

REALISATION ET MISE EN SERVICE D'UN PILOTE DE RABATTEMENT A LOCHWILER (67)

REALIZATION AND STARTING UP A DRAWDOWN PILOT IN LOCHWILLER (67), FRANCE

Vincent QUÉRÉ

¹ DPSM/BRGM, Freyming-Merlebach, France

RÉSUMÉ – Dans le cadre de sa mission de maîtrise d'ouvrage délégué pour le compte de l'État Français, le Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du BRGM se voit confier le déploiement d'un pilote de rabattement à Lochwiller (67). Ces travaux ont pour but de contenir les remontées d'eaux de nappes captives, via une sonde géothermique défaillante, provoquant la surrection des terrains d'une partie de la commune.

ABSTRACT – The BRGM's Mining Prevention and Safety Department (DPSM), as part of its delegated project management mission instead of the French State, has been entrusted with the deployment of a drawdown pilot in Lochwiller (67). The purpose of these works is to contain the rise of water from captive aquifers, by way of a faulty geothermal drilling, causing the uplifting of the land in part of the town.

1. Introduction

Une sonde géothermique de 140 mètres, réalisée en 2008, a permis aux eaux d'une ou plusieurs nappes captives profondes (de la Lettenkohle et du Muschelkalk) de remonter et de s'infiltrer dans les couches à anhydrite du Keuper. Sa transformation en gypse par hydratation est à l'origine d'un soulèvement des terrains alentour ayant provoqué des désordres sur le bâti, perturbant durablement la vie des riverains et gelant l'urbanisation du village.

Une solution de pompage dans la nappe profonde a été retenue après expertise du CGEDD et de GEODERIS afin d'atténuer voire stopper ce phénomène.

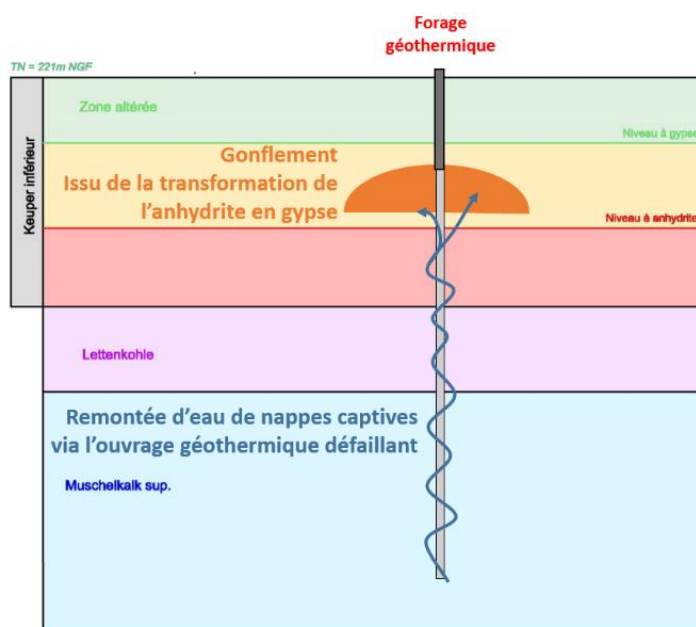


Figure 1 – Origine du phénomène de surrection

Le projet vise à neutraliser suffisamment les circulations ascendantes le long de l'ouvrage géothermique défectueux pour éviter l'hydratation des niveaux sus-jacents du Keuper.

La réalisation du premier piézomètre, par carottage jusqu'à 140 mètres de profondeur, a eu pour objectif de reconnaître la géologie et l'hydrogéologie locale avec l'exécution de nombreux essais et diagraphies. Ceux-ci auront servis, en cours de projet, à ajuster le dimensionnement des autres ouvrages. Ainsi, le DPSM du BRGM, dans son rôle de maître d'ouvrage délégué (MOd) pour le compte de l'État, a réalisé la construction et la mise en service d'un forage de rabattement associé à trois piézomètres de pilotage.

Ce dispositif, toujours exploité par le DPSM, permet aujourd'hui d'empêcher la remontée des eaux de la nappe profonde via l'ouvrage géothermique.



Figure 2 – Chronologie des principaux faits marquants

2. Données initiales

2.1. Surrection

Le DPSM assure, en plus de sa mission de MOd, une mission de surveillance de certains anciens sites ou ouvrages miniers, pour le compte de l'État. A ce titre le DPSM assure la surveillance géotechnique de la colline via un réseau de nivellement.

Au début des travaux, la surrection maximale des terrains se situait au niveau de la place du KOELLBERG, et cumulait 120 cm depuis le début des mesures en 2013.

Le gonflement de la colline provoque également un mouvement planimétrique important, avec un maximum de déplacement d'environ 80cm aux endroits les plus impactés.

Ces mouvements ont créé des dégradations sur les maisons et infrastructures locales, impactant fortement les habitants. Le suivi des points de nivellement sur la colline par le DPSM s'est poursuivie durant toute l'opération.



Figure 2 – Dégradations constatées sur les infrastructures (2015)

2.2. Connaissances de la géologie et l'hydrogéologie

La connaissance de la géologie locale était très faible au début du projet.

Il est défini toutefois que l'ouvrage défaillant recoupe les terrains du KEUPER (contenant de l'anhydrite), puis traverse la LETTENKOHLE avant d'aboutir dans le MUSCHELKALK.

Une nappe superficielle du KEUPER est observée via des piézomètres précédemment construits et suivis par GEODERIS. De plus les données récupérées du foreur de l'ouvrage

défaillant indiquent une venue d'eau, attendue dans le Muschelkalk. En effet la présence d'une nappe artésienne, d'environ 20 mètres au niveau de la sonde géothermique, est présumée.

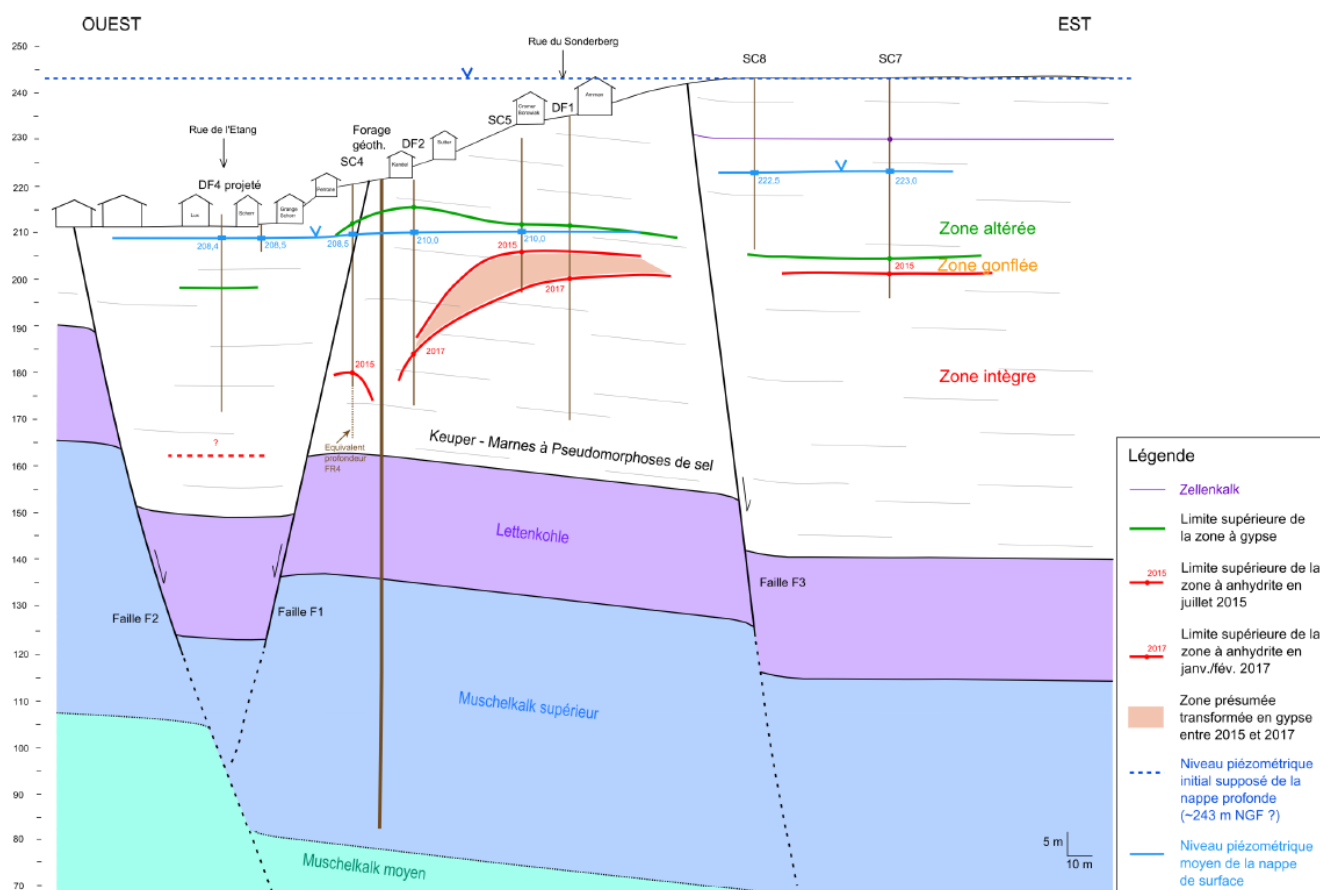


Figure 4 - Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques du lotissement du Weingarten à l'origine du projet (Géoderis 2018)

2.3. Connaissances de l'ouvrage défaillant

Très peu de données sont disponibles sur l'ouvrage. Malgré tout, une première tentative de reprise de l'ouvrage par sur-forage en 2015 avait permis d'obtenir certaines informations. Entre autre une déviation importante a pu être mesurée.

3. Solution retenue

Suite à cette première opération, les travaux du CGEDD d'une part, et de GEODERIS d'autre part ont abouti à une solution de pompage des eaux profondes (2017 - 2018).

Dans son rapport N°010788-01 de janvier 2017, le CGEDD (Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable) préconise une action rapide, visant à :

- "Préciser la connaissance de la géologie sous le lotissement et ses environs en utilisant les méthodes courantes de la géophysique, les données du forage recommandé pour pomper les eaux profondes et toute autre approche qui semblerait pertinente à un géologue"
- "Pomper l'eau en profondeur à côté du forage géothermique pour y assécher les terrains à proximité avec un nouveau forage qui servira aussi à la reconnaissance des couches géologique".

Le DPSM a été ensuite saisi par la DREAL pour assurer la réalisation opérationnelle du pilote de rabattement en tant que maître d'ouvrage délégué. Il se compose à l'origine :

- D'un forage de rabattement de la nappe profonde captive (FRAB-1) ;
- D'un piézomètre de la nappe profonde, attend dans le Muschelkalk (PSM) dont l'exécution servira de reconnaissance géologique et hydrogéologique ;
- D'un piézomètre du Keuper, dont les crépines seront positionnées dans les niveaux à anhydrites.

La vue ci-dessous représente la conception initiale du pilote de rabattement :

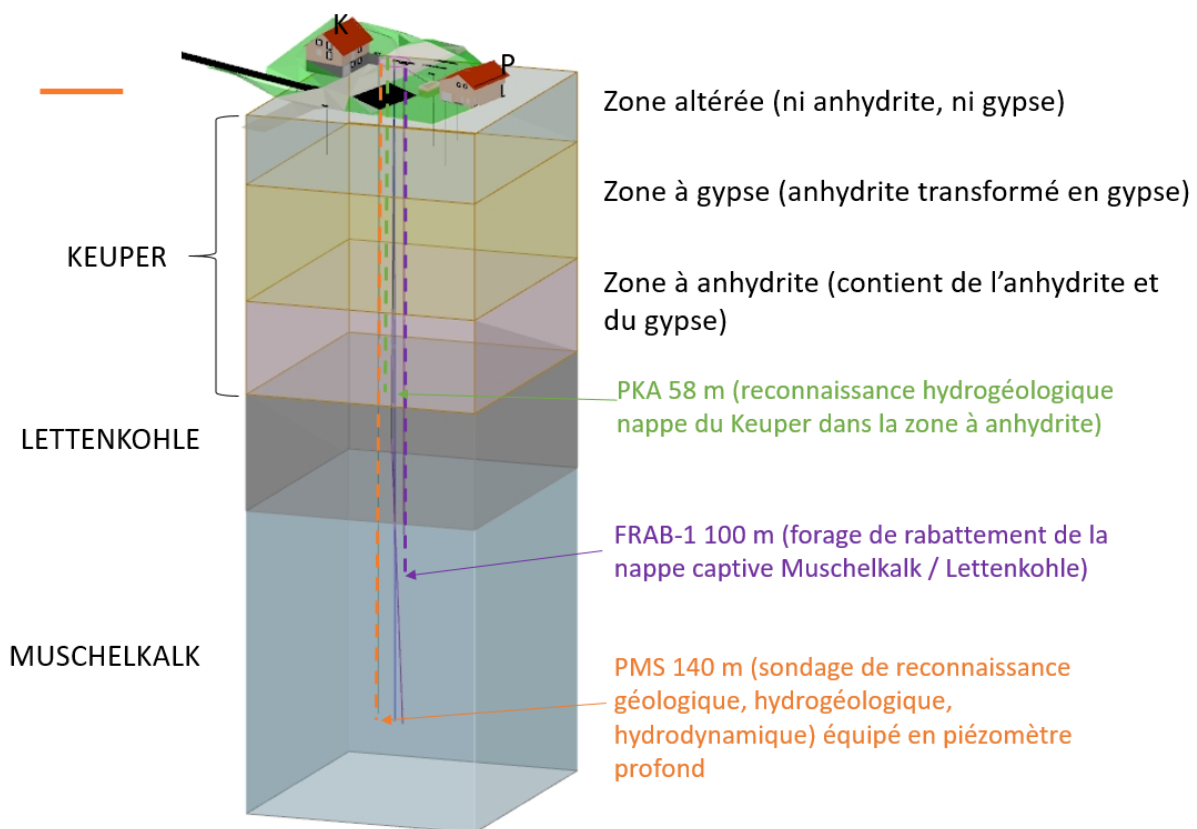


Figure 5 - Représentation en 3D du projet de pilote de rabattement à Lochwiller

4. Déploiement du dispositif

3.1. Montage de l'opération

Vu le contexte du projet, il a été décidé de mandater une maîtrise d'œuvre (MOE) unique qui réaliserait toutes les études et les dimensionnements nécessaires au projet mais également qui superviserait toute l'exécution des ouvrages et essais. Cette prestation a été attribuée à Antea.

Pour les travaux, douze lots distincts ont été attribués à onze entreprises. Chaque marché a été finement adapté au besoin, depuis le marché de fourniture pour les boues ou la cimentation, jusqu'à des marchés à bon de commande en régie pour le déploiement de certaines équipes travaux. Certains lots étaient des marchés de travaux plus classiques pour la réalisation des équipements ou des installations de chantier.

3.2. Réalisation du premier piézomètre, servant d'ouvrage de reconnaissance

Après la création de la base vie au début de l'été 2020, le premier ouvrage (PMS), piézomètre du Muschelkalk, qui servi de reconnaissance, a été réalisé de juillet à octobre 2020.

3.2.1. Essais et diagraphies

Cet ouvrage, de cent quarante mètres, a été carotté sur toute sa hauteur. De très nombreux essais et diagraphies ont été réalisés pour collecter des données et valider les hypothèses.

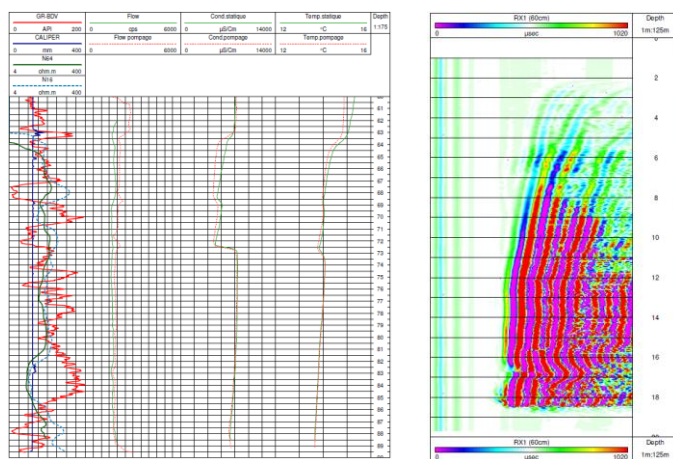


Figure 6 - Vu de résultats de certaines diagraphies réalisées dans PMS

3.2.2. Résultats obtenus

Ces reconnaissances ont permis de confirmer mais aussi de préciser la géologie et l'hydrogéologie sous le lotissement impacté.

Le gamma-ray chutant de 58,90 à 59,40m, correspondant au banc de dolomie qui marque la limite entre le Keuper et la Lettenkohle, le mur du Keuper a été identifié à 58,90m. Celui de la Lettenkohle a été déterminé à 80,80m suite aux fortes variations du gamma-ray qui témoignent d'une alternance de niveaux dolomiques et argileux.

Toutefois une nappe captive non identifiée à l'origine, a été découverte. Ainsi sous le Keuper à anhydrite, deux nappes sont susceptibles d'alimenter ces terrains, l'une dans la Lettenkohle, l'autre dans le Muschelkalk.

On observe, grâce au passage d'un micro-moulinet, une venue d'eau dans PMS à environ soixante mètres (Lettenkohle) et une autre à quatre-vingt-douze mètres (Muschelkalk). Ces résultats corroborent les pertes de boues et les observations des niveaux statiques relevés lors de l'exécution du carottage.

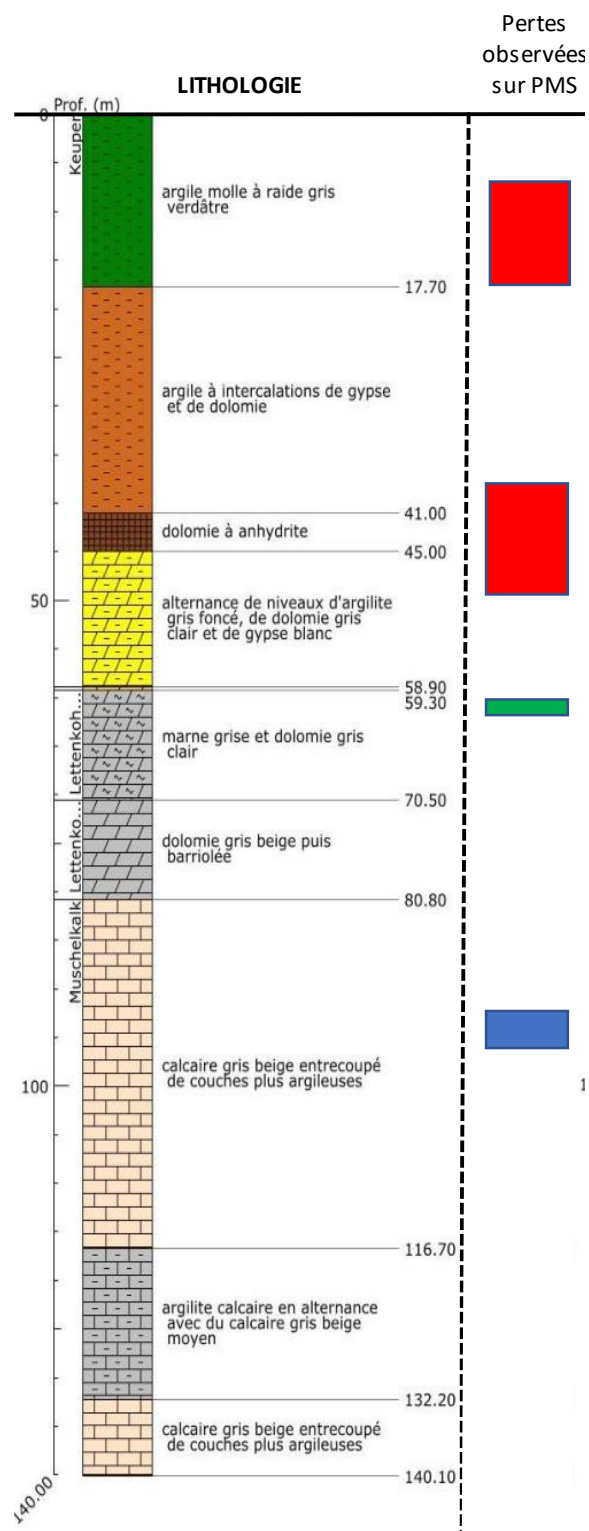


Figure 7 – Lithologie, issue du carottage PMS

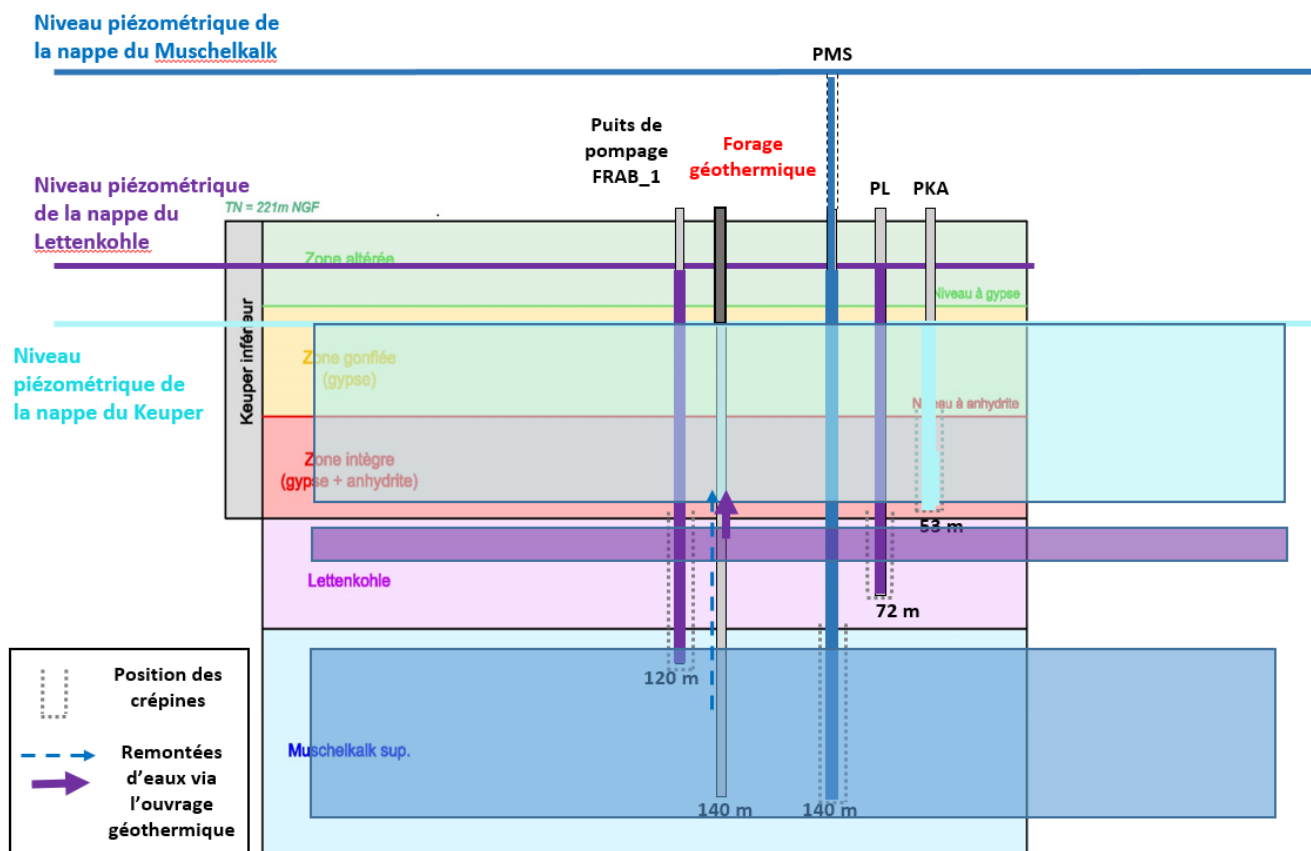


Figure 8 – Schéma des résultats d'investigations dans PMS : nappes identifiées, avec leurs niveaux piézométriques ; ainsi que les ouvrages à réaliser, avec leurs profondeurs

3.2.3. Prise en compte des reconnaissances

Ces reconnaissances ont induit une adaptation majeure du pilote avec l'ajout d'un piézomètre (PL) permettant d'observer la nappe de la Lettenkohle.

D'autres adaptations ont dû être prises en compte comme l'approfondissement du forage de rabattement, apportant de nouvelles obligations réglementaires.

La construction des marchés de travaux a permis au DPSM de s'adapter à ces nouveaux éléments. La DREAL et le ministère de l'écologie ayant été très réactif, l'impact sur le planning de l'opération est resté limité.

3.3. Construction des autres ouvrages du pilote de rabattement et détermination des circulations dans l'ouvrage géothermique

3.3.1. Constructions des deux piézomètres complémentaires et du forage de rabattement

Après la construction de PMS, deux autres piézomètres ont donc été déployés puis le forage de rabattement a été réalisé pour s'achever au printemps 2021.

Pour chaque opération, les machines les plus adaptées ont été sélectionnées et déployées.

3.3.2. Diagraphies et essais de pompage

Dès lors une série de tests et des diagraphies ont permis de valider la bonne exécution des ouvrages et vérifier la capacité du dispositif à contenir les remontés d'eaux via l'ouvrage géothermique défaillant.

Des essais de pompages par pallier ont été fait dans les ouvrages en mesurant l'influence dans les autres Le maître d'œuvre, Antea a ainsi pu déterminer les apports de chacun des aquifères dans nos ouvrages (figures 9 et 10).

Comme on peut le voir sur la répartition des apports dans FRAB-1 (figure 9), cette ouvrage ne capte quasiment pas la nappe profonde du Muschelkalk.

Il a été démontrée que la nappe alimentant les niveaux du Keuper à anhydrite était celle captée dans FRAB-1 au niveau de la Lettenkohle et que la nappe profonde du Muschelkalk n'a qu'une influence très limitée. Donc une circulation très faible via l'ouvrage géothermique depuis le Muschelkalk.

En effet les pompages dans PKA, piézomètre qui mesure le niveau de l'aquifère qui a été alimenté par la remonté d'eau, ont permis de montrer que les apports proviennent très largement de l'aquifère de la Lettenkohle.

Quant aux pompages dans PMS, ceux-ci ont mis en évidence une très faible incidence sur les aquifères supérieurs.

Fort de ces résultats, Antea a pu déterminé que la nappe qui est à l'origine de la remontée via l'ouvrage géothermique est celle de la Lettenkohle. Le maître d'œuvre a enfin pu dimensionner la pompe qui assurera l'atteinte des objectifs, à savoir empêcher la remontée des eaux via l'ouvrage géothermique.

		PALIER 1	PALIER 2	PALIER 3	PAUER 4	LD
Pompage FRAB-1						
	Débit essais mesuré :	1,53 m ³ /h	3,50 m ³ /h	5,11 m ³ /h	5,35 m ³ /h	4,03 m ³ /h
	Durée essais :	2:00	2:00	2:00	2:00	72:00
FRAB-1						
	Rabattement mesuré :	6,18 m	22,12 m	48,03 m	65,50 m	34,77 m
	Qs correspondant :	0,25 m ³ /h/m	0,16 m ³ /h/m	0,11 m ³ /h/m	0,08 m ³ /h/m	0,12 m ³ /h/m
B=0,761 h/m ² C=1,680 h ² /m ⁵	Rabattement calculé :	5,10 m	23,24 m	47,76 m	52,10 m	30,35 m
	Débit théorique calculé :	0,57 m ³ /h	2,13 m ³ /h	3,62 m ³ /h	3,73 m ³ /h	2,16 m ³ /h
	% du débit d'exhaure :	37%	61%	71%	70%	54%
	Rabattement théorique calculé :	0,98 m	9,23 m	24,77 m	26,15 m	9,47 m
	Qs correspondant :	0,58 m ³ /h/m	0,23 m ³ /h/m	0,15 m ³ /h/m	0,14 m ³ /h/m	0,23 m ³ /h/m
PKA						
	Rabattement mesuré :	2,19 m	4,03 m	4,17 m	4,23 m	4,63 m
B=0,316 h/m ² C=2,190 h ² /m ⁵	Débit théorique calculé :	0,93 m ³ /h	1,29 m ³ /h	1,31 m ³ /h	1,32 m ³ /h	1,38 m ³ /h
	% du débit d'exhaure :	61%	37%	26%	25%	34%
	Rabattement théorique calculé :	2,19 m	4,03 m	4,17 m	4,23 m	4,63 m
	Qs correspondant :	0,42 m ³ /h/m	0,32 m ³ /h/m	0,31 m ³ /h/m	0,31 m ³ /h/m	0,30 m ³ /h/m
PMS						
	Rabattement mesuré :	0,04 m	0,14 m	0,30 m	0,52 m	0,88 m
B=1,610 h/m ² C=0,374 h ² /m ⁵	Débit théorique calculé :	0,03 m ³ /h	0,09 m ³ /h	0,18 m ³ /h	0,30 m ³ /h	0,49 m ³ /h
	% du débit d'exhaure :	2%	2%	4%	6%	12%
	Rabattement théorique calculé :	0,04 m	0,14 m	0,30 m	0,52 m	0,88 m
	Qs correspondant :	0,62 m ³ /h/m	0,61 m ³ /h/m	0,60 m ³ /h/m	0,58 m ³ /h/m	0,56 m ³ /h/m

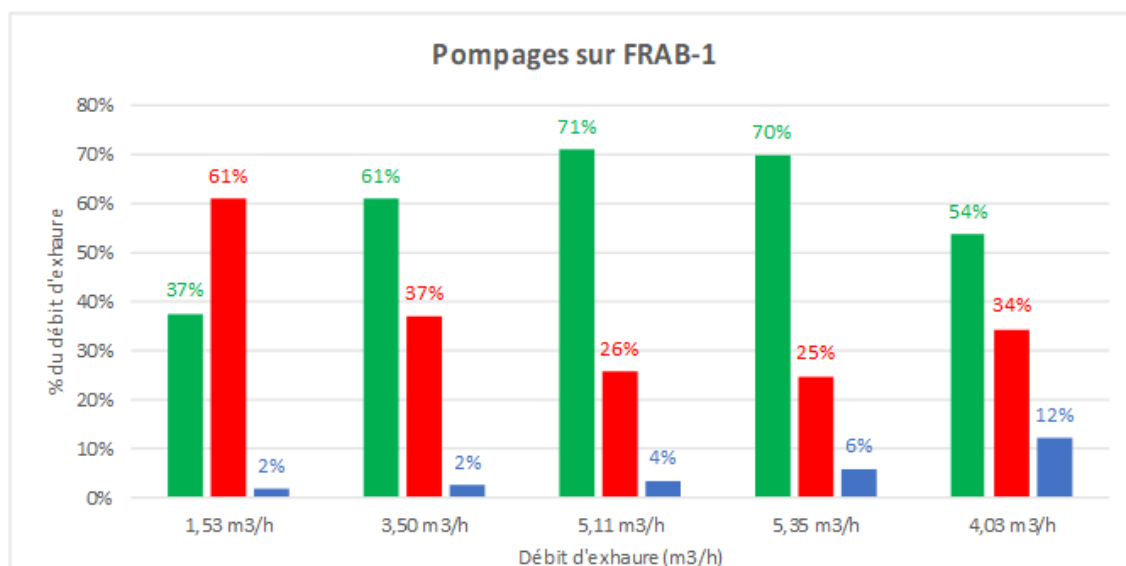


Figure 9 – Détail des essais de pompage dans FRAB-1 et répartition des apports des aquifères (vert : Lettenkohle, Rouge : Keuper, Bleu : Muschelkalk)

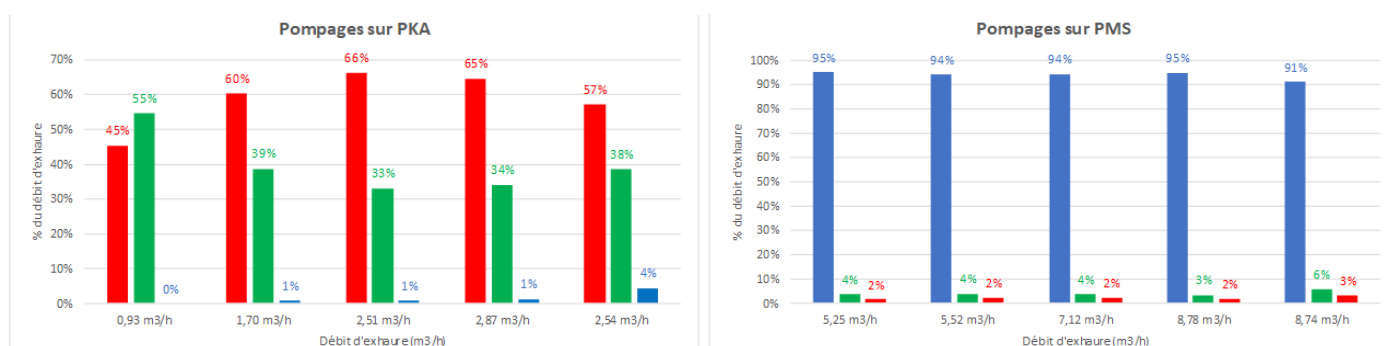


Figure 10 – Répartition des apports des aquifères lors des essais de pompages dans PKA et PMS (vert : Lettenkohle, Rouge : Keuper, Bleu : Muschelkalk)

3.3.3. Mise en route du pilote de rabattement

Le 10 juillet 2021, la pompe a été mise en route. S'en est suivi une phase de tests durant l'été 2021 pour observer la réaction de l'hydrosystème au pilote. Il a été décidé de rabattre la nappe de la Lettenkohle au niveau de la nappe sus jacente (compartiment inférieure du Keuper, suivi dans PKA) afin d'annuler les remontés d'eaux des aquifères captifs.

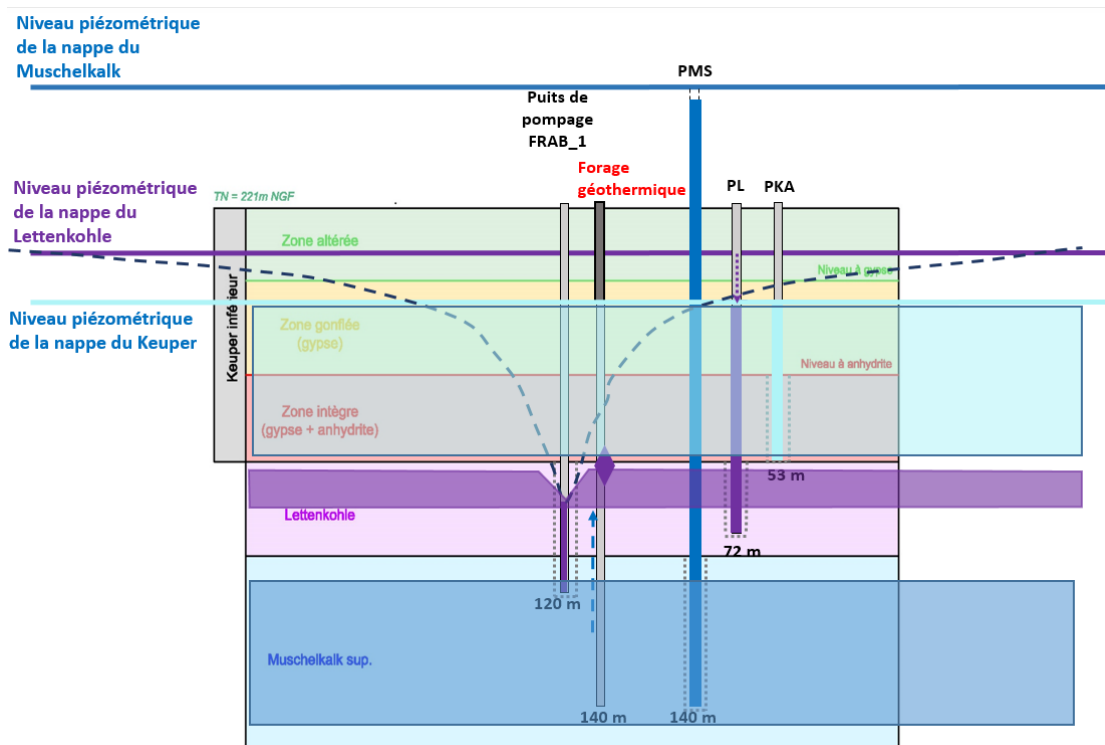


Figure 11 – Schéma du rabattement via FRAB-1, empêchant la remontée d'eau vers le Keuper, via l'ouvrage géothermique

5. Conclusion

Afin de contenir rapidement les remontés d'eau via un ouvrage géothermique défaillant, il a été nécessaire de construire à Lochwiller un pilote de rabattement composé de trois piézomètres (PMS, PL, PKA) et un forage de rabattement (FRAB-1). Le dispositif aura été déployé malgré les nombreuses incertitudes de départ notamment en ce qui concerne l'hydrogéologie, mais il aura également fallu surmonter de nombreuses difficultés dans un contexte particulier de territoire durement touché.

Pour ne plus alimenter, via la sonde géothermique, les terrains à anhydrite du Keuper, le dispositif doit maintenir l'équilibre local entre les nappes de la Lettenkohle et du Keuper.

Les données de nivellement de 2022 seront essentielles pour mesurer l'effet du pompage sur les mouvements du sol. Dans le cadre de sa mission opérationnelle d'après-mine pour le compte de l'Etat, le DPSM du BRGM est chargé de l'exploitation du dispositif.

6. Références bibliographiques

CGEDD (2017) Modalités de gestion et d'indemnisation des dégâts occasionnés par un forage géothermique sur la commune de Lochwiller (Bas-Rhin), pp38-44.

Réunion publique du 15 mai 2018 : partie V – faisabilité d'un pompage (Géoderis).

http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/presentation_rplochwiller_internet.pdf