

# DEPLOIEMENT D'UN CHAMP CAPTANT POUR MAITRISER LES IMPACTS DE LA REMONTEE DE LA NAPPE DU BASSIN HOULLER LORRAIN

## **DEPLOYMENT OF A WELL FIELD TO CONTROL THE IMPACTS OF THE GTI AQUIFER RISE IN THE COAL BASIN OF LORRAINE**

Marsia JODER<sup>1</sup>, Annabelle SALMON-LEGAGNEUR<sup>2</sup>, Laurent VAUTE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BRGM/DPSM, Freyming-Merlebach, France

<sup>2</sup> GEODERIS, Metz, France

<sup>3</sup> BRGM/DAT, Nancy, France

**RÉSUMÉ** – L'article expose les enjeux liés à la remontée de la nappe des grès du Trias inférieur (GTi) dans le bassin houiller lorrain. Suite à la fin de l'exploitation minière, le niveau de la nappe revient à son équilibre initial, impactant les zones bâties. Un programme est mis en place pour maintenir les niveaux d'eau sous les fondations des bâtiments, basé sur un modèle numérique alimenté par 1100 points de mesures. Ce projet itératif implique la collecte continue de données sur le terrain pour ajuster les travaux. Il souligne la coopération entre les acteurs pour gérer les risques associés à l'après-mine.

**ABSTRACT** – The article discusses the issues related to the rise of the Lower Triassic sandstone aquifer (GTi) in the Lorraine coal basin. Following the end of mining exploitation, the water table level returns to its initial equilibrium, impacting built-up areas. A program is implemented to maintain water levels below building foundations, based on a numerical model fueled by 1100 measurement points. This iterative project involves continuous data collection in the field to adjust the work. It highlights cooperation among stakeholders to manage risks associated with post-mining activities.

### 1. Introduction

Les eaux souterraines de la nappe des grès du Trias inférieur (GTi), important aquifère pour l'alimentation en eaux potables du Grand Est, ont vu leur niveau d'origine s'abaisser par les prélèvements d'eau qui y ont été réalisés au cours du temps. En plus des forages d'eau industrielle et d'eau potable, la nappe des GTi du bassin houiller lorrain (BHL) a été fortement sollicitée par l'exploitation minière. Le rabattement global de cette nappe a entraîné l'assèchement de zones autrefois humides ou marécageuses. L'urbanisme s'est considérablement développé dans la région pour répondre aux besoins de logement suite à l'afflux de main d'œuvre pour les mines, et de nombreuses constructions ont pris place dans les zones asséchées.

La diminution quasi continue des prélèvements d'eau, observable dans le périmètre du BHL depuis la fermeture progressive des industries à partir des années 1990, et plus particulièrement celle constatée à la fin de l'exploitation du charbon (2004) et à l'arrêt des pompages d'exhaure (2006), a pour conséquence un retour à un nouvel équilibre piézométrique de la nappe des GTi au niveau proche de son niveau d'origine. Dans les zones affectées par les phénomènes de subsidence résultant de l'exploitation minière, ce niveau se retrouve au-delà de la surface topographique.

Depuis le milieu des années 2010 et disposant des premières années de suivi de la remontée de la nappe des GTi, GEODERIS mène des études approfondies de simulation des conséquences de ces phénomènes. En réponse aux risques que représente la remontée de la nappe pour les zones bâties, l'Etat s'est engagé en 2021 à maintenir le niveau de la nappe sous le niveau des fondations des bâtiments (3 m sous les bâtiments)

sur un périmètre prédéfini (zone dite « à protéger »), plus étendu que celui qui incombait à l'ancien exploitant minier et dont l'Etat a hérité en 2008. La déclinaison opérationnelle de ces engagements consiste en un programme de déploiement d'un champ captant pour maîtriser le niveau de la nappe, accompagné d'environ 250 piézomètres pour le suivi de l'évolution des niveaux piézométriques. Ce programme se base, entre autres, sur un modèle numérique alimenté par 1100 points de mesures (piézométrie, débit et isohypses du toit du permien, du houiller et des GTi affleurant) et composé de quatre couches géologiques (alluvions, GTi, Permien et travaux miniers).

La mise en œuvre de ce programme est confiée au Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du BRGM, qui agit en tant que maître d'ouvrage délégué pour le compte de l'Etat.

## 2. Connaissances géologiques et hydrogéologiques

### 2.1. Contexte géologique

Les grès vosgiens surplombent le carbonifère autrefois exploité pour son charbon. Ces deux couches géologiques sont séparées par le Permien, généralement imperméable mais souvent fracturé en multiples lieux sur le bassin minier.

Les grès du Trias inférieur correspondent à une puissante série gréseuse, qui s'est développée au Buntsandstein, il y a 240 à 245 millions d'années, sous l'action d'un grand fleuve s'écoulant vers le Nord-Est en direction de la Mer germanique (Nguyen-Thé et Thonnon, 2010). Le réservoir des GTi est constitué de grès plus ou moins fins, avec quelques passées argileuses dans sa partie supérieure, des passées conglomératiques en son centre et à sa base, et des lentilles d'argile dans sa partie inférieure. Au droit d'une même point géographique, cette hétérogénéité des faciès géologiques peut induire l'existence de niveaux piézométriques différents au sein des grès, voire permettre la présence de véritables nappes perchées au sein des grès (Guillemoto, Picot-Colbeaux et Vaute, 2018).

Le secteur d'étude peut être subdivisé en deux grande entités géologiques séparées par la grande faille de Hombourg d'orientation Nord-Est/Sud-Ouest qui met en contact des terrains sédimentaire d'âge différent. De nombreuses données permettent de mettre en évidence le caractère peu perméable de cette faille.

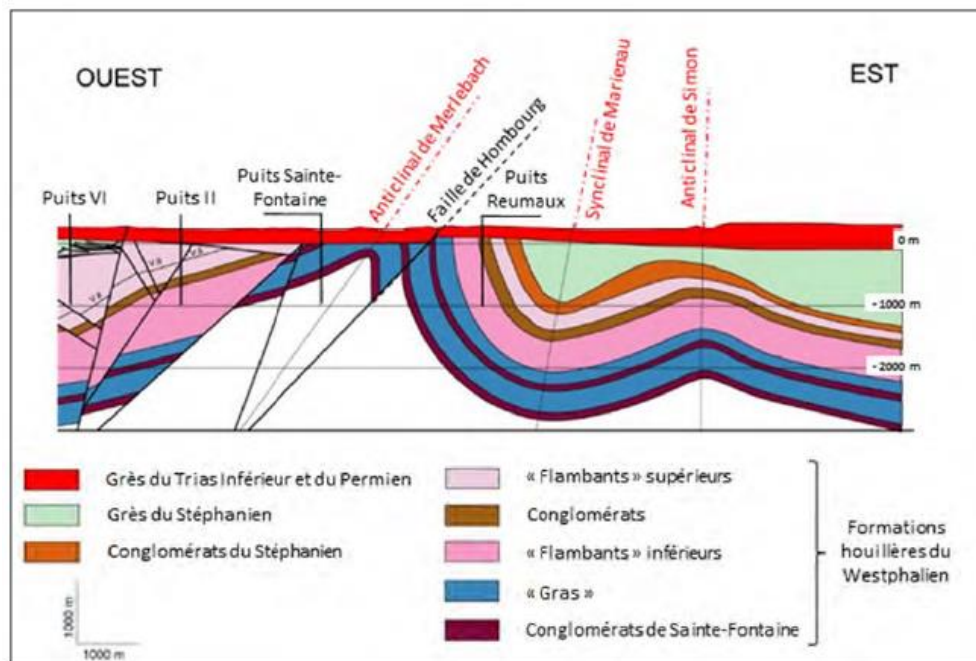


Figure 1. Coupe générale Ouest-Est du gisement houiller de Lorraine centrée sur la faille de Hombourg (Reichart, 2022)

## 2.2. Contexte hydrogéologique

Deux principales formations aquifères sont présentes au niveau de la zone d'étude :

- les nappes d'accompagnement qui s'écoulent aux travers de formations alluvionnaires : elles sont en partie délimitées à leur base par une formation tourbeuse ou argileuse imperméable (mur), rendant la nappe des GTi localement captive ;
- la nappe des GTi recouvre une large partie de la région Grand-Est allant des Vosges jusqu'en Allemagne. Le réservoir des GTi est constitué de deux compartiments distincts une partie sous couverture du Muschelkalk essentiellement captive et une partie libre qui constitue les zones d'alimentation de la nappe (Vosges et BHL). L'écoulement général de la nappe s'effectue du Sud vers le Nord.

Au sein du BHL plusieurs failles ont un rôle hydrogéologique important, parmi elles la faille de Longeville-Hombourg joue un rôle prépondérant à l'égard du phénomène de remontée de nappe. Celle-ci constitue une barrière aux écoulements dans les GTi qui en résulte d'une division de l'aquifère en deux compartiments hydrauliques distincts ayant des cinétiques de reconstitution différentes :

- à l'Ouest de la faille la nappe a presque retrouvé son état d'équilibre (moins de 10 mètres sous les fonds de vallées) et remonte de quelques centimètres par an ;
- à l'Est de la faille la nappe est rencontrée à plusieurs dizaines de mètres de profondeur et remonte de plusieurs mètres par an.

## 3. Prévision de la remontée de nappe

### 3.1. Modèle numérique

Le modèle numérique de la nappe des GTi sur lequel reposent les travaux de GEODERIS, a été développé par le BRGM avec le logiciel MARTHE. Il couvre la nappe sur toute sa partie captive (majoritaire) et sur sa partie libre, notamment dans le bassin houiller lorrain.

L'extension occidentale sous le bassin parisien est limitée en raison de l'épaisseur réduite des GTi. Le maillage du modèle comprend des mailles de 500 m par 500 m, avec un sous-maillage de 50 m par 50 m dans le périmètre du SAGE<sup>1</sup> du Bassin Houiller et en Allemagne jusqu'à la limite des affleurements des GTi. Quatre couches sont modélisées pour représenter les différentes formations géologiques ; les alluvions, les GTi, le Permien et le réservoir minier dans le Carbonifère. Le modèle tient notamment compte de l'ensemble du réseau hydrographique, des affaissements topographiques d'origine minière, du changement climatique, des failles hydrogéologiques ainsi que des échanges entre les nappes alluviales, la nappe des GTi et les réservoirs minier (points d'échange nappe-mine).

Près de 600 points en France et près de 100 points en Allemagne, avec au moins une mesure de niveau piézométrique entre 1976 et 2016, ont été utilisés pour calibrer le modèle.

---

<sup>1</sup> SAGE: Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

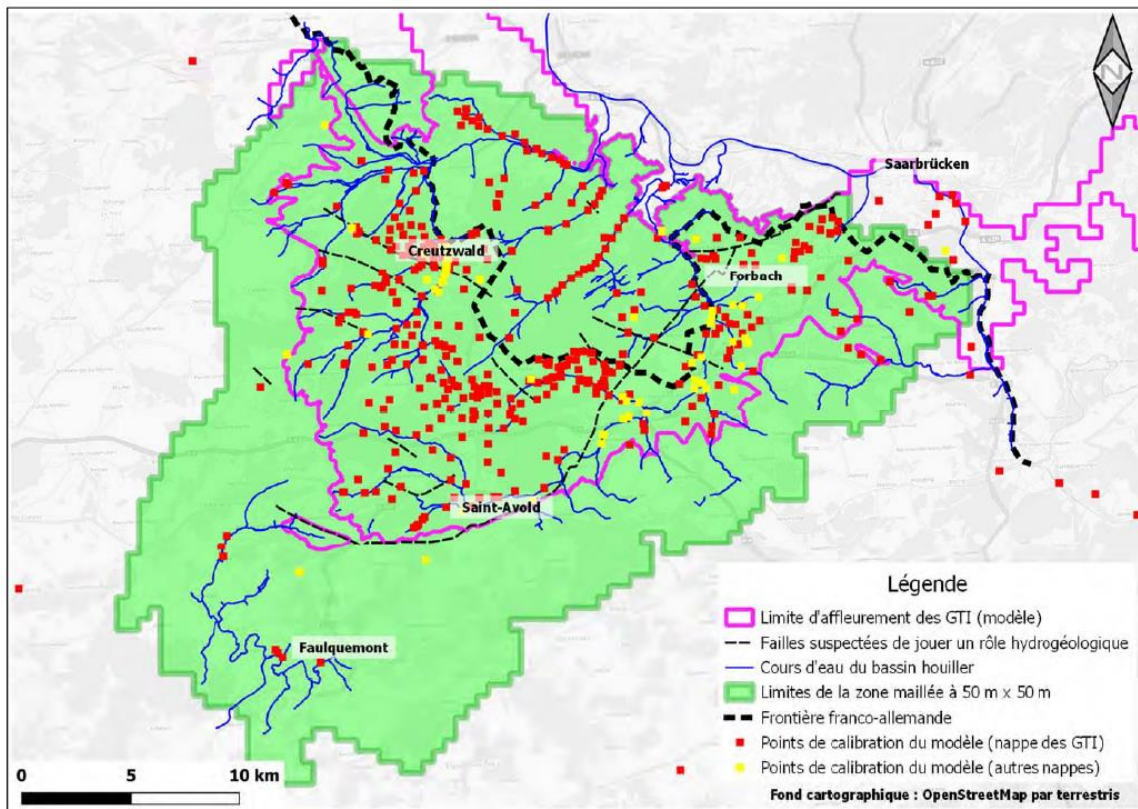


Figure 2. Points de calibration du modèle numérique et emprise du domaine maillé à 50 m x 50 m (Reichart, 2022)

### 3.2. Cartographie de la situation future estimée

À partir de la piézométrie simulée par le modèle numérique en moyennes et hautes eaux (crue de nappe interannuelle), la situation future de la nappe des GTi est cartographiée depuis 2018 à l'aide d'un code couleur selon trois classes de profondeur (cf. Figure 3), selon que la profondeur de la nappe est :

- inférieure ou égale à 0,5 m (situation dite de nappe potentiellement affleurante ou captive en domaine alluvial) ;
- comprise entre 0,5 m et 3 m (situation dite de nappe potentiellement sub-affleurante ou captive en domaine alluvial) ;
- comprise entre 3 m et 5 m (situation dite de nappe plus profonde).

La précision altimétrique des profondeurs calculées a été estimée à  $\pm 2$  m sur l'ensemble du bassin – soit  $\pm 1,5$  m provenant de l'incertitude sur la piézométrie et  $\pm 0,5$  m provenant de l'incertitude sur la topographie. Pour la piézométrie, la valeur de l'incertitude est basée sur la qualité de calibration dans les secteurs où la nappe est peu profonde (nord-ouest du bassin) et a été extrapolée aux secteurs pour lesquels il n'y a pas ou peu de retour d'expérience sur cette configuration.

Il convient également de préciser que les prévisions produites sont associées à des incertitudes résiduelles, c'est-à-dire à l'ensemble des éléments qui pourraient conduire à remettre en question ces prévisions (et qui doivent donc être gardés en mémoire dans le cadre de tout travail d'interprétation).

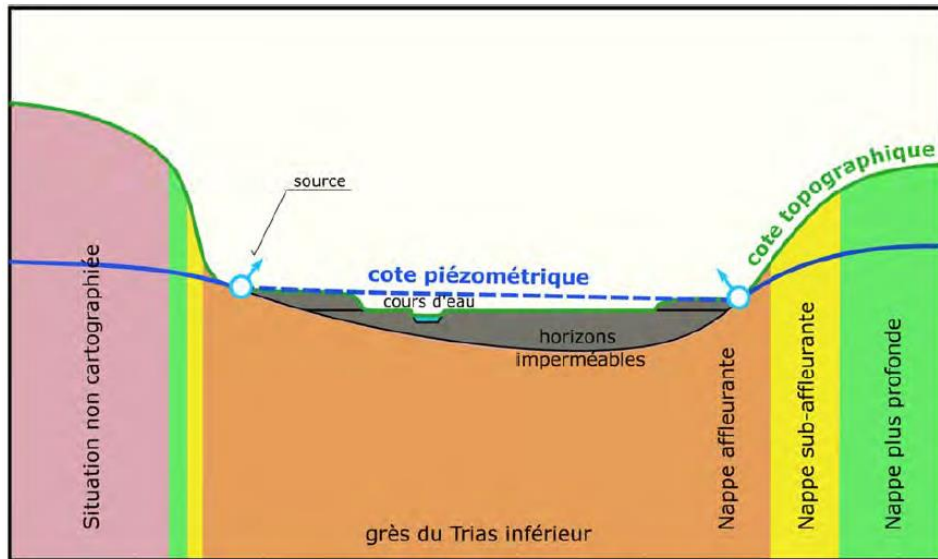


Figure 3. Situation estimée des nappes : classes de profondeur définies pour la cartographie (Reichart, 2022)

Selon la configuration de la nappe des GTi, libre ou captive, la notion de profondeur de nappe ici définie peut prendre différentes significations : la nappe peut être soit libre, soit captive en domaine alluvial (mise en charge sous des horizons imperméables présents dans les alluvions), soit captive hors domaine alluvial (du fait de contrastes de conductivité hydraulique au sein des GTi).

Dans le premier cas, la situation estimée de la nappe correspond à la profondeur physique de l'eau souterraine. Dans les autres cas, les classes de profondeur ne rendent pas nécessairement compte du niveau où l'eau sera réellement rencontrée, au sens d'un terrain saturé en eau. Elles renseignent avant tout sur l'état de charge de la nappe en profondeur et sur la nature des désordres qui peuvent résulter de cet état de charge.

### 3.3. Détermination de la configuration des ouvrages du champ captant

Le champ captant proposé pour le secteur Ouest de la faille de Hombourg a été déterminé à l'issue de deux phases de modélisation.

La première phase utilise des simulations basées sur le modèle numérique disponible pour calculer les débits de débordement nécessaires pour rabattre la nappe des GTI à 3m sous les bâtiments dans les zones à protéger. Ces débits sont appliqués aux points de pompage théoriques, positionnés au barycentre des mailles de débordement dans les zones concernées. Une approche itérative semi-automatique est utilisée pour déterminer l'emplacement, le débit optimal et la date d'activation de chaque pompage. Au total, 75 points de pompage sont retenus pour gérer la situation à terme, répartis entre les secteurs Ouest et Est. Les prélèvements cumulés sont évalués pour différentes situations hydrologiques.

La deuxième phase implique l'interprétation des résultats de la première phase pour affiner les mesures qui seront réellement mises en œuvre en fonction des contraintes technique et économique. Ce travail est actuellement limité au secteur Ouest du bassin. Un biais potentiel dans l'estimation des débits de pompage et des dates d'activation est constaté, mais considéré comme négligeable. Les résultats de la deuxième phase constituent le programme du champ captant.

## 4. Anisotropie verticale de la nappe des GTi

### 4.1. Protocole d'investigation au cours de travaux

Une compartimentation supposée de la nappe des GTi a conduit le BRGM/DPSM à profiter de travaux de forages en 2021 pour réaliser une série d'investigations instantanées et différées :

- Investigations à l'avancement : la technique de forage retenue est le marteau fond de trou avec tubage à l'avancement pour les horizons alluvionnaires et les grès instables (jusqu'à 20 mètres en moyenne). Elle permet la mesure du débit, de la conductivité et du pH à chaque mètre foré, en plus des paramètres classiques de forage comme la vitesse d'avancement et l'injection d'air. Le suivi du niveau hydrostatique est également effectué afin d'identifier les charges hydrauliques des aquifères captés. Cette méthode semble également être la plus adaptée dans ce secteur pour prélever les cuttings tous les mètres ;
- Diagraphies : les diagraphies peuvent être réalisées sur trou nu ou après équipement dans le cas où les terrains ne se tiennent pas. Ces mesures sur forage non tubé permettent non seulement d'avoir un meilleur signal selon les mesures effectuées mais également de réaliser des imageries de parois. Les paramètres mesurés sont les suivants : gamma-ray, thermo-conductivité, micromoulinet, imagerie de parois ;
- Essais de pompage : des essais de nappe par paliers et de longues durées sont réalisés dans des ouvrages stratégiques en utilisant un maximum de piézomètres voisins comme points d'observation. L'objectif est d'estimer la transmissivité et l'emmagasinement de l'aquifère sollicité et d'identifier tout comportement inattendu du rabattement.

En plus des investigations, des analyses hydrogéochimiques sur les ouvrages stratégiques aideront à identifier les sources potentielles de pollution pouvant être remobilisées par l'activité du futur champ captant. Elles fourniront également un état de référence des eaux souterraines avant toute modification liée à l'implantation du champ captant

### 4.2. Résultat des investigations

L'interprétation de ces résultats a permis de considérer le caractère multicouche des GTi par alternance de couches aquifères inter-communicantes, souvent captives et délimitées par des couches aquitards semi-perméables, entraînant une drainance sous l'effet de la stimulation de l'aquifère par pompage. En fond de vallée, à proximité des cours d'eau, ces nappes contenues dans les grès sont surmontées de nappes alluviales, ou de nappes d'accompagnement, souvent délimitées à leur mur par une couche tourbeuse ou argileuse faiblement perméable. Toutefois, dans certains cas, la nappe alluviale est drainée lorsque la nappe supérieure des GTi est rabattue. Ceci confirme le rôle des aquitards en tant qu'écran semi-perméable notamment lorsque l'aquifère des GTi est sollicité. Ces résultats sont propres à la zone d'étude et dans les conditions de réalisations des essais. Néanmoins, en appliquant ce protocole d'investigation à l'exécution des piézomètres positionnés proches des futurs forages de rabattement, les données recueillies permettront de dimensionner de manière optimale les forages et prévoir le rabattement occasionné en fonction des enjeux.

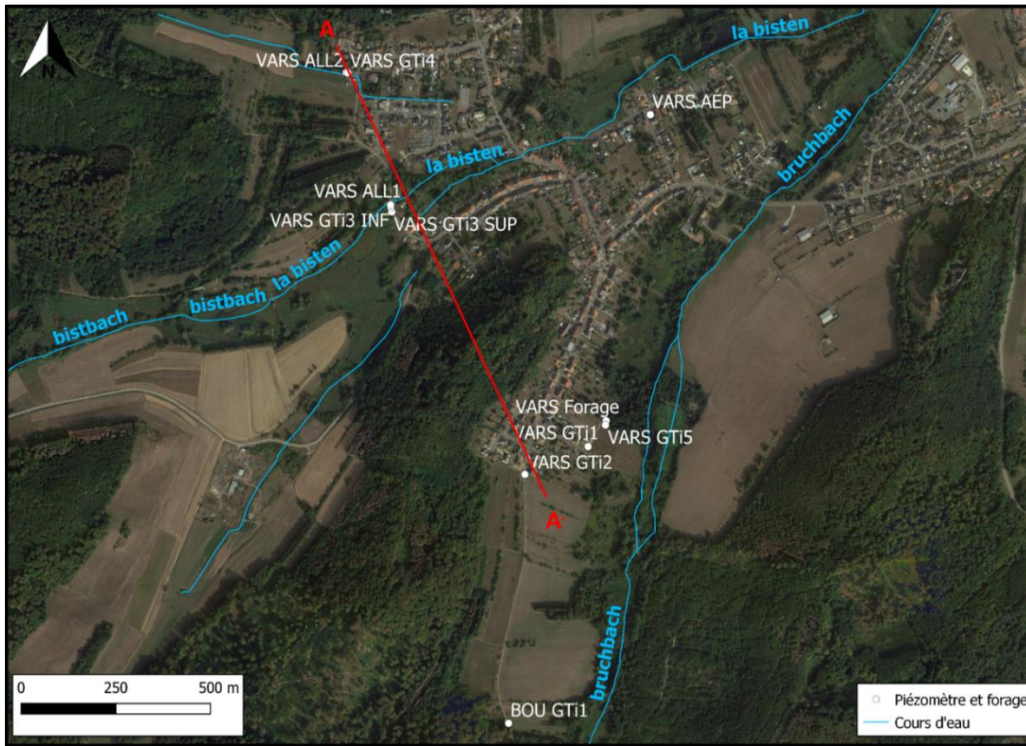


Figure 4. Localisation de la coupe hydrogéologique NNO-SSE sur la commune de Varsberg

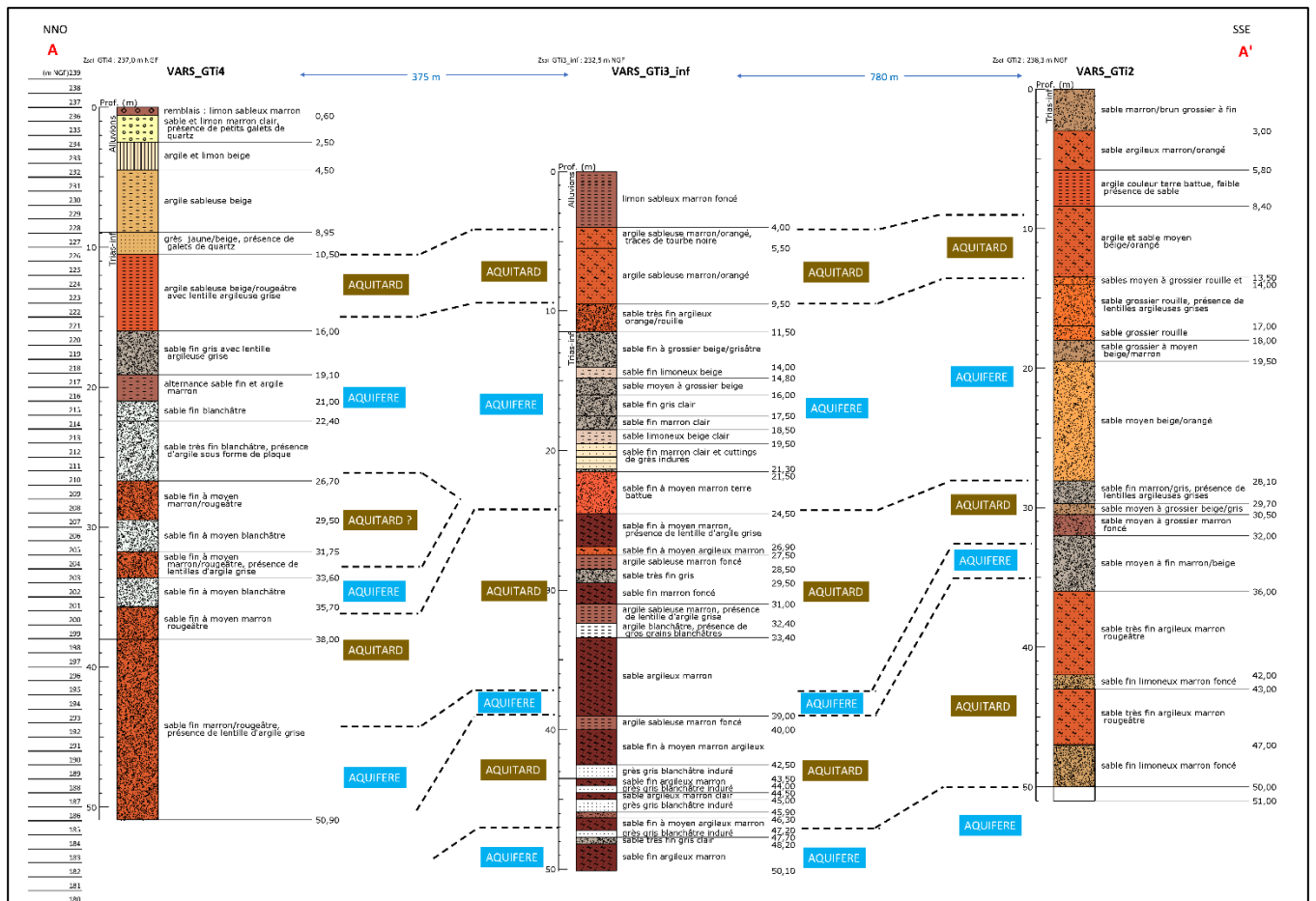


Figure 5. Coupe hydrogéologique interprétative NNO-SSE sur la commune de Varsberg (DA SILVA MAIA et KLINKA, 2022)

## **5. Conclusion**

Une particularité du projet est son caractère itératif, basé sur l'alimentation réciproque du modèle et du projet de travaux par les données récoltées sur le terrain au fur et à mesure du déploiement des installations. Par exemple, des études du BRGM/DPSM et de GEODERIS ont mis en évidence une probable compartimentation verticale hydraulique des GTi. Le BRGM/DPSM a donc réalisé des investigations hydrogéologiques à l'avancement lors de la réalisation des premiers piézomètres afin d'optimiser la conception des forages de rabattement associés. Ces investigations ont permis de confirmer localement l'hypothèse de la compartimentation des GTi, voire de la présence d'un aquifère multicouche avec drainance entre les compartiments. Les résultats acquis sur les nouveaux ouvrages alimenteront les versions ultérieures du modèle et conduiront, le cas échéant, à adapter le programme de travaux. Dans son programme, GEODERIS préconise de réitérer ces différentes investigations avec différents protocoles selon le rôle des ouvrages.

Un programme de travaux d'une telle ampleur comporte nécessairement des incertitudes résiduelles. Mais la réalisation des premiers ouvrages apporte un potentiel d'amélioration des connaissances qui conduit à adapter le phasage d'exécution des travaux afin de favoriser la collecte des données de terrain à l'avancement du projet, tout en respectant les priorités de mise en place des forages de rabattement imposées par la dynamique de remontée de la nappe. Le présent article s'attache à mettre en évidence l'interaction entre modélisation et programmation des travaux, dans l'objectif à terme de mettre en œuvre les engagements de l'Etat à l'aide d'une solution technique qui profite au mieux des connaissances disponibles sur le sous-sol. Il illustre également la coopération entre les différents acteurs de l'après-mine pour assurer les missions de gestion des risques qui leur sont confiées.

## **6. Références bibliographiques**

- Nguyen-Thé D., Thonnon J. (2010). Etat et typologie des forages GTI en Lorraine. BRGM/RP-58555-FR, 130 p., 34 ill., 5 ann.
- Reichart G. (2022). Remontée de nappe dans le bassin houiller lorrain, vision « projet » à un horizon de 10 ans – GEODERIS, 154 p., 38 ill., 9 tab.
- Da Silva Maïa N., Klinka T. (2022). Caractérisation de l'aquifère des GTi dans le secteur ouest du bassin houiller lorrain (57). BRGM/RP-71672-FR, 164 p.
- Guillemoto Q., Picot-Colbeaux G., Vaute L. (2018). Evaluation des zones soumises au phénomène de remontée des nappes du grès du Trias inférieur et des alluvions sus-jacentes dans le bassin houiller lorrain. BRGM/RP-67630-FR, 71p., 24 ill., 5ann.