



Centre de compétence suisse
en géothermie profonde
pour la production
d'électricité et de chaleur

une entreprise de



Canton du Jura, Géothermie profonde (Pétrogéothermie)

Rapport d'impact sur l'environnement pour la construction et l'exploitation d'une centrale géothermique pilote

Chapitre EAUX SOUTERRAINES

- Site Haute-Sorne -



Delémont, le 23.04.2014

MH 13.10014

[Rapport_MFR_RIE_eaux sout.docx]

MFR Géologie-Géotechnique SA

9, rue de Chaux / CP 745

2800 Delémont 1

tél 032 422 61 14 / fax 032 422 18 80

Internet : <http://www.mfr.ch> E-mail : delemont@mfr.ch

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Généralités	3
1.2	Périmètre du projet	3
2	Boucle géothermale	5
2.1	Etat initial	5
2.1.1	Lithologie.....	5
2.1.2	Hydrogéologie	8
2.1.3	Qualité des eaux souterraines	10
2.1.4	Protection des eaux	12
2.2	Phase de construction.....	13
2.2.1	Impacts.....	13
2.2.2	Mesures de protection.....	15
2.3	Phase d'exploitation	18
2.3.1	Impacts.....	18
2.3.2	Mesures de protection.....	19
2.4	Démantèlement	19
3	Centrale géothermique.....	20
3.1	Etat initial	20
3.2	Phase de construction.....	21
3.2.1	Impacts.....	21
3.2.2	Mesures de protection.....	21
3.3	Phase de d'exploitation.....	22
3.3.1	Impacts.....	22
3.3.2	Mesures de protection.....	22
3.4	Démantèlement	22
3.4.1	Impacts.....	22
3.4.2	Mesures de protection.....	23
4	Suivi environnemental de réalisation - Hydrogéologie.....	24
4.1	Mise en place d'un réseau de surveillance hydrogéologique.....	24
4.2	Définition d'un programme de surveillance	25
4.2.1	Surveillance qualitative	25
4.2.2	Surveillance quantitative	25

4.2.3	Fréquence de surveillance	25
4.3	Mise en place d'un protocole de surveillance de chantier	26
5	Conclusions	27

REFERENCES

Boem, J.-M., Flury, F. & Rieben, C. (2006) : Recherche d'eau par forages profonds dans le Dogger (Grande Oolithe) du Jura tabulaire à Courtemaîche (Jura, Suisse). Bull. géol. appl. 11/1, pp. 19–34.

Flury, F., Allemann, R. & Lachat, R. (1991) : Recherche d'eau par forages dans l'aquifère profond du Malm à Delémont. – Résultats de la phase d'exploration. Gaz-Eaux-Eaux usées, SSIGE. Zurich,12, pp. 841–849.

Hauber, L. (1991): Ergebnisse der Geothermiebohrungen Riehen 1 und 2 sowie reinach 1 im Südosten des Rheingrabens. Geologisches-Jahrbuch, Reihe E: Geophysik. 48, pp. 167-184.

Hauber, L. (1993) : Der südliche Rheingraben und seine geothermische Situation. Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. –Ing., Vol. 60, Nr. 137, Dezember 1993 – S. 53-69.

Hessenauer M. & Flury F. (2010) : Prospection d'eau souterraine par forage profond incliné à Miécourt (Canton du Jura, Suisse). Swiss Bulletin de Géol. appl., Vol 15/1 2010.

Institut Géotechnique (2010): Puits des Petites Aingles, commune de Courfaivre : étude d'identification de foyer(s) de pollution, phase II. , Glovelier, le 16 novembre 2010, p. 13.

Liniger, H. (1925): Geologie des Delsbergerbeckens und der Umgebung von Movelier. Matériaux carte géologique de la Suisse, 55. Lief, Berne, 1925, p. 71.

MFR Géologie-Géotechnique SA (2010): Sous-station de Bassecourt. Cadastre cantonal des sites pollués. Parcelles n°1363 et 3053. Rapport d'investigation technique préalable selon l'OSites. BKW FMB Energie SA, Delémont, 791, 09.09.10, p. 19.

Pfiffner (2009): Geologie der Alpen. Haupt / TTB Fig 5.2.3

Schmidt, C., Braun, L., Paltzer, G., Mühleberg, M., Christ, P., Jacob, F. (1924): Die Bohrungen von Buix bei Pruntrut und Allschwil bei Basel. Beitr. z. Geol. Schweiz, Geoth., X. Lief., Zürich, 1924, p. 74.

1 Introduction

1.1 Généralités

Le projet dont il est question dans ce chapitre concerne :

- la réalisation d'un forage optionnel jusqu'au toit du socle cristallin à une profondeur de 1500 à 3000 m ;
- la réalisation d'un forage d'exploration profond (objectif actuel 4500m). En cas de succès, ce forage sera utilisé comme puits de production et un deuxième, voire un troisième forage de production seront ensuite réalisés. Ceux-ci seront identiques au premier forage d'exploration, leurs impacts éventuels sont donc traités conjointement.

Ce chapitre caractérise les impacts qu'un tel projet peut occasionner sur les eaux souterraines et les mesures de protection prévues. Il fait suite à l'enquête préliminaire du 8 mars 2013 dans laquelle a été établi un cahier des charges relatif aux eaux souterraines.

La prise de position de l'Office de l'Environnement (ENV) du 26 juin 2013 précise les points qui devront être abordés de manière plus spécifique dans le rapport d'impact sur l'environnement.

1.2 Périmètre du projet

Le présent rapport concerne le périmètre décrit au chapitre « Projet » du rapport d'impact sur l'environnement. Il porte sur le site prévisionnel retenu après la phase préliminaire, à savoir les parcelles 2136, 2137 et 2138, situées à l'aval (Est) de Röthlisberger SA, à la sortie Est du village de Glovelier (commune de Haute-Sorne), entre la voie CFF au Nord et la route cantonale au Sud (**Figure 1**).

L'altitude moyenne de ces parcelles est comprise entre 493 et 494 m.s.m.



Figure 1 Situation du projet à l'Est de Glovelier (surface en rouge)

2 Boucle géothermale

Dans ce chapitre, les phases « forage d'observation » et « forages profonds » seront traitées de manière unique. En effet, au cours de ces deux phases, dont la première est, au stade actuel, qu'optionnelle, les impacts et les mesures de protection seront en majorité identiques.

2.1 Etat initial

2.1.1 Lithologie

Le bassin de Delémont s'étend dans un vaste synclinal d'orientation est-ouest, de 22 km de long pour 4 à 5 km de large (**Figure 2**). Son altitude moyenne est de 420 m.s.m. Bordé au Nord par l'anticlinal du Vorbourg et au Sud par celui de Vellerat-Tiergarten, il est délimité à l'Ouest par l'anticlinal de la Caquerelle et par celui de Trogberg-Rotmatt à l'Est.

La stratigraphie du bassin est composée d'une épaisse couche tertiaire (Miocène, Oligocène et Eocène), qui atteint localement plus de 300 m d'épaisseur (Liniger, 1925). Les formations tertiaires reposent sur les calcaires du Malm et du Dogger qui affleurent sur les sommets environnants, culminant entre 850 et plus de 1000 m d'altitude.

Une série de failles transversales, de direction NNE-SSE, affectent le substratum du bassin de Delémont. Il s'agit de failles normales liées à la formation du fossé rhénan à l'Oligocène. Ces grands accidents parallèles découpent la couverture sédimentaire jusqu'au Trias, qui fonctionne comme horizon de décollement au-dessus du socle cristallin.

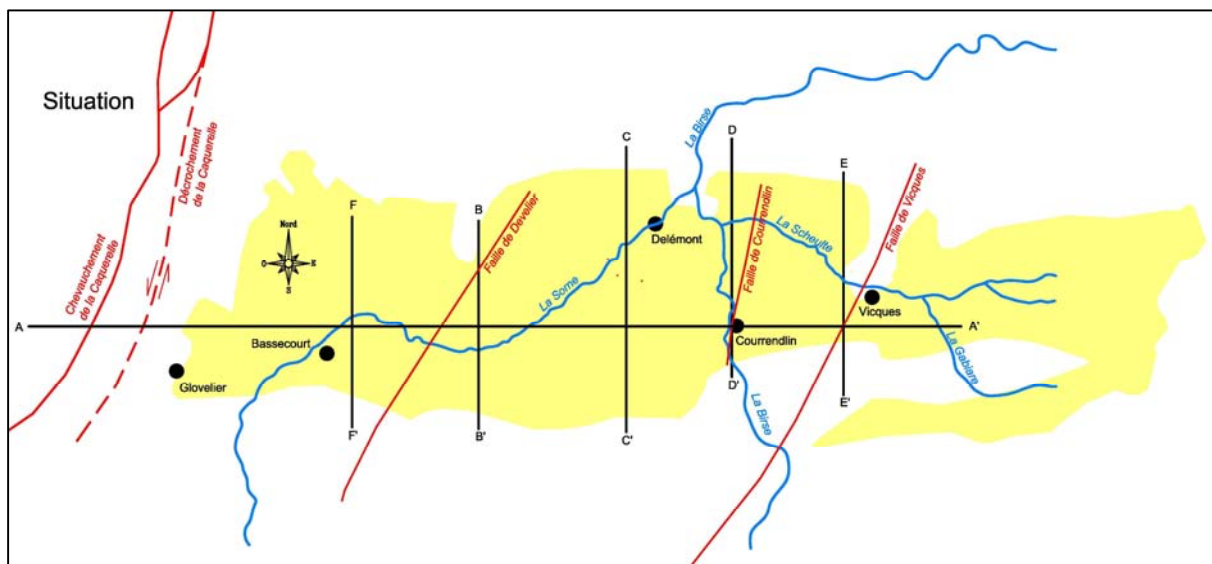


Figure 2 Bassin de Delémont avec son remplissage tertiaire (en jaune) et les accidents géologiques majeurs (failles transversales en rouge)

Le projet est situé à l'extrémité occidentale du bassin de Delémont. La succession prévisionnelle des différentes couches géologiques au droit des parcelles concernées (**Figure 3**) est la suivante, de haut en bas :

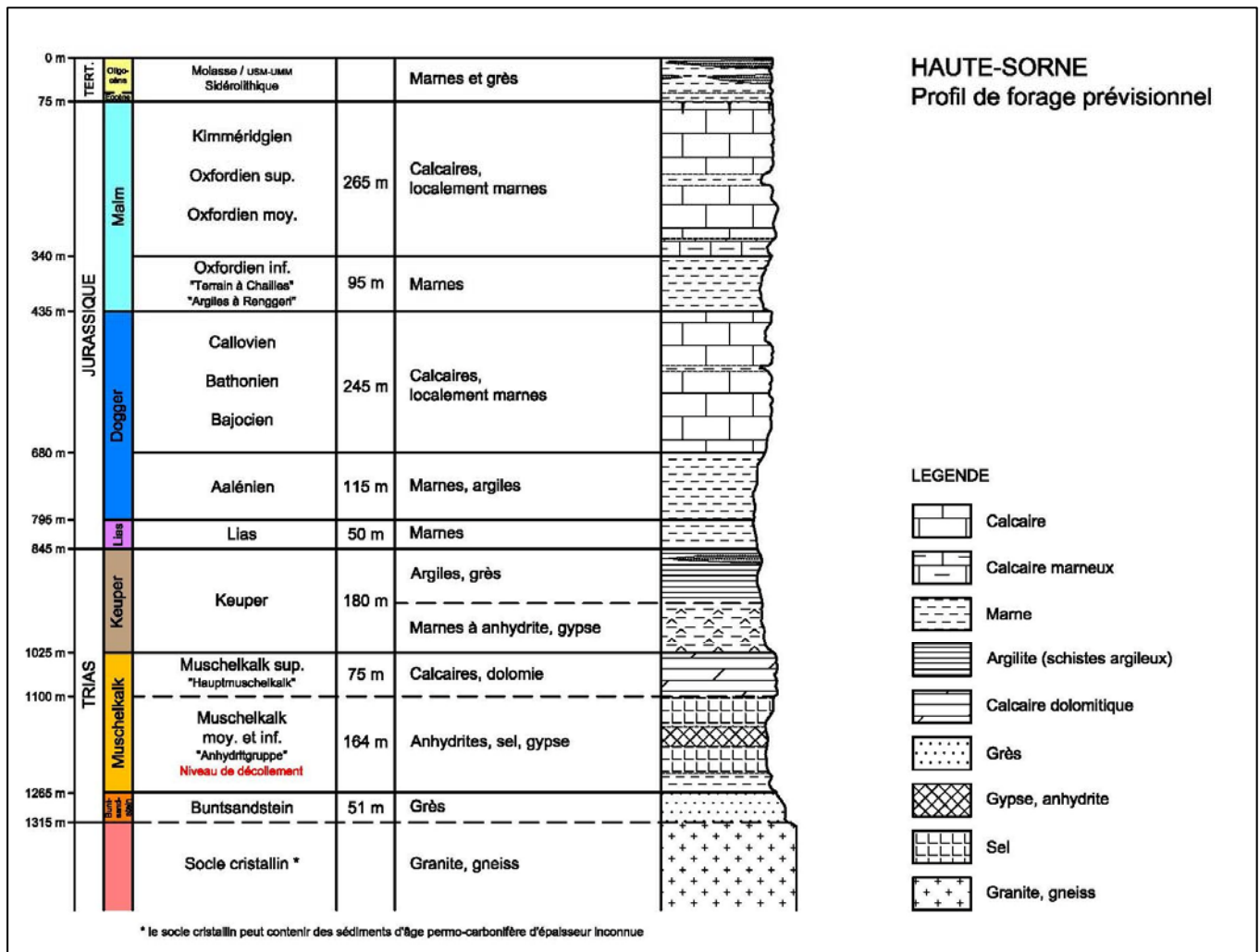


Figure 3 Profil de forage prévisionnel

- une faible épaisseur d'alluvions quaternaires. Les différentes investigations techniques menées jusqu'à présent montrent que l'épaisseur de cette formation varie de 1.75 à 4 m, avec une épaisseur moyenne sur les parcelles d'environ 2.8 m. De manière globale sur l'ensemble des parcelles concernées par le projet, l'épaisseur de cette formation quaternaire est croissante du Nord-Ouest vers le Sud-Est (**Figure 4**). Les faciès sont principalement représentés par des graviers à matrice limono-argileuse pouvant, localement, être recouverts de quelques décimètres de limons d'inondation ;

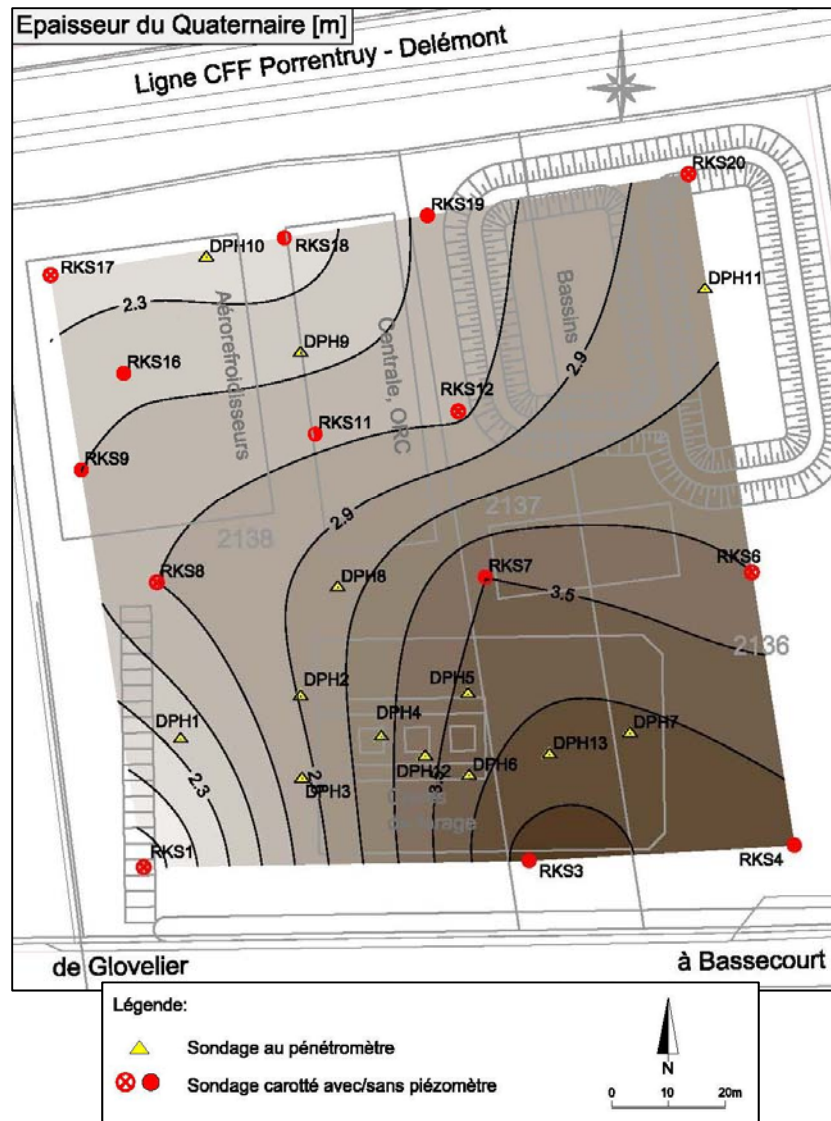


Figure 4 Epaisseur des formations quaternaires sur les parcelles concernées par le projet

- une couche de molasse tertiaire, dont l'épaisseur, en périphérie du bassin de Delémont, est estimée inférieure à 100 m. Les faciès présentent principalement des limons argileux peu perméables. Mais on tiendra compte, toutefois, de la présence probable des sables et graviers du Bois de Robe (Hessenauer et al., 2010) ;
- les formations carbonatées du Malm représentées par une série principalement calcaire d'environ 270 m d'épaisseur reposant sur des marnes d'environ 100 m d'épaisseur ;
- les épaisseurs respectives des calcaires du Dogger et des marnes de l'Aalénien et du Lias sont tirées de données régionales, principalement des tunnels autoroutiers de l'A16. On admet des épaisseurs respectives d'environ 250 et de 170 m pour ces 2 ensembles lithologiques ;

- les formations évaporitiques du Trias (Keuper, Muschelkalk et Buntsandstein) ont été recoupées par le forage de Buix (Schmidt & al., 1924), situé à 22 km au nord-ouest de Delémont. Au sein de cette formation, l'épaisseur du Muschelkalk moyen et inférieur ou "Anhydritgruppe" est admise comme étant variable, dans la mesure où cette formation a joué comme horizon de décollement lors du plissement jurassien (Pfiffner, 2009);
- sur la base des hypothèses précédentes, le socle composé de granite et de gneiss est donc attendu vers 1.3 km de profondeur au droit des parcelles concernées par le projet. Il pourra contenir des sédiments d'âge permo-carbonifère d'épaisseur inconnue.

2.1.2 Hydrogéologie

Au présent stade de l'étude, on admettra que les formations sont considérées comme subhorizontales et d'épaisseurs quasi-constantes sur le périmètre considéré.

Les formations aquifères qui seront recoupées par les forages sont présentées au tableau 1 ci-dessous.

Nous choisissons de distinguer les aquifères en fonction des utilisations d'intérêt public :

- **ressource en eau potable** : aquifère captif des calcaires du Malm (exemple des 3 forages de la ville de Delémont, Flury et al., 1991) ;
- **ressource hydrogéothermale** : à cause des fortes teneurs en sels dissous, à conserver pour une utilisation géothermale avec exploitation par doublets.

Au droit des parcelles concernées, les différentes investigations techniques n'ont pas révélé la présence d'une nappe superficielle importante. En effet, la nappe alluviale est peu épaisse, de 1 à 2 m (**Figure 5**), et contenue dans des graviers limono-argileux de mauvaise perméabilité ($1.5 \cdot 10^{-5}$ m/s en moyenne).

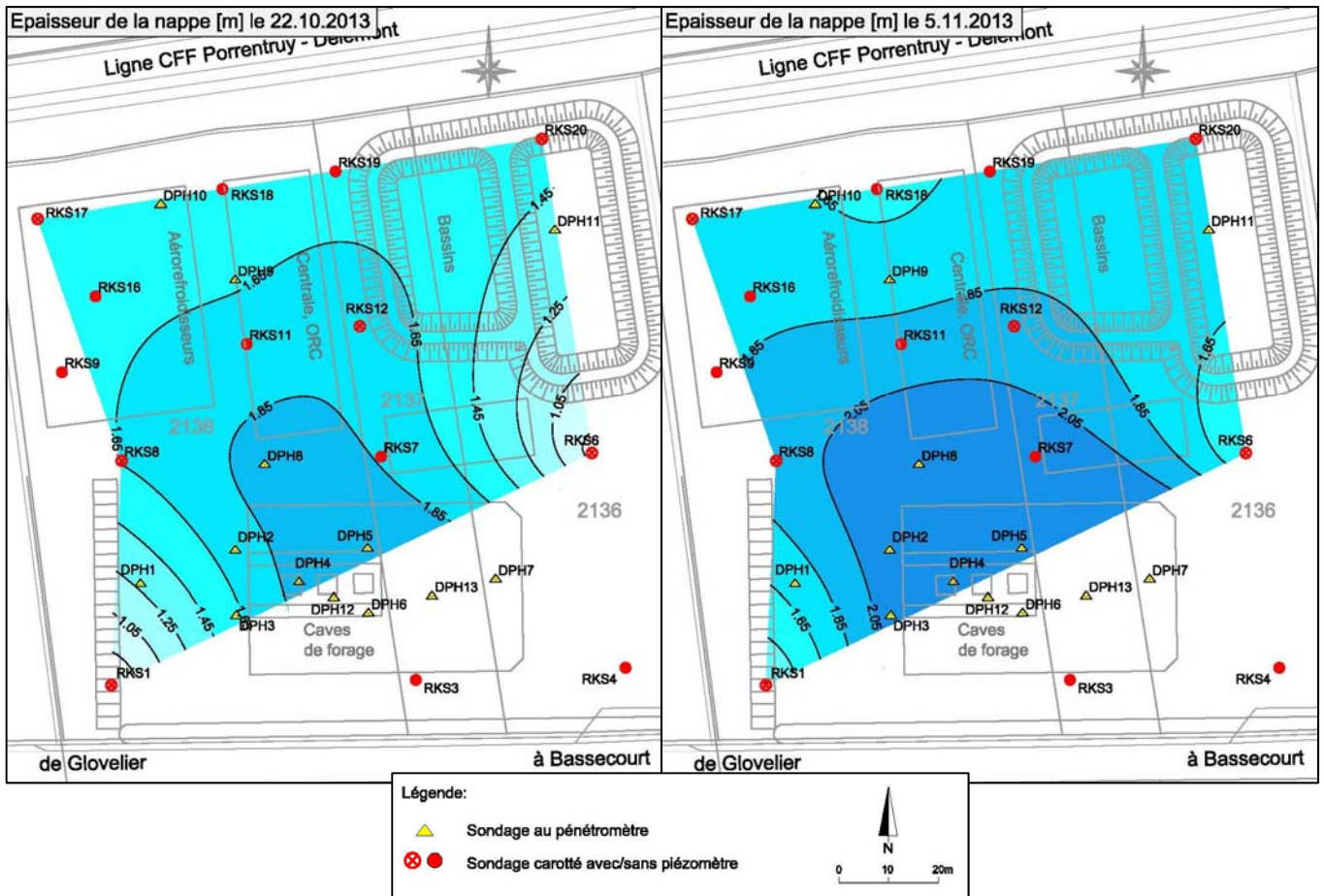


Figure 5 Epaisseur de la nappe alluviale en basses eaux (22.10.13) et en hautes eaux (05.11.2013)

Par comparaison avec la nappe des Petites-Aingles exploitée 3 km plus à l'Est, l'aquifère alluvial situé au droit des parcelles 2136 à 2138 peut être qualifié de mineur et marginal. En effet, à l'Est de Bassecourt, les graviers alluvionnaires ont une épaisseur de l'ordre de 10 m au niveau du puits de captage des Petites-Aingles. Le niveau piézométrique de la nappe contenue dans ces graviers est situé à environ 1 à 2 m sous le niveau de la surface, d'où une épaisseur de la nappe alluviale d'environ 8 m. Les perméabilités calculées lors d'un essai de pompage en 1976 donnent des valeurs en moyenne de l'ordre de $1 \cdot 10^{-3}$ m/s, soit plus de 50 fois supérieures à la perméabilité de la nappe alluviale au droit du projet géothermique.

En ce qui concerne les formations tertiaires sous-jacentes, la présence d'un aquifère potentiellement exploitable ne peut être ici qu'hypothétique. En effet, étant donné la situation du projet en bordure du bassin de Delémont, l'épaisseur de ces formations tertiaires pourra être réduite au minimum. De plus, la présence de matériaux de bonne perméabilité (sables et graviers) ne peut pas être garantie à ce stade de l'étude.

L'aquifère contenu dans les calcaires du Malm, quant à lui, n'est pas exploité dans le secteur du projet géothermique. Les trois forages réalisés dans le centre du bassin de Delémont ont, cependant, permis de fournir des données sur cet aquifère karstique. Ces trois ouvrages sont actuellement exploités et participent à l'alimentation en eau potable de la Ville de Delémont.

Les aquifères dans les horizons géologiques inférieurs sont peu connus et certainement très fortement chargés en sels dissous, ce qui les rend impropres à la consommation d'eau. Par contre, leur intérêt peut s'avérer intéressant pour de la géothermie de basse enthalpie (doublet).

2.1.3 Qualité des eaux souterraines

Nappe alluviale superficielle :

La nappe alluviale superficielle au droit des parcelles concernées par le projet présente des pollutions aux hydrocarbures dont les caractéristiques (extension, teneurs, ...) sont décrites précisément dans le chapitre « Sites pollués » du rapport d'impact sur l'environnement.

La nappe alluviale des Petites-Aingles, quant à elle, exploitée 3 km à l'Est du site du projet, a fait l'objet d'une étude relative à la pollution aux solvants chlorés (Institut Géotechnique, 2010). Des teneurs en perchloréthylène supérieures à 20 µg/l ont été mesurées en divers endroits. Au puits des Petites-Aingles, une valeur de 7.6 µg/l est rapportée pour le 29 mars 2010.

Un panache de solvants chlorés est donc présent dans la nappe de surface (alluvions) entre l'Ouest de Bassecourt, à l'amont, et le puits des Petites-Aingles à l'aval (MFR, 2010)

Aquifère du Malm :

La nappe captive des calcaires du Malm est en principe protégée des pollutions aux solvants chlorés par quelques dizaines de mètres de molasse tertiaire qui la séparent de la nappe de surface. Par contre, aucune donnée d'analyse n'est disponible concernant cette nappe captive sur le périmètre considéré.

Seuls les forages profonds de Delémont, situés à environ 9 km à l'Est, peuvent donner une image qualitative des eaux contenues dans l'aquifère du Malm (Flury & al., 1991).

NATURE ET PROFONDEUR PRÉVISIONNELLE	CAPTAGES EXISTANTS	COMMENTAIRES / INTÉRÊT PUBLIC
Aquifère alluvial (graviers limono-argileux) de surface avec nappe libre ; épaisseur connue 1-2 m, mauvaise perméabilité	Pas d'exploitation possible	Parcelles actuellement en secteur Au de protection des eaux
Molasse tertiaire avec présence probable de sables et graviers aquifères ; épaisseur à 75 m ; perméabilité inconnue	Aucun forage d'eau	L'estimation de cette ressource comme eau potable n'a pas encore été étudiée
Aquifère calcaire du Malm 75 - 340 m	Aucun forage d'eau à travers la molasse ; sources karstiques sur les bords du synclinal	Données selon les 3 forages existants qui alimentent la Ville de Delémont (Flury et al., 1991) Ressource en eau potable et géothermie très basse enthalpie
Aquifère calcaire du Dogger (Grande Oolithe) 435 - 680 m	Aucun forage d'eau ou autre	Probablement forte teneur en sels dissous (8.6 g/l à Courtemaîche, Boem et al., 2006) Géothermie (doublet)
Aquifère calcaire du Muschelkalk sup. 1025 - 1100 m	Aucun forage d'eau ou autre	À part au tunnel A16 du Mt Terri, formation non affleurante dans le Canton. Probablement très forte teneur en sels dissous : 17.2 et 14.4 g/l à Riehen et 43 g/l à Reinach (Hauber, 1991 et 1993) Géothermie (doublet)
Aquifère du Buntsandstein 1265 m à \geq 1315 m	Aucun forage d'eau ou autre	Aquifère peu connu ! Probablement très forte teneur en sels dissous Géothermie (doublet)

Tableau 1 Formations aquifères attendues à Glovelier jusqu'au toit du socle

2.1.4 Protection des eaux

Les parcelles concernées par le projet géothermique sont actuellement localisées en périphérie d'un secteur Au de protection des eaux.

Les données hydrogéologiques mentionnées ci-dessus montrent que l'exploitation de la formation aquifère alluviale superficielle n'est pas envisageable. Dans ce contexte, l'Office de l'Environnement envisage, dans un avenir proche, de réviser la délimitation de ce secteur dans la zone concernée par le projet.

En ce qui concerne les zones de protection, les plus proches apparaissent sur la figure 6 et concernent les sources situées à la base des versants du bassin de Delémont. Toutes ces sources, karstiques ou d'origine mixte (karstique et superficielle), sourdent à une altitude supérieure à l'altitude des parcelles du projet (entre 550 et 650 m.s.m). Seul le puits des Petites-Aingles, exploité par le village de Courtételle, capte les eaux de la nappe alluviale quaternaire, mais à une distance de plus de 3 km à l'Est du site du projet géothermique.

Les deux puits des Grands-Champs, exploités par le village de Bassecourt, captent également les eaux d'une nappe alluviale quaternaire. Cependant, leur alimentation peut également provenir partiellement de l'aquifère du Dogger sous-jacent. C'est pourquoi, ces deux ouvrages font l'objet d'une délimitation d'une vaste aire d'alimentation Zu.

Quant aux 3 forages profonds de Delémont, situés environ 9 km à l'Est du site du projet, ils ne feront l'objet que d'une délimitation de zone de protection immédiate (S1).

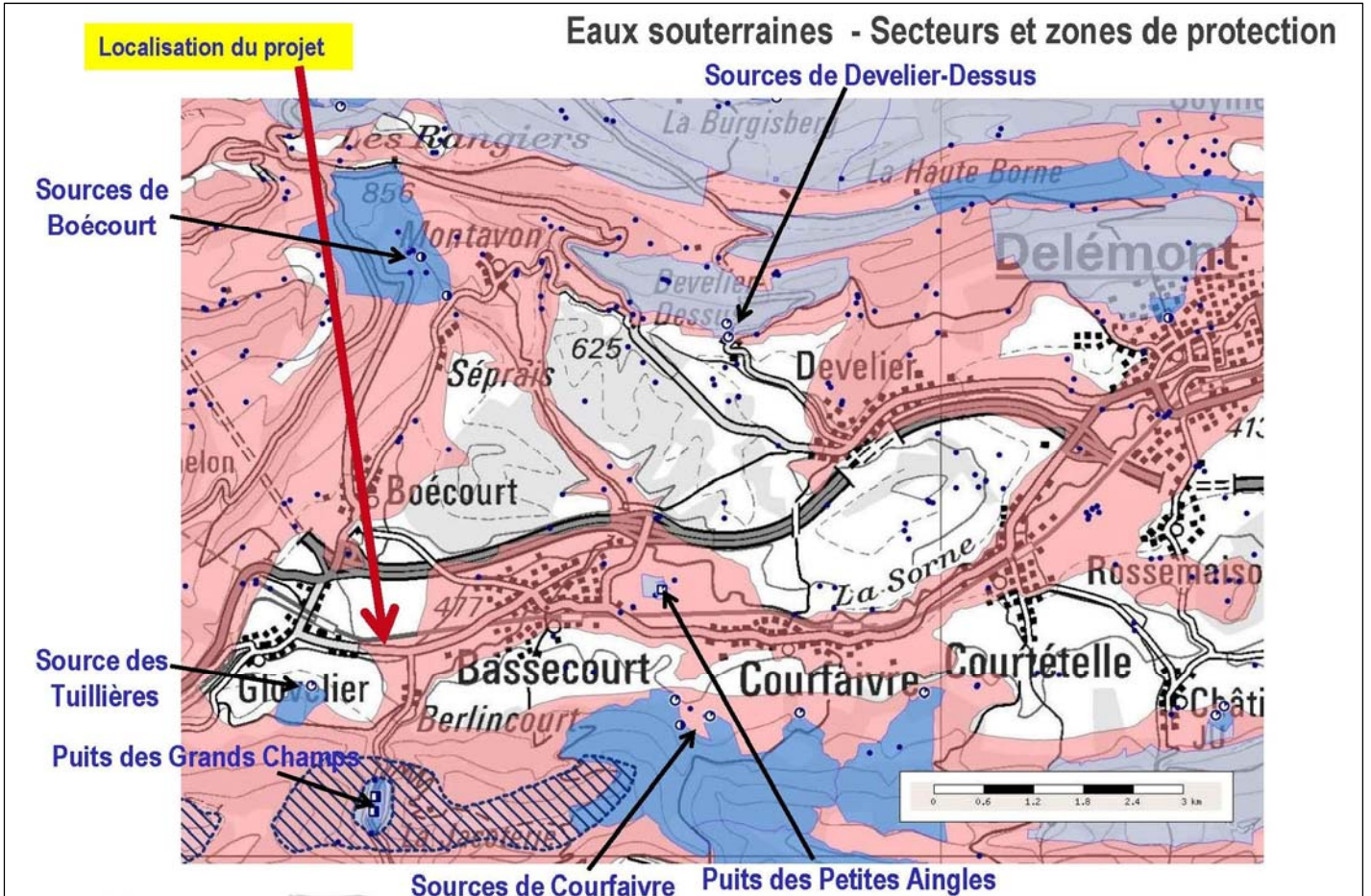


Figure 6 Secteurs et zones de protection à l'Ouest de Delémont (secteur de protection Au en rose, zones de protection en bleu, aire d'alimentation Zu en hachures bleu)

2.2 Phase de construction

2.2.1 Impacts

Au cours de la réalisation des forages, 4 types d'impact sont à distinguer :

Impacts liés au chantier de construction de la place de forage :

- déversement accidentel d'hydrocarbures (carburants, huiles hydrauliques, lubrifiants) ;
- déversement de produits toxiques stockés sur la place de chantier ;
- déversement d'eaux usées ;
- lessivage des eaux météoriques ;
- récupération d'eaux de fouille ;

Il s'agit principalement d'impacts pouvant affecter la nappe alluviale superficielle au droit des parcelles concernées, par infiltration des différents produits de chantier et types d'eau mentionnés. Dans la mesure où cette nappe est d'importance mineure, voire anecdotique (cf. § 2.1.2), ces impacts ne sont pas à considérer comme prioritaires.

Impacts liés à l'action de forer :

- risque de pollution de la nappe alluviale superficielle. Ce risque n'est pas prioritaire dans la mesure où cette nappe est mineure et non exploitée ;
- risque de mise en contact des différents aquifères captifs superposés (cf. § 2.1.2). Ce risque est considéré comme majeur dans ce projet puisqu'il est lié à la problématique de l'art. 43, al. 3 LEaux³ : « la création de communications permanentes entre des nappes souterraines est interdite ». En effet, un forage qui traverse plusieurs aquifères ne doit pas provoquer artificiellement de modifications des propriétés physiques, chimiques et bactériologiques qui sont propres à chacun de ces systèmes hydrogéologiques ;
- risque d'éruption d'eau à forte salinité lors du forage et pendant les opérations de stimulation et de tests de pompage (cf. chapitre « Prévention des accidents majeurs / Prévention contre les catastrophes » du rapport d'impact sur l'environnement) ;
- utilisation de boue de forage avec ses additifs. La composition précise de la boue de forage avec un listing des produits utilisés est abordée dans le chapitre « Déchets, substances dangereuses » du rapport d'impact sur l'environnement. En effet, au moment du chantier, un « programme boue » indiquera la composition de la boue (qualité et quantité des additifs utilisés) pour chaque section des forages. Ce document doit servir de référence pour identifier les produits potentiellement dangereux qui seront stockés sur le site et les problèmes éventuels en termes de composition chimique des déchets à évacuer.

Impacts liés aux opérations de cimentation :

- à l'heure actuelle, la composition du ciment et de ses adjuvants n'est pas connue. Des substances chimiques potentiellement toxiques pour les eaux souterraines pourront donc être utilisées (cf. chapitre « Déchets, substances dangereuses » du rapport d'impact sur l'environnement). Une liste détaillée sera fournie avant le démarrage des travaux et précisera la nature et les quantités de produits qui seront stockés sur le chantier et utilisés dans les forages.

Impacts liés aux opérations de stimulation :

- utilisation de fluides lors des opérations de stimulation
- utilisation éventuelle des produits d'acidification lors des opérations de développement. De la même manière que pour la boue de forage, la composition exacte de ces produits est indiquée dans le chapitre « Déchets, substances dangereuses » du rapport d'impact sur l'environnement.

³ LEaux : Loi fédérale sur la protection des eaux du 24 janvier 1991 RS 814.20

2.2.2 Mesures de protection

Les mesures de protection prévues répondent aux 4 types d'impact :

Gestion de la place de forage :

- la place de forage sera étanchéifiée afin d'éviter tout risque d'infiltration dans le sol de produits liquides ;
- une cave de forage bétonnée, d'une vingtaine de mètres carrés, sera réalisée jusqu'à une profondeur d'environ 3 m. Celle-ci, totalement étanche, permettra de récupérer, en premier lieu, tout liquide issu de la tête de forage ;
- la gestion, le traitement et l'évacuation des différents types d'eaux de la place de forage seront organisés selon la norme SIA 431. Celle-ci concerne notamment les eaux usées domestiques, les eaux de lavage, les eaux de fouille et les eaux pluviales. Ces points sont abordés dans le chapitre « Eaux à évacuer » du rapport d'impact sur l'environnement ;
- de manière générale, tous les produits potentiellement toxiques pour les eaux souterraines (huiles, graisses, hydrocarbures, additifs à la boue, au ciment et à l'acide...) seront stockés sur l'aire étanche du chantier et des bacs de rétention seront spécialement utilisés pour les substances liquides. Leurs gestion, stockage et élimination seront abordés dans le chapitre « Déchets, substances dangereuses » du rapport d'impact.

Mesures de protection mises en place pendant le forage :

- les mesures de protection visant à empêcher toute communication permanente entre les différents aquifères répondent à un concept précis : l'avancement de chaque forage comprendra des étapes successives de cimentation de tubages aveugles et colonnes perdues⁴ par télescopage, de la surface jusqu'au réservoir stimulé. Un choix adéquat du ciment, une bonne planification et une simulation du remplacement de la boue par le ciment seront réalisés. Ces pratiques sont utilisées quotidiennement par l'industrie pour garantir l'étanchéité des ouvrages et exclure la mise en communication de deux formations aquifères.
- le schéma de tubage est représenté sur la figure 7. Les travaux commenceront par la pose d'un tube-guide de 24" de diamètre de plusieurs dizaines de mètres de profondeur à l'intérieur duquel le forage sera initié. La nappe superficielle est ainsi protégée. Le premier tubage de diamètre 18 5/8" sera ensuite posé à la base du Malm. Le but de ce tubage de surface est double : assurer la stabilité de l'ouvrage lors du percement des sections plus profondes et protéger l'aquifère du Malm en garantissant de manière extrêmement sûre sa séparation des aquifères salins plus profonds comme le Dogger. En effet, après la cimentation de ce tubage, un test de pressurisation et d'étanchéité sera mené (leak off test) garantissant la qualité de la cimentation avant de procéder avec la section suivante (Dogger). Le forage continuera ensuite avec la pose du tubage intermédiaire de diamètre 13 3/8", de la surface jusqu'à la base des séries sédimentaires entre 1300 et 2500 m de profondeur en fonction de la présence éventuelle de sédiments permo-carbonifères. Une

⁴ Une colonne perdue ne remonte pas jusqu'à la tête de puits, mais sur une hauteur limitée, à l'intérieur du tubage précédent

fois l'ouvrage terminé, l'aquifère du Malm sera donc protégé par une double barrière (tubages 18 5/8" et 13 3/8"). En dessous des séries sédimentaires, des longueurs de 100 m sont prévues pour le recouvrement entre les différents sections de tubages et des packers spéciaux assureront une étanchéité complémentaire. Le schéma de forage présenté ci-dessous est encore amené à évoluer et à être modifié jusqu'à son exécution. Le principe d'un tubage de surface jusqu'à la base du Malm sera par contre conservé.

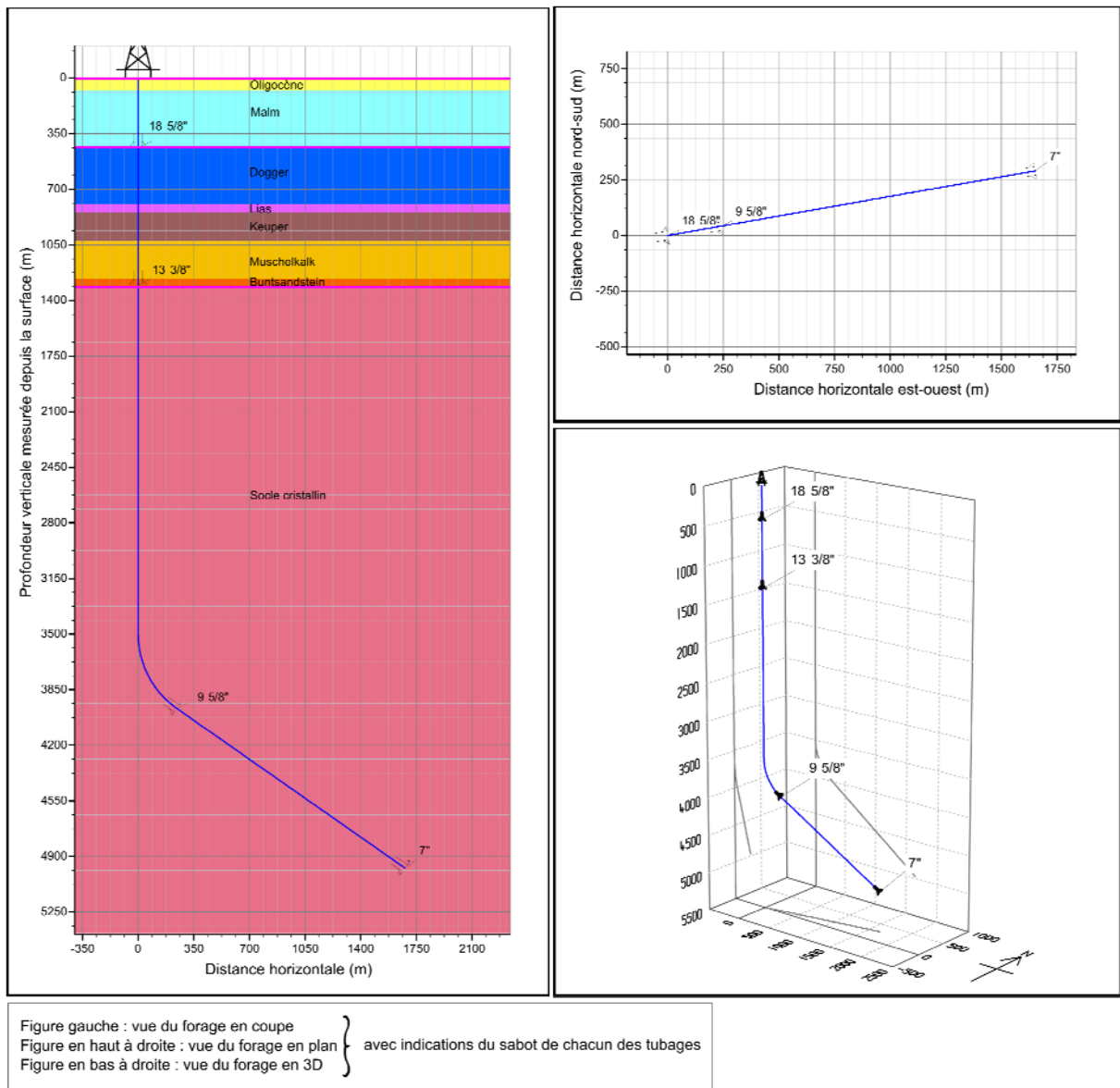


Figure 7 Projet de colonne technique de forage avec rencontre du toit des roches cristallines à 1300 m

- Le risque d'éruption de fluides (eau, pétrole ou gaz) est contrôlé par l'emploi d'une boue de forage de densité adaptée, de manière à ce que le poids de la colonne de boue compense la pression dans la formation géologique traversée. Lorsque la pression dans la formation augmente, la densité de la boue est également augmentée de façon à ce que les fluides ne

remontent pas à la surface. Les procédures de détail pour prévenir un remontée de gaz à la surface, dont le cas le plus grave est une éruption incontrôlée de gaz (blow out), feront l'objet d'un traitement spécifique dans le plan de sécurité proposé par l'entreprise de forage et qui devra être approuvé par les services concernés (environnement, santé du travail, pompiers) avant le début des travaux, comme cela est mentionné au chapitre 5.13 du RIE.

- Qui plus est, tous les liquides, y compris les boues de forage ou des eaux saumâtres qui pourraient se répandre à la surface durant le forage ne peuvent, ni aboutir dans les eaux de surface, ni s'infiltrer dans le sol. La place de forage est étanchéifiée (espace intérieur bétonné et espace extérieur goudronné) et les eaux sont récupérées, soit au niveau des caves de forage étanches, soit collectées en bordure de la place de forage et amenées au bassin de décantation. De là, elles peuvent être acheminées à la STEP ou, en cas de pollution, être pompées et évacuées comme déchet spécial. Les principes de gestion des eaux pluviales et de ruissellement sont décrits au chapitre 5.7.
- la gestion de la boue de forage est traitée plus précisément dans les chapitres « Déchets, substances polluantes » et « Eaux à évacuer » du rapport d'impact sur l'environnement. En comparaison à des chantiers similaires, à la sortie du puits, la boue passe sur des tamis vibrants pour séparer les débris de forage (cuttings). Il s'agit de débris de roches inertes contenant un pourcentage variable de boue résiduelle (en moyenne 10%). La boue passe ensuite par des centrifugeuses pour séparer les parties fines du liquide (on pose l'hypothèse que les fines représentent environ 15% des volumes de solides totaux). A la fin du forage, la fraction liquide de la boue devra être acheminée vers la STEP après éventuellement filtration complémentaire.

Gestion des opérations de cimentation :

Les opérations de cimentation sont complémentaires à la mise en place des tubages et colonnes perdues et constituent une mesure de protection visant à empêcher toute communication entre les différents aquifères.

A l'heure actuelle, aucune procédure précise n'a été définie, si ce n'est qu'une attention particulière sera portée à la qualité de la cimentation qui devra supporter les pressions d'injection d'eau dans la zone du réservoir durant la stimulation. Pour assurer une qualité optimale de la cimentation et de son étanchéité, les sections pourront être cimentées en deux étapes.

La qualité de la cimentation sera contrôlée par des diagraphies

Gestion des opérations de stimulation :

- le fluide utilisé lors des opérations de stimulation sera exclusivement de l'eau sans additifs ;
- à ce stade de l'étude, l'utilisation d'acide est peu probable dans le projet. Cas échéant, les procédures d'acidification seront similaires à celles utilisées lors de forages dans les massifs carbonatés. De l'acide chlorhydrique dilué à 10-15 % sera utilisé ;

- la stimulation hydraulique ne crée aucune voie d'écoulement vers les aquifères profonds et superficiels (**Figure 8**). Ce point a été traité de manière précise dans l'enquête préliminaire (cf. § 5.2.4.1.4).

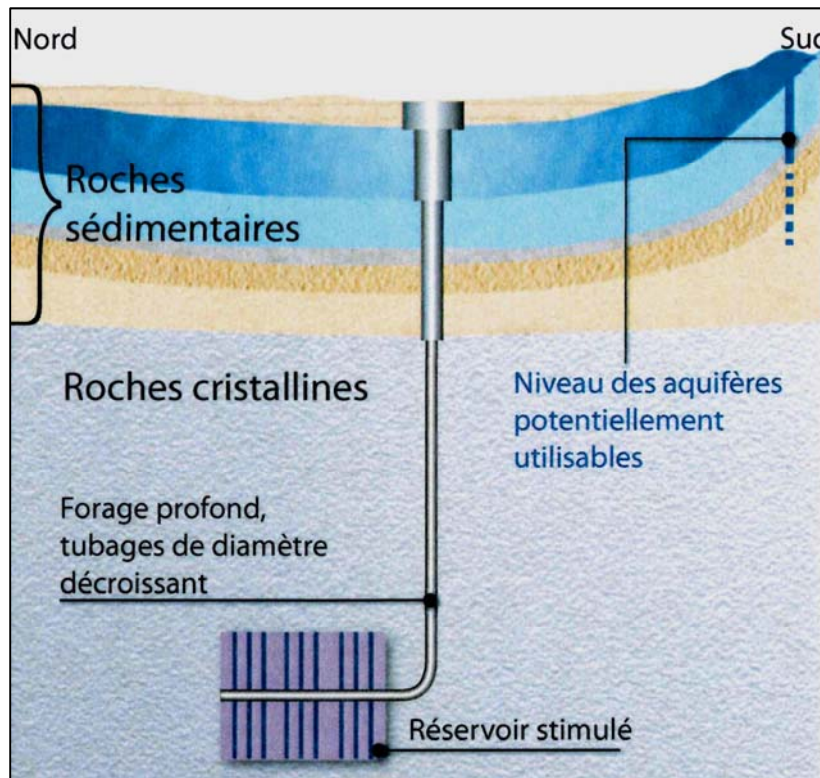


Figure 8 Profil géologique schématique avec forage et réservoir géothermique

2.3 Phase d'exploitation

2.3.1 Impacts

Au cours de l'exploitation de la boucle géothermale durant plusieurs dizaines d'années, le fluide utilisé pour le fonctionnement du doublet circulera en circuit fermé entre 5 km de profondeur et la surface. Il s'agira vraisemblablement d'eau fortement minéralisée. En effet, l'eau du circuit géothermique se mélange dans le réservoir stimulé aux éventuelles eaux de formation. Ces eaux souterraines fossiles sont fortement minéralisées et ne peuvent pas être utilisées comme eaux potables.

Dès lors, les impacts liés à la phase d'exploitation sont les suivants :

- risque de corrosion avec percement du tubage cimenté à travers toute la pile de roches sédimentaires localement aquifères ;
- risque de déversement accidentel en surface du fluide de circulation.

Lors de la phase d'exploitation, le risque d'impact physique, lié à une éventuelle expansion du réservoir stimulé, est négligeable. En effet, la pression de fonctionnement nécessaire à la circulation dans la boucle géothermale est inférieure à 50 bars, tandis que, dans la phase de stimulation, des pressions supérieures à 300 bars seront possibles. Avec cette pression de circulation inférieure à 50 bars, il n'y a plus de stimulation significative du réservoir, mais une certaine poursuite de la croissance du réservoir ne peut pas être totalement exclue.

2.3.2 Mesures de protection

Afin d'éviter tout risque de corrosion des tubages cimentés, le fluide de circulation pourrait comporter un inhibiteur de corrosion. D'éventuels produits séquestrants et dispersants pourront également être utilisés afin de limiter le risque de colmatage.

La qualité de ce fluide de circulation fera l'objet de contrôles réguliers par des spécialistes avec un protocole de surveillance adapté aux normes internationales.

Des contrôles physiques, si nécessaires, pourront être également opérés afin de surveiller l'état de la colonne technique : passage caméra, diagraphies, diamètreur.

Les mesures de protection à mettre en œuvre en cas de déversement, en surface, de fluide de circulation sont abordées dans le chapitre « Eaux à évacuer ».

2.4 Démantèlement

A ce stade de l'étude du projet, la phase de démantèlement n'est pas encore certaine dans la mesure où il peut encore y avoir la possibilité de conservation de la boucle géothermale.

Par contre, si les autorités cantonales exigent le démantèlement du site, l'obturation des puits sera réalisée par plusieurs bouchons de ciment et selon des normes et procédures internationales. Ce concept d'étanchéification des forages ne peut donc pas être connu au stade de cette étude.

Lors de cette éventuelle phase de démantèlement, les impacts concerneront principalement le déblaiement de la cave de forage. Dans ce cas, les prescriptions relatives aux engins de chantier dans le terrassement s'appliqueront de manière classique et aucune mesure de protection supplémentaire ne sera mise en œuvre (cf. § « Eaux à évacuer » et « Déchets, substances dangereuses »). En effet, les impacts éventuels ne sont pas considérés comme prioritaires étant donné le caractère mineur de la nappe alluviale de surface concernée par ces travaux.

En outre, le risque d'impact sur les eaux souterraines des aquifères plus profonds est considéré comme négligeable.

3 Centrale géothermique

3.1 Etat initial

La centrale géothermique et ses différentes installations de surface seront construites sur des alluvions quaternaires dont les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques ont été décrites dans les § 2.1.1 et 2.1.2.

Les mesures piézométriques réalisées lors des différentes investigations techniques (**Figure 9**) indiquent un sens d'écoulement de l'Ouest vers l'Est avec un gradient hydraulique (i) variant de 2.7 % (basses eaux) à 2.2% (hautes eaux). Avec une perméabilité (K) en moyenne de $1.5 \cdot 10^{-5}$ m/s et une porosité efficace (n_e) estimée de l'ordre de 10 %, on obtient une vitesse effective (V_e) des eaux souterraines d'environ 30 cm/jour, soit de l'ordre de 100 m/an⁵.

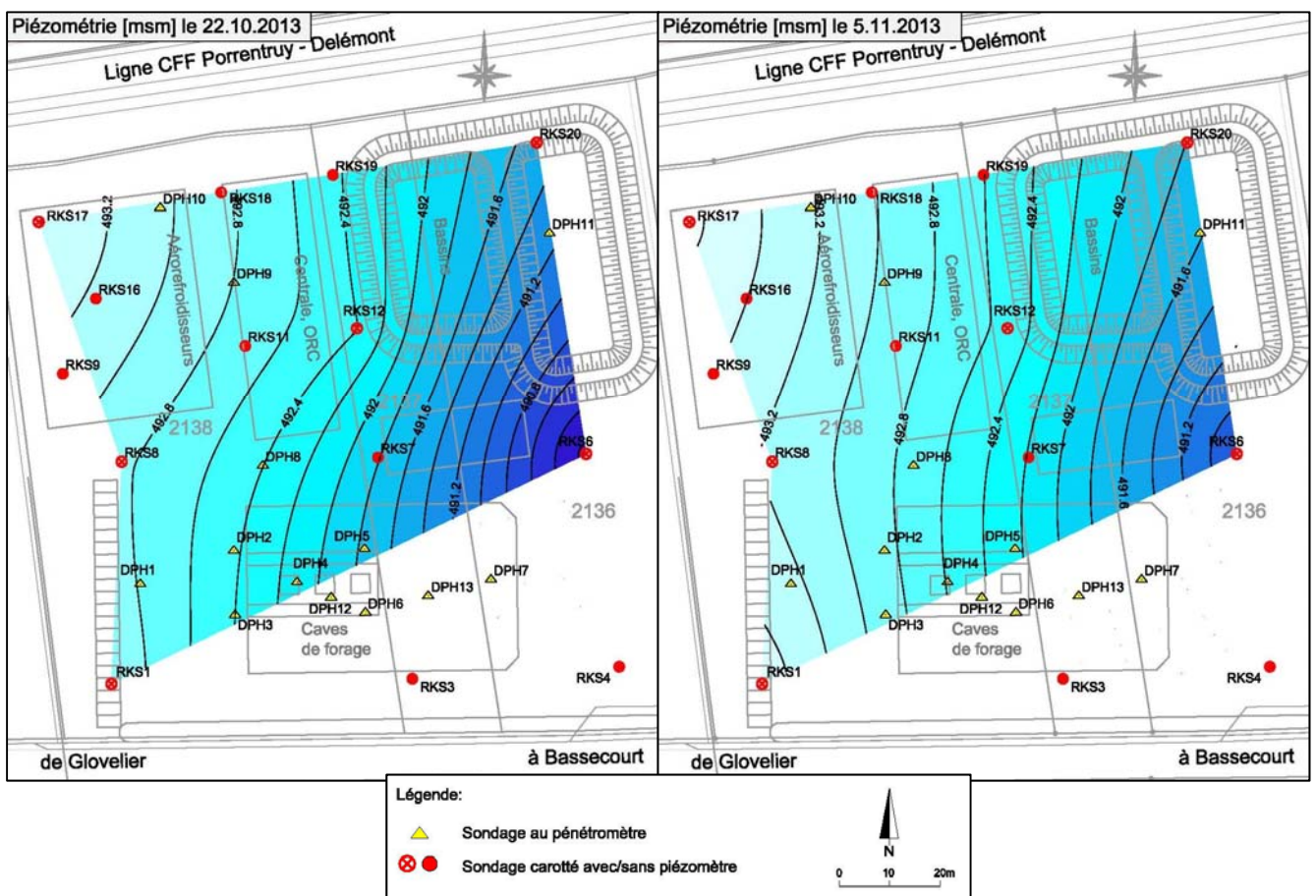


Figure 9 Carte piézométrique en basses eaux (22.10.13) et en hautes eaux (05.11.2013)

Dans ce contexte, la connexion hydraulique de cette nappe alluviale – de faible importance et marginale par rapport à l'ensemble des dépôts alluvionnaires de la Sorne dans le bassin de Delémont – avec la nappe alluviale captée des Petites-Aingles, à 3 km à l'Est, est très peu probable.

⁵ La vitesse effective des eaux souterraines $V_e = K \cdot i / n_e$

Ces formations gravelo-limono-argileuses reposent sur la molasse tertiaire de remplissage du bassin de Delémont. Le toit de cette formation principalement limono-argileuse et imperméable apparaît entre 1.75 et 4 m sous la surface.

Les formations géologiques plus profondes (série sédimentaire d'âge secondaire) ne concernent pas la centrale géothermique.

3.2 Phase de construction

3.2.1 Impacts

Les principaux impacts concernent principalement le risque de déversement de différents produits et types d'eau potentiellement polluants présents lors de la phase de construction de la centrale géothermique. Il s'agit notamment de :

- déversement accidentel d'hydrocarbures (carburants, huiles hydrauliques, lubrifiants) ;
- déversement de produits toxiques stockés sur la place de chantier ;
- déversement d'eaux usées ;
- lessivage d'eaux météoriques ;
- lessivage d'eaux de lavage ;
- récupération d'eaux de fouille ;
- déversement lors des opérations de cimentation (traitement de cure, lait de ciment, huiles de coffrage).

Il s'agit principalement d'impacts pouvant affecter la nappe alluviale superficielle au droit des parcelles concernées, par infiltration des différents produits de chantier et types d'eau mentionnés. Dans la mesure où cette nappe est d'importance mineure, voire anecdotique (cf. § 2.1.2 et 3.1), ces impacts ne sont pas à considérer comme prioritaires.

Les impacts sur les aquifères plus profonds sont totalement improbables.

3.2.2 Mesures de protection

De la même manière que lors de la phase de construction de la boucle géothermale, la gestion, le stockage, le traitement et l'évacuation des différents types d'eau, de déchets et substances dangereuses sur le chantier seront traités dans les chapitres « Eaux à évacuer » et « Déchets, substances dangereuses ».

La gestion et le traitement des eaux de la place de chantier seront, notamment, conformes aux directives de la norme SIA 431 avec la définition de principes généraux :

- limiter la production d'eau de chantier ;
- réutiliser si possible les eaux ;
- capter séparément les différents types d'eau ;
- traiter les eaux polluées avant de les évacuer.

En ce qui concerne les travaux de bétonnage, les recommandations suivantes seront appliquées : utilisation d'huile de coffrage biodégradable, traitement de cure mécanique sans produit, récupération du lait de ciment.

3.3 Phase de d'exploitation

3.3.1 Impacts

Deux types d'impact sont envisageables lors de la phase d'exploitation de la centrale géothermique :

- risque d'accident majeur avec contamination de la nappe d'eau superficielle. Cet aspect est traité en détail, selon les recommandations de l'Ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM), dans le chapitre « Prévention des accidents majeurs / Protection contre les catastrophes » ;
- risque d'infiltration des eaux usées industrielles et sanitaires (cf. § « Eaux à évacuer »).

3.3.2 Mesures de protection

La gestion, le traitement et l'évacuation des différents types d'eau concernant les bâtiments de la centrale géothermique, les surfaces aménagées et les voies d'accès (eaux industrielles, eaux météoriques, eaux usées sanitaires) sont traités dans le chapitre « Eaux à évacuer » du rapport d'impact sur l'environnement.

3.4 Démantèlement

3.4.1 Impacts

De la même manière que pour la boucle géothermale, à ce stade de l'étude du projet, la phase de démantèlement n'est pas encore certaine dans la mesure où il peut encore y avoir la possibilité de conservation de la centrale géothermique.

Par contre, si les autorités cantonales exigent le démantèlement du site, les impacts seront identiques à la phase de construction (cf. § 3.2.1).

3.4.2 Mesures de protection

En cas de démantèlement de la centrale géothermique, de ses bâtiments, de ses places aménagées et de ses voies d'accès, les mesures de protection seront identiques à celles de la phase de construction (cf. § 3.2.2).

4 Suivi environnemental de réalisation - Hydrogéologie

4.1 Mise en place d'un réseau de surveillance hydrogéologique

Suivi qualitatif :

Le risque d'impact qualitatif sur les points d'eau qui cernent le projet géothermique est fortement improbable (peu ou pas du tout de connectivité hydraulique).

Le suivi environnemental de réalisation propre au volet hydrogéologique du projet géothermique prévoira, cependant, une surveillance de la qualité des captages publics exploités pour l'alimentation en eau potable du secteur. Ce suivi est donc proposé uniquement de manière préventive à des fins d'établissement de preuves à futur.

Il s'agira, en particulier, du suivi (**Figure 6**) :

- des puits des Grands-Champs à Bassecourt dont une partie de la recharge est probablement assurée par les eaux karstiques de l'aquifère du Dogger ;
- de la source des Tuillières à Glovelier, la plus proche du site géothermique (environ 1 km) ;
- du puits des Petites-Aingles à l'Est de Bassecourt qui exploite les eaux de la nappe alluviale de la Sorne ;
- des 2 sources karstiques de Boécourt qui captent les eaux de l'aquifère du Malm ;
- des sources de Courfaivre dont la plupart font appel à une alimentation mixte (karstique et superficielle) ;
- des sources karstiques de Develier-Dessus.

Suivi quantitatif :

La surveillance hydrogéologique pourra également comporter un programme de suivi quantitatif, dans la mesure où les secousses sismiques pourraient induire un risque de perturbation des écoulements d'eau souterraine.

Ce suivi est également prévu sur les points d'eau concernés par la surveillance qualitative.

4.2 Définition d'un programme de surveillance

4.2.1 Surveillance qualitative

Les points d'eau captés pour l'alimentation en eau potable des communes situées autour du projet géothermique (cf. § 4.1) feront l'objet d'analyses de contrôle de **type eau potable**.

Ces analyses pourront être couplées avec les analyses de radioactivité pour la recherche des 4 radionucléides suivants : ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra et ^{222}Rn . Les détails concernant la radioactivité probable des eaux souterraines sont indiqués dans le chapitre « Radioactivité naturelle » du rapport d'impact sur l'environnement. Les valeurs limites feront référence aux normes utilisées pour les eaux souterraines utilisées comme eau de boisson.

4.2.2 Surveillance quantitative

La surveillance quantitative concerne :

- le suivi du débit des sources (cf. § 4.1) ;
- le suivi de la hauteur d'eau des puits (cf. § 4.1).

4.2.3 Fréquence de surveillance

Les analyses seront au nombre de trois par année et dépendront principalement des conditions hydrologiques : une analyse en hautes eaux, une analyse en basses eaux et une analyse mobile à définir selon les contraintes du moment. Il en sera de-même pour le suivi quantitatif qui sera couplé au suivi qualitatif.

Ce suivi environnemental propre au volet hydrogéologique sera réalisé tout au long des quatre phases suivantes :

- état initial, une année avant le démarrage des travaux ;
- phase de construction de la boucle géothermale (forage et stimulation) ;
- début de la phase d'exploitation de la centrale géothermique.

Si après un certain nombre d'années suivant le début de l'exploitation aucun impact n'est constaté, la poursuite ou non des mesures sera discutée avec l'Office de l'environnement du Canton du Jura.

4.3 Mise en place d'un protocole de surveillance de chantier

La surveillance, en surface, de la maîtrise des différents types d'eau, de produits et de liquides potentiellement polluants pour les eaux souterraines lors de la phase de construction sera protocolée dans un programme précis dont les détails sont indiqués dans les chapitres « Eaux à évacuer » et « Déchets, substances dangereuses » du rapport d'impact sur l'environnement.

5 Conclusions

Ce rapport constitue un des chapitres du rapport d'impact sur l'environnement concernant la construction et l'exploitation d'une centrale géothermique pilote sur le site de la commune de Haute-Sorne (Glovelier). Il concerne uniquement le domaine des eaux souterraines.

Il met en lumière les impacts potentiels du projet qui seront principalement importants lors de la phase de construction de la boucle géothermale et de la traversée des différents aquifères par les forages.

En effet, le risque majeur est de créer des communications permanentes entre les différentes nappes souterraines traversées, dont le principe est interdit par l'art. 43, al. 3 LEaux : « La création de communications permanentes entre des nappes souterraines est interdite ». Cependant, le concept, d'ores et déjà acquis, de cimenter, dans les règles de l'art, une colonne technique (tubages aveugles et colonnes perdues) jusqu'au réservoir stimulé permet de réduire drastiquement ce risque.

La maîtrise des fluides de forage (boues, additifs), de développement (acides avec inhibiteurs de corrosions) et de cimentation (coulis de ciment, adjuvants), ainsi que des fluides de la boucle géothermale (eaux fortement minéralisées avec inhibiteurs de corrosion) est fondamentale pour éviter le risque de pollution en surface. Les mesures de protection concernant ces points sont plus précisément décrites dans les chapitres « Eaux à évacuer » et « Déchets, substances dangereuses » du rapport d'impact sur l'environnement.

Les risques d'atteinte sur la nappe alluviale superficielle sont, cependant, à considérer comme secondaires. En effet, les différentes investigations techniques réalisées sur les parcelles concernées par le projet ont mis en évidence l'existence d'une nappe d'eau souterraine marginale, peu développée, de faible perméabilité et non exploitable.