

Document public  
à accès différé

# Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d’investigations et de travaux

Rapport final

BRGM/RP-62574-FR

Juillet 2013

A.V. Barras



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

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

Ce document a été vérifié par : R. Vernier

date : 22/07/2013

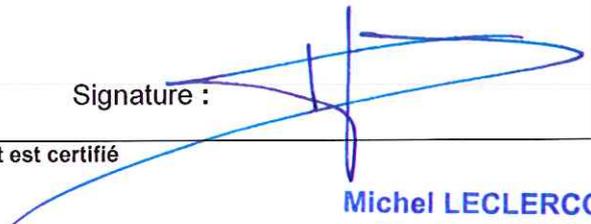
**Approbateur :**

Nom : M. Leclercq

Date : 24 juillet 2013

Signature :

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



**Michel LECLERCQ**  
Directeur-adjoint  
Direction des Actions Territoriales

**Mots clés :**

Géothermie, sonde, sinistre, Alsace, Bas-Rhin, Lochwiller, Staufen en Breisgau.

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

**BARRAS AV. (2013)** – Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux. BRGM/RP-62574-FR, 22 p., 11 ill., 24 photos, 2 ann.

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

## Synthèse

Le BRGM a été sollicité en 2008 par la DREAL (ex-DRIRE) Alsace dans le cadre de sa mission d'Appui aux administrations, pour expertiser des venues d'eau à Lochwiller (67) survenues en avril 2008, liées à la réalisation en février 2008 d'un forage géothermique de 140 m, sur la parcelle 287 située au 13 impasse Koelberg. Son intervention a fait l'objet d'un rapport référencé BRGM/ALSNT08N13.

En 2013, la DREAL Alsace a de nouveau sollicité le BRGM Alsace afin d'actualiser cette étude au regard de tous les documents remis par la commune, récemment produits dans le cadre d'une expertise judiciaire en cours, et d'une observation sur place réalisée le 8 juillet 2013 par A.V. Barras du BRGM en présence de Monsieur le Maire.

Le forage a recoupé un aquifère profond - calcaires du Muschelkalk - captif, en charge suffisante pour pouvoir se déverser dans l'aquifère superficiel. Cette mise en charge de l'aquifère superficiel a alors provoqué en 2008 des arrivées d'eaux souterraines sur les parcelles situées en contrebas du forage.

Avec le temps, cette eau souterraine provenant des calcaires via le forage mal cimenté a imprégné les couches géologiques du Keuper comportant de l'anhydrite et constituant le soubassement de la commune de Lochwiller. Cette hydratation a provoqué le gonflement des terrains, phénomène qui se poursuit en 2013. En conséquence, ce sont au moins cinq habitations situées rue de l'Etang qui présentent aujourd'hui de larges fissures.

Ce rapport a pour objet in fine de proposer un programme d'investigations afin de dégager des pistes de réparation ou de ralentissement du phénomène en cours et ainsi de préserver le bourg de Lochwiller (chapitre 8).

## Sommaire

<b>1. Contexte.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Situation géographique .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Rappels historiques .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Description du phénomène de gonflement .....</b>	<b>8</b>
<b>5. Constats sur place le 8 juillet 2013 .....</b>	<b>9</b>
<b>6. Eléments géologiques .....</b>	<b>12</b>
6.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	12
6.2. ELEMENTS A PROXIMITE DE LA SONDE.....	12
<b>7. Retour d'expérience sur le cas de Staufen (Allemagne) .....</b>	<b>14</b>
<b>8. Pistes pour un programme prévisionnel d'investigations et de travaux.....</b>	<b>21</b>

### Liste des illustrations

Illustration 1 – situation géographique .....	7
Illustration 2 – cartographie des désordres .....	10
Illustration 3 – Extrait de la carte géologique de Saverne au 1/50 000.....	12
Illustration 4 – Schéma géologique conceptuel à proximité de la sonde .....	13
Illustration 5 – extension de la zone fortement impactée en rose, et impactée en bleu .....	15
Illustration 6 – log de température dans les sondes montrant notamment pour la 7 une forte anomalie .....	15
Illustration 7 – contexte géologique de Stauffen .....	16
Illustration 8 – plan de situation des sondes et du forage à gauche et coupes géologiques à droite montrant entre autres le décalage entre EKB1 et les sondes voisines.....	17
Illustration 9 – exemple de profil sismique à Staufen permettant, en les couplant aux données de forage, de repérer les éléments structuraux et les niveaux d'anhydrite ; plan de situation des profils géophysiques réalisés.....	18
Illustration 10 – bloc diagramme établi à partir des données de forages et de géophysique permettant la compréhension du phénomène en jeu .....	18
Illustration 11 – en haut, exemple de fissures ; en bas à gauche, schéma conceptuel du pompage (source : LGRB) ; à droite, local de la station de pompage avec éléments de communication .....	20

## Liste des photos

<i>Photo 1 – impasse Koelberg impactée (réseaux sous la chaussée mis hors service) .....</i>	<i>25</i>
<i>Photo 2 – maison Kandel - la sonde doit se trouver sur ce talus mais sa position exacte n'est pas connue à ce jour.....</i>	<i>25</i>
<i>Photo 3 – maison Matjeka - large fissure sur les escaliers de la façade Nord .....</i>	<i>25</i>
<i>Photo 4 – Maison Schorr – fissures affectant la façade côté rue de l'Etang .....</i>	<i>26</i>
<i>Photo 5 – Maison Schorr – fissures et déplacement affectant le corps de ferme.....</i>	<i>26</i>
<i>Photo 6 – Maison Schmitt – fissure majeure entre le sous-sol et le 1<sup>er</sup> niveau. ....</i>	<i>27</i>
<i>Photo 7 – Maison Schmitt – Le propriétaire a procédé au décaissement des terrains devant ce mur (coté Nord-Est), face à la colline et en contrebas de la propriété Kandel.....</i>	<i>27</i>
<i>Photo 8 – à droite, maison Kandel et position approximative de la sonde (cercle rouge) – au fond (flèche), maison Schmitt .....</i>	<i>28</i>
<i>Photo 9 – Maison Belhadj – Kobloth. Aucune fissure visible mais la maison a subi une élévation de 4.5cm en 2 mois (élévation maximale).....</i>	<i>28</i>
<i>Photo 10 – Maison Borowiak-Cromer garage fissuré et étayé, au 1<sup>er</sup> plan, fissure de la chaussée.....</i>	<i>28</i>
<i>Photo 11 – Rathaus (au 1<sup>er</sup> plan, équipe de journalistes – médiatisation importante du sinistre en Allemagne depuis 2007).....</i>	<i>31</i>
<i>Photo 12 – Fissures derrière le Rathaus, à proximité immédiate du champ de sondes.....</i>	<i>31</i>
<i>Photo 13 – Fissures derrière le Rathaus, à proximité immédiate du champ de sondes.....</i>	<i>32</i>
<i>Photo 14 – Façade d'une boutique fissurée.....</i>	<i>32</i>
<i>Photo 15 – Autre exemple de fissure .....</i>	<i>33</i>
<i>Photo 16 – Elévation - Situation en 2009 (d'après source LGRB).....</i>	<i>33</i>
<i>Photo 17 – Elévation - Situation en mars 2012 (d'après source LGRB).....</i>	<i>34</i>
<i>Photo 18 – Elévation - Situation en avril 2013 (d'après source LGRB) .....</i>	<i>34</i>
<i>Photo 19 – Repère au sol de nivellement pour le suivi topographique de la zone impactée .....</i>	<i>35</i>
<i>Photo 20 – Multiples fissures sur une habitation avec le « velcro » « Staufen darf nicht zerbrechen » .....</i>	<i>35</i>
<i>Photo 21 – Local technique des pompes EKB2 et BB3.....</i>	<i>36</i>
<i>Photo 22 – Principe du pompage.....</i>	<i>36</i>
<i>Photos 23 et 24 – Solidarité, communication et don.....</i>	<i>37</i>

## Liste des annexes

<i>Annexe 1 Planche photos du 08/07/2013 – Lochwiller – secteur impacté .....</i>	<i>23</i>
<i>Annexe 2 Planche photos du 12/07/2013 – Staufen (Allemagne) d'après observations et photographies des documents du LGRB.....</i>	<i>29</i>

## 1. Contexte

Le BRGM a été sollicité en 2008 par la DREAL (ex-DRIRE) Alsace dans le cadre de sa mission d'Appui aux administrations, pour expertiser des venues d'eau à Lochwiller (67) survenues en avril 2008, liées à la réalisation en février 2008 d'un forage géothermique de 140 m, sur la parcelle 287 située au 13 impasse Koelberg. Son intervention a fait l'objet d'un rapport référencé BRGM/ALSNT08N13.

Selon le rapport, le forage a recoupé un aquifère profond - calcaires du Muschelkalk - captif, en charge suffisante pour pouvoir se déverser dans l'aquifère superficiel. Cette mise en charge de l'aquifère superficiel a alors provoqué des arrivées d'eaux souterraines sur la parcelle 80 située en contre-bas du forage.

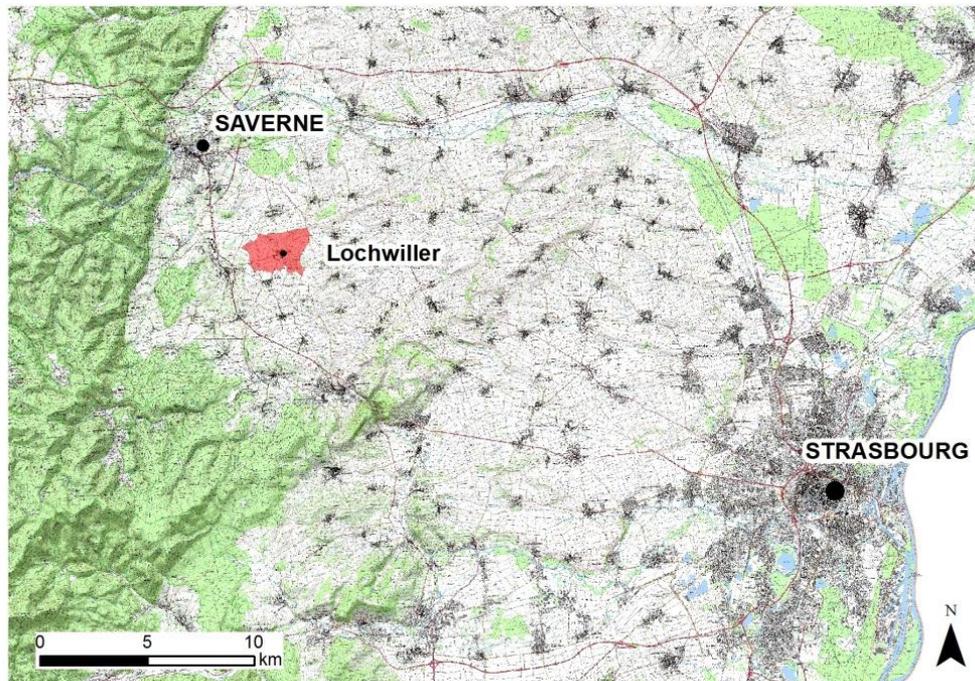
Puis, un second phénomène a été déclaré. Depuis 2012, cinq propriétés (dont la n°80) situées en contrebas de la parcelle 287, rue de l'Etang sont affectées de fissures importantes qui évoluent de mois en mois mettant en cause une nouvelle fois la sonde géothermique bien que théoriquement colmatée depuis 2009. Une expertise a été lancée dans le cadre d'une procédure judiciaire entamée auprès du Tribunal de grande instance de Saverne par un des propriétaires.

En 2013, la DREAL Alsace a de nouveau sollicité le BRGM Alsace dans le cadre de sa mission de Service Public d'Appui aux administrations afin d'actualiser cette étude au regard de tous les documents remis par la commune, récemment produits dans le cadre de l'expertise judiciaire en cours et d'une observation réalisée sur place le 8 juillet 2013 par A.V. Barras du BRGM en présence de Monsieur le Maire. Au préalable, une réunion de concertation a été organisée en sous-préfecture de Saverne le 31 mai 2013 présidée par le Sous-Préfet, réunissant la DREAL, la commune et le BRGM.

Il s'agit in fine de proposer un programme d'investigations afin de dégager des pistes de réparation ou de ralentissement du phénomène en cours afin de préserver le bourg de Lochwiller.

## 2. Situation géographique

La commune de Lochwiller se trouve dans le département du Bas-Rhin (67), au Sud-Est de Saverne, à proximité immédiate de Marmoutier.



*Illustration 1 – situation géographique*

### 3. Rappels historiques

En février 2008, sur la commune de Lochwiller, a été réalisé un forage géothermique de 140 m, sur la parcelle 287 (ex-223). Le forage a été exécuté par le foreur Bohrbetrieb Müller en sous-traitance de l'entreprise chauffagiste OTEC (Rosheim) pour le compte de l'entreprise BERAL.

En avril 2008, des arrivées d'eau sont survenues sur la parcelle 80 située en contre-bas du forage.

Le BRGM a été sollicité par la DREAL (ex- DRIRE) Alsace, dans le cadre de sa mission d'Appui aux administrations, pour expertiser ces venues d'eau, probablement liées au récent forage. Son intervention a fait l'objet d'une visite sur place le 2 juin 2008 et d'un rapport référencé BRGM/ALSNT08N13. A son issue, un courrier daté du 18 juin 2008 a été adressé par la DREAL au propriétaire demandant « de mettre en œuvre tout moyen nécessaire pour faire cesser les venues d'eau » et rappelant les dispositions du Code Minier.

Selon le rapport BRGM/ALSNT08N13 précité, le forage a recoupé un aquifère<sup>1</sup> profond - calcaires du Muschelkalk - captif<sup>2</sup>, en charge suffisante pour pouvoir se déverser dans l'aquifère superficiel. Cette mise en charge de l'aquifère superficiel a alors

---

<sup>1</sup> Aquifère : couche géologique contenant de l'eau pouvant être extraite par pompage par exemple

<sup>2</sup> Captif : l'eau contenue dans la couche géologique est en pression et remonte quand un forage perce cette couche

provoqué des arrivées d'eaux souterraines sur les parcelles situées en contrebas du forage.

Des recherches ont permis d'établir qu'en février 2008, le forage a été rebouché jusqu'à 14 m avec les 4 tuyaux en U en son sein. Puis plusieurs cimentations ont été réalisées entre avril et octobre 2008 sans réels succès.

Le BRGM est à nouveau intervenu le 19 septembre 2008 lors d'un essai de traçage à la saumure réalisé pour mettre en évidence la connexion entre le forage et les arrivées d'eau dans la fosse de vidange de la parcelle 80. Le propriétaire a fait remarquer un désordre sur le pavage de la cour. Le BRGM et la DREAL ont ensuite demandé le colmatage du forage.

Un colmatage par injection de la partie supérieure – à 14 m et 9 m - avec une résine de polyuréthane (SikaFix) a été réalisé entraînant une baisse significative du niveau d'eau de la parcelle 80 sans pour autant que le niveau soit revenu à son état initial. (CR de visite du BRGM du 24 novembre 2008).

D'après les propriétaires des parcelles 80 et 138, des premières fissures sont apparues en 2011 et de façon plus significative en 2012. Une expertise judiciaire a alors été engagée.

Plusieurs investigations ont été menées dans le cadre de cette expertise et a donné lieu à la publication de documents techniques ainsi qu'une note aux Parties du 17 mai 2013, diffusée le 31 mai 2013. L'expertise conclut que « le forage réalisé dans la propriété de la parcelle 287 a mis en contact l'eau de la nappe captive des calcaires du Muschelkalk, (...) avec l'aquifère superficiel (...). Ce cheminement a nécessairement rencontré des bancs d'anhydrite » dont fait mention la carte géologique de Saverne. « Les tentatives de rebouchage du forage par les constructeurs se sont révélées insuffisantes ».

Elle stipule que « les maisons anciennes rue de l'Etang vont à terme être ruinées » et qu'actuellement « toute tentative de reprise en sous-œuvre, étalement ou autre est vaine. » Elle recommande de réaliser des injections autour du puits de forage, sans toucher la nappe artésienne. Elle précise que « ce travail est délicat » et « sans garantie d'efficacité ».

Enfin, elle dicte que la responsabilité de l'entreprise Müller qui a dépassé la limite de déclaration administrative de 100 m du Code Minier est engagée de même que son maître d'œuvre Iden-Otec.

## 4. Description du phénomène de gonflement

L'anhydrite, sulfate de calcium, se dissout et recristallise sous forme de gypse au contact de l'eau. S'il existe suffisamment d'eau, la totalité de l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) est transformée en gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) selon l'équation suivante :



une mole d'anhydrite réagit avec deux moles d'eau pour former une mole de gypse. Sachant qu'anhydrite et gypse ont une masse volumique de 2.96 et 2.31 g.cm<sup>-3</sup> et que leurs masses molaires valent 136 et 172 g. mol<sup>-1</sup>, l'augmentation volumique de la phase solide est :

$$(2) \text{ EVol} = (DV)/V = -(172/2.31 - 136/2.96)/(136/2.96) * 100 = 68 \%$$

En conséquence, quand de l'eau souterraine remonte à travers des couches géologiques contenant de l'anhydrite (les évaporites) par l'intermédiaire d'un forage vertical mal colmaté, la réaction chimique de transformation en gypse produit de la chaleur (réaction exothermique) et provoque le soulèvement des terrains de plusieurs dizaines mètres d'épaisseur et plus. Les habitations et les infrastructures se trouvant à l'aplomb et plus particulièrement en limite, accusent des mouvements différentiels du sol provoquant des fissurations importantes pouvant aller jusqu'à leur ruine. Ce phénomène lié à des forages de sondes géothermiques mal cimentés a été mis en évidence pour la première fois à Staufen, en Allemagne, dans le Bade-Würtemberg (Cf. chapitre 7).

## 5. Constats sur place le 8 juillet 2013

Le BRGM s'est rendu à Lochwiller le 8 juillet 2013 en présence du Maire pour constater les dégâts observables sur les habitations et sur la chaussée rendue impraticable de l'impasse Koelberg. De plus, les derniers levés du cabinet de géomètres réalisés pour le compte de l'expertise judiciaire ont été mis à notre disposition et repris dans l'illustration suivante.

A ce jour, on comptabilise 5 habitations situées le long de la rue de l'Etang présentant des fissures ouvertes importantes (*en rouge sur le plan et cf. photos en annexe 1*). De plus, le garage de la maison de la parcelle 221 a nécessité un étaielement et des fissures fines s'observent sur la façade de quelques habitations sans pour autant à ce stade pouvoir les associer au phénomène général en cours. D'autres habitations, plus récentes, ne présentent pas de fissures évidentes depuis l'extérieur ; cependant les mesures de nivellement à partir de mires apposées sur ces villas indiquent des mouvements de surrection de plusieurs dizaines de millimètres en seulement 2 mois (entre le 25/04/13 et 17/06/2013). L'habitation de la parcelle 284 (*en vert sur le plan*) cumule plus de 4 cm d'élévation.

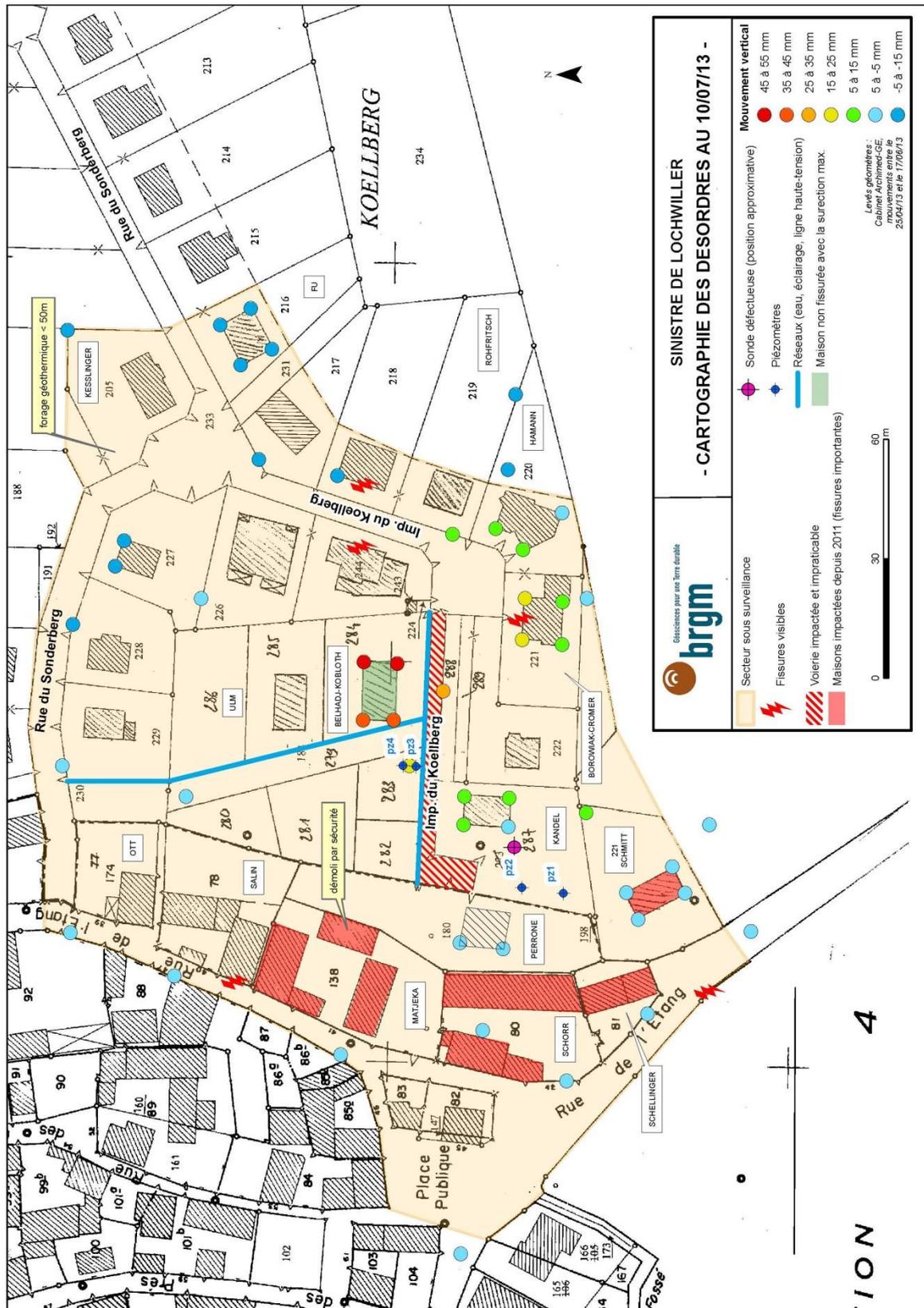


Illustration 2 – cartographie des désordres

## Définition de la zone impactée

A ce jour, la zone impactée est définie à partir des levés réalisés par le cabinet de géomètres, d'après les repères placés à proximité de la sonde (*cf. illustration 3*). Cela ne permet donc pas de connaître l'étendue totale du phénomène. L'absence de fissures ou désordres sur les habitations à l'extérieur du périmètre surveillé n'est pas un indice d'absence de mouvement. Or, l'instruction des permis de construire nécessite ce type d'information cartographique.

Il est donc recommandé d'élargir le périmètre de surveillance par nivellement à tout le bourg et à quelques points éloignés.

L'interférométrie radar satellitaire est une technique spatiale permettant de cartographier des déplacements de la surface du sol de façon précise. Cette méthode peut s'avérer utile pour :

- compléter l'information résultant du suivi fait le cabinet de géomètres ;
- délimiter la zone impactée qui pourrait potentiellement s'étendre au-delà de la zone surveillée ;
- fournir une donnée sur la cinétique des déplacements (phase d'accélération, mouvement continu, etc.)

Cette méthode s'est révélée particulièrement opportune dans le cas de Hilsprich en Moselle<sup>3</sup>. Elle a permis de mettre en évidence la cuvette d'affaissement de plus d'un kilomètre de diamètre dont les contours n'avaient jusque-là pas été identifiés.

Cependant, le satellite utilisé a été arrêté en 2010 et il n'y a actuellement plus de capteurs similaires qui acquièrent systématiquement des images satellites. Or, les mouvements du sol à Lochwiller sont probablement à 2010.

Toutefois, il est prévu, à la fin de l'année 2013, le lancement du satellite Sentinel 1 qui compte-tenu de sa répétitivité pourrait en quelques mois constituer une archive suffisante d'images du secteur pour définir la zone en mouvement et suivre son évolution à long terme. Cela permettrait également à long terme de mesurer l'efficacité des travaux de réparation avec un état de référence (2014). L'intérêt de cette méthode réside dans la possibilité d'acquérir des données de la zone de façon systématique pendant des années et d'avoir la possibilité de les traiter à posteriori.

Il serait également possible de recourir à des levés laser aéroportés (LIDAR) programmés par nos soins. La comparaison entre un état zéro en septembre 2013 par exemple avec un état 1 quelques mois plus tard, permettrait de définir de la même manière la zone en mouvement et quantifier ce mouvement. Le coût important généré par les vols aériens programmés doit au préalable être comparé à celui d'opérations de nivellement étendues.

---

<sup>3</sup> A Hilsprich en Moselle, une sonde géothermique a mis en contact des niveaux salifères et aquifère qui a engendré la dissolution du sel. Cette dissolution qui s'est produite à moins de 100 m de la surface du sol a été rapide et a provoqué un tassement de sol significatif.

## 6. Eléments géologiques

### 6.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique de Saverne au 1/50 000, l'ensemble du soubassement de la commune de Lochwiller est constitué par la formation du Keuper inférieur (t7) composée notamment d'argilites dolomitiques bariolées finement litées contenant du gypse et de l'anhydrite.

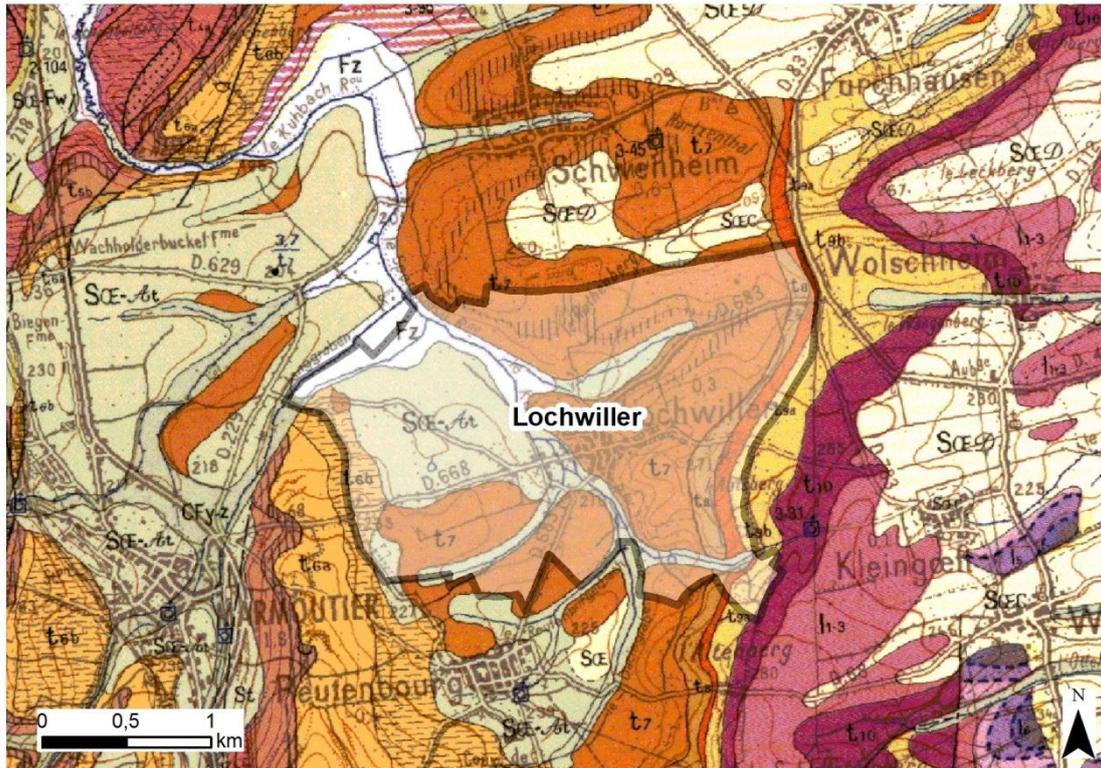


Illustration 3 – Extrait de la carte géologique de Saverne au 1/50 000

### 6.2. ELEMENTS A PROXIMITE DE LA SONDE

A partir du rapport du foreur (Cf. rapport BRGM BRGM/ALSNT08N13) et des rapports de Fondasol (réf. MS 13.0096) et de Plume (R13-498 du 25/05/2013) réalisés pour le compte de l'expertise, les éléments géologiques connus à proximité de la sonde peuvent être rassemblés. Ils ont été synthétisés dans un schéma conceptuel qui bien entendu souffre de nombreuses incertitudes à ce stade, en l'absence de données de forage à grande profondeur (plus de 100 m) dans le secteur.

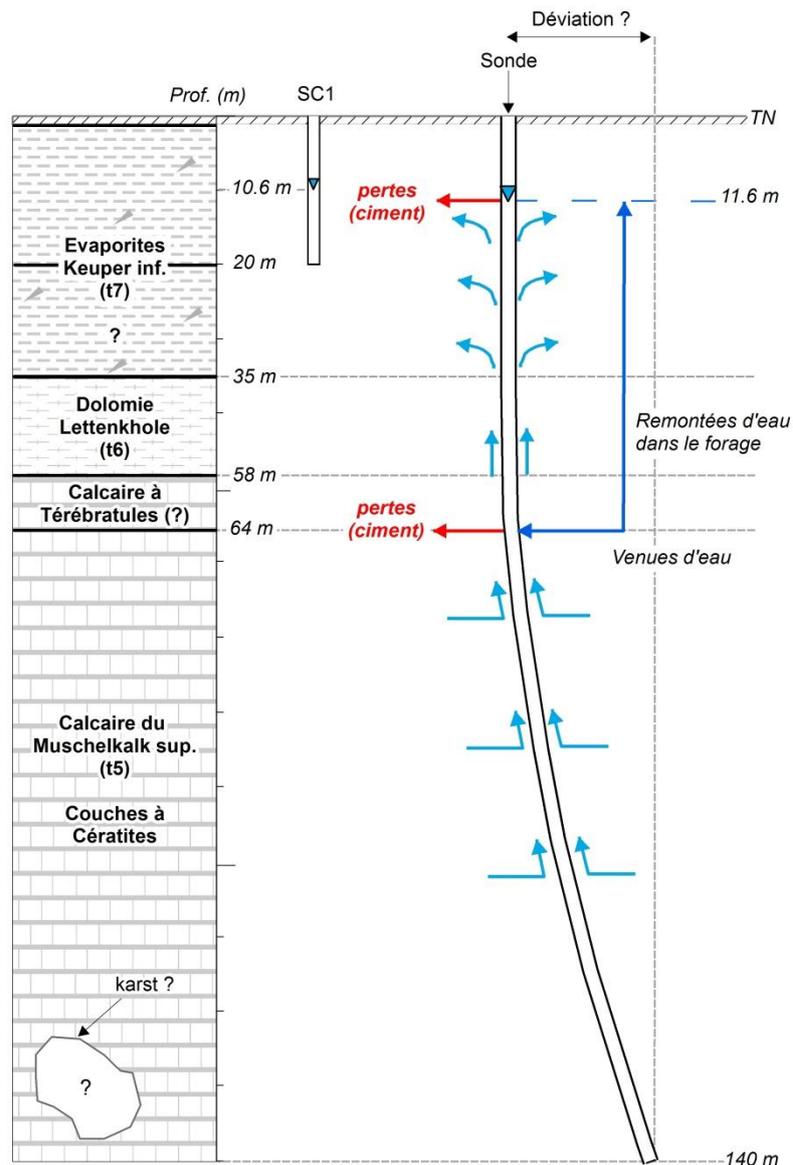


Illustration 4 – Schéma géologique conceptuel à proximité de la sonde

Concernant l'hydrogéologie, une étude bibliographique sur les calcaires de Muschelkalk s'avère nécessaire afin de dégager des informations sur leur perméabilité, sur les débits extraits de cet aquifère exploité par ailleurs et leur risque de karstification.

## 7. Retour d'expérience sur le cas de Staufen (Allemagne)

Le BRGM avait pris contact avec le LGRB (son homologue allemand du Bade-Wurtemberg) en novembre 2012 pour bénéficier du retour d'expérience de l'institut sur le cas « Staufen ». Les données ci-dessous sont tirées de 2 rapports publiés par le LGRB en mars 2010 et juin 2012<sup>4</sup>.

En septembre 2007, 7 sondes géothermiques autour de la mairie de Staufen d'une profondeur de l'ordre de 120 m ont été réalisées. Selon le rapport de l'entreprise de forage de décembre 2007, deux des forages ont présenté un caractère artésien (10l/min).

Au début du mois d'octobre 2007, soit deux semaines après les travaux de forages, apparaissent les premières fissures. Entre mai 2008 et septembre 2009, l'élévation mesurée est quasi-linéaire en fonction du temps, avec une vitesse maximum de 11 mm/mois. En bordure de la zone impactée, des mouvements à composantes transverses ont été mesurés. De mai 2008 jusqu'à janvier 2012, l'élévation absolue au centre de la zone a atteint 35 cm. En avril 2013, les valeurs sont de l'ordre de 3 mm/mois.

En janvier 2009, suite à une décision du Regierungspräsidium, le LGRB est mandaté pour réaliser un diagnostic approfondi et pour la recherche de solutions correctives.

Dans un premier temps, plusieurs investigations sont lancées (log de températures, sondages de reconnaissances, essais de pompage, investigations géophysiques, essais sur les bentonites pour colmater les sondes, etc.). Pour résumer, les principaux résultats sont les suivants :

- La zone impactée (en rose et bleu sur l'illustration ci-dessous) s'étend bien au-delà du bâtiment de la mairie (Rathaus)

---

<sup>4</sup> LGRB (2010) : Geologische Erkundungen von Baugrundhebungen im Bereich des Erdwärmesondenfeldes beim Rathaus in der historischen Altstadt von Staufen i. Br. – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Az. 94-4763//10-563 vom 01.03.2010, 304 S., 159 Abb., 37 Tab., 25 Anl., Freiburg. ([http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/schadensfall\\_staufen\\_bericht](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/schadensfall_staufen_bericht)).

LGRB (2010) : Geologische Untersuchungen von Baugrundhebungen im Bereich des Erdwärmesondenfeldes beim Rathaus in der historischen Altstadt von Staufen i. Br. – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Az. 94-4763//10-563 vom 01.03.2010, 304 S., 159 Abb., 37 Tab., 25 Anl., Freiburg. ([http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/schadensfall\\_staufen\\_bericht](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/schadensfall_staufen_bericht))

Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux

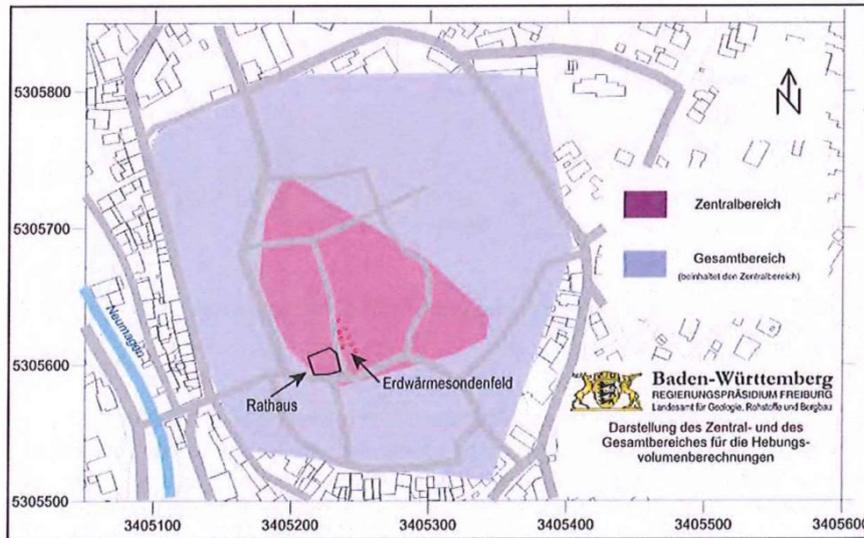


Abb. 4.20: Darstellung des Zentral- und des Gesamtbereiches für die Hebungsvolumenberechnung.

Illustration 5 – extension de la zone fortement impactée en rose, et impactée en bleu

- Les logs de température réalisés dans les 7 forages montrent la présence d'une anomalie entre 60 et 90 mètres par rapport au gradient géothermique attendu. Cette anomalie, correspondant à une réaction exothermique, est la plus forte pour le sondage N°7.

Abb. 2.1: Synoptische Darstellung zur Arbeitshypothese.

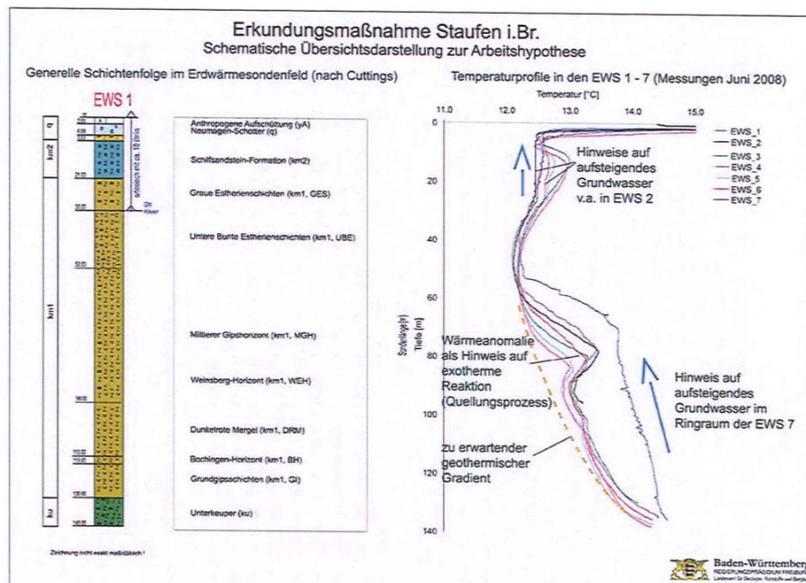


Illustration 6 – log de température dans les sondes montrant notamment pour la 7 une forte anomalie

- Les forages traversent des formations du Keuper contenant du gypse et de l'anhydrite selon les horizons en alternance avec marnes, argiles, grès ;
- La géologie indique que Staufen se situe dans une zone intermédiaire composée de séries secondaires, très faillées, entre la Plaine d'Alsace et ses terrains quaternaires et les terrains cristallins de la Forêt noire ;

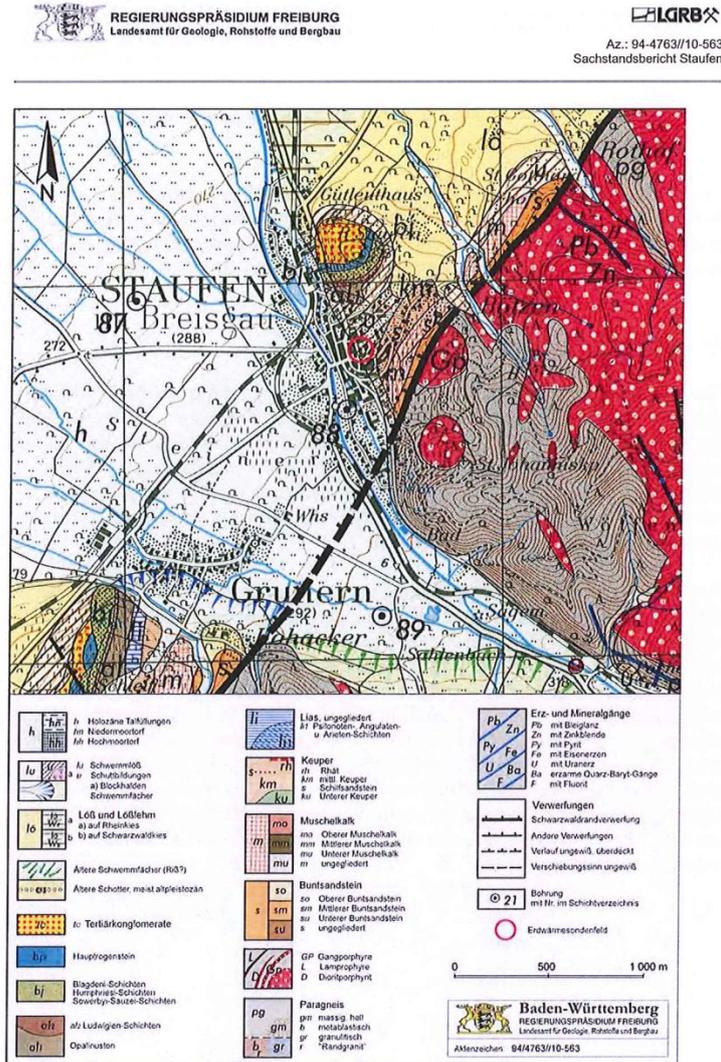


Abb. 3.1: Geologische Karte von Staufen und Umgebung (Ausschnitt aus GROSCHOPF et al. 1996). Die Lage des Erdwärmesondenfeldes zwischen dem Rathaus und dem Bauamt der Stadt Staufen ist mit einem roten Kreis markiert.

30

Illustration 7 – contexte géologique de Staufen

- En mars 2009, deux forages de reconnaissance, carottés, hautement sécurisés sont réalisés à proximité des sondes : EKB 1 puis EKB 2.
- L'EKB1 indique la présence d'une faille à fort rejet vertical (plus de 100 m) à proximité du champ de sondes.
- **L'EKB2 indique des venues d'eau artésiennes à 142 et à 155 m dans les formations du Keuper inférieur et du Muschelkalk supérieur.**

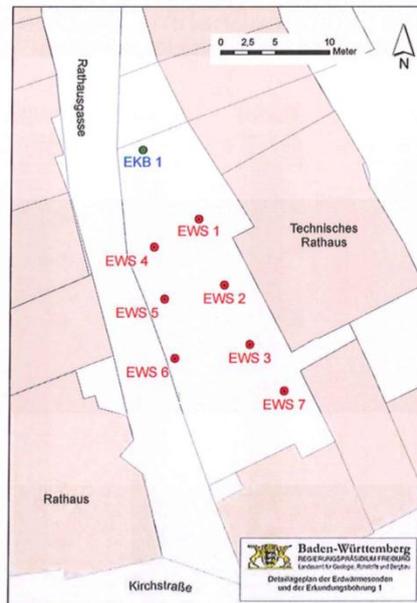


Abb. 5.1: Lageplan mit Eintrag der Erdwärmesonden EWS 1 bis EWS 7 und der Erkundungsbo EKB 1.

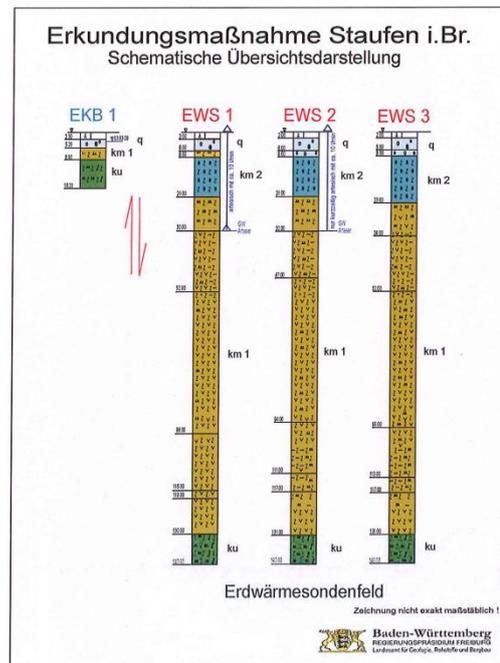


Abb. 5.2: Vergleich der in der EKB 1 angetroffenen Schichtabfolge mit der im benachbarten Erdwärmesondenfeld.

58

*Illustration 8 – plan de situation des sondes et du forage à gauche et coupes géologiques à droite montrant entre autres le décalage entre EKB1 et les sondes voisines*

- Une série d'essais de pompage est entreprise sur EKB1 et surtout EKB2 durant l'année 2009 afin de déterminer les relations entre débit de pompage et rabattement, notamment pour les niveaux profonds d'EKB2 ;
- En parallèle aux 2 forages de reconnaissances, en mars 2009, des investigations géophysiques sont réalisées. Il s'agit de sismique haute résolution. 5 profils sont tracés à travers la zone impactée. La profondeur d'investigation est de l'ordre de 200 m selon l'illustration ci-dessous.

Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux

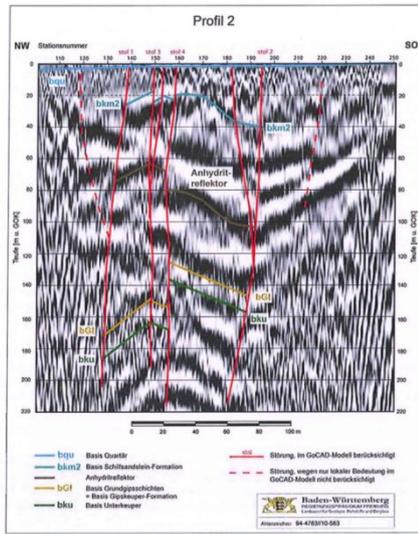


Abb. 7.7: Reflexionssismisches Tiefenprofil 09STAUF-2.

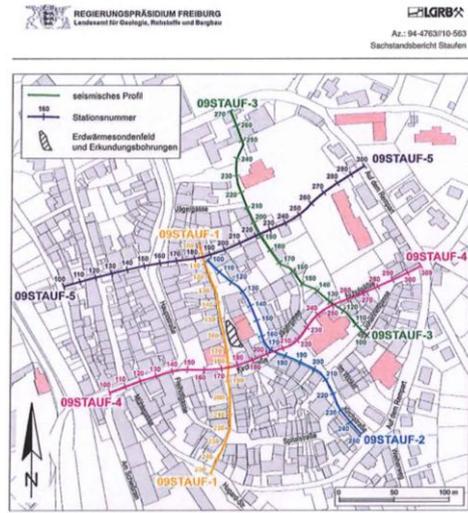


Abb. 7.4: Lageplan der reflexionssismischen Profile 09STAUF-1 bis 09STAUF-5 in der Altstadt.

Illustration 9 – exemple de profil sismique à Staufen permettant, en les couplant aux données de forage, de repérer les éléments structuraux et les niveaux d'anhydrite ; plan de situation des profils géophysiques réalisés

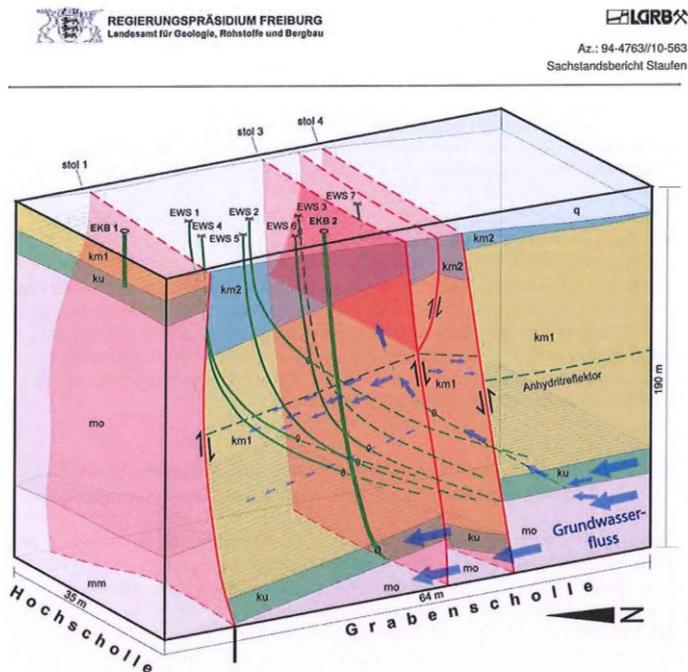


Abb. 7.14: Blockbild zur Verdeutlichung der Prozesse, die zur Hebung im Bereich des EWS-Feldes Rathaus Staufen führen.

Illustration 10 – bloc diagramme établi à partir des données de forages et de géophysique permettant la compréhension du phénomène en jeu

- La géophysique permet de mettre en évidence plusieurs failles et de retrouver les limites des couches. Couplées aux données de forage, un bloc diagramme peut être élaboré et aide à la compréhension du phénomène (illustration 10); **on note sur cette illustration que toutes les sondes ont dévié. La sonde 7 qui marquait la plus forte anomalie a probablement atteint les calcaires du Muschelkalk (mo) aquifère. L'eau artésienne a remonté à travers les sondes et atteint les niveaux d'anhydrite du Keuper moyen (km1). Le cas de Lochwiller présente les mêmes caractéristiques.**

En septembre 2009, suite au diagnostic, des actions correctrices sont discutées et validées par un collège de plus d'une vingtaine d'experts. Différentes actions sont alors engagées, à savoir le colmatage des forages et le rabattement par pompage dans EKB2 du niveau de l'aquifère profond (calcaire du Muschelkalk). En mars 2011, un deuxième puits de captage BB3 est mis en service. Il vient en complément du puits EKB2 pour rabattre le niveau de la nappe profonde et constitue un pompage de sécurité en cas de panne sur EKB2. Du fait de la déviation des sondes, le colmatage des sondes demeure ne peut pas être total.

Il en résulte une baisse progressive de la vitesse d'élévation du sol, rapide, linéaire de septembre 2009 à septembre 2010 puis asymptotique de 2011 à nos jours.

### **Visite sur place et conférence du 12 juillet 2013 à Staufen**

Le BRGM (A.V. Barras, S. Urban) s'est rendu le 12 juillet 2013 à Staufen pour visite des lieux et pour assister à la réunion d'information qui s'est tenue ce jour. Il était accompagné du Maire de Lochwiller. Cette réunion avait pour objet de rendre compte de l'efficacité des travaux réalisés et qui demeurent en cours (pompage).

En 2013, dans le centre-ville historique de Staufen, nombreuses sont les fissures ouvertes, et principalement verticales, observables sur les façades à 2 étages des habitations. Les dégâts se concentrent à proximité du champ de sondes réalisés à l'arrière du Rathaus (Mairie). Les dégâts ont été chiffrés à 50 millions d'euros. La réalisation des investigations et des travaux de réparation se sont élevés à plus 4 millions d'euros.

Une bande rouge marquée du slogan « Staufen darf nicht zerbrechen – Staufen ne doit pas s'ébrécher » sont apposées sur certaines fissures. Elles correspondent à une vaste campagne de solidarité, de communication et de marketing mise en œuvre pour venir en aide aux victimes. Une fondation a été créée.

Alors que l'acceptation des mesures mises en place était difficile en 2009-2011, aujourd'hui la situation est apaisée du fait du ralentissement du phénomène consécutivement aux mesures prises. Toutefois, le mouvement se poursuit avec environ 3 mm/mois, 6 ans après la réalisation des sondes. En revanche, les suivis par nivellement montrent que la zone impactée ne s'est pas étendue.

Les débits pompés étaient de l'ordre de 6l/s (env. 20 m<sup>3</sup>/h) en 2011 et sont de 4 l/s (env. 15 m<sup>3</sup>/h) en 2013. Un laboratoire est associé à la station de pompage. Il mesure

Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux

en continu la minéralisation de l'eau et la teneur en sulfates (marqueurs d'une éventuelle dissolution).



Illustration 11 – en haut, exemple de fissures ; en bas à gauche, schéma conceptuel du pompage (source : LGRB) ; à droite, local de la station de pompage avec éléments de communication

## 8. Pistes pour un programme prévisionnel d'investigations et de travaux

A partir des données existantes et des retours d'expériences que le BRGM et d'autres services géologiques possèdent, un premier programme d'investigations et de travaux à mener à Lochwiller est proposé ci-dessous. Il s'agit à ce stade de grandes lignes. Cela nécessitera l'établissement d'un cahier des charges détaillé dans les 3-4 mois à venir et d'un chiffrage pour les premières phases.

Le principe est le suivant : il conviendrait d'étanchéifier le trou de la sonde géothermique en sur-forant la sonde (et ses tubes) si cela est techniquement envisageable et en complément, de rabattre le niveau d'eau de l'aquifère du Muschelkalk à l'aide d'un pompage.

Pour ce faire, il est nécessaire de mener les actions suivantes :

*A court terme (quelques mois) :*

- Elargir le périmètre de surveillance à tout le bourg et à quelques points éloignés (points de nivellement supplémentaires, interférométrie radar, etc.) ;
- Retrouver la tête de la sonde sur la parcelle 287 et définir si les conditions d'accès et de place autour de la sonde sont réunies pour les travaux d'étanchéité ; cas échéant, définir et réaliser un aménagement ;
- Mesurer (si cela est techniquement possible) la déviation de la sonde et de la température (pour déceler les anomalies) via une sonde de mesure à descendre dans les tubes en U restés en place ;
- Réaliser une campagne géophysique (électrique et sismique) de 200 m de profondeur d'investigation afin de 1/ visualiser les structures géologiques, les failles et 2/ implanter le forage de reconnaissance (qui servirait de pompage) et 3 piézomètres complémentaires (50, 70, 130 m) ;
- Faire une analyse hydrogéologique du secteur sur la base des données existantes : perméabilité et débits attendus, et risque de karstification ;
- Rédiger le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) des travaux de sur-foration de la sonde en fonction des données de déviation et définir les moyens pour prévenir les risques ;
- Rédiger le CCTP d'un forage carotté de reconnaissance de 140 m minimum, de 2 ou 3 autres sondages destructifs à équiper en piézomètre, lancement d'une procédure d'autorisation du forage dépassant les 100 m selon le Code Minier si celle-ci s'avère nécessaire (selon le décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements qui fait état d'exception pour les forages pour étudier la stabilité des sols). A minima, sera établie une déclaration ou autorisation au titre de la loi sur l'eau pour le pompage.

*A moyen terme (1an – 2 ans) :*

- Organisation des travaux (procédures d'appel d'offres, mise en place d'une assistance à la maîtrise d'ouvrage, planification, etc.)
- **Phase travaux** : Sur-forer le trou de sonde en détruisant la cimentation défectueuse et les tubes en U restés sur place et colmater sous forte pression hydrostatique ;
- **Phase travaux** : Si les travaux de colmatage ne suffisent pas à ralentir les mouvements de gonflement, réaliser un forage carotté de 140 m à proximité de reconnaissance de diamètre suffisant pour installer une pompe. Ce forage aura un double objectif : 1/ celui de reconnaître les terrains sur toute leur hauteur et par essai de pompage définir les caractéristiques de l'aquifère et en déterminer le débit de pompage nécessaire ; 2/ celui de permettre un pompage permanent ; Nécessité de 2 autres forages destructifs équipés en piézomètres pour définir les rabattements ;
- Déterminer un exutoire des eaux pompées à court terme (temps d'étude à prévoir), s'assurer de l'absence d'impact du rejet dans le milieu naturel d'après la chimie des eaux profondes (potentiellement salées) et définir un plan de valorisation à long terme des eaux pompées en permanence. Pour Staufen, à titre d'exemple, les débits sont de l'ordre de 6 l/s ou 20 m<sup>3</sup>/h.

*A long terme (2-4 ans) :*

- **Phase travaux** : mettre en place une infrastructure durable pour le pompage des eaux, leur rejet et leur valorisation (local technique, commande de gestion à distance, mise en place d'une astreinte)
- Mise en place d'une surveillance des eaux pompées et suivi dans le temps de l'élévation des terrains. Ajout de points de suivis à l'extérieure de la zone pour s'assurer que le phénomène demeure confiné à la zone impactée. Définir la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre.

## **Annexe 1**

### **Planche photos du 08/07/2013 – Lochwiller – secteur impacté**



Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux



*Photo 1 – impasse Koelberg impactée (réseaux sous la chaussée mis hors service)*



*Photo 2 – maison Kandel - la sonde doit se trouver sur ce talus mais sa position exacte n'est pas connue à ce jour*



*Photo 3 – maison Matjeka - large fissure sur les escaliers de la façade Nord*



*Photo 4 – Maison Schorr – fissures affectant la façade côté rue de l'Etang*



*Photo 5 – Maison Schorr – fissures et déplacement affectant le corps de ferme*



*Photo 6 – Maison Schmitt – fissure majeure entre le sous-sol et le 1<sup>er</sup> niveau.*



*Photo 7 – Maison Schmitt – Le propriétaire a procédé au décaissement des terrains devant ce mur (coté Nord-Est), face à la colline et en contrebas de la propriété Kandel*



*Photo 8 – à droite, maison Kandel et position approximative de la sonde (cercle rouge) – au fond (flèche), maison Schmitt*



*Photo 9 – Maison Belhadj – Koblath. Aucune fissure visible mais la maison a subi une élévation de 4.5cm en 2 mois (élévation maximale)*



*Photo 10 – Maison Borowiak-Cromer garage fissuré et étayé, au 1<sup>er</sup> plan, fissure de la chaussée*

## **Annexe 2**

### **Planche photos du 12/07/2013 – Staufen (Allemagne) d'après observations et photographies des documents du LGRB**





*Photo 11 – Rathaus (au 1<sup>er</sup> plan, équipe de journalistes – médiatisation importante du sinistre en Allemagne depuis 2007)*



*Photo 12 – Fissures derrière le Rathaus, à proximité immédiate du champ de sondes*



*Photo 13 – Fissures derrière le Rathaus, à proximité immédiate du champ de sondes*



*Photo 14 – Façade d'une boutique fissurée*



Photo 15 – Autre exemple de fissure

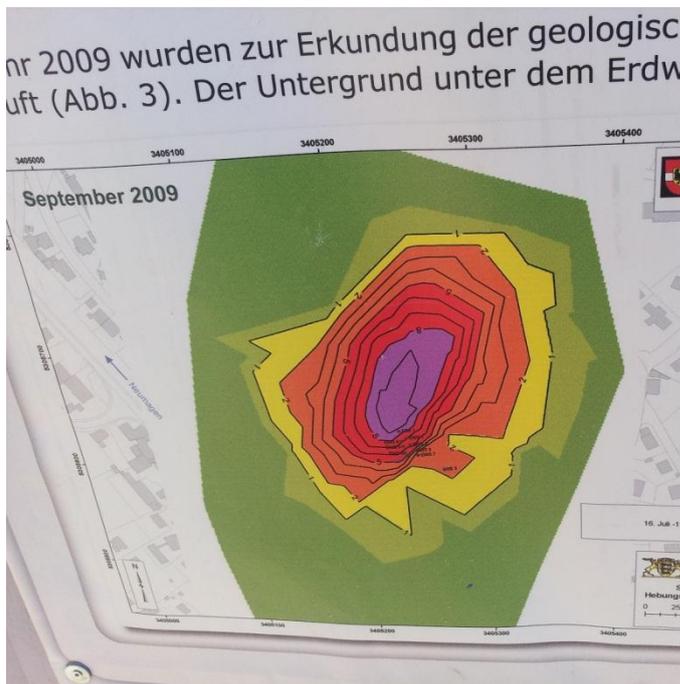


Photo 16 – Elévation - Situation en 2009  
(d'après source LGRB)

Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux

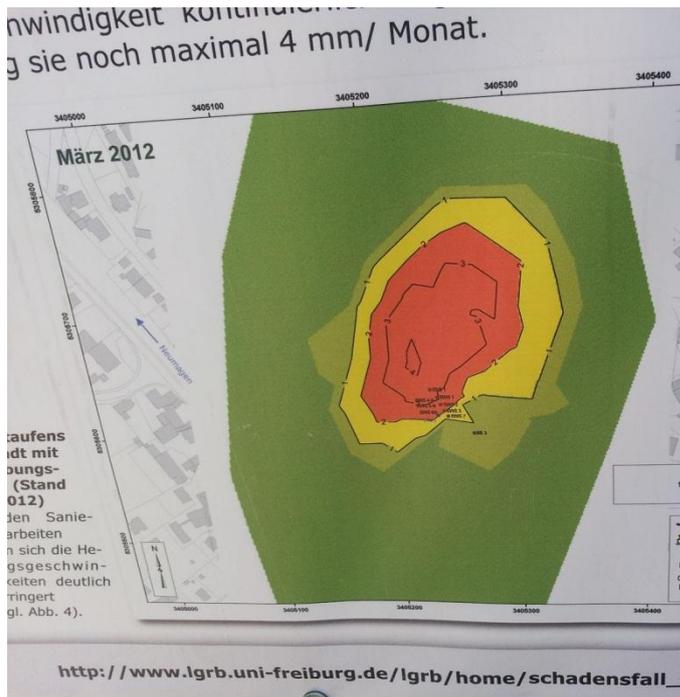


Photo 17 – Elévation - Situation en mars 2012 (d'après source LGRB)

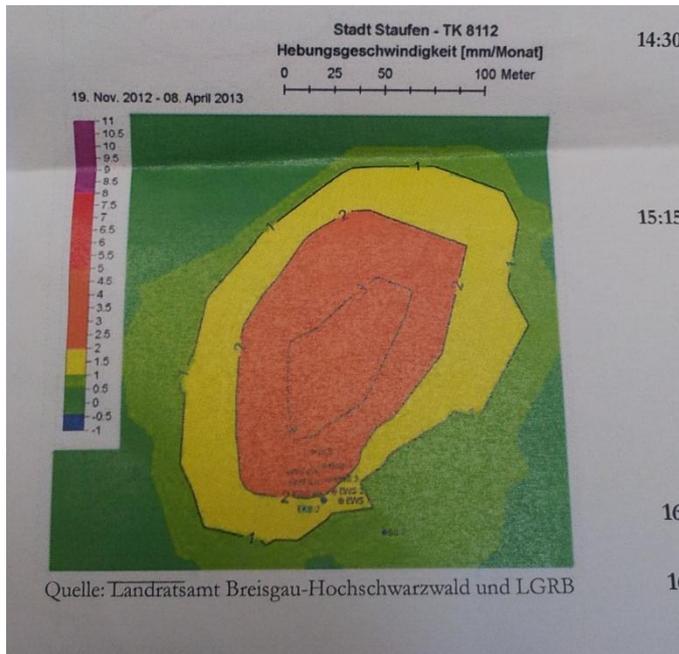


Photo 18 – Elévation - Situation en avril 2013 (d'après source LGRB)



*Photo 19 – Repère au sol de nivellement pour le suivi topographique de la zone impactée*



*Photo 20 – Multiples fissures sur une habitation avec le « velcro » « Staufen darf nicht zerbrechen »*

Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux



Photo 21 – Local technique des pompes EKB2 et BB3

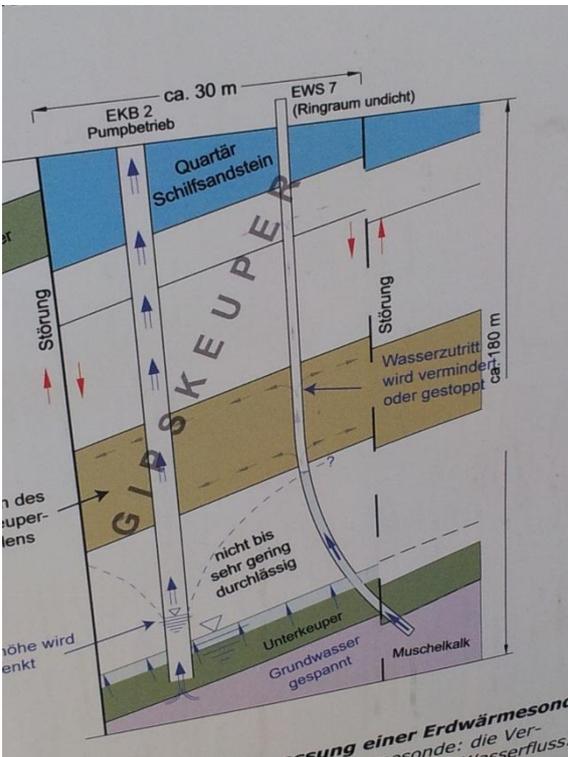


Photo 22 – Principe du pompage

Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique – situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux

Photos 23 et 24 – Solidarité, communication et don







Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

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

**Direction régionale Alsace**  
Parc Activités Porte Sud  
Rue Pont du Péage – Bâtiment H1  
67118 GEISPOLSHHEIM  
Tél. : 03 88 77 48 90