

Antenne EST
1 Rue Claude Chappe
CS 25198
57075 METZ CEDEX 3
Tél : +33 (0)3 87 17 36 60
Fax : +33 (0)3 87 17 36 89

Avis sur l'origine des désordres survenus sur la commune de Lochwiller (67)

RAPPORT E2014/003DE – 14ALS3301

Date : 9 janvier 2014

Avis sur l'origine des désordres survenus sur la commune de Lochwiller (67)

RAPPORT E2014/003DE – 14ALS3301

Diffusion :

DGPR / B3S
GEODERIS

LOUIS Aurélien
HADADOU Rafik
FRANCK Christian
KIMMEL Marion

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	M. KIMMEL	C. FRANCK	R. HADADOU
Visa			

SOMMAIRE

1	Contexte et objectifs	3
1.1	Origine de la demande.....	3
1.2	Organisation de l'étude	3
2	Contexte.....	3
2.1	Géographie.....	3
2.2	Altimétrie.....	4
2.3	Géologie	4
2.4	Hydrologie et hydrogéologie.....	5
3	Chronologie des évènements	6
3.1	Période avant 2008.....	6
3.2	2008.....	8
3.3	2009-2010.....	8
3.4	2011.....	8
3.5	2012.....	9
3.6	2013.....	9
4	Eléments d'information	10
4.1	Description des désordres	10
4.2	Nivellement et mesures.....	14
4.3	Eléments climatologiques	24
4.4	Eléments géologiques, hydrogéologiques et géotechniques	27
4.4.1	Observations géologiques sur le terrain	27
4.4.2	Log géologique du forage.....	27
4.4.3	Hydrogéologie et modification des écoulements souterrains	28
4.5	L'anhydrite et son évolution en présence d'eau	30
5	Avis sur les causes possibles	32
5.1	Phénomène écarté : le glissement profond	32
5.2	Causes principales et causes connexes	33
5.2.1	Cause principale : le gonflement de l'anhydrite	33
5.2.2	Phénomènes connexes.....	39
5.2.2.1	Retrait-gonflement des argiles.....	39
5.2.2.2	Dissolution locale du gypse, glissement et reptation superficiels.....	40
5.3	Evolution du phénomène	40
5.4	Recommandations.....	43
6	Conclusion - Synthèse.....	44
7	Documents consultés et bibliographie	45
7.1	Documents consultés.....	45
7.2	Bibliographie	46

Mots clés : Lochwiller, forage, géothermie, anhydrite, gonflement

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 Origine de la demande

Le Bureau du sol et du sous-sol au Ministère en charge de l'Ecologie a sollicité GEODERIS pour la rédaction d'un avis sur l'origine des désordres qui affectent depuis plusieurs années les habitations et la voirie d'un quartier de la commune de Lochwiller, dans le Bas-Rhin.

1.2 Organisation de l'étude

Le document comprend une présentation des différents contextes géographique, géologique, hydrogéologique, etc. Vient ensuite une reconstitution chronologique des événements survenus, des études réalisées, des aménagements, etc. Une synthèse des éléments recueillis sur le site est proposée, suivie de l'examen des différents phénomènes qui peuvent être incriminés pour expliquer les désordres observés à Lochwiller, ce qui permettra enfin de conclure.

GEODERIS a réalisé une enquête de terrain les 2, 3 et 6 décembre 2013 au cours de laquelle des entretiens avec de nombreux habitants sinistrés (cf. Figure 12) ainsi que le maire de Lochwiller ont pu être réalisés. Pour des raisons de délais et de présence des personnes à l'occasion de ces trois jours, les visites n'ont pu être exhaustives.

Les travaux de GEODERIS ont été réalisés avec les connaissances et les informations disponibles à ce jour.

La liste des documents consultés est proposée en fin de rapport, au chapitre 7.

2 CONTEXTE

2.1 Géographie

Le village de Lochwiller est situé dans le Bas-Rhin, au sud-sud-est de Saverne et au pied des collines sous-vosgiennes.

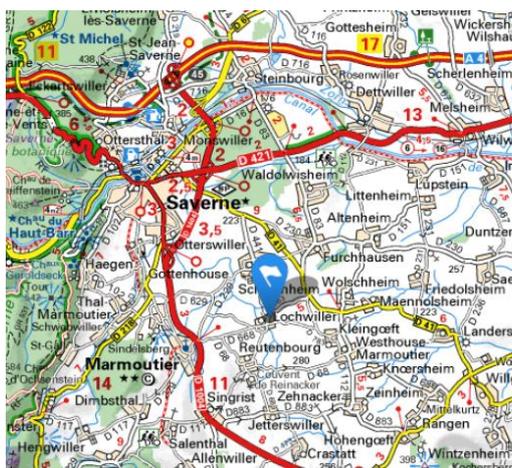


Figure 1 – Localisation de la commune de Lochwiller (source www.viamichelin.fr)

La figure suivante présente une vue satellite et un plan des rues qui permettra un repérage géographique utile lors de la lecture du présent document.



Figure 2 – Plan des rues dans le secteur étudié (source <https://maps.google.fr/> ; le lotissement impacté n'existe pas à la date du cliché)

2.2 Altimétrie

La zone d'étude s'inscrit dans un contexte de pied (habitations anciennes) et de pente (lotissements) de colline. Les lotissements sont construits entre les cotes approximatives de +216 et +240 m NGF (rues du Sonderberg et du Koelberg, et impasse du Koelberg). Les maisons plus anciennes de la rue de l'Etang reposent à une altitude comprise entre +211 et +216 m NGF.

La pente de l'impasse du Koelberg est de l'ordre de 20%.

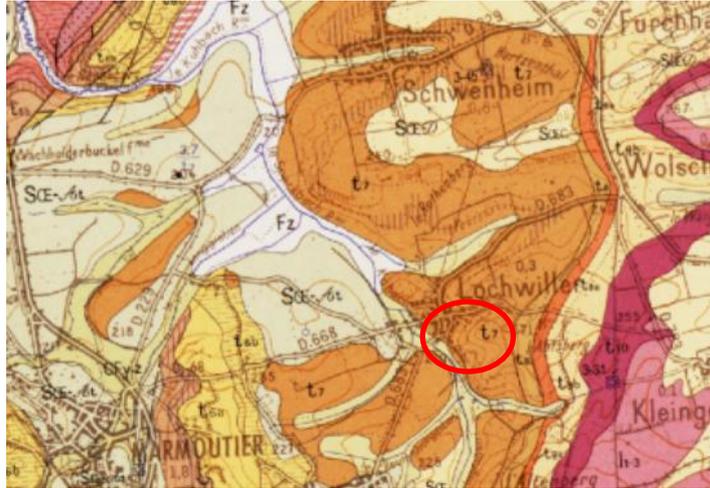
2.3 Géologie

La carte géologique de Saverne [1], éditée par le BRGM au 1/50 000, montre que la commune de Lochwiller est bâtie sur des formations géologiques sédimentaires du Trias supérieur, et plus précisément du Keuper inférieur.

Le Keuper, dans l'est de la France, est une formation riche en évaporites (roches constituées par différents sels cristallisés) correspondant à une paléogéographie de lagunes sursalées et constituée en grande partie d'argiles silteuses bariolées de teintes vertes et lie-de-vin appelées Marnes irisées. Son épaisseur est de 130 à 140 m. Les argiles comprennent une association d'illite et d'interstratifiés illite-chlorite.

Le sous-bassement de Lochwiller, qui date du Keuper inférieur (épaisseur de 100 m environ), est constitué, du haut vers le bas, par :

- des argilites dolomitiques verdâtres (Marnes à Esthéries, épaisseur 6 m) ;
- des argilites bariolées rouge et vert à nodules de quartz (Marnes irisées inférieures, épaisseur 12 m), pouvant contenir de l'anhydrite ou du gypse, à la base ou au sommet de la formation (la carte mentionne que c'est le cas près de Reutenbourg, à quelques kilomètres de Lochwiller) ;
- du calcaire cellulaire (Zellenkalk, épaisseur 2 à 4 m) ;
- des argilites dolomitiques verdâtres finement litées (Marnes à pseudomorphoses de sel, épaisseur environ 80 m). Ces marnes peuvent contenir des bancs ou des lentilles de gypse ou d'anhydrite.



**Figure 3 – Extrait de la carte géologique au 1/50 000 (BRGM)
En rouge : localisation de la zone d'étude à Lochwiller**

Le Keuper inférieur repose sur (du haut vers le bas) :

- la Lettenkohle : couches sédimentaires composées de calcaires dolomitiques, argiles silteuses, et dolomies (épaisseur 22 à 28 m) ;
- le Muschelkalk supérieur (50 à 70 m d'épaisseur) : couches sédimentaires composées de calcaires ;
- le Muschelkalk moyen (45 m d'épaisseur) : marnes dolomitiques en plaquettes, puis argilites bariolées rouges et grises et marnes dolomitiques verdâtres.

En contrebas de la colline où est bâti le lotissement touché par les désordres, affleurent des matériaux sédimentaires plus récents, de type limons, loëss, alluvions à proximité des cours d'eau (alluvions sablo-limoneuses).

2.4 Hydrologie et hydrogéologie

A Lochwiller circule un petit cours d'eau nommé Dachsgaben.

Ce cours d'eau a pu déposer localement des matériaux détritiques (alluvions), pouvant être le siège d'une petite nappe phréatique locale. Cette nappe de subsurface peut être également présente dans les loëss ou les limons de surface. Plusieurs puits ont été en effet observés sur la partie inférieure de la commune. M. Schorr (voir position de l'habitation en Figure 4), qui possède un puits dans sa cour, a mentionné le fait que son puits réalimentait mal et se dénoyait rapidement, ce qui va dans le sens d'une nappe de subsurface présente dans des matériaux fins. Le niveau d'eau dans ce puits à l'origine était à 6 m de profondeur environ.

Le Keuper n'est pas connu pour avoir des propriétés aquifères. Les argilites sont plutôt relativement peu perméables. Il n'est pas exclu que des circulations d'eau se produisent toutefois. De l'eau a été notée dans le forage géothermique Kandel au moment de la foration entre 11 et 18 m (cf. § 4.4).

En revanche, le Muschelkalk, qui est une formation calcaire, est le siège d'une nappe d'extension régionale, captive à l'échelle du fossé rhénan. Ce caractère captif provient du fait que la couche se trouve sous les argilites du Keuper qui constituent un écran, à une altitude bien inférieure à celle de sa zone d'alimentation, située généralement au droit des collines sous-vosgiennes, là où ce Muschelkalk affleure.

3 CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS

La chronologie des faits survenus à Lochwiller, et plus particulièrement au lotissement Weingarten, a été reconstituée avec les éléments recueillis au cours de notre enquête auprès des différents intervenants et des habitants rencontrés. Il est possible qu'elle ne soit pas exhaustive ou qu'elle soit parfois approximative, certains souvenirs n'étant pas datés précisément par les habitants.

La figure suivante présente la localisation des différentes habitations citées dans le texte.

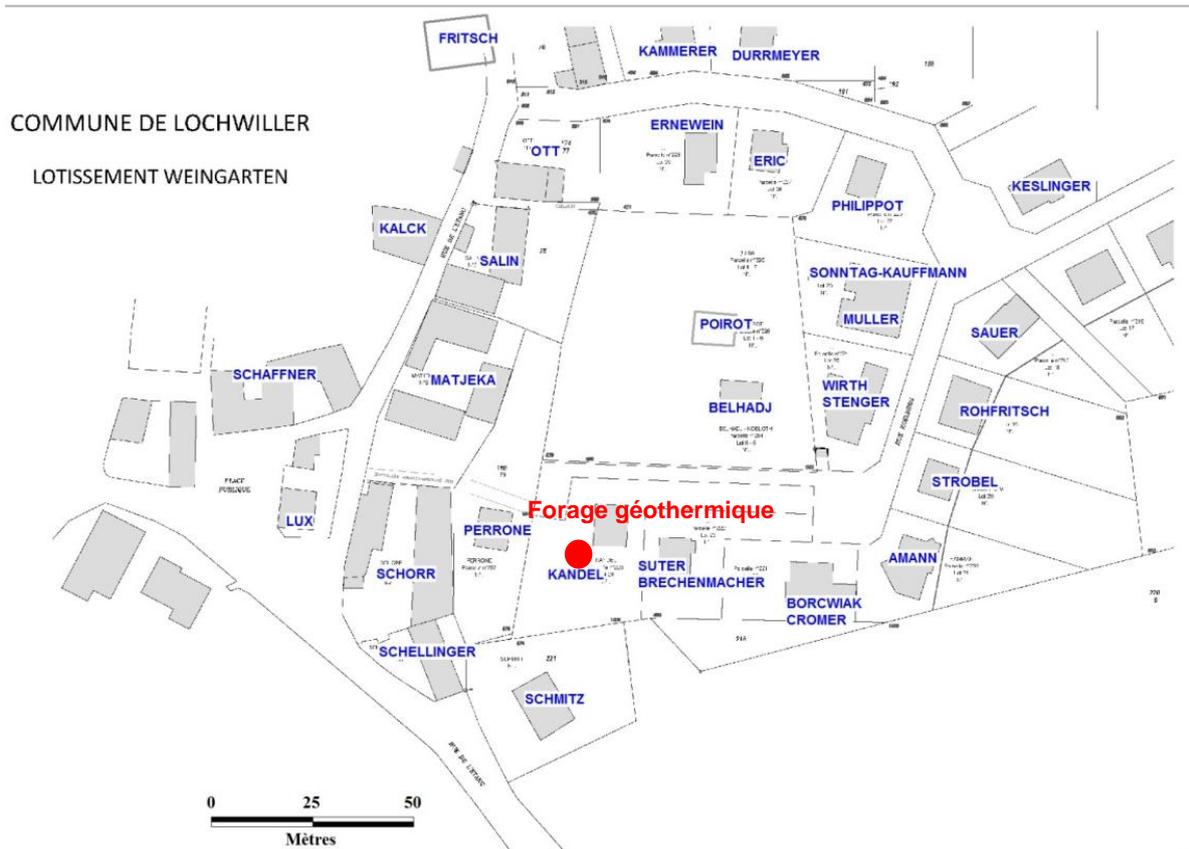


Figure 4 – Localisation des habitations citées dans le texte (fond ARCHIMED)

3.1 Période avant 2008

L'emplacement du lotissement Weingarten était préalablement occupé par un verger (cf. Figure 5 et Figure 6 ci-après).

En janvier 2006, le bureau d'études ARCADIS réalise un rapport de reconnaissance préliminaire des sols [2] en vue du futur lotissement Weingarten. Les conclusions et préconisations traduisent une grande sensibilité à l'eau des terrains superficiels.



Figure 5 – Vue aérienne vers 2004 (source : mairie de Lochwiller)



Figure 6 – Vue aérienne vers 2011 (source : <https://maps.google.fr>)

Résumé de l'étude ARCADIS

L'étude menée conclut à la présence d'argilites sous une faible couche de limons d'altération, à l'absence de circulations d'eau en subsurface (pas d'eau dans les piézomètres de 4 m de profondeur lors de deux visites), et à l'existence de ruissellements en cas de périodes pluvieuses intenses. Vis-à-vis des ruissellements de surface, ARCADIS recommande que les maisons soient protégées des eaux de ruissellement du côté amont par un drainage périphérique disposé dans un massif drainant avec un géotextile, et un exutoire gravitaire.

Vis-à-vis des argiles reconnues sous la couche de limons de surface, ARCADIS précise que ce genre de terrains perd sa portance quand leur teneur en eau augmente, et recommande que les réseaux enterrés soient réalisés et protégés avec soin, pour éviter toute fuite qui détremperait le terrain d'assise des maisons. De plus, il est recommandé que les talus de déblai définitifs aient une pente de $\text{tg}\beta = \frac{1}{2}$ (1 à la verticale pour 2 à l'horizontale), et que les eaux superficielles soient soigneusement collectées en tête et en pied de talus (cunette étanche en béton raccordée à exutoire suffisant et pérenne).

Il est préconisé que les réseaux enterrés reposent sur un lit de pose d'au moins 0,1 à 0,3 m (concassé, sable...), et que par ailleurs, les déblais ne soient pas réutilisés en remblai (sauf sous espaces verts) car des tassements pluricentimétriques pourraient se produire.

ARCADIS recommande que les fondations puissent être constituées par des semelles, de préférence filantes, pour pallier à la sensibilité à l'eau et limiter les tassements différentiels, ou des massifs.

La réception du bassin d'orage de l'impasse Koelberg et du réseau d'assainissement du premier lotissement aurait été réalisée en novembre 2006. Les maisons du premier lotissement (Espace et Habitat) ont été construites en 2006 (maison Sonntag-Kauffmann par exemple), 2007 (maison Kandel, Rohfritsch, Amann) et 2008 (maisons Sutter-Brechenmacher, Borowiak-Cromer, Philippot, Durrmeyer, etc.).

3.2 2008

Le forage géothermique implanté sur la propriété Kandel est réalisé du 18 au 20 février 2008 à une profondeur de 140 m. Le 20 février sont descendus deux tubes en U et une cimentation est engagée afin de reboucher le forage et de supprimer tout écoulement d'eau entre les différentes couches géologiques en présence. Le coulis s'infiltré dans des fissures vers 19-20 mètres de profondeur et ne remonte pas au jour. Vers mi-mars, des venues d'eau se produisent sur la propriété Schorr, au travers du mur de la grange qui est adossée au versant et au travers de l'escalier qui descend à la cave sous la partie d'habitation principale. La fosse de vidange située sous la grange se remplit également d'eau. Par ailleurs, le puits situé dans la cour voit son niveau monter beaucoup plus haut que d'ordinaire (1 m sous la surface, soit une remontée de 5 m).

Des cimentations du forage sont tentées à plusieurs reprises entre avril et octobre 2008. Deux injections de résine expansive sont réalisées à 14 m et 9 m de profondeur. Les venues d'eau cessent finalement dans la propriété Schorr, toutefois, le niveau d'eau dans le puits reste plus élevé que d'ordinaire (environ 2,5 m) et le puits, selon son propriétaire, réalimente mieux.

Parallèlement aux problèmes de venues d'eau, les propriétaires Schorr nous ont fait mention de décollement de pavés et d'apparition de fissures provoquant des soulèvements du sol de la grange déjà en 2008.

3.3 2009-2010

En 2009 apparaissent les premières fissures dans les murs de la chaufferie située dans la grange Schorr et sur le petit renforcement qui donne sur la rue de l'Etang. Parallèlement, des fissures apparaissent en 2009 sur la dépendance de l'habitation Lux, située en face de la propriété Schorr.

3.4 2011

2011 correspond à la date d'apparition des fissures dans plusieurs maisons à Lochwiller, localisées en majorité au bas de la colline :

- Matjeka : fissures en août 2011, rupture de l'escalier en septembre 2011 ;
- Schmitz : novembre 2011 ;
- Schellinger : soulèvement des pavés à l'arrière de la maison et fissuration du mur de soutènement fin 2011 ;
- Salin : 2011 ;
- Schorr : fissures aux bâtiments 2011, après la première vague de 2009. Apparition des fissures à l'intérieur du corps d'habitation ;
- Sutter-Brechenmacher : 2011.

La société FONDASOL est mandatée en 2011 pour réaliser une étude géotechnique [3] sur la propriété Schorr suite au problème de soulèvement des pavés dans la cour.

Résumé de l'étude FONDASOL

L'étude estime que 3 échantillons de marnes gris-mauve prélevés entre 0,4 et 3 m de profondeur dans deux forages ne se situent pas dans le domaine des argiles dites « gonflantes » (diagramme de Casagrande). Un quatrième échantillon prélevé entre 0,8 et 1,3 m se situe en limite des domaines des limons très plastiques et des argiles gonflantes.

L'étude affirme par ailleurs, au vu des limites d'Atterberg quantifiées en laboratoire, et de leur teneur en eau qui est homogène et moyenne, que les marnes en présence ne sont pas dans la zone des argiles soumises à retrait.

FONDASOL estime que le gonflement observé, qui provoque le soulèvement des pavés et la fissuration des bâtiments, est dû au gonflement des couches profondes (notamment les anhydrites) par un apport d'eau résultant du forage géothermique. En effet, le forage recoupe en profondeur des marnes à anhydrite du Keuper.

3.5 2012

La construction du deuxième lotissement par la commune est effectuée fin 2011 - début 2012 (maisons Belhadj-Kobloth et Poirot). L'assainissement (réceptionné en 2011) de la nouvelle rue construite s'écoule vers le nord.

Concernant l'apparition ou l'aggravation des désordres aux habitations, la chronologie suivante peut être retenue :

- Schellinger : apparition de fissures sur la maison en 2012 ;
- Philippot : apparition de fissures sur la maison en 2012 ;
- Rohfritsch : apparition de fissures sur la maison début 2012 ;
- Amann : apparition de fissures sur la maison en août-septembre 2012 ;
- Matjeka : forte aggravation des fissures sur la maison en mars-avril 2012, évolution tout au cours de l'année ;
- Borowiak-Cromer : apparition de fissures début 2012 ;
- Belhadj-Kobloth et Poirot : inclinaison de la maison depuis l'été 2012.

Des désordres se produisent sur la chaussée de l'impasse Koelberg, avec l'apparition de fissures et le soulèvement des regards. La rigole située près de la petite place en haut de l'impasse est constituée comme fuyant au minimum en juillet, août et novembre 2012 (vidéos fournies par un habitant). Des désordres aux canalisations sont observés, de plus, au droit de regards situés dans la rue de l'Etang.

Plusieurs sociétés réalisent des vidéo-inspections des canalisations et des réparations (rechemisage des réseaux).

3.6 2013

2013 correspond à la poursuite de l'apparition des désordres sur l'ensemble des habitations précédemment citées, et à l'apparition de fissures chez d'autres. On peut retenir :

- Schmitz, Schellinger, Schorr, Matjeka, Salin, Borowiak-Cromer, Sutter, Philippot, etc : aggravation des fissures et accentuation de l'inclinaison des maisons en 2013 ;
- Ott : apparition de désordres début 2013 ;
- Sonntag-Kauffmann et Kammerer : apparition de fissures en juin-juillet 2013 ;
- Schmitz : excavation des terrains à l'arrière de la maison en avril 2013 suite à la pression exercée sur le mur nord-est et l'accentuation très rapide des désordres ;
- Matjeka : démolition de la grange qui était menacée de ruine en septembre-octobre 2013.

Un particulier nous a rapporté que des désordres commencent à apparaître rue des Cigognes et sur la partie supérieure de la rue du Sonderberg (légères fissures sur les bâtiments). Par manque de temps sur le terrain, nous n'avons pas pu rencontrer tous les propriétaires de ces secteurs.

Une vidéo-inspection du bassin d'orage situé sur l'impasse Koelberg est réalisée en février 2013 et conduit à effectuer des réparations. Par ailleurs, en avril 2013 se produisent des ruptures de canalisations qui sont réparées rapidement.

Une crevasse apparaît à proximité de la maison Borowiak-Cromer en août 2013. Sa profondeur est mesurée à 3,27 m selon un habitant. Elle doit être rebouchée à plusieurs reprises.

En mars 2013 débutent les campagnes de nivellement sur la chaussée, les regards, les habitations. Elles ont lieu toutes les 6 semaines environ et prennent fin en novembre. Par ailleurs, début mars 2013, des inclinomètres sont posés par FONDASOL et relevés en mai et en juillet.

4 ELEMENTS D'INFORMATION

4.1 Description des désordres

Des désordres importants sont tout d'abord observés sur les chaussées, en particulier sur l'impasse Koelberg. L'enrobé subit des déformations, il comprend des fissures très ouvertes qui ont été réparées à plusieurs reprises, les regards du réseau d'assainissement se sont soulevés, etc.



Figure 7 – Vue vers l'est de l'impasse Koelberg en mars 2011 (source : *Google street*) et en décembre 2013



Figure 8 – Vue vers le nord-ouest du haut de l'impasse Koelberg en mars 2011 (source : *Google street*) et en décembre 2013

De nombreuses fissures sont apparues sur les façades des maisons, tout d'abord, puis à l'intérieur. La grange de la propriété Matjeka a dû être abattue car elle était devenue dangereuse. La grange de la propriété présente également des désordres importants, comme la maison d'habitation, et comme les habitations Matjeka, Salin, Borowiak, Amann,

etc. Quelques photos sont produites ici à titre d'exemple, le présent rapport ne prétend pas présenter un inventaire exhaustif des désordres qui sont très nombreux.



Figure 9 – Vue de la façade nord de l’habitation Matjeka (décembre 2013)



Figure 10 – Vue de l’intérieur de la chaufferie de l’habitation Schorr (décembre 2013)



Figure 11 – Vue de l'intérieur de la maison Salin (décembre 2013)

Certaines habitations, outre le fait de comporter des fissures qui continuent dans tous les cas à s'aggraver, s'inclinent, telles les maisons Kandel (pente 1,4% vers l'ouest en octobre 2013), Belhadj (pente 1,2% vers l'ouest), Amann (1,3% vers l'est-sud-est), etc.

Messieurs Schmitz et Schorr ont posé des extensomètres sur plusieurs fissures que comportent leurs maisons et effectuent des relevés mensuels depuis juin 2012. Ces données nous ont été fournies (cf. Annexes 1 et 2). Chez M. Schorr, à titre d'exemple, les mesures les plus marquantes sont l'ouverture du seuil entre le salon et le couloir, qui a augmenté de plus d'1 cm en 15 mois. Sa grange s'est rapprochée de sa maison de 2 à 4 cm selon les repères, entre mars et novembre 2013. Le mur amont de la maison Schmitz, juste avant la décision d'excaver les terres auxquelles il était appuyé, est rentré vers l'intérieur de 4,3 mm en un mois (au total 14,4 mm).

La figure ci-après présente une cartographie des maisons et des désordres en fonction des informations que nous avons pu recueillir. Un témoignage ultérieur par courriel fait mention d'apparition de désordres sur la chaussée de la rue du Sonderberg et sur la rue des Cigognes.

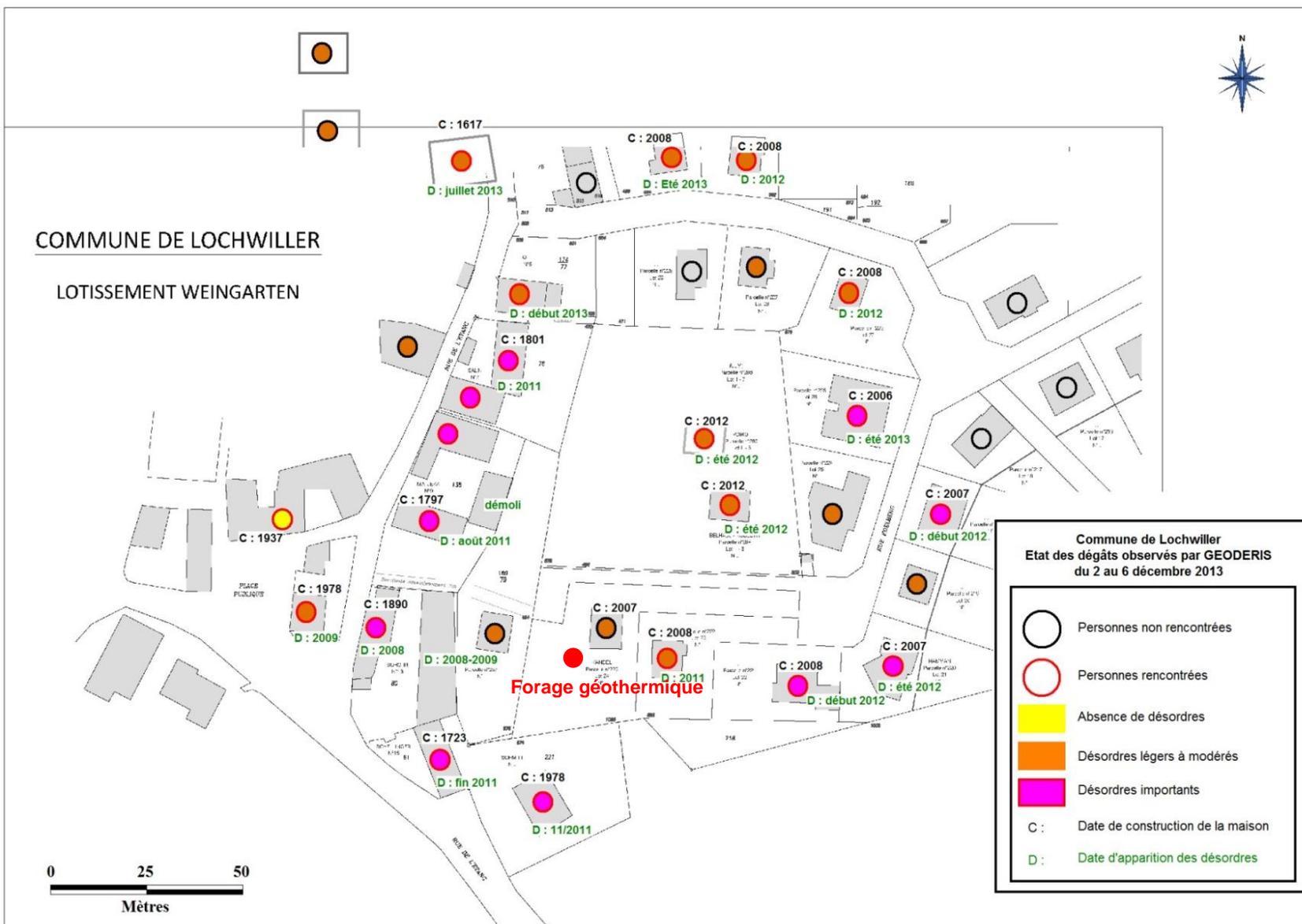


Figure 12 – Représentation cartographique des dates d'apparition des désordres aux habitations et de l'ampleur de ces désordres

4.2 Nivellement et mesures

GEODERIS dispose des données de nivellement réalisées dans le cadre de l'expertise judiciaire qui est en cours (données levées par le Cabinet ARCHIMED). Les mesures ont été réalisées entre février et novembre 2013.

Nous avons cherché à exploiter les données brutes.

Les figures suivantes présentent la répartition en secteurs qui a dû être réalisée pour plus de lisibilité, la position des points de nivellement (Figure 13), les écarts cumulés en centimètres entre mars et octobre 2013 (Figure 14), et des courbes d'évolution des écarts entre les levés des géomètres. L'allure générale des courbes du secteur B (haut de l'impasse du Koelberg, Figure 15) montre une évolution constante du soulèvement des points dans le temps. Celles des secteurs A (rue du Sonderberg, Figure 16) et C (secteur Schorr-Matjeka-Kandel, Figure 17) présentent une évolution moins linéaire. A ce jour, il ne peut pas être conclu à un quelconque début d'amortissement du phénomène.

La Figure 18 présente des courbes d'iso-gonflement réalisées par interpolation des données sur les écarts cumulés entre les mesures de nivellement de mars et d'octobre 2013. Cette représentation montre que le maximum de soulèvement des terrains sur cette période (24 cm en 7 mois) a eu lieu au droit de la maison Belhadj, soit à 50 m de distance du forage géothermique, vers le nord-est. On note que le terrain au droit des maisons Poirot et Borowiak s'est élevé de 20 et 15 cm respectivement. Il est à remarquer également que les points sur la rue du Sonderberg font état de 3 cm de soulèvement.

Les figures suivantes (Figure 20 et Figure 21) présentent des profils des écarts de nivellement cumulés le long de l'impasse Koelberg et en travers du lotissement, du NNW au SSW (emplacement des traits de coupes en Figure 19).

Ensuite, pour ce qui concerne les mesures de nivellement sur les regards des réseaux d'assainissement, les géomètres disposent de deux levés plus distants dans le temps : octobre 2011 et février 2013. Les Figure 22 et Figure 23 présentent la localisation de ces regards et les écarts de topométrie mesurés.

Les regards du haut de l'impasse Koelberg sont ceux qui ont présenté le plus de soulèvement (jusqu'à 53 cm en 16 mois). Près de la maison Kandel, on observe plutôt 12 à 17 cm, 1 à 4 cm près de la maison Schorr et jusqu'à 9 cm sur la rue du Sonderberg.

Enfin, les dernières figures (Figure 24 et Figure 25) du présent paragraphe présentent un profil est-ouest d'élévation des regards et un profil est-ouest topographique, afin de mettre en évidence les différences d'altitude des regards entre les deux périodes de mesure.

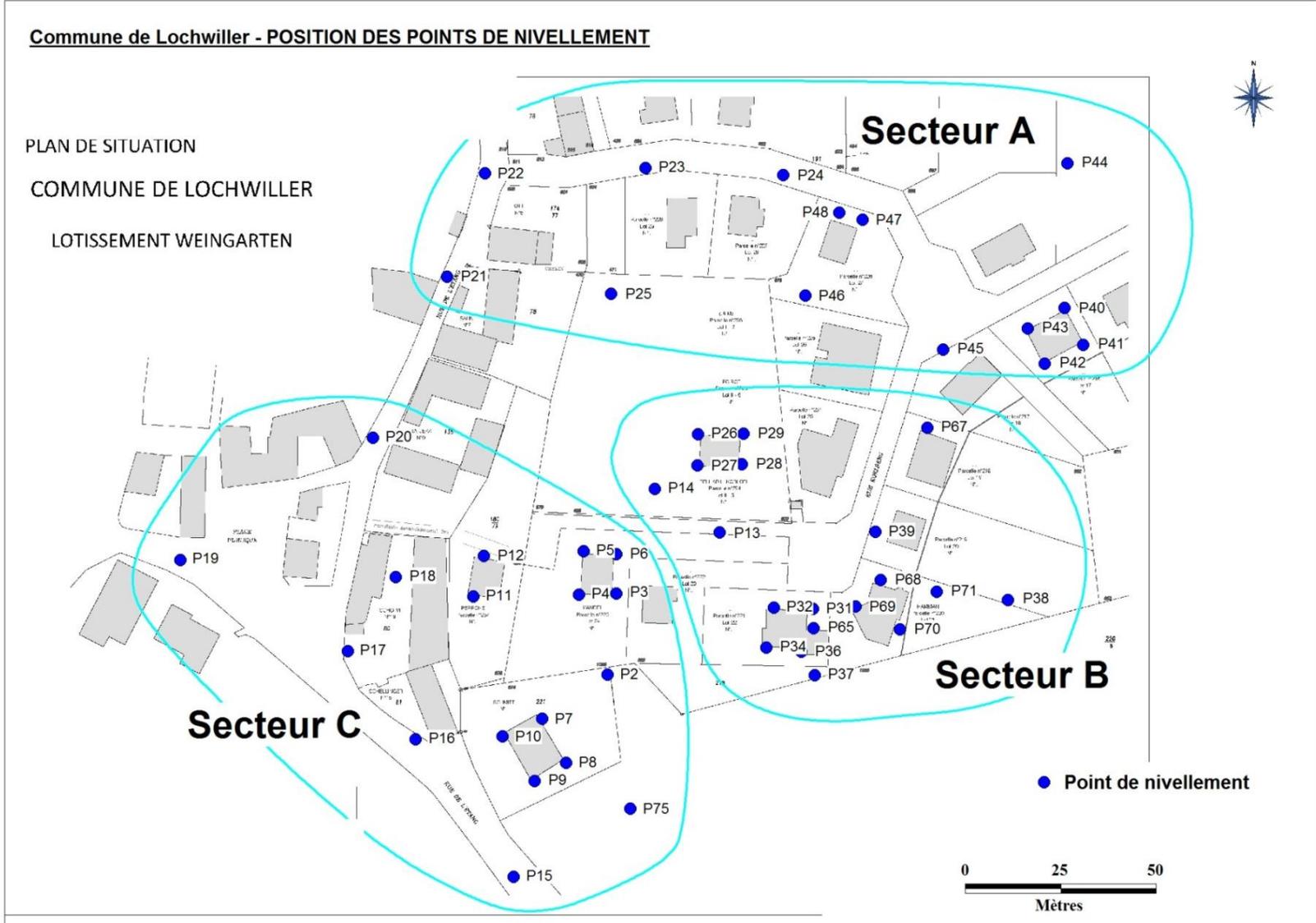


Figure 13 – Localisation des secteurs géographiques qui regroupent les mesures de nivellement et numérotation des points de nivellement (fond ARCHIMED)

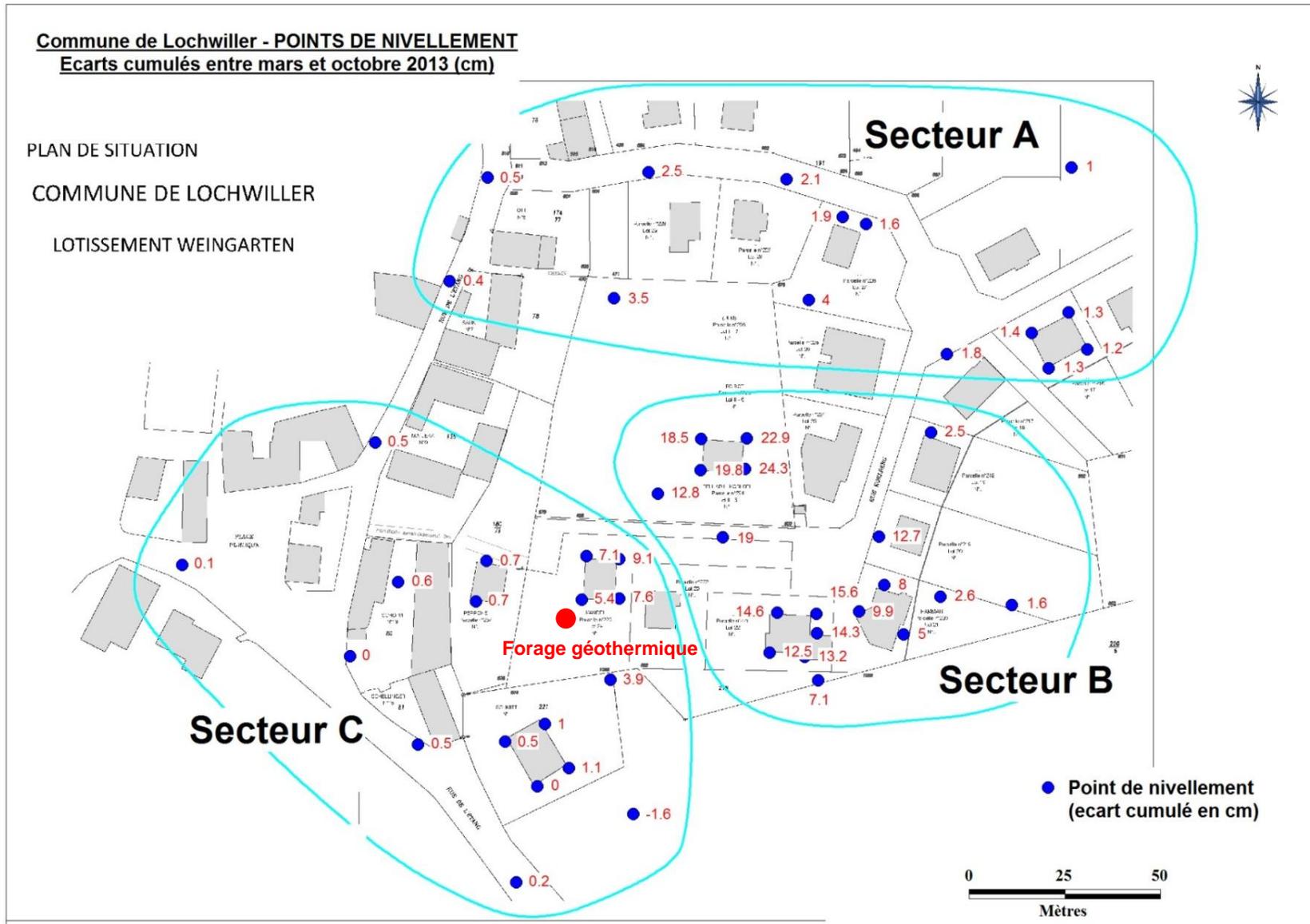


Figure 14 – Représentation géographique des écarts cumulés (en cm) entre les levés topographiques de mars et d’octobre 2013 (fond ARCHIMED)

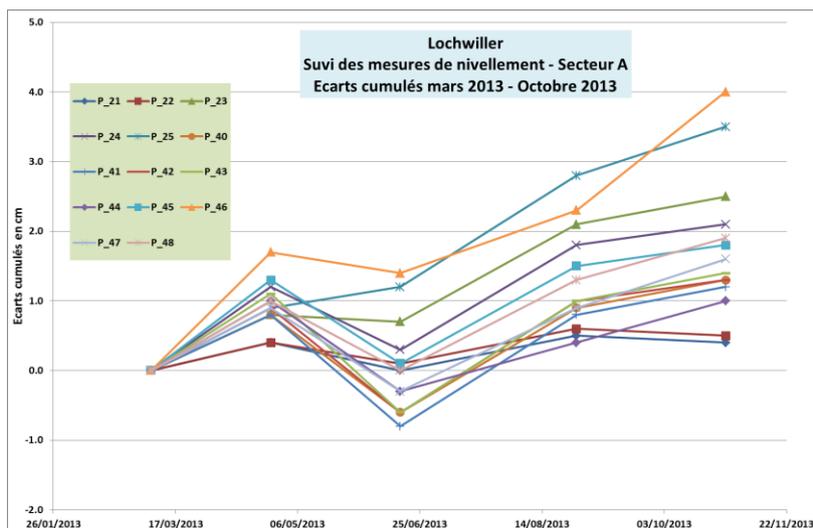


Figure 15 – Evolution des écarts constatés (en cm) sur les repères topographiques levés pour le secteur A

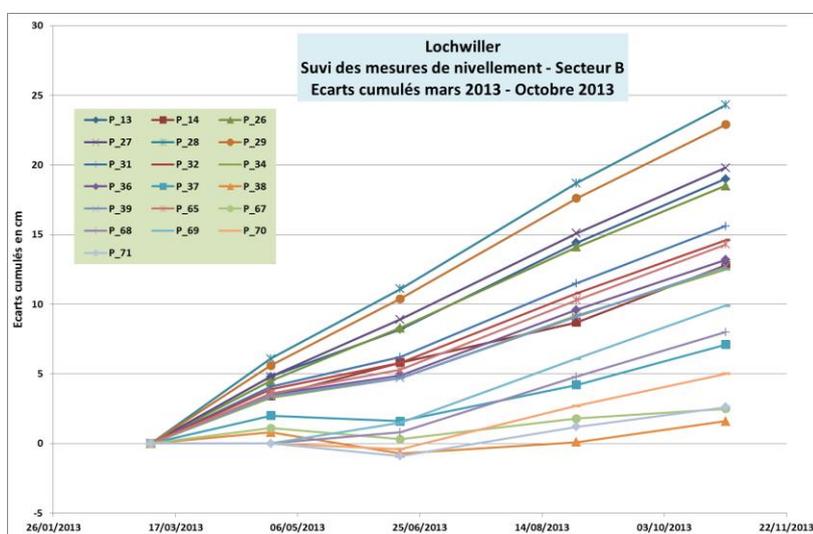


Figure 16 – Evolution des écarts constatés (en cm) sur les repères topographiques levés pour le secteur B

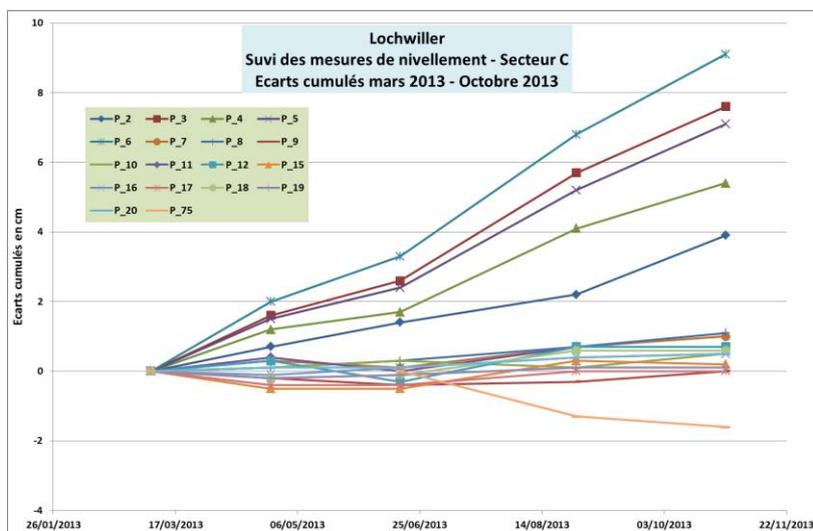


Figure 17 – Evolution des écarts constatés (en cm) sur les repères topographiques levés pour le secteur C

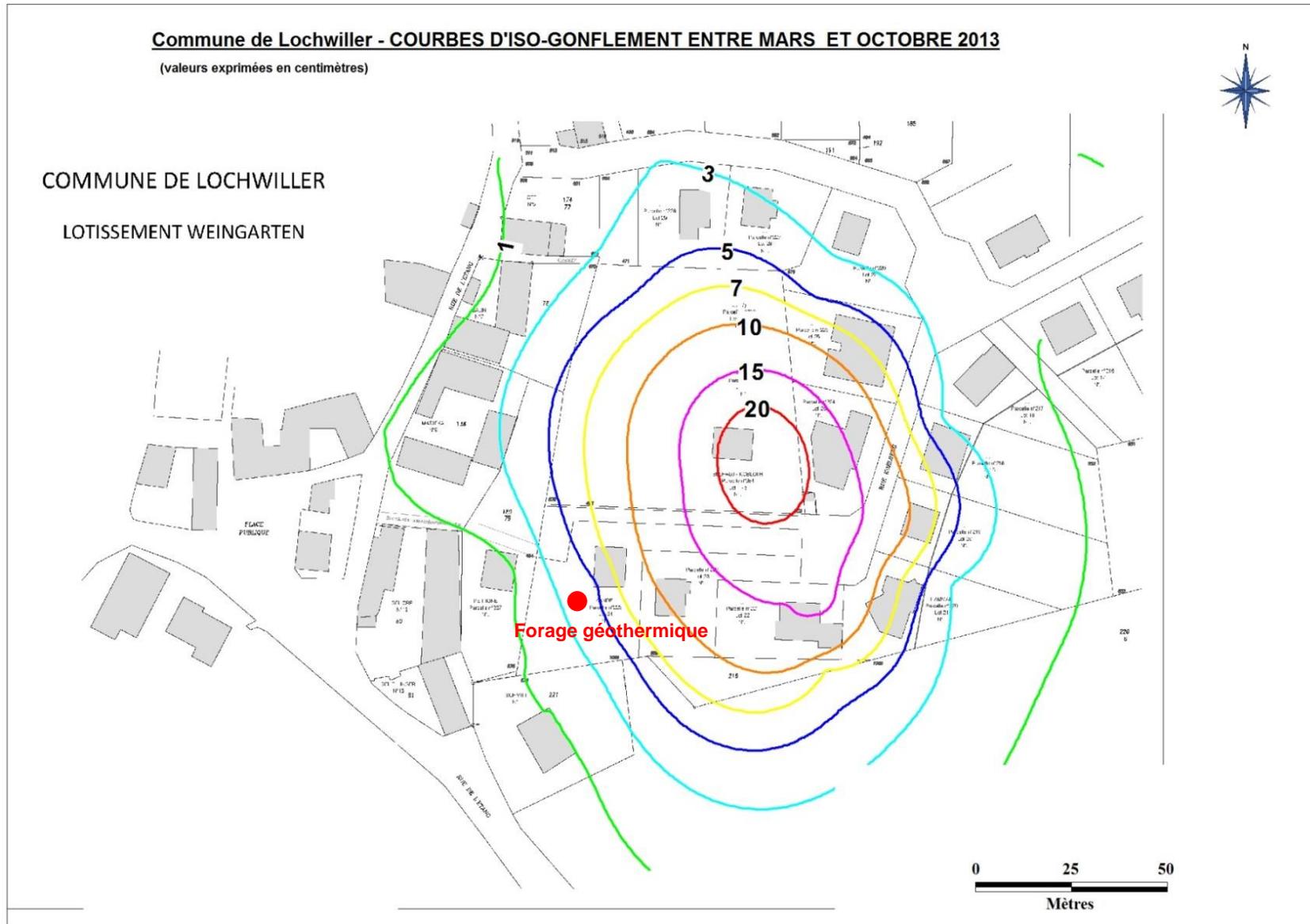


Figure 18 – Courbes d'iso-gonflement (en cm) construites à partir des levés topographiques de mars et octobre 2013 (fond ARCHIMED)

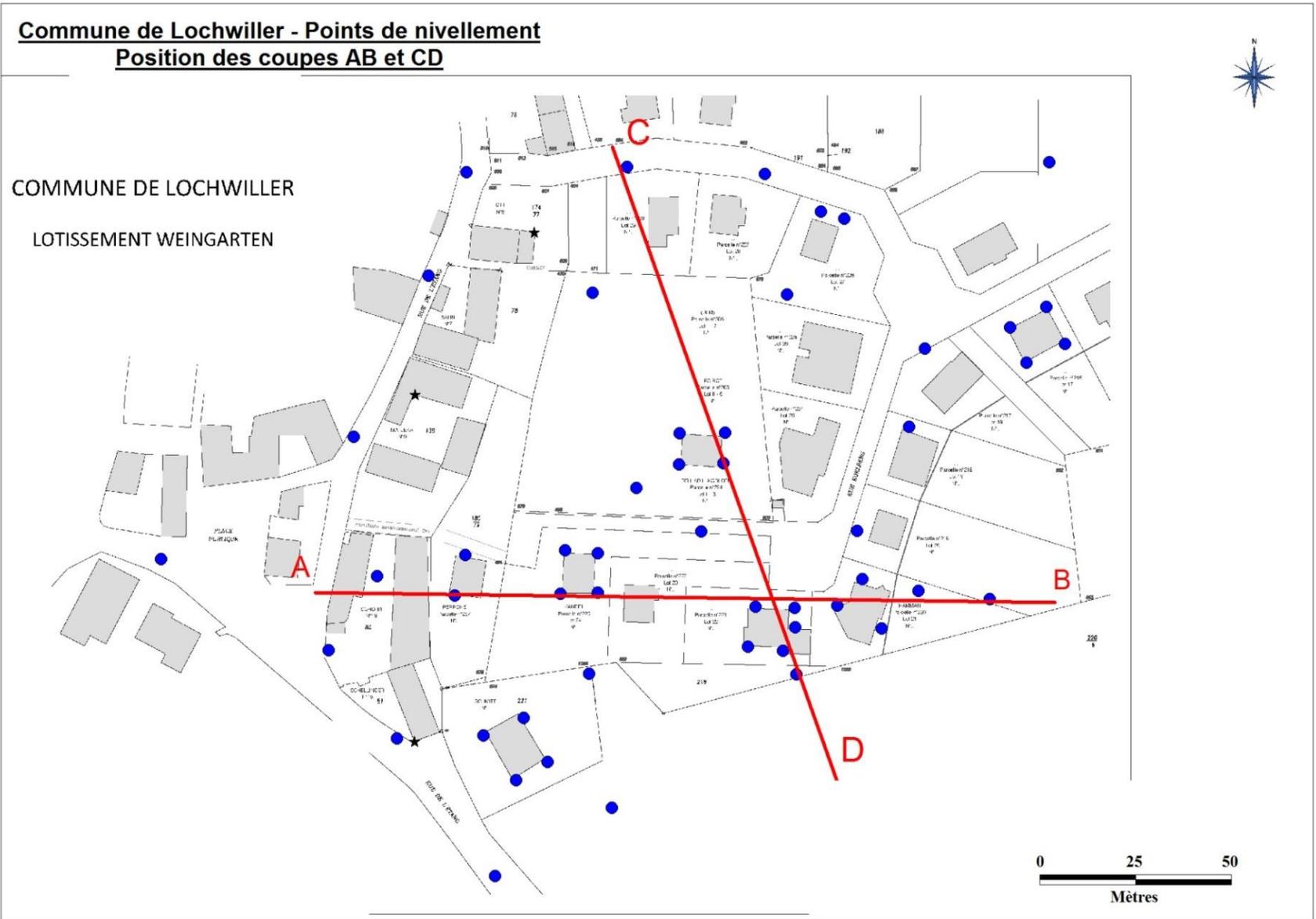


Figure 19 – Position des traits de coupes AB et CD (fond ARCHIMED)

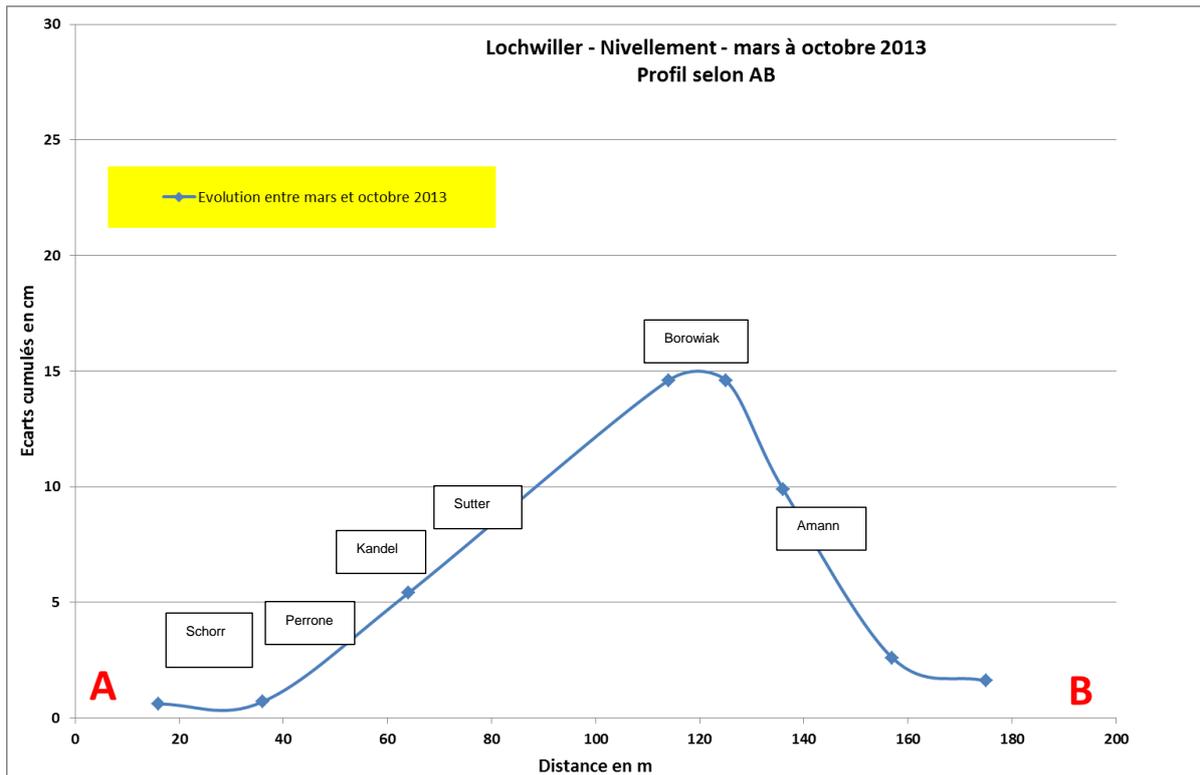


Figure 20 – Evolution géographique des écarts d'altitude observés (en cm) entre mars et octobre 2013 sur la coupe AB

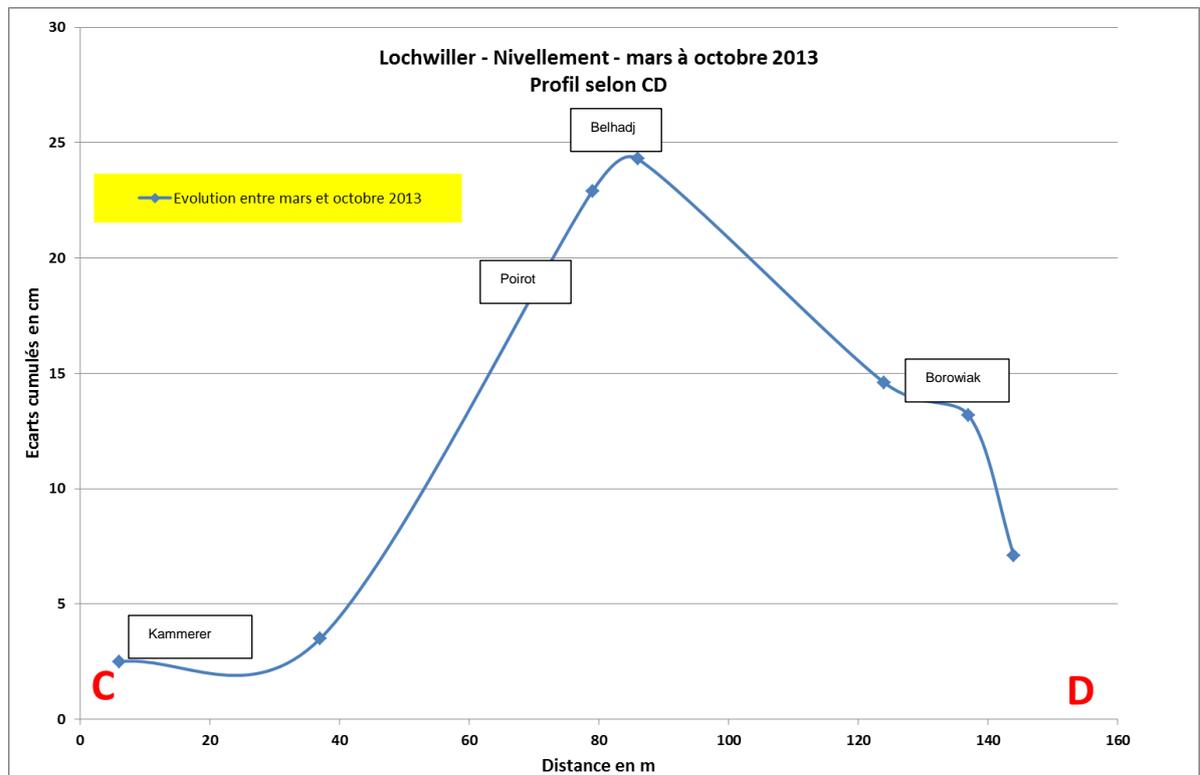


Figure 21 – Evolution géographique des écarts d'altitude observés (en cm) entre mars et octobre 2013 sur la coupe CD

Commune de Lochwiller - Positions et dénominations des regards

PLAN DE SITUATION DES REGARDS
COMMUNE DE LOCHWILLER
LOTISSEMENT WEINGARTEN

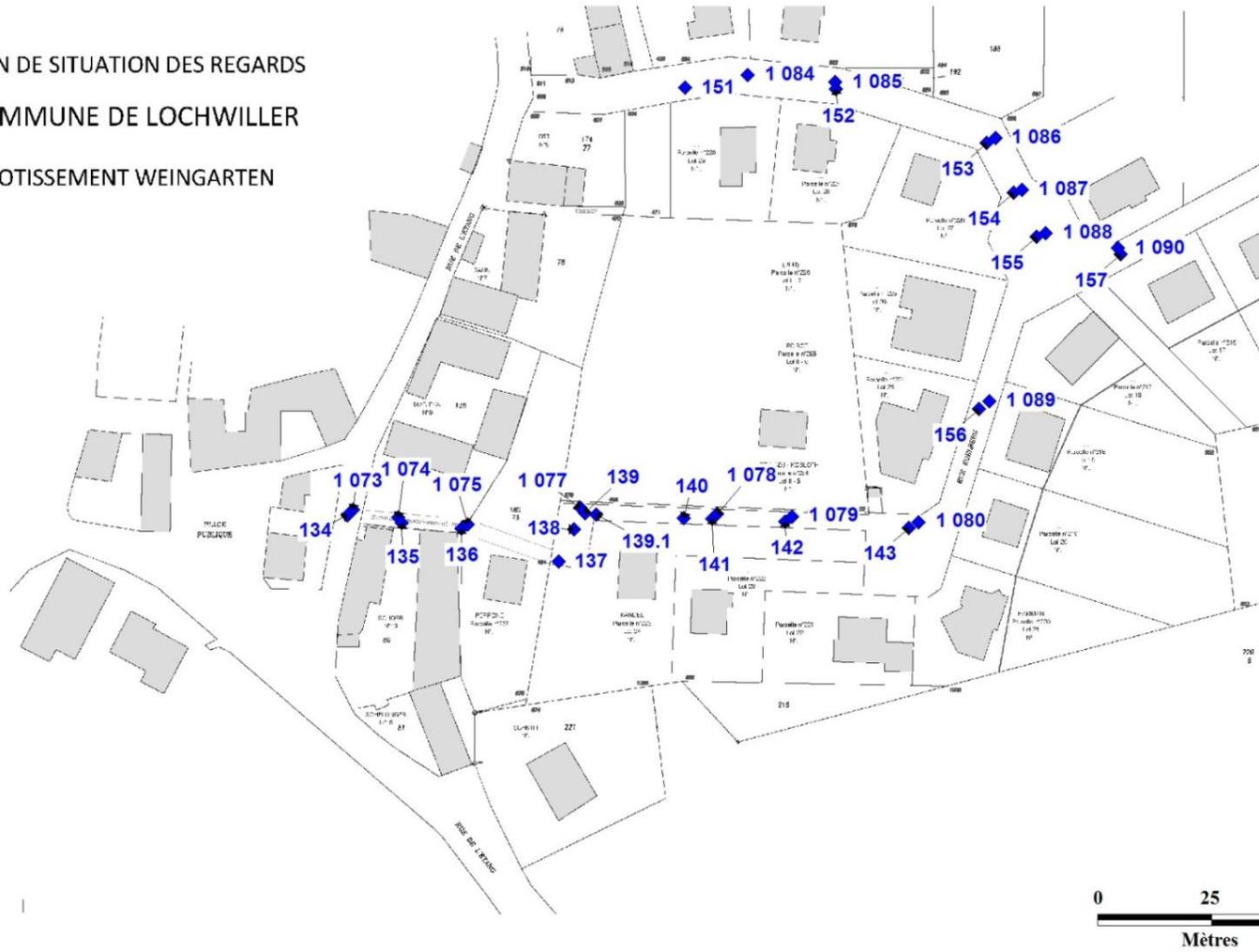


Figure 22 – Plan de situation des regards du réseau d’assainissement (fond ARCHIMED)

**Commune de Lochwiller - Ecart sur les altitudes des regards
entre les mesures d'octobre 2011 et février 2013 (en cm)**

PLAN DE SITUATION DES REGARDS
COMMUNE DE LOCHWILLER
LOTISSEMENT WEINGARTEN

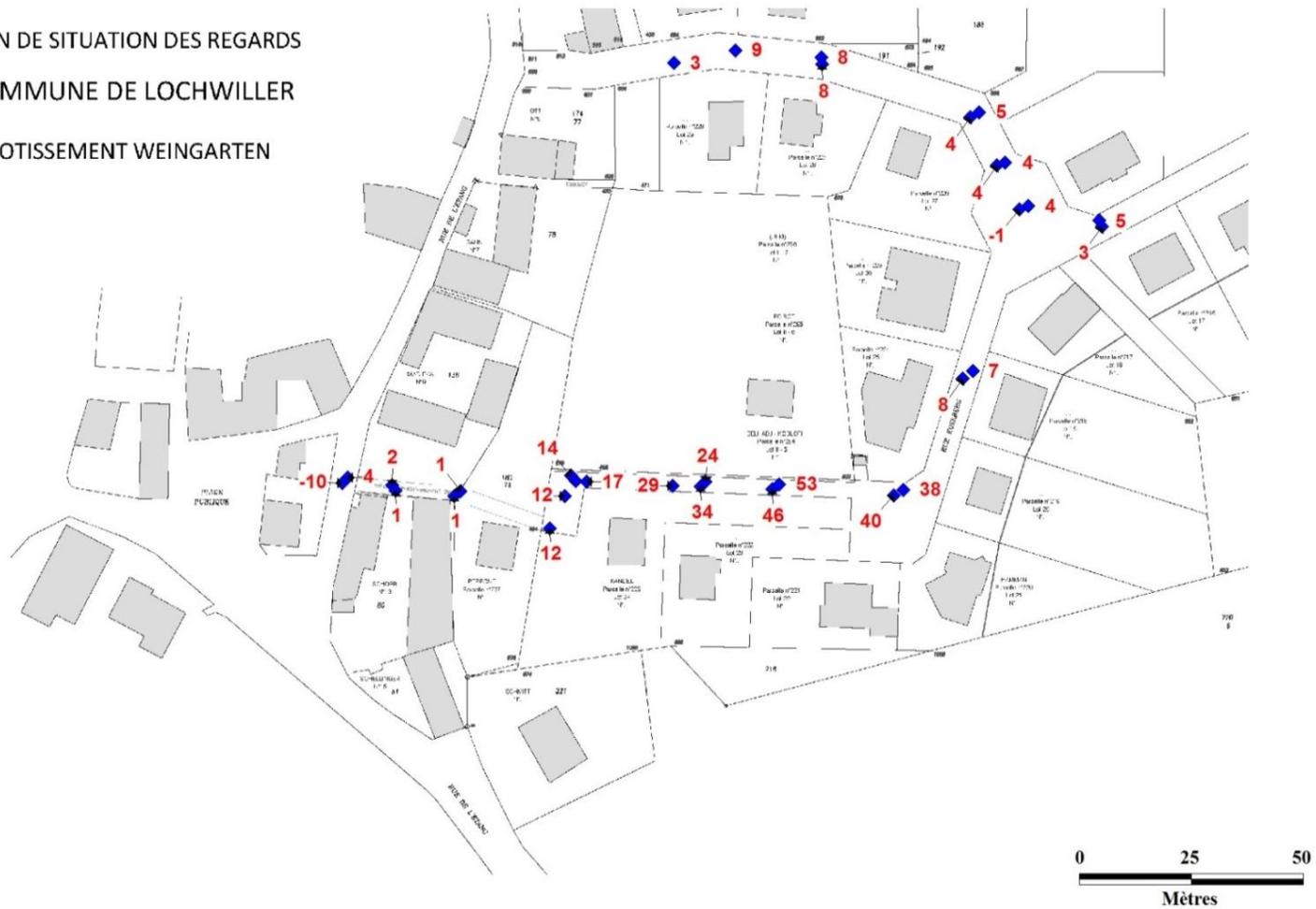


Figure 23 – Ecart d'altitudes constatés (en cm) sur les regards entre octobre 2011 et février 2013 (fond ARCHIMED)

Commune de Lochwiller - Position des regards et coupe EF

PLAN DE SITUATION DES REGARDS
COMMUNE DE LOCHWILLER
LOTISSEMENT WEINGARTEN

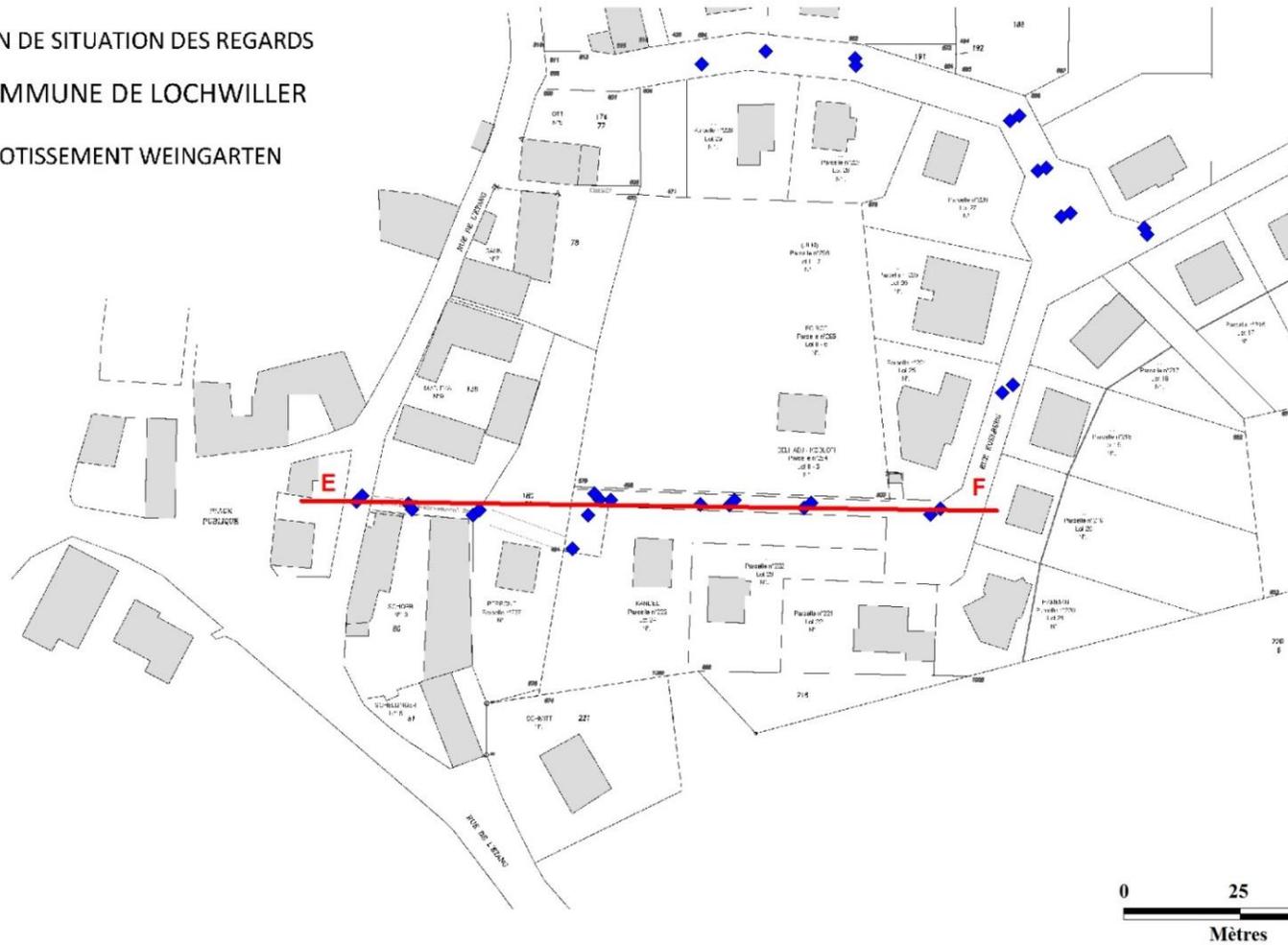


Figure 24 – Position des regards et de la coupe EF (fond ARCHIMED)

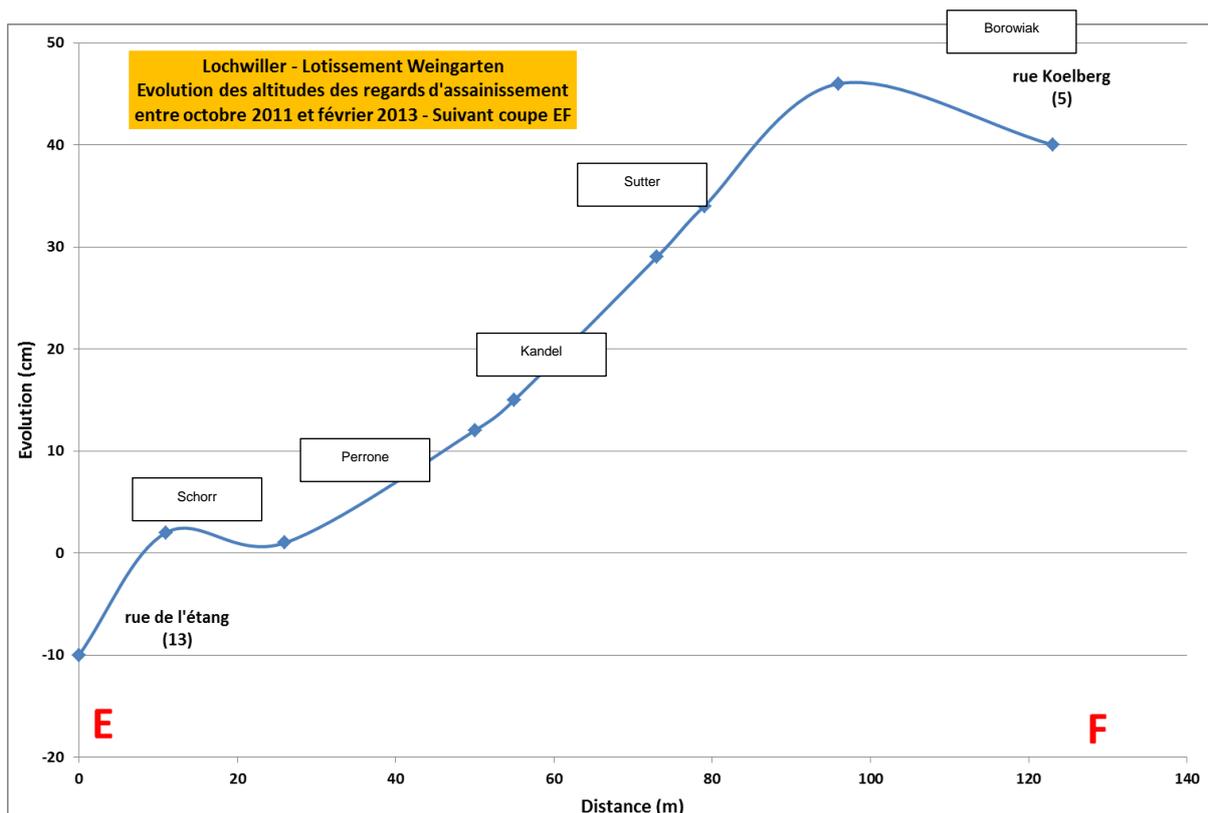


Figure 25 – Ecarts d'altitudes observés (en cm) sur les regards le long de la coupe EF entre octobre 2011 et février 2013

4.3 Eléments climatologiques

La figure suivante présente les données pluviométriques mensuelles de la station de mesure Strasbourg-Entzheim (données Météo-France).

A ces données sont ajoutées les moyennes mensuelles sur la période 1981-2012, auxquelles il est possible de se référer pour juger les précipitations sur un mois ou l'autre de ces dernières années.

Le bilan climatique Météo-France de l'année 2010 mentionne le fait que « *les précipitations [...] ont été excédentaires sur l'Alsace [...]* »¹. En effet, les données brutes montrent une année plus pluvieuse de 15% que la moyenne annuelle 1981-2012.

D'autre part, l'année 2011 a été déficitaire en termes de précipitations (-20%) par rapport à la moyenne 1981-2012 sur la station Strasbourg-Entzheim. Météo-France, dans son bulletin climatique de l'année 2011², précise que « *à la faveur d'un printemps exceptionnellement sec (le plus sec depuis au moins 1959), mais aussi d'un automne bien sec, 2011 compte parmi les années les plus sèches que la France ait connues au cours des cinquante dernières années. Cumulée sur l'ensemble du pays, la quantité d'eau recueillie en 2011 se situe sensiblement en-dessous de la normale annuelle avec un cumul de pluie déficitaire d'environ 17%.* ».

¹ <http://www.meteofrance.fr/web/comprendre-la-meteo/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/bilan-2010/bilan-de-lannee-2010#>

² <http://www.meteofrance.fr/web/comprendre-la-meteo/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/bilan-2011/bilan-de-lannee-2011#>

Météo-France ajoute, concernant le printemps 2011, que les « faibles pluies associées aux températures élevées ont entraîné un assèchement extrêmement précoce des sols superficiels sur la quasi-totalité du pays. A l'exception des régions méditerranéennes, les sols ont connu sur l'ensemble du pays un niveau de sécheresse jamais atteint à la fin du printemps au cours des cinquante dernières années ».

Ensuite, « les pluies ont été fréquentes durant l'été. La quantité d'eau recueillie sur l'ensemble du pays est supérieure de presque 30% à la normale ». Enfin, « la France a connu un automne 2011 exceptionnellement chaud, extrêmement sec sur une grande partie du pays et remarquablement ensoleillé. Dans l'Ouest, le Sud-Ouest et le Nord-Est, les déficits de précipitations ont été souvent supérieurs à 50%, parfois même à 60% ».

Ces informations météorologiques seront interprétées plus loin.

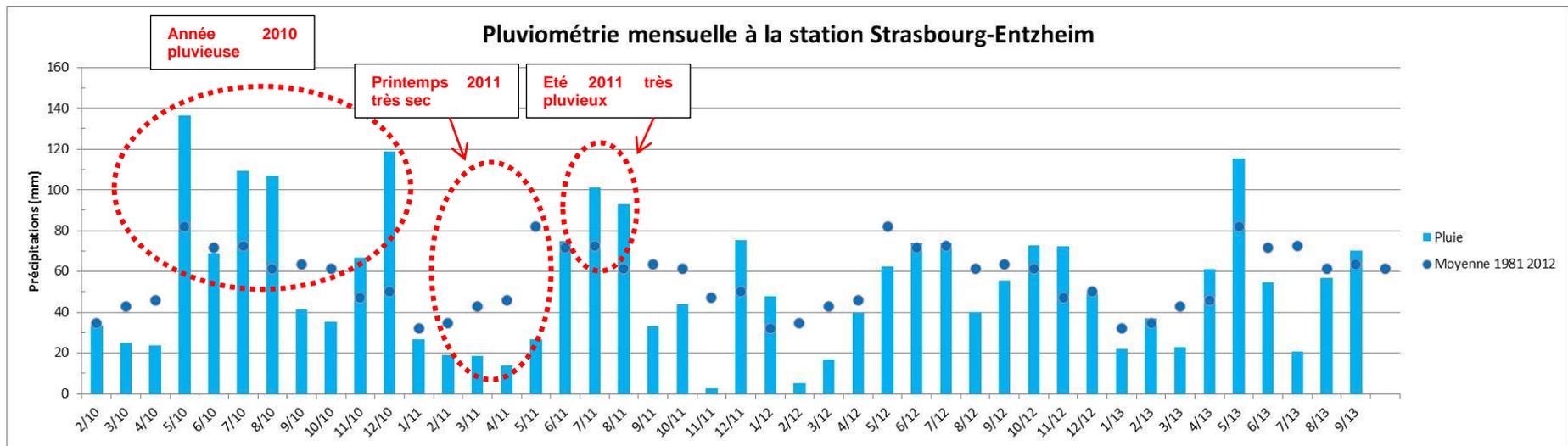


Figure 26 – Pluviométrie mensuelle à la station Météo-France Strasbourg-Entzheim entre 2010 et 2013, et moyennes mensuelles sur la période 1981-2012 (données Météo-France)

4.4 Eléments géologiques, hydrogéologiques et géotechniques

4.4.1 Observations géologiques sur le terrain

Deux affleurements rocheux ont été examinés lors de la visite du 2 décembre 2013 : l'affleurement visible à l'emplacement de l'ancienne grange de la propriété Matjeka, sur une hauteur de 4-5 m, et l'affleurement visible après le décaissement réalisé en amont de la maison Schmitz (hauteur 2-3 m).

Il a été observé des argilites bariolées plus ou moins marneuses, de couleur lie-de-vin ou verte, à nodules comprenant des cristaux translucides de couleur gris-rose et une composante sableuse (maison Schmitz uniquement). Ces cristaux sont des cristaux de quartz (ils rayent le verre). Il apparaît donc que la couche affleurant en partie inférieure de la colline appartienne à la formation des Marnes irisées inférieures, qui sont connues pour présenter des nodules de quartz.

Un pendage en direction du nord-est (7-10° maximum) a été relevé.

Le Keuper affleure sous une couche de limons d'altération présents en surface, épaisse d'environ 1 m.

4.4.2 Log géologique du forage

Les informations relatives à la géologie du forage sont consignées dans le rapport du BRGM de 2008 [4]. Elles sont synthétisées ci-dessous.

Le forage présente une profondeur de 140 m. Il a été réalisé en diamètre 200 mm, d'après la coupe technique réalisée par le BRGM. Il comprendrait un tubage de 80 mm et une cimentation ciment + bentonite « STUVA » entre le tube et l'extrados.

Les foreurs ont relevé les terrains suivants :

- 0 - 1,8 m terre ;
- 1,8 - 6,5 m argile sableuse jaunâtre et molle ;
- 6,5 - 11 m argile grise humide ;
- 11 - 18 m marnes et calcaires fissurés gris, un peu d'eau ;
- 18 - 58 m marnes et calcaires durs gris ;
- 58 - 140 m calcaires durs, gris, puis blancs.

Il s'agit d'une description peu précise qui permet difficilement de fixer les limites des différentes formations sédimentaires citées plus haut (cf. § 2.3). Le toit du Muschelkalk a été atteint à - 58 m probablement. Cette formation ayant une épaisseur maximale de 70 m environ, le forage aurait dû, comme cela est souligné par le BRGM, pénétrer d'une vingtaine de mètres dans le Muschelkalk moyen. Les faciès décrits par les foreurs ne correspondent pas à cette formation sédimentaire composée de marnes et d'argilites. Le BRGM émet l'hypothèse d'une surépaisseur de terrains provoquée par une possible faille, toutefois, cette hypothèse semble peu probable étant donné que, dans le contexte distensif du fossé rhénan, les failles sont toutes normales et provoquent des amincissements des couches et non des surépaisseurs.

La limite Lettenkohle - Keuper est difficile à placer. La Lettenkohle ayant une épaisseur de 21 à 28 m dans le secteur, une épaisseur de 25 m a été retenue, au-dessus du toit du Muschelkalk, portant la profondeur du toit de la Lettenkohle à - 33 m.

Cette interprétation géologique reste incertaine du fait du caractère très succinct des descriptions des cuttings par l'entreprise de forage.

4.4.3 Hydrogéologie et modification des écoulements souterrains

Lors de la foration, les terrains sont apparus secs aux foreurs, qui ont noté seulement un peu d'eau entre 11 et 18 m de profondeur. Les terrains sont restés secs jusqu'au toit du Muschelkalk, où une venue d'eau a été observée à - 64 m. Le lendemain matin, l'eau était remontée à - 11,6 m, ce qui met en évidence le caractère captif de la nappe du Muschelkalk.

Selon GEODERIS, et selon d'autres sources consultées, la perforation du Muschelkalk et l'échouage des tentatives de rebouchage du forage ont occasionné l'envahissement des terrains à anhydrite du Keuper par de l'eau, sur toute la hauteur de cette couche vraisemblablement. Les eaux peuvent ainsi migrer dans les terrains, plus facilement dans des directions horizontales que verticales, du fait que la perméabilité de ce genre de terrains sédimentaires est supérieure en horizontal qu'en vertical. De plus, il est probable que les eaux se dirigent préférentiellement dans le sens du pendage, c'est-à-dire dans la direction des couches géologiques.

L'eau a ainsi pu migrer dans les colluvions de pente et vers l'extérieur, où elle a émergé au droit de la propriété Schorr, provoquant ainsi une alimentation en eau des niveaux faiblement aquifères exploités par les puits du village (les analyses chimiques et isotopiques réalisées par le cabinet Plume montrent en effet que les eaux du puits Schorr, au moment de l'inondation, présentaient un faciès intermédiaire entre les eaux profondes issues du forage Kandel et les eaux d'un puits du village situé à l'écart).

Le fait que le puits Schorr conserve un niveau d'eau plus élevé (- 2,5 m environ en 2013) qu'avant 2008 (- 6 m) et qu'il réalimente mieux témoigne d'arrivées d'eau qui continuent à se produire à partir du forage. Les tentatives de colmatage ont toutefois permis une amélioration de la situation puisque l'eau, dans le puits Schorr, en avril 2008, était montée à - 1 m.

La figure suivante (Figure 27) présente une coupe géologique et hydrogéologique des situations avant forage, après forage (mars 2008) et après tentatives de colmatages (situation en 2013). Elle tient compte des niveaux relevés dans les différents ouvrages et fournis dans les documents consultés.

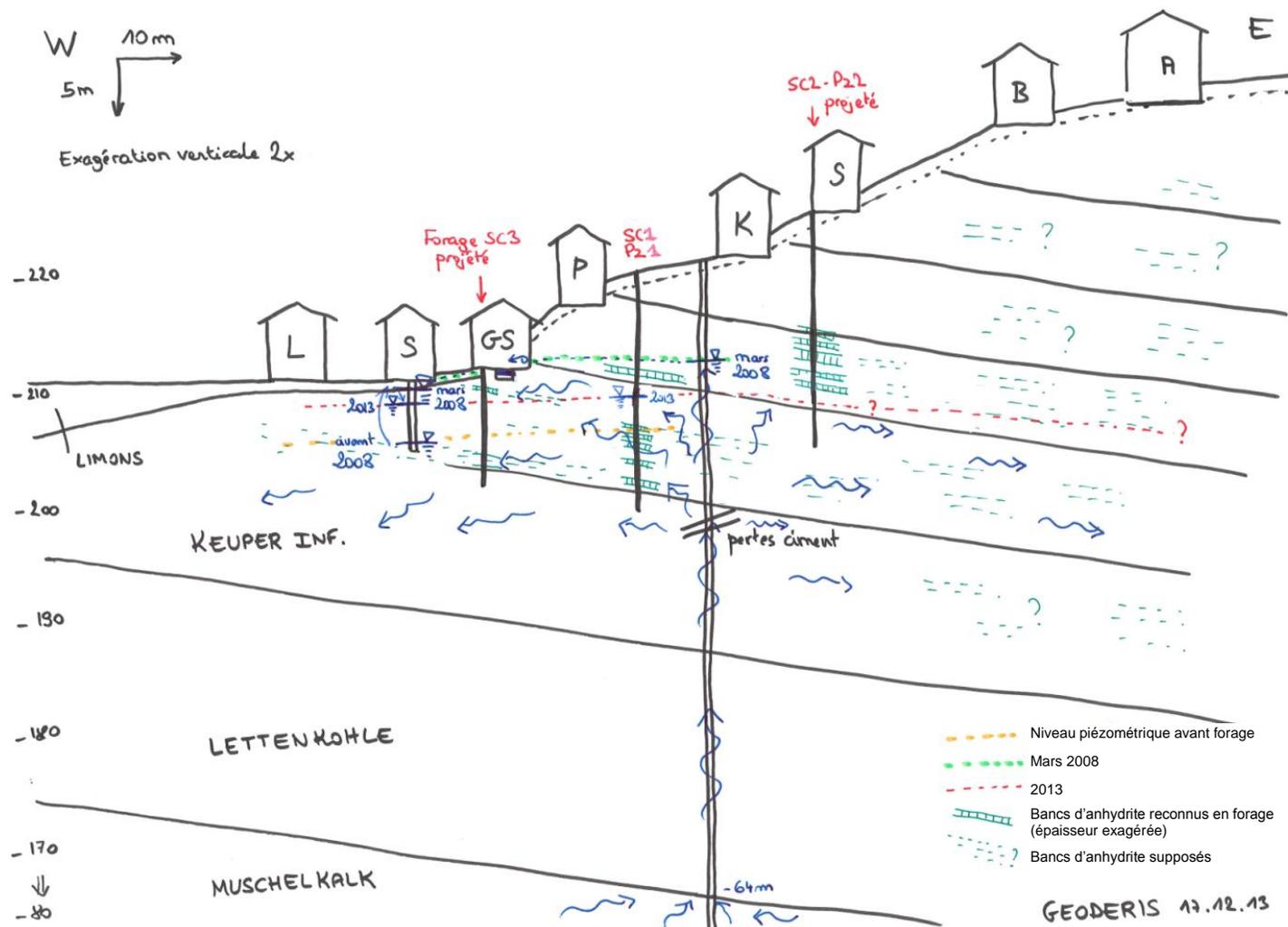


Figure 27 – Coupe hydrogéologique présentant les niveaux et les circulations d'eau dans les terrains avant, juste après le forage et après stabilisation suite aux colmatages

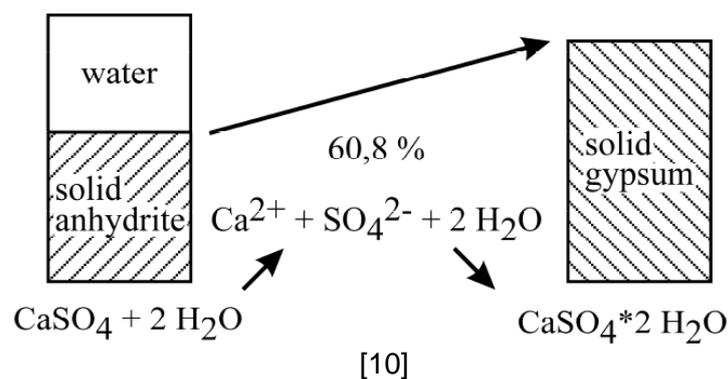
4.5 L'anhydrite et son évolution en présence d'eau

Le Keuper inférieur de l'est de la France est connu pour comporter, à plusieurs niveaux, des bancs de gypse et d'anhydrite. Il s'agit d'évaporites, qui sont des roches sédimentaires constituées de minéraux ayant précipité à la suite d'une augmentation de leurs concentrations dans des eaux très salées. De nombreuses études et travaux ont été réalisés dans le cadre de projets ou désordres observés sur des tunnels traversant les formations anhydritiques du Keuper (en Allemagne et en Suisse). Le point ci-après, sans viser à l'exhaustivité vu le temps imparti à l'étude, permet d'appréhender les principaux éléments sur le comportement de l'anhydrite et des argiles en présence d'eau.

De l'anhydrite et du gypse ont été reconnus dans les forages exécutés par FONDASOL [3].

Le gypse et l'anhydrite sont des minéraux composés de sulfate de calcium, hydraté pour le premier (formule chimique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), c'est-à-dire comprenant des molécules d'eau dans son réseau cristallin, et dépourvu d'eau pour la seconde (formule chimique CaSO_4).

Le passage de l'un à l'autre peut se faire en phases solides (déshydratation ou réhydratation à l'état solide) mais, dans d'autres cas, la dissolution de l'anhydrite dans l'eau présente dans le milieu est suivie par la cristallisation de gypse [A].



L'apparition de gypse à partir d'anhydrite est à l'origine d'un gonflement de 61% (1 mole d'anhydrite $46,2 \text{ cm}^3 \rightarrow$ 1 mole de gypse $74,3 \text{ cm}^3$).

Les propriétés géomécaniques de l'anhydrite sont les suivantes :

	Densité	Résistance à la compression uniaxiale	Angle de frottement interne	Cohésion	Module de déformation
Anhydrite massive	2,89-2,93	50-150 MPa	31-39°	10-40 MPa	10-40 GPa
Anhydrite intercalée de marnes		10-30 MPa	35-50°	1,5-20 MPa	3-20 GPa

Tableau 1 – Propriétés géomécaniques de l'anhydrite ([B], citées dans [C])

La texture de la roche détermine l'évolution temporelle et le potentiel de gonflement des minéralogies en présence :

- les roches anhydritiques pures ne gonflent pratiquement pas ;
- un gonflement se produit si le contenu en argile dépasse 5%, avec des pressions de gonflement excédant 1 MPa ;

- les roches se composant de 10 à 15% d'argiles et de 70 à 75% d'anhydrite présentent un potentiel de gonflement excédant 4 MPa (déformation axiale inférieure à 2,5%) ;
- lorsque le contenu en argile dépasse 15% et que celui de l'anhydrite est inférieur à 70%, le potentiel de gonflement diminue.

Plus un échantillon d'anhydrite argilifère contient d'argile, plus la transformation d'anhydrite en gypse se fait rapidement. Après deux ans, et en l'absence de toute contrainte, des échantillons à 5% d'argile présentent un volume de gonflement supérieur à 100% alors que 90% de l'anhydrite s'est transformé en gypse [D].

Bien que l'anhydrite soit reconnue comme la cause principale du gonflement des roches mixtes (argile + anhydrite), la tendance actuelle est à attribuer à la présence de minéraux argileux, comme la corrensite, la montmorillonite et l'illite, une grande partie des effets de gonflement [E].

La durée du processus de gonflement est très longue. La plupart des essais en laboratoire se sont terminés avant qu'un état stationnaire ne soit atteint. Le gonflement de l'anhydrite dans un tunnel ferroviaire suisse instrumenté n'est toujours pas stabilisé 20 ans après [F].

L'anhydrite se dissout dans l'eau interstitielle et, comme le produit de solubilité du gypse est inférieur à celui de l'anhydrite, le gypse précipite à partir de la solution tandis que les ions calcium et sulfate peuvent circuler par convection et, en raison de gradients de concentration ionique, également par diffusion. La dissolution de l'anhydrite et la précipitation du gypse se produisent conjointement avec le processus de transport. En plus de la cinétique de réaction, la vitesse de circulation de l'eau interstitielle est également importante. Il est théoriquement possible et il a été observé que la dissolution-lixiviation de la roche se produise dans un secteur, et que la cristallisation du gypse se produise dans un autre secteur, même s'il était vierge d'anhydrite initialement.

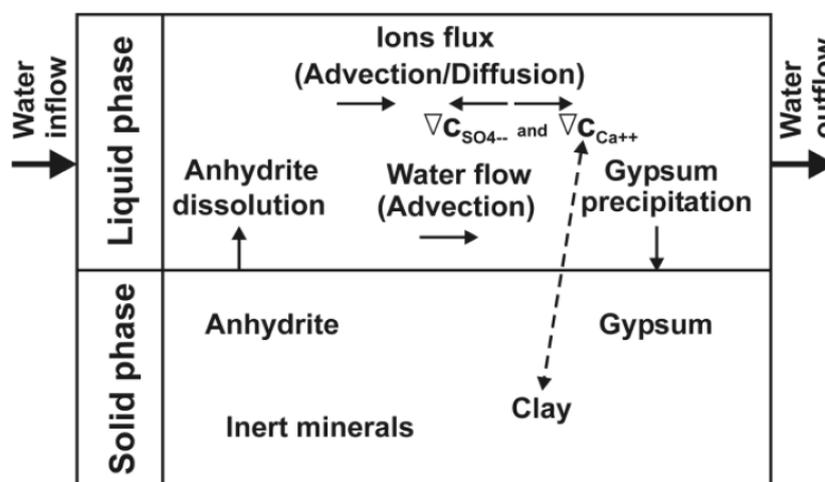


Figure 28 – Phases et constituants du milieu poreux et processus en présence [F]

Les différentes configurations d'écoulement des eaux souterraines à grande échelle peuvent être la raison de la variabilité observée dans l'intensité du gonflement. Celle-ci varie en fonction des conditions d'écoulement et de leur évolution en cas d'intervention anthropique, type creusement d'un tunnel ou autre, en fonction de l'hydrologie de surface, des écoulements de subsurface, des structures géologiques ou de la morphologie du sol. La perméabilité des terrains et la vitesse d'écoulement qui en découle sont importantes (d'après [F]).

Comme la dissolution de l'anhydrite et la précipitation du gypse sont des processus plutôt lents, il semble que, dans le cas de déformations d'amplitude importante, le gonflement de la matrice argileuse joue un rôle prépondérant. Toutefois, l'importance du gonflement de la matrice argileuse au regard de celle de l'anhydrite est peu connue. Le processus dominant pourrait par ailleurs évoluer dans le temps [F]. En l'absence de perméabilité de fracture, la matrice argileuse gouverne le transport de l'eau et, en parallèle, les minéraux argileux sont susceptibles d'affecter l'équilibre thermodynamique du système anhydrite-gypse-eau en jouant un rôle sur la fixation ou l'apport d'ions calcium.

Il est à noter par ailleurs que l'hydratation de l'anhydrite a lieu sur sa surface. Par conséquent, une anhydrite massive et peu fissurée a tendance à gonfler moins qu'une anhydrite finement divisée [G].

5 AVIS SUR LES CAUSES POSSIBLES

L'ensemble des éléments d'information présentés ci-avant nous permettent d'écarter certains phénomènes de mouvement de terrain. Le chapitre s'attache à proposer les phénomènes pertinents en distinguant le facteur déclenchant et les facteurs aggravants aux mouvements et désordres observés à Lochwiller.

5.1 Phénomène écarté : le glissement profond

Le glissement profond est un mouvement de terrain qui peut se manifester dans les sols dans des contextes de pente. Le mécanisme est la diminution ou la perte de résistance au cisaillement de ce sol, notamment par diminution ou perte de sa cohésion. Le mouvement s'exprime par une surface de glissement profonde, de quelques mètres à quelques dizaines de mètres en fonction des configurations des terrains et de la pente, surface qui peut être de géométrie circulaire, plane ou mixte.

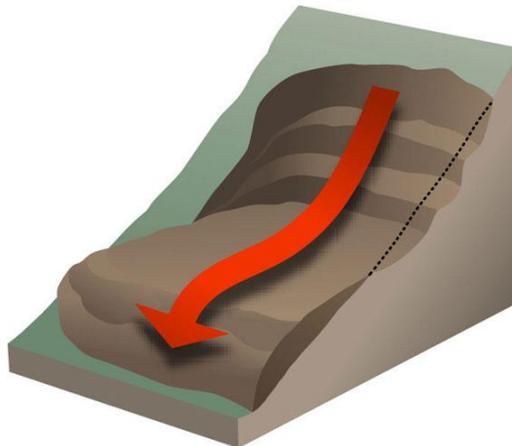


Figure 29 – Schéma-type d'un glissement profond
(<http://www.risquesmajeurs.fr/le-risque-mouvements-de-terrain>)

La perte de résistance est souvent la conséquence d'arrivée d'eau ou de saturation des sols constitutifs de la pente. Ce type de mouvement peut être également provoqué par une diminution de la butée en pied de la pente (terrassement ou prise de matériau) ou de l'exercice de contraintes supplémentaires dans la partie haute de la pente (surcharges diverses, ajout de matériau).

Un tel mouvement se traduit par une perte de terrain dans la partie haute de celui-ci (on observe fréquemment des rebords appelés « niches d'arrachement ») et un gain de matériau au pied de la pente (qui se manifeste fréquemment par des bourrelets de pied).

Dans le cas des mouvements et désordres observés à Lochwiller, ce mouvement de terrain peut être écarté sans ambiguïté dans la mesure où il est observé une hausse altimétrique de la pente et de la partie haute du lotissement, et où on ne relève aucun signe caractéristique de ce mouvement (niche d'arrachement, bourrelet de pied). Les argilites marneuses observées à l'arrière des habitations Matjeka et Schmitz sont parfaitement en place et non remaniées par un quelconque déplacement. Par ailleurs, les mesures inclinométriques réalisées par FONDASOL en 2013 ne sont pas caractéristiques d'un glissement de terrain.

5.2 Causes principales et causes connexes

5.2.1 Cause principale : le gonflement de l'anhydrite

Au vu de l'examen des causes possibles aux mouvements de terrain observés, des amplitudes de mouvement et de désordres, il ressort que le gonflement des argiles à anhydrite reconnues dans plusieurs sondages effectués sur le lotissement Weingarten semble être la cause principale à retenir. Les hypothèses concernant les conditions d'apparition de ce phénomène sont décrites plus bas.

Le rôle du forage géothermique

Selon GEODERIS, il apparaît probable que le forage géothermique réalisé sur la propriété Kandel à 140 m de profondeur soit l'élément déclencheur du phénomène de gonflement des terrains observés à Lochwiller. Une mise en communication des eaux de la nappe captive du Muschelkalk, captée entre - 64 et - 140 m, avec les terrains argileux à anhydrite datés du Keuper inférieur et compris entre la surface et environ - 40 m environ, a été malheureusement déclenchée sans que les tentatives de colmatage du forage ne réussissent totalement à la supprimer.

Le forage aurait perturbé l'équilibre hydrogéologique de son environnement. Ce phénomène aurait pu être évité uniquement si le forage s'était arrêté avant 64 m.

Les conséquences

Les conséquences premières ont été un apport d'eau dans le Keuper à partir de 9 m de profondeur. Les eaux ont envahi la formation géologique et ont trouvé, dans un premier temps, un exutoire en pied de versant au niveau de la propriété Schorr. Les tentatives de colmatage du forage ont permis, après 7 mois, de diminuer les venues d'eau en provenance du forage de manière à faire cesser l'inondation en pied de colline. Toutefois, au vu du gonflement des terrains initié courant 2008 sur la propriété citée ci-dessus et visible sur tout le versant, surtout depuis 2011, il semble que les venues d'eau n'aient pas tout à fait cessé et que des circulations d'eau en provenance du forage géothermique continuent à se produire dans les terrains du Keuper majoritairement secs à l'origine (cf. Coupe foreur dans le document BRGM de 2008 [4]). Il a été vu plus haut que les anhydrites interstratifiées d'argiles ont un fort potentiel de gonflement en présence d'eau. Les conséquences premières ont donc été un gonflement initié par l'arrivée locale mais en quantité d'eaux souterraines d'origine profonde dans le secteur du forage. Ce gonflement est un phénomène d'extension importante qui affecte tout le secteur : versant et partie basse du village.

Il a été vu plus haut que l'épicentre du gonflement était situé à une cinquantaine de mètres du forage, vers le nord-est, correspondant au sens du pendage. Il est probable que les eaux souterraines qui se déversent nouvellement dans le Keuper (l'équilibre n'est pas atteint à l'heure actuelle) circulent préférentiellement dans le sens du pendage, c'est-à-dire dans le

sens de l'inclinaison des couches géologiques. En effet, la perméabilité horizontale (c'est-à-dire parallèle à la stratification) de ces terrains sédimentaires est plus importante que la perméabilité verticale et, les argilites étant assez peu perméables, il est très probable que les eaux suivent les bancs ou les lits plus perméables dans le sens de l'inclinaison des couches. Nous pensons qu'il est possible que l'anhydrite se dissolve à proximité du forage sur la hauteur de terrains où elle est présente, que les eaux circulent vers l'aval pendage, et que le gypse recristallise à quelques dizaines de mètres en aval.

La pression de gonflement de l'anhydrite est généralement dans la gamme de 1 à 5 MPa, parfois plus. Le poids des terrains exerce une contrainte verticale de l'ordre de 200 kPa et une contrainte horizontale en première approximation de l'ordre de 100 kPa environ pour 10 m d'épaisseur. De manière simple, on peut donc voir que les contraintes liées au poids des terres ne peuvent s'opposer à cette pression de gonflement à faible profondeur (moins de 50 m dans le cas présent).

Le rôle des travaux d'aménagement sur la circulation des eaux d'infiltration

Les travaux d'aménagement ont modifié la répartition des écoulements naturels.

Tout d'abord, l'abattage du verger, qui occupait un peu moins d'un hectare sur le versant à l'emplacement du lotissement, a pu jouer un rôle en supprimant l'évacuation de l'eau vers l'atmosphère par transpiration des arbres, et surtout en annulant la consommation d'eau par ces mêmes arbres³. L'eau météorique était donc auparavant en partie consommée par le verger et subissait probablement un écoulement de surface (ruissellement) et un écoulement hypodermique⁴ vers le pied du versant.

Lors de la construction des lotissements, cette eau de pluie s'est trouvée en situation d'infiltration accrue du fait des travaux de terrassement, puis de ruissellement sur les surfaces imperméabilisées, s'écoulant ainsi vers le réseau d'évacuation des eaux pluviales. Ce réseau s'étant déstructuré à plusieurs reprises, du fait notamment du mouvement de gonflement d'ensemble, celui-ci a certainement favorisé, et favorise peut-être toujours, des infiltrations d'eau localisées qui s'écoulent le long des canalisations. Ces infiltrations peuvent se trouver drainées par le lit drainant certainement présent sous les canalisations, ceci jusqu'au bassin d'orage qui atteint à sa base une profondeur de 5,20 m. Les premières apparitions d'anhydrite ont été notées par FONDASOL dans les deux carottages à partir de 7,50 m.

³ Un hectare de hêtraie consomme 2000 à 5000 tonnes d'eau par an (source : www.onf.fr). A l'échelle d'arbres plus petits, si l'on fait l'hypothèse qu'un hectare d'arbres fruitiers consomme 1000 tonnes d'eau par an, cela représente environ un sixième de la pluviométrie (moyenne annuelle Strasbourg-Entzheim 665 mm sur 1981-2010 (source www.wikipedia.fr), soit 6650 t/ha.

⁴ L'*écoulement de subsurface* ou *écoulement hypodermique* désigne l'ensemble des écoulements situés dans les horizons de surface partiellement ou totalement saturés en eau, c'est-à-dire sous la surface du sol mais au-dessus des nappes phréatiques permanentes. Il a une capacité de vidange plus lente que l'écoulement superficiel mais plus rapide que celui des nappes profondes.



Figure 30 – Extrait d'une vidéo-amateur réalisée par un habitant montrant l'infiltration de la majeure partie du débit d'eau qui s'écoule dans la rigole de la placette en haut de l'impasse du Koelberg, vers les terrains (28 juillet 2012)

Par ailleurs, toujours du fait du gonflement de la colline qui a atteint au moins 50 cm localement, une crevasse est apparue derrière la maison de M. Borowiak et présentait une profondeur de plus de 3 m. Il est possible que d'autres crevasses de ce genre soient apparues (elles peuvent être masquées en surface par la végétation ou les revêtements). Cette déstructuration des terrains du Keuper peut favoriser, de même, l'infiltration des eaux de pluie en profondeur.

Nous estimons donc que, dans ce contexte, des apports d'eau localisés issus des fuites des canalisations, voire issus de crevasses provoquées par le gonflement, ont rejoint les terrains, cette fois en provenance de la surface, participant à une alimentation en eau du Keuper, cette fois par le haut. **Ces circulations d'eau peuvent être à l'origine de gonflements plus localisés, d'extension plus réduite, des argiles à anhydrite dans la partie la plus proche de la surface, mais également des phénomènes superficiels connexes localisés tels que la dissolution de gypse et des mouvements superficiels tels qu'évoqués au § 5.2.2.2.** Nous avons en effet observé des mouvements de terrain très locaux, à l'échelle du mètre (voir photos des deux figures ci-après), qui ne peuvent pas être provoqués par le gonflement d'ensemble de la colline, gonflement initié vers 9-10 m de profondeur (profondeur de l'eau dans le forage lors de la dernière mesure).

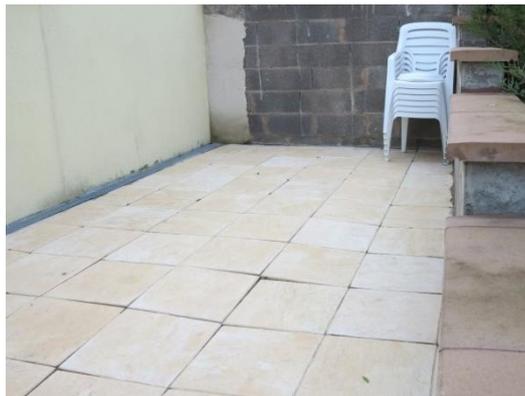


Figure 31 – Désordres aux dalles de la maison de M. Borowiak, secteur situé à quelques mètres de la crevasse mentionnée ci-dessus



Figure 32 – Désordres aux pavés de la maison de M. Schellinger, par affaissement et gonflement localisés

La pluviométrie annuelle de 2010 a été plus importante de 15% (766 mm) par rapport à la moyenne sur ces trente dernières années (665 mm). L'année 2011 a été plus sèche (528 mm, soit un déficit de 20%), toutefois, la pluviométrie mensuelle de l'été 2011 a été exceptionnellement forte (+ 50% environ). Ces anomalies climatiques peuvent avoir joué un rôle sur l'évolution de la situation à Lochwiller. Il a été vu plus haut que le bulletin climatique de Météo-France pour 2011 précise qu'au printemps, les « *faibles pluies associées aux températures élevées ont entraîné un assèchement extrêmement précoce des sols superficiels sur la quasi-totalité du pays. A l'exception des régions méditerranéennes, les sols ont connu sur l'ensemble du pays un niveau de sécheresse jamais atteint à la fin du printemps au cours des cinquante dernières années* ».

Ensuite, « *les pluies ont été fréquentes durant l'été. La quantité d'eau recueillie sur l'ensemble du pays est supérieure de presque 30% à la normale* ». Ces affirmations se retrouvent sur les histogrammes des figures suivantes (Figure 33 et Figure 34).

Il est envisageable que la sécheresse qui s'est manifestée au printemps soit à l'origine de l'apparition de fentes de dessiccation dans les sols, qui auraient ensuite favorisé l'infiltration dans les terrains des eaux de pluie qui ont été très abondantes au cours de l'été qui a suivi. Les habitants de Lochwiller ont mentionné une apparition des fissures sur leurs habitations en 2011. De plus, un habitant, M. Salin, nous a fait mention de ce phénomène sur son terrain en juillet 2012 (voir § 5.2.2.1).

Cette influence des eaux de pluie sur le gonflement de l'anhydrite au droit de Lochwiller peut être mise en évidence par la corrélation de la pluviométrie mensuelle avec l'écartement mensuel des fissures sur les habitations Schorr et Schmitz sur la période 2012-2013. Les figures suivantes peuvent être examinées.

Il semble apparaître une influence de la pluviométrie sur l'aggravation des fissures avec un décalage de 4 semaines sur l'habitation Schorr ; cela semble assez net. Les mois fortement pluvieux sont suivis le mois suivant d'une extension plus forte des fissures. Le décalage serait plutôt de deux semaines sur l'habitation Schmitz. Ici, la corrélation est moins certaine. Deux témoignages vont dans le sens de ces hypothèses : M. Matjeka affirme que les fissures s'ouvrent 3-4 jours après un fort épisode pluvieux, M. Schorr évoque plutôt 8-10 jours de délai. M. Schmitz, en revanche, n'a pas remarqué de corrélation.

En résumé, la Figure 35 ci-après résume conceptuellement les situations des écoulements d'eau avant et après l'abattage du verger, la construction du lotissement et celle du réseau d'assainissement, puis sa déstructuration, et la foration du forage géothermique, telles que décrites plus haut.

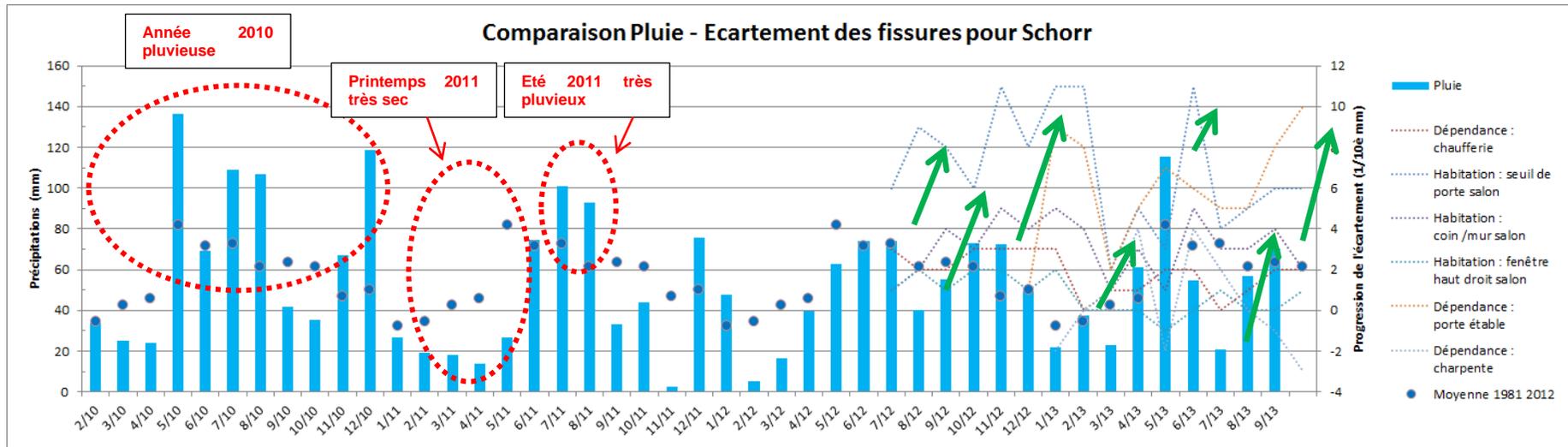


Figure 33 – Histogramme des précipitations mensuelles et des moyennes mensuelles à Strasbourg-Entzheim (données Météo-France), et corrélation avec l'ouverture des fissures sur l'habitation Schorr

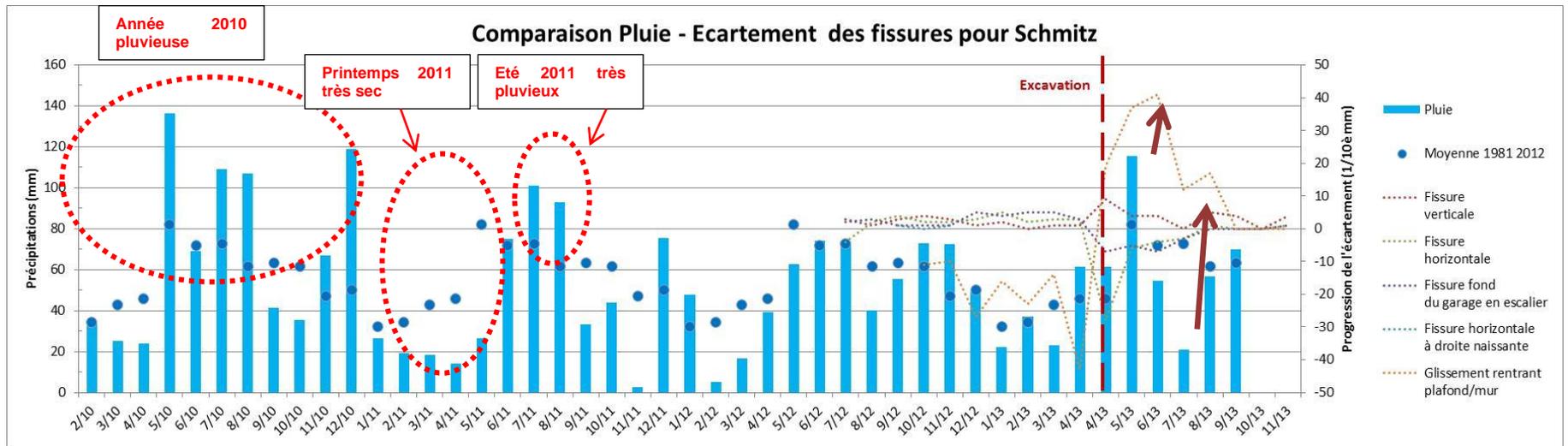


Figure 34 – Histogramme des précipitations mensuelles et des moyennes mensuelles à Strasbourg-Entzheim (données Météo-France), et corrélation avec l'ouverture des fissures sur l'habitation Schmitz

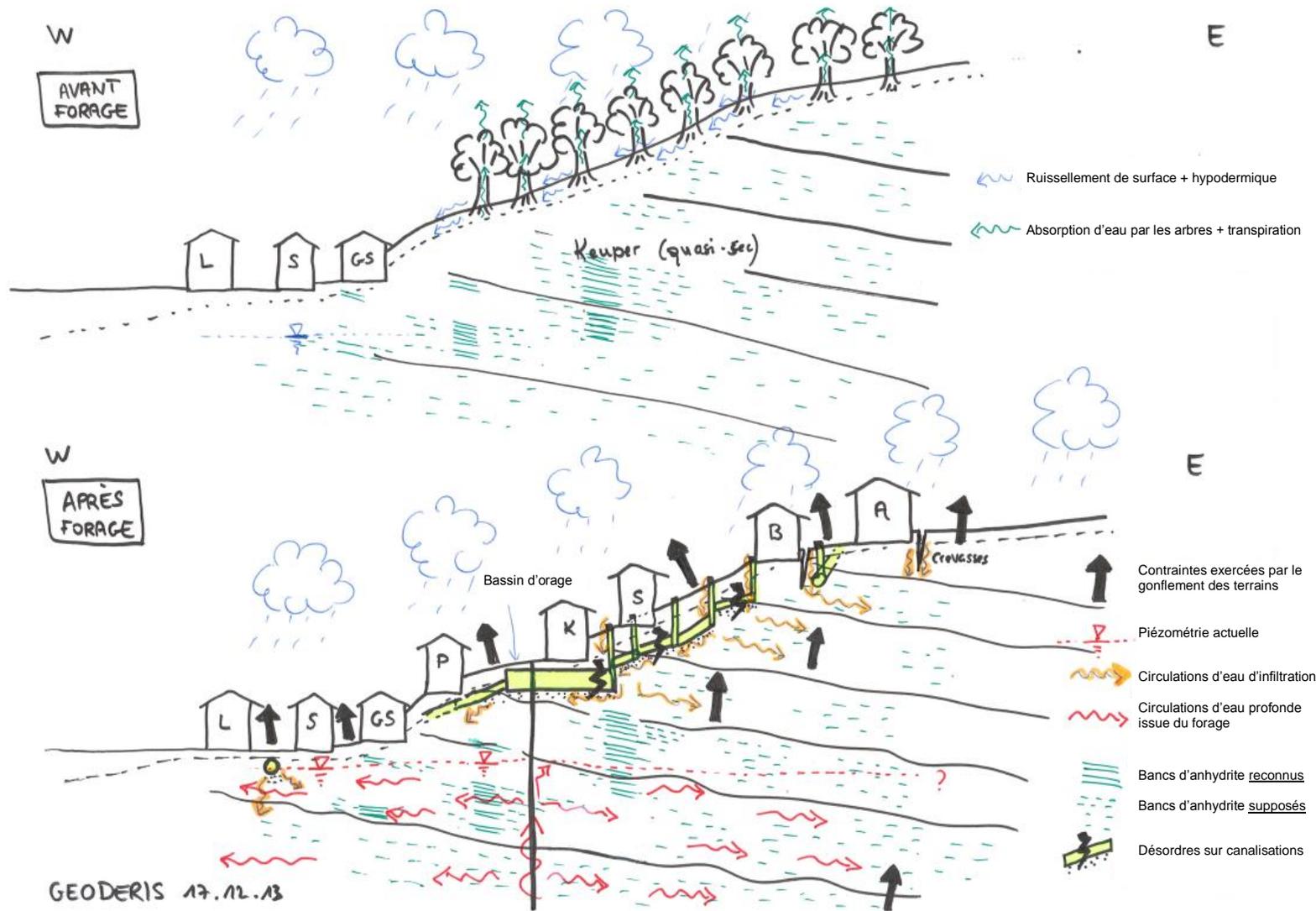


Figure 35 – Schéma conceptuel des écoulements des eaux de surface et des eaux souterraines « avant/après » l’abattage du verger, la construction du réseau d’assainissement, sa déstructuration, la construction du lotissement et la réalisation du forage

5.2.2 Phénomènes connexes

5.2.2.1 Retrait-gonflement des argiles

Le phénomène de retrait-gonflement est un mouvement de terrain qui affecte plus particulièrement les sols argileux. Les argiles ont des structures en feuillets permettant d'accueillir de l'eau et des ions entre ceux-ci (dans l'espace inter-feuillets), mais également, et inversement, de favoriser la diminution de ces éléments. Ainsi observe-t-on, lors des périodes de sécheresse, le phénomène de retrait lié à la compaction des feuillets et, lors des périodes de forte pluviométrie, le phénomène de gonflement lié à la dilatation de l'argile du fait de la présence d'eau.

A l'échelle microscopique, la nature minéralogique constitutive et le contexte d'échange entre les feuillets et avec l'espace qui les sépare sont autant de facteurs favorisant ou limitant le potentiel de dilatation ou de rétractation de nombreux travaux de thèse ayant été réalisés sur ces sujets complexes.

On peut considérer que la tranche de terrains argileux pouvant être affectée par ces phénomènes est de l'ordre du mètre et dépasse très rarement cinq mètres. Pour ce qui concerne le gonflement, la hausse des terrains peut atteindre plusieurs centimètres, exerçant une contrainte préjudiciable pour les structures.

Le BRGM a classé en **aléa retrait-gonflement de niveau moyen** le secteur d'étude du fait de la présence d'argilites dans la formation du Keuper. Même si l'argile constitutive est l'illite, qui fait partie des argiles dites « peu gonflantes », la structure macroscopique en bancs interstratifiés semble favoriser le potentiel de gonflement des terrains. Les mouvements attendus dans ce cas sont faibles (de l'ordre d'une dizaine de centimètres environ).

Toutefois, dans le cas des habitations de Lochwiller, l'amplitude de la surrection observée (plusieurs dizaines de centimètres, atteignant plus de 50 cm) et des pressions latérales exercées (sur la grange de M. Matjeka, démolie par sécurité, sur celle de M. Schorr, sur l'habitation de M. Schmitz) sont très supérieures et sans commune mesure avec le simple phénomène de gonflement des argiles.

Ainsi, le phénomène de gonflement des argiles ne constitue pas un phénomène prépondérant dans les mouvements de terrain observés à Lochwiller. En revanche, on ne peut exclure que certains mouvements différentiels observés sur le terrain puissent être attribuables à des phénomènes localisés de retrait-gonflement des argiles du Keuper.



**Figure 36 – Vue de fissures de retrait sur le terrain de M. Salin
(photo fournie par lui-même datée du 27 juillet 2012)**

5.2.2.2 Dissolution locale du gypse, glissement et reptation superficiels

Nous regroupons ici les mouvements localisés qui sont liés à la nature des argilites du Keuper observées sur les premiers mètres de terrain.

Comme nous l'avons vu, les argilites du Keuper sont constituées, entre autres, d'argiles et de lits plus ou moins épais de gypse ou d'anhydrite. Ces matériaux sont très sensibles aux variations hydriques et peuvent donc être le siège de phénomènes localisés de dissolution (pour le gypse), de glissements peu profonds (rupture selon une surface à très faible profondeur par perte de résistance au cisaillement des argiles) ou de reptations (pas de surface de rupture proprement identifiée, les argiles évoluent dans la pente par fluage). L'examen de la pente naturelle dans le prolongement de la colline permet de se rendre compte de ces mouvements superficiels limités (moutonnements, terrain bosselé, arbres penchés, etc.).

Ces phénomènes ne peuvent en aucun cas être la cause prépondérante des mouvements et désordres observés, vu les amplitudes mises en évidence, mais il convient de les considérer comme phénomènes connexes.

5.3 Evolution du phénomène

Les premiers désordres ont été constatés en 2008 chez M. Schorr, puis en 2009 chez M. Lux, ensuite en 2011, 2012 et 2013 chez de nombreuses autres maisons.

La carte ci-après, qui présente les dates d'apparition des désordres chez les habitants avec qui nous avons pu nous entretenir, montre clairement une propagation des désordres à partir du secteur de l'impasse du Koelberg, où se localise le forage, mais également le réseau de canalisations qui s'est trouvé déstructuré à plusieurs reprises. La propagation des désordres dans l'espace et dans le temps se produit au vu des dates disponibles, vers l'est, vers le nord-est et vers le nord. Par ailleurs, vers le sud, les terrains sont occupés par de la prairie et quelques arbres, ce qui ne permet pas non plus d'observer des désordres. Un témoignage par courriel d'un habitant de la rue du Sonderberg nous est toutefois parvenu, évoquant une propagation récente (fin 2013) de désordres sur la rue des Cigognes et le haut de la rue du Sonderberg. Un schéma reproduit ci-après et daté d'octobre 2013 nous a été envoyé par cette même personne et fait état de fissures sur des habitations au sud-ouest du forage. Cela n'a pas pu être vérifié dans le délai imparti.

Quoiqu'il en soit, il apparaît par les mesures de nivellement que le phénomène est maximum au nord-est du forage, soit dans la direction du pendage des couches géologiques (c'est-à-dire dans la direction de leur inclinaison). De plus, il semble se propager également vers le nord-est ; c'est ce qui ressort de la chronologie d'apparition des désordres que nous avons pu reconstituer. D'autres directions de propagation apparaissent également (cf. Figure 38).



Figure 37 – Localisation et intensité des désordres subis par les habitations à Lochwiller (fourni par un habitant, non vérifié dans sa totalité - octobre 2013)

Ceci s'explique par le fait que, dans ces couches qui étaient sèches ou quasiment à l'origine, l'apport d'eau issu du forage géothermique et issu des entrées d'eau via le réseau d'assainissement ou des crevasses va circuler préférentiellement dans le sens de la pente des couches. Nous avons vu au paragraphe 4.5 que l'eau est, selon nous, responsable du gonflement des argilites à anhydrite, via éventuellement une dissolution et un transport de la solution riche en sulfate de calcium dans la direction d'écoulement des eaux souterraines, permettant une recristallisation du gypse *in situ* ou plus en aval (soit ici vers le nord-est).

Concernant l'évolution future du gonflement des terrains, il ne nous est pas possible de nous prononcer sur cette dernière, du fait de grandes incertitudes sur la cinétique de gonflement des argilites à anhydrite, liée à la nature des argiles, sur le stock et la répartition de l'anhydrite présent à l'origine, sur le schéma d'écoulement des eaux souterraines (dépendant des débits d'eau qui ont été et sont apportés au système, de la perméabilité des terrains, etc.). En l'état des connaissances, il n'est pas exclu que le phénomène puisse perdurer. Les mesures de nivellement ne montrent pas de stabilisation pour le moment.

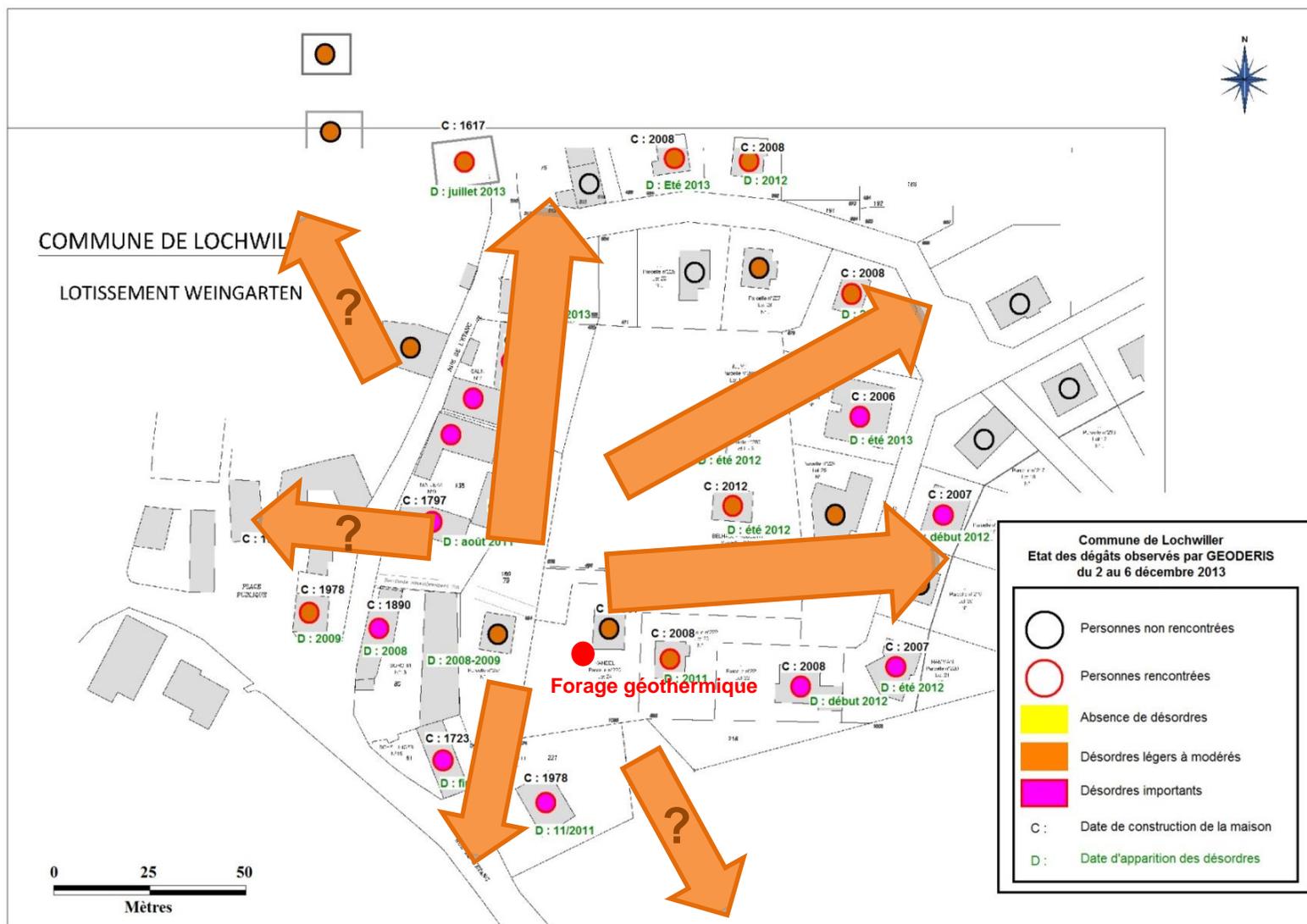


Figure 38 – Représentation cartographique des dates d'apparition des désordres aux habitations, de l'ampleur de ces désordres et de la direction supposée d'évolution du phénomène

5.4 Recommandations

Connaissance du phénomène : poursuite des mesures de nivellement

Le mouvement de gonflement se poursuit et s'étend dans plusieurs directions. Il est donc important de continuer à quantifier le mouvement par des mesures de nivellement, en maintenant dans un premier temps une fréquence similaire à celle demandée dans le cadre de l'expertise judiciaire (tous les deux mois). Un élargissement du réseau de mesures devra être envisagé en fonction de l'extension future éventuelle du gonflement. Il apparaît d'ores et déjà que le réseau de nivellement est trop restreint au vu des désordres observés.

Maîtrise de l'évolution du phénomène :

- Colmatage du forage pour supprimer complètement l'arrivée des eaux souterraines profondes

L'atténuation, tant en amplitude qu'en extension, du phénomène est tributaire de la baisse d'alimentation en eau ou de l'extension limitée des bancs d'anhydrite dans le sens du pendage. Dans le premier des cas, la première mesure à entreprendre est de colmater au mieux l'environnement du forage. A ce titre, les propositions du BRGM [5] semblent pertinentes, à savoir (de manière très synthétique) :

- o mesure de la déviation du forage via les tubes en U et diagraphie de température (le passage anhydrite vers gypse est exothermique) ;
- o surforation du forage bétonné défectueux et des tubes, et colmatage à base de coulis ciment-bentonite sous forte pression hydrostatique ;
- o en cas d'échec, prévoir un pompage pour rabattre la nappe profonde.

- Mesures pour la réduction ou la suppression de l'infiltration des eaux de pluie

Même si leur importance est moindre, les mesures consistant à limiter les infiltrations depuis la surface (vérification régulière des réseaux, dans la mesure où le phénomène continue, ajout de joints souples aux canalisations, végétalisation des terrains à nu, colmatage régulier des crevasses) sont à poursuivre.

Reconnaissance du stock d'anhydrite dans le sous-sol et de la nature chimique des eaux souterraines

De par leur mode de dépôt, l'hétérogénéité des couches du Keuper inférieur est grande. Il est à notre avis relativement vain de les appréhender et les modéliser. En revanche, l'extension des bancs d'anhydrite, notamment vers le nord, est une inconnue qu'il conviendrait de lever ou rendre plus précise pour pouvoir apprécier l'extension possible du phénomène. A ce titre, nous recommandons de réaliser, dans un premier temps, des forages carottés en zone d'initiation du mouvement et en aval pendage dans une zone actuellement non affectée. Ces sondages devront atteindre la cote attendue des niveaux d'anhydrite et être poursuivis jusqu'à la base du Keuper (soit vers 35 m). Des analyses minéralogiques devront être réalisées afin de confirmer la nature des phases en présence.

Les eaux souterraines devront de plus être prélevées et analysées (anions et cations majeurs, isotopes) afin de détecter des marqueurs chimiques ou isotopiques qui pourraient mettre en évidence le phénomène de transformation de l'anhydrite en gypse.

Identification de configurations géologiques similaires

Enfin, à titre préventif, si cela n'a pas déjà été fait, il nous semble important d'établir un recensement des zones dont le contexte géologique est similaire, à titre de vigilance au cas où des travaux d'aménagement ou de forage seraient projetés ou engagés.

6 CONCLUSION - SYNTHÈSE

L'examen des informations disponibles dans le cadre de la présente étude a permis de tirer les conclusions suivantes :

- le forage géothermique sur la propriété Kandel a occasionné des venues d'eaux profondes dans le Keuper inférieur, formation géologique qui affleure au droit de tout le village. Ces venues d'eau ont trouvé un exutoire, dans un premier temps, en pied de versant, provoquant des inondations. Plusieurs tentatives de colmatage ont été effectuées mais il semble qu'elles n'aient pas abouti à un colmatage total. Le forage serait donc à l'origine d'une modification de l'équilibre hydrogéologique qui préexistait. Il constitue à nos yeux le facteur déclenchant ;
- les venues d'eau ont circulé dans le Keuper à partir de 9-10 m de profondeur, profondeur à partir de laquelle des bancs d'anhydrite et de gypse ont été reconnus en forages. Les bancs et argilites à anhydrite, qui ont la propriété de gonfler en présence d'eau, auraient provoqué un gonflement d'ensemble des terrains, ressenti jusqu'en surface où des désordres aux infrastructures sont apparus ;
- le gonflement initié par les eaux profondes s'entretient très probablement par des arrivées d'eaux de surface, issues des désordres aux canalisations ou de crevasses affectant les terrains, voire de zones non végétalisées. Une seconde origine au gonflement pourrait donc intervenir, provoquant cette fois des mouvements de terrain issus des premiers mètres sous la surface. Ce gonflement plus superficiel serait à l'origine de désordres de type affaissement / soulèvement de plus petite extension. Un lien entre la pluviométrie mensuelle et l'extension des fissures nous apparaît très probable. Par ailleurs, la pluviométrie de l'année 2010 et de l'été 2011, qui a été très supérieure à la moyenne, après un printemps chaud et sec en 2011 qui a provoqué le dessèchement des sols, a pu jouer un rôle sur l'évolution de la situation. Les désordres sur de nombreuses maisons sont apparus en 2011 ;
- nous estimons que le maximum de gonflement (environ 25 cm en 7 mois) observé à 50 m au nord-est du forage et du réseau d'assainissement de l'impasse du Koelberg, trouve l'origine de sa localisation au fait de circulations d'eaux plus importantes dans le sens du pendage des couches géologiques, maximisant les débits d'eaux dans les argilites à anhydrite ;
- il n'est pas exclu que du retrait-gonflement d'argiles ait une influence sur les mouvements de terrain mais en aucun cas, au vu de l'ampleur du gonflement, il ne peut être tenu comme facteur déclenchant du phénomène ;
- de la dissolution de gypse peut également intervenir, minoritairement. Du gypse a été reconnu en forages. De même, des signes de reptation d'argiles en surface et de glissement peu profond ont été observés. L'examen de la pente naturelle dans le prolongement de la colline permet de se rendre compte de ces mouvements superficiels limités (moutonnements, terrain bosselé, arbres penchés, etc.) ;

- le phénomène de glissement profond peut être écarté : élévation altimétrique en sommet de versant, pas de niche d'arrachement ni de bourrelet de pied.

Concernant l'évolution future du phénomène, il n'apparaît pas à ce jour de stabilisation du phénomène de gonflement. Les arrivées d'eau en provenance de la surface s'auto-entretiennent du fait du gonflement des terrains qu'elles provoquent et des nouveaux désordres aux canalisations souterraines à chaque fois occasionnés. Un maintien d'arrivées d'eaux profondes se produit probablement toujours. La part de chaque origine des eaux n'est pas connue.

La bibliographie consultée fait état de gonflements sur une longue période des argilites à anhydrite). Si le phénomène se poursuit selon la même intensité, il est probable que certaines constructions ne puissent résister aux contraintes différentielles occasionnées.

Le mouvement de gonflement semble maintenant s'étendre dans la partie basse du village, vers l'ouest, et vers le nord.

Les recommandations que nous pouvons émettre sont :

- la prise de mesures urgentes concernant l'étanchéité des canalisations souterraines, pour supprimer les arrivées d'eaux de surface ;
- un colmatage parfait du forage, pour maîtriser les arrivées d'eaux profondes, en effectuant une surforation et un bétonnage sous forte pression ;
- une reconnaissance du stock d'anhydrite en présence et de la nature des eaux souterraines, afin de confirmer la nature de l'origine du gonflement, par des forages atteignant la base du Keuper (environ 40 m) ;
- la reprise des mesures de nivellement et une extension du réseau de mesures, qui apparaît à ce jour insuffisant ;
- l'identification de configurations géologiques similaires à titre de vigilance pour de futurs projets dans ce milieu souterrain très sensible.

7 DOCUMENTS CONSULTES ET BIBLIOGRAPHIE

7.1 Documents consultés

- [1] Carte géologique de Saverne - BRGM N°233, date de parution 1979
- [2] Deck. A - « Espace et habitat. Lotissement « Weingarten » rue de l'étang. Lochwiller (67). Reconnaissance de sols préliminaire ». Rapport ARCADIS 71 2615 001 NT 01 A du 18/01/2006
- [3] Krüger G. - « Lochwiller. Terrain Schorr. Etude géotechnique G5 ». Rapport FONDASOL MS11-0448 du 12/12/2011
- [4] Babot Y., Schomburgk S. - « Expertise des venues d'eau chez Monsieur Schorr, 13 rue de l'étang à Lochwiller (67) ». Rapport BRGM/ALSNT08N13 de juin 2008.
- [5] Barras A.V. - « Sinistre de Lochwiller lié à une sonde géothermique. Situation en juillet 2013 et pistes d'investigations et de travaux ». Rapport BRGM/RP-62574-FR de juillet 2013
- [6] Strauss J.M. - « Assistance hydrogéologique dans le cadre d'un litige à Lochwiller (67) ». Rapport PLUME-ECI R13-498 du 28/05/2013

- [7] BRUDER J. - « Lochwiller. Lotissement Weingarten et ses abords. Investigations géotechniques et instrumentation. Compte-rendu ». Rapport FONDASOL MS 130096 du 15/05/2013
- [8] BRUDER J. - « Lochwiller. Lotissement Weingarten et ses abords. Diagnostic géotechnique G5 ». Rapport FONDASOL MS 13.0096 du 03/09/2013
- [9] BRUDER J. - Courrier du 8 août 2013 d'interprétation des relevés inclinométriques réalisés à Lochwiller
- [10] ARCHIMED - « Commune de Lochwiller. Lotissement Weingarten. Rapport d'auscultation n°1 du 07/05/2013 »
- [11] ARCHIMED - « Commune de Lochwiller. Lotissement Weingarten. Rapport d'auscultation n°2 du 05/07/2013 »
- [12] ARCHIMED - « Commune de Lochwiller. Lotissement Weingarten. Rapport d'auscultation n°3 du 04/09/2013 »
- [13] ARCHIMED - « Commune de Lochwiller. Lotissement Weingarten. Rapport d'auscultation n°4 du 14/11/2013 »
- [14] AXEO - « Rapport inspection télévisée après travaux. Lochwiller. Chantier CEK 01-650. Rue du Koelberg ». Rapport du 21/09/2012
- [15] AXEO - « Rapport inspection télévisée. Lochwiller. Chantier CEK 01-650. Rue de l'étang vers Vortex ». Rapport du 12/11/2013
- [16] AXEO - « Rapport inspection télévisée. Lochwiller. Chantier CEK 01-650. Rue du Koelberg ». Rapport du 18/10/2012

7.2 Bibliographie

- [A] Kinsman D. J. J., Calcium sulphate minerals of evaporate deposits : their primary mineralogy. Fourth international symposium on salt-northern Ohio Geologica Society, 343-348
- [B] Gasman J., Gysel M., Schneider J.-F., 1979. Anhydrit als Wirtgestein für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz. Technical Report Nagra No. 12, Nagra, Baden
- [C] Gysel M., 2002. Anhydrite dissolution phenomena : three case histories of anhydrite karst caused by water tunnel operation. Rock Mech.Rock Engng, 35(1), 1-21
- [D] Technischer Bericht NTB 90-17. Langzeitquellenverhalten von Tongesteinen und tonigen Sulfatgesteinen
- [E] Kovari K., Amstad C., Anagnostou G., 1988. Design/construction methods – Tunnelling in swelling rocks. In Key Questions in Rock Mechanics, Cundall et al. (eds). Balkema

- [F] Anagnostou G., Pimentel E., Serafeimidis K., 2010. Swelling of sulphatic claystones – some fundamental questions and their practical relevance. *Geomechanics and Tunnelling* 3 (2010), No. 5
- [G] Bekendam R. F., 2000. Subsidence potential of the Hengelo Brine Field (Part I). *Physico-Chemical Deterioration and Mechanical Failure of Salt Cavern Roof Layers*. Fall 2000 Meeting, San Antonio, Texas, USA

Annexe 1 – Relevé de fissures sur l'habitation Schorr

DATE 2012/2013	IMPLANTATION de la jauge	dépendance : chaufferie		habitation : seuil de porte salon		habitation : coin /mur salon		habitation : fenêtre haut droit salon		dépendance : porte étable		dépendance : charpente	
	relevé en 1/10è de mm en fin de mois	JAUGE N°1	PROGRESSION en 1/10è de mm	JAUGE N°2	PROGRESSION en 1/10è de mm	JAUGE N°3	PROGRESSION en 1/10è de mm	JAUGE N°4	PROGRESSION en 1/10è de mm	JAUGE N°5	PROGRESSION en 1/10è de mm	JAUGE N°6	PROGRESSION en 1/10è de mm
juin-12		143		114		100		76					
JUILLET		146	3	120	6	101	1	77	1				
AOÛT		148	2	129	9	103	2	79	2				
SEPTEMBRE		150	2	137	8	107	4	80	1				
OCTOBRE		153	3	143	6	110	3	82	2				
NOVEMBRE		156	3	154	11	115	5	84	2	36			
DÉCEMBRE		159	3	162	8	119	4	85	1	37	1	97	
janv-13		162	3	173	11	124	5	87	2	46	9	95	-2
FÉVRIER		162	0	184	11	128	4	87	0	54	8	95	0
MARS		163	1	186	2	129	1	87	0	56	2	96	1
AVRIL		164	1	191	5	132	3	87	0	61	5	100	4
MAI		166	2	194	3	133	1	86	-1	68	7	98	-2
JUIN		168	2	205	11	138	5	86	0	74	6	102	4
JUILLET		168	0	209	4	141	3	87	1	79	5	104	2
AOÛT		169	1	214	5	144	3	87	0	84	5	104	0
SEPTEMBRE		171	2	220	6	148	4	87	0	92	8	103	-1
OCTOBRE		173	2	226	6	150	2	88	1	102	10	100	-3
NOVEMBRE													
DÉCEMBRE		Remarque fin mars : retrait d'une rangée de pavés en bordure de grange début mars 2013											

Annexe 2 – Relevé des distances maison-grange au niveau de 9 repères sur la propriété Schorr

2013	Distances mesurées entre la grange et l'habitation depuis le retrait d'une rangée de pavés à 9 points situés à 1 m de hauteur/sol (télémètre HILTI)								
	Relevé mensuel /m	1	2	3	4	5	6	7	8
mars-13	12,601	11,409	8,609	7,915	7,687	7,163	6,308	5,859	11,876
AVRIL	12,595	11,403	8,603	7,908	7,683	7,157	6,303	5,856	11,873
MAI	12,589	11,401	8,597	7,899	7,678	1,153	6,299	5,582	11,870
JUIN	12,586	11,393	8,593	7,893	7,670	7,148	6,293	5,847	11,871
JUILLET	12,580	11,390	8,589	7,892	7,666	7,144	6,293	5,847	11,869
AOÛT	12,576	11,387	8,587	7,886	7,663	7,139	6,289	5,845	11,869
SEPTEMBRE	12,575	11,385	8,584	7,883	7,657	7,137	6,286	5,842	11,868
OCTOBRE	12,573	11,381	8,581	7,880	7,655	7,133	6,285	5,842	11,866
NOVEMBRE	12,573	11,379	8,577	7,873	7,652	7,128	6,283	5,838	11,867
DÉCEMBRE									
DEPLACEMENT en CM	2,8	3,0	3,2	4,2	3,5	3,5	2,5	2,1	0,9

Annexe 3 – Relevé de fissures sur l'habitation Schmitz

DATE 2012/2013	IMPLANTATION	fissure verticale		fissure horizontale		fissure fond du garage en escalier		fissure horizontale à droite naissante		glissement rentrant plafond/mur	
		JAUGE N°1	PROGRESSION en 1/10è de mm en fin de mois	JAUGE N°2	PROGRESSION en 1/10è de mm en fin de mois	JAUGE N°3	PROGRESSION en 1/10è de mm en fin de mois	JAUGE N°4	PROGRESSION en 1/10è de mm en fin de mois	JAUGE N°5	PROGRESSION en 1/10è de mm en fin de mois
juin-12		142		151		85		98			
JUILLET		145	3	147	-4	87	2	98			
AOÛT		146	1	149	2	90	3	98		mesure commencée fin septembre	
SEPTEMBRE		149	3	153	4	91	1	99	1	142	
OCTOBRE		153	4	155	2	92	1	99	0	131	-11
NOVEMBRE		156	3	157	2	93	1	100	1	121	-10
DÉCEMBRE		157	1	160	3	98	5	mesure arrêtée		94	-27
janv-13		159	2	165	5	102	4			78	-16
FÉVRIER		159	0	167	2	107	5			55	-23
MARS		160	1	170	3	112	5		2	41	-14
AVRIL	25 avril avant excavation	161	1	173	3	115	3			-2	-43
AVRIL	28 avril après excavation	170	9	145	-28	108	-7			17	19
MAI		174	4	139	-6	103	-5			54	37
JUIN		178	4	135	-4	96	-7			95	41
JUILLET		178	0	132	-3	93	-3			107	12
AOÛT		183	5	133	1	93	0			124	17
SEPTEMBRE		187	4	133	0	93	0			124	0
OCTOBRE		187	0	133	0	93	0			124	0
NOVEMBRE		191	4	134	1	94	1			124	0