avec la mise en place d'une typologie des zones de bordure. Les secteurs de Mommenheim – Brumath – cône de la Zorn, Graben du Pfulgriesheim et Entzheim-basse vallée de la Bruche ont été étudiés en 2014. Le secteur de Kintzheim a été étudié en 2016.

Ce travail de synthèse et d'interprétation des connaissances devra être complété lors du programme suivant. Ces données sont essentielles pour mener des analyses sur les transferts des nitrates et des produits phytosanitaires des zones de grandes cultures et sur vignes des zones de bordure.



SITE INTERNET

Un site internet dédié qui intègre désormais les standards du web 2.0

Le site Internet de la BRAR est lancé en 1995 et hébergé sur les serveurs du BRGM.

Puis il a été enrichi et perfectionné tout au long des programmes. En 2009, le site a été reconstruit avec la technologie SPIP.

² Système d'information pour la gestion des eaux souterraines.

En 2014, le site de la BRAR devenu obsolète fait peau neuve et devient le SIGES² Aquifère rhénan. Il est accessible à l'adresse suivante : <http://sigesar.brgm.fr>.

Le SIGES Aquifère rhénan hérite des données de l'ancien site <http://brar.brgm.fr> et de ses fonctionnalités tout en s'enrichissant avec de nouvelles informations et applications qu'il intègre dans un environnement plus convivial et plus accessible.



Site internet de la BRAR - version 2008. De haut en bas : page d'accueil, espace cartographique et page d'accès à l'information par numéro RSS ou par commune.

© BRGM

▲ Site internet SIGES Aquifère rhénan - version 2018 : page d'accueil.

© BRGM

▼ Site internet SIGES Aquifère rhénan - version 2018. De haut en bas : espace cartographique et consultation des données par numéro RSS, par commune,...

© BRGM



Les produits de la BRAR

- **1150 coupes hydrogéologiques** de l'aquifère quaternaire (coupe donnant la profondeur et la nature lithologique du toit, de l'aquifère lui-même et de son mur, illustrée par un schéma) et 90 coupes de l'aquifère des alluvions du Pliocène-Quaternaire ancien sous-jacent disponibles sur Internet ;
- **700 coupes techniques** ;
- **1 carte du substratum de la nappe d'Alsace (base de la nappe)** établie en collaboration avec les services géologiques du Bade-Wurtemberg et de Rhénanie-Palatinat ;
- **1 carte de la nature des alluvions de la plaine d'Alsace (corps de la nappe)** : alluvions rhénanes d'origine alpine, alluvions vosgiennes avec ou sans loess, alluvions pliocènes ;
- **1 carte des formations superficielles (couverture de la nappe)** et toutes les données ponctuelles (sondages géologiques, profils pédologiques, observations de terrain) associées ;
- **1 carte des épaisseurs de l'aquifère du Pliocène de Haguenau** qui recèle des ressources en eau protégées de très bonne qualité ;
- **1 carte des ressources en eau en Alsace ou Potentiel d'utilisation des pompes à chaleur** réalisée pour l'information du public sur les possibilités d'utilisation de pompes à chaleur (PAC) sur nappe ou sur sonde thermique ;
- **Des synthèses hydrogéologiques** sur les zones de bordure ;
- **1 carte piézométrique** des moyennes eaux de juin 2008 du secteur de Guebwiller-Merxheim ;
- **1 base bibliographique** comprenant notamment des études du SGAL (Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine) ;
- Des données issues de plusieurs **centaines de sondages** à la tarière permettant l'acquisition de données scientifiques sur les terres alsaciennes (alluvions rhénanes et vosgiennes, loess, tourbes des ried, etc.), utilisables sur une foison d'études ;
- L'**histoire de la Plaine d'Alsace** (Lire le rapport BRGM/RP-54876-FR) ;
- **1 site SIGES Aquifère rhénan** (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines de l'Aquifère rhénan) utilisant les données nationales ADES, INFOTERRE, données CIGAL.
<http://sigesar.brgm.fr>

Pour en savoir plus

Sur le SIGES Aquifère rhénan
<http://sigesar.brgm.fr>

Sur le SIGES Rhin-Meuse
<http://sigesrm.brgm.fr>

BRGM
 Direction régionale Grand Est
 Délégation régionale Alsace
 Parc Activités Porte Sud
 Rue Pont du Péage
 Bâtiment H1
 67118 GEISPOLSHEIM
 Tél. 03 88 77 48 90
 Fax 03 88 76 12 26

Agence de l'eau Rhin-Meuse
 Rue du Ruisseau
 BP 30019 Rozérieulles
 57161 MOULINS-LÈS-METZ CEDEX
 Tél. 03 87 34 47 00
 Fax 03 87 60 49 85

Sur le BRGM
 Centre scientifique et technique
 3, avenue Claude Guillemin
 BP 36009
 45060 ORLÉANS CEDEX 2
 Tél. 02 38 64 34 34
 Fax 02 38 64 35 18



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

Direction régionale Grand Est
Délégation de Strasbourg
Parc d'Activité Porte Sud – Bât H1
Rue du Pont du Péage
67118 – Geispolsheim – France
Tél. : 03 88 77 48 90