

Comité Local d'Information et de Suivi
du Laboratoire de Bure

FRANCE

Zürich, 04.11.2013

Rapport D1320/01 :

**Revue du déroulement des opérations du forage géothermique au
Trias réalisé par l'ANDRA, avis critique et seconde opinion sur
l'évaluation du potentiel géothermique**

Version B

Contact:

Dr. Vincent Badoux

badoux@geowatt.ch

+41 44 242 14 54

1 Introduction

Le Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS) a pour mission d'informer ses membres et les populations concernées sur les activités menées dans le laboratoire de recherche souterrain de Bure, exploité par l'Agence Nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra).

Les missions du CLIS sont les suivantes :

- obtenir le maximum d'informations sur la recherche dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs auprès des organismes qui en ont la charge ou auprès d'experts extérieurs et plus particulièrement dans le domaine du stockage,
- suivre avec l'appui de ces experts l'évolution des connaissances dans ce domaine,
- rapprocher l'information du public et la rendre accessible au plus grand nombre,
- recueillir le maximum de données (environnementales, épidémiologiques...) qui pourront servir de références dans l'avenir,
- assurer la concertation et le débat.

Suite à des demandes de la population locale à l'Andra, par l'intermédiaire du CLIS, le potentiel géothermique de la région de Bure a été évalué.

Selon l'Andra, dans l'Est du Bassin de Paris, seules les formations du Trias peuvent présenter un intérêt géothermique (Andra, 2005), T.1, §8.1.4). Le potentiel géothermique de l'aquifère du Trias a donc été évalué. Les résultats sont présentés dans la synthèse du programme de reconnaissance de la zone de transposition 2007-2008 (Andra, 2008), §4.3.3). A la vue de ces résultats, l'Andra considère que la ressource géothermique à l'échelle de la zone de transposition est faible (Andra, 2008), §5.3).

Certaines personnes se questionnent aujourd'hui sur la fiabilité de ces résultats et remettent en cause notamment les conditions dans lesquelles se sont déroulées les opérations de forage.

Dans le cadre de ses missions, le CLIS souhaite aujourd'hui clarifier ce point en mandatant un bureau d'expertise indépendant pour évaluer les conditions dans lesquelles s'est déroulé le forage.

Dans ce contexte, le CLIS a mandaté GEOWATT AG, société privée spécialisée en géothermie, basée à Zürich (Suisse). Les objectifs du mandat sont les suivants :

- 1 Procéder à une revue des rapports de forage et d'opération,
- 2 Emettre un avis critique sur le programme de forage, de tests et de logging,

- 3 Fournir une seconde opinion sur le potentiel géothermique de la région de Bure.

Les résultats des investigations menées par GEOWATT AG font l'objet du présent rapport.

2 Limites de la prestation

A la vue de la quantité d'information disponible, la première tâche a consisté en un cadrage de la prestation sur les opérations jugées significatives quant à l'évaluation du potentiel géothermique de l'aquifère du Trias.

Le cahier des charges d'exécution des forages en boue à base d'huile de la zone de transposition CCE_FZT2 constitue le programme de réalisation des forages en boue à base d'huile ou de polymère (pour le forage à objectif Trias). Le cahier des charges est décrit dans le document Andra D.SP.OSCA.07.0007 qui constitue le document de base de la présente étude.

Le CCE_FZT2 comprends trois phases :

1. La phase de chantier en présence de l'appareil de forage,
2. La phase de mesures à long-terme après le départ de l'appareil de forage,
3. Des mesures de laboratoire hors-site.

Les objectifs de CCE_FZT2 sont résumés dans la partie 1 du document :

- 1 Fournir pour fin 2008 des éléments scientifiques permettant de préciser la variation éventuelle des caractéristiques du Callovo-Oxfordien en éclairant de manière homogène l'ensemble de la zone de transposition (en contribution au resserrement de la reconnaissance prévu au-delà de 2009, en vue de l'implantation d'un projet de stockage),
- 2 Compléter la connaissance phénoménologique à l'échelle de la zone de transposition et du secteur (en support aux dossiers prévus au-delà de 2011), cette connaissance concernant essentiellement les écoulements et les transferts dans les formations encaissantes et profondes, ainsi que l'évaluation des ressources géothermiques du Trias.

A ce titre, l'Andra souligne en section 1.4 qu'il est difficile de concilier deux objectifs différents dans un même forage. Le cahier des charges a ainsi été adapté en conséquence.

Les moyens mis en œuvre sont également résumés en section 1.5 du CCE_FZT2. Les différents objectifs (tant en termes de mode de foration qu'en termes de prestations scientifiques associées) ont conduit à scinder l'unité de programme en deux :

- une unité de programme « forage à l'air » (UP_FZT1), déjà rédigée (CCE_FZT1 : D.SP.OSCA.07.0004),

- une unité de programme « forage à l'huile » (UP_FZT2), objet du CCE concerné par la présente étude.

L'unité de programme « Forage à l'air » n'a pas été couverte par la présente étude, car non significative pour l'évaluation du potentiel géothermique au Trias.

Les forages concernés par le programme UP_FZT2 sont les forages EST413, EST423, EST433 et EST441 sur les différentes plates-formes A, B, C et D.

Seul le forage EST433 de la plateforme C a été prolongé jusqu'au Trias. Il s'agit du forage utilisé pour l'évaluation des ressources géothermiques du Trias au droit de la zone de transposition.

Les forages EST413, EST423 et EST441 n'ont pas été couverts par la présente étude. Seul le forage EST433 a été considéré.

Le forage EST433 a été réalisé pour répondre à de multiples objectifs, dont la caractérisation du Callovo-oxfordien. Ces études n'ont aucune implication importante en termes de potentiel géothermique du Trias et n'ont donc pas été couvertes par la présente étude.

En résumé, seules les opérations concernant les 300 derniers mètres (Trias) du forage EST 433 ont été couvertes par la présente étude.

Le résumé des prestations couvertes et non couvertes sont listée en Annexe 1.

3 Documentation reçue

Le travail de revue est basé sur les rapports et documents suivant, fournis à GEOWATT AG en plusieurs lots par l'intermédiaire du secrétariat du CLIS.

- 1 Fichier DRP0GRS080007.PDF : Lot G02- Suivi des forages de la zone de transposition 2007-2008. Forage EST433 Plate-forme C : Rapport d'opération (RO). Rapport ANDRA, D.RP.0GRS.08.0007 du 18/07/2008. 132pp.
- 2 Fichier DRP0GRS080007LOG.PDF : Synthèse des logs réalisés sur la plate-forme C, Forages EST431, EST432 et EST433. Planche 1: log composite au 1/500.
- 3 Fichier DSPOSCA070007_CCE_forages_carottés.PDF : Lot D09, Maitrise d'œuvre du programme de reconnaissance de la zone de transposition 2007-2008 (campagne RZT) – Forages carottés, cahier des charges d'exécution (CCE_FZT2), Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Rapport Andra, D.SP.0SCA.07.0007 du 27/03/2008. 240pp.
- 4 Fichier DRP0SAU080016.PDF : Lot M23 : tests hydrogéologiques entre obturateurs. Rapport d'opération EST433 Trias. Rapport Andra D.RP.0SAU.08.0016 du 16/12/2008. 150pp.

- 5 log thermométrique EST433.pdf (image des courbes de températures des 3 campagnes de mesures thermiques).
- 6 fichiers .pds (fichiers images au format Schlumberger à lire avec PDSview, gratuit sur le site de Schlumberger)
- 7 fichiers .dlis (données numériques des mesures des campagnes de 08/2008 et 02/2009), ces fichiers peuvent être lus avec une suite d'applications gratuites (Log Data Toolbox), téléchargeables sur le site de Schlumberger.
- 8 Fichier DRP0SCB080011A_EST432-433_RO.pdf : Lot M19-1 Diagraphies différées. Rapport de fin d'opérations (RO) EST 432/433. Plateforme C – Montiers sur Saulx. Rapport Andra D.RP.0SCB.08.0011.
- 9 Rapport Synthèse du programme de reconnaissance de la zone de transposition 2007-2008. Centre de Meuse/Haute Marne. Rapport Andra D.RP.ALS.08.1356.
- 10 Compléments d'information par Emails de Monsieur Patrick Lebon (Andra), le 4.10.2013 et le 21.10.2013.

4 Synthèse du cahier des charges et adéquation avec les rapports d'exécution de forage, test hydrauliques, logging

4.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de vérifier l'adéquation entre le cahier des charges CCE_FZT2 et les rapports d'opération de forage, de tests hydrauliques et du programme de diagraphie (logging).

Dans un premier temps, l'ensemble du CCE_FZT2 a été passé en revue et les différentes prestations listées dans un tableau. Toutes les prestations non couvertes par la présente étude ont été marquée comme telle dans le tableau de synthèse (Annexe 1). Ces prestations sont jugées non significatives pour l'évaluation du potentiel géothermique au Trias.

Pour rappel, cela concerne les forages EST413, EST423 et EST441 ainsi que les prestations dans le Callovo-Oxfordien du forage EST433. Ainsi seuls les 300 derniers mètres du forage EST433 sont couverts par la présente étude.

4.2 Résultats

L'examen des différentes prestations décrites dans le CCE_FZT2 démontre de manière générale une très bonne adéquation entre les prestations prévues par le CCE_FZT2 et les prestations réalisées.

Des programmes de forage, de tests hydrauliques et de logging sont planifiés sur la base d'informations indirectes de la structure et des propriétés du sous-

sol, souvent à partir d'informations de surface, ou dérivées de forage adjacents. Il est donc tout à fait normal de constater des légères différences entre les prestations prévues et les prestations effectivement réalisées. Ces différences peuvent par exemple concerner des petites différences dans les cotes d'échantillonnage. Ces différences ne sont pas jugées significatives.

Quelques différences significatives ont néanmoins pu être constatées. Elles sont listées ci-dessous :

- Sur les trois tests hydrauliques prévus au Trias entre obturateurs dans le forage EST433 (§9.7.2, p103 et §4.5.5, p 194 du CCE_FZT2), seuls deux tests ont pu être réalisés. La description des tests et les résultats sont présentés en *Figure 1*. Le test 3 n'a pas pu être réalisé à cause de problèmes supposés de colmatage de l'outillage.

Borehole EST433-Triassic			
Ground Surface Elevation	358.28 m asl		
Diameter	152.4 mm (6.0 in)		
Total Depth	2001.0 m bgl		
Test Interval	T1 ¹	T2 ¹	T3
Depth to Top of Interval (m bgl)	1927.60	1878.65	1785.60
Depth to Bottom of Interval (m bgl)	1952.59	1903.64	1810.49
Length of Test Interval (m)	24.99	24.99	24.99
Flow Model / Skin	Composite Positive	Composite/ Positive	
Hydraulic Conductivity: K (m/s) (95% confidence limit)	1.04E-05 (9.5E-06, 1.06E-05)	4.43E-05 (4.42E-05, 4.44E-05)	
Specific Storage: Ss (1/m) (95% confidence limit)	1.3E-06 (3.0E-07, 3.0E-06)	8.80E-06 (2.34E-06, 2.42E-05)	
Transmissivity: T (m ² /s) (95% confidence limit)	2.60E-04 (2.38E-04, 2.65E-04)	1.11E-03 (1.10E-03, 1.11E-03)	
Storativity: S (-) (95% confidence limit)	3.25E-05 (7.5E-06, 9.0E-05)	2.20E-04 (5.85E-05, 6.05E-04)	
Formation Pressure: P (kPa) (95% confidence limit)	17750.0 ²	17244.93 (17244.93, 17244.94)	
Hydraulic Head: H (m asl)	214.7	214.0	
¹ Estimated parameter values and uncertainty range based on GLUE approach from the perturbation analysis			
² based on the stabilized pressure at the end of RWS3			

Figure 1: Résumé des tests entre obturateurs réalisés dans le forage EST433 au Trias, et estimation des paramètres pour le Test 1 et le Test 2. Le Test 3 n'a pas été réalisé.

- Les logs de températures avaient été prévus en différé sur toute la longueur du forage, soit de 2000 m jusqu'à la surface (§8.1.2, p 68 et §4.5.3, p 192 du CCE_FZT2). A cause du comblement du forage par des boues, les logs de température n'ont pas pu atteindre le fond du forage et s'arrêtent à une profondeur de 1855 m. Les 140 derniers mètres n'ont pas été mesurés par les diagraphies différées.
- Dans la partie III du CCE_FZT2 (programme après départ de l'appareil), il avait été prévu d'effectuer des pompages de longue-

durée, des diagraphies géochimiques et un test d'injectivité. L'objectif du test d'injectivité¹ était d'obtenir une valeur globale représentative de cette grandeur pour les formations du Trias. Ces tests n'ont pas été réalisés. Selon l'Andra (communication écrite du 21.10.2013), « *lors de la phase de tests dévolue en fin forage au programme de recherche académique une sonde de l'IPGP est restée bloquée à la base du Trias et n'a pu être repêchée. A la suite de ce coincement, le tube crépiné n'a été descendu que jusqu'au toit de la sonde, limitant ainsi la hauteur du Buntsandstein disponible pour la seconde phase de tests* ». Toujours selon l'Andra, « *La mesure de température de l'été 2008 a montré que l'intérieur du tube crépiné était comblé à 1856 m. Diverse opérations ont été envisagées pour retrouver un accès au Buntsandstein, mais durant la mesure de température de février 2009 l'outil a posé à 1841 m, montrant que le phénomène continuait à se développer. La seconde phase de tests a été alors définitivement abandonnée.*».

5 Pertinence du cahier des charges pour le forage, tests hydrauliques, logging

Dans son ensemble, l'ensemble du programme de forage, de tests hydrauliques et de logging tels que planifié dans le CCEE_FZT2, nous parait tout à fait conforme pour permettre une évaluation quantitative du potentiel géothermique au Trias.

Quelques critiques sur la pertinence du cahier des charges en vue de l'évaluation du potentiel géothermique au Trias peuvent néanmoins être émises.

5.1 Forage

Comme mentionné par l'Andra en page 16 du CCEE_FZT2, « le retour d'expérience des campagnes passées (FSP et FRF) montre qu'il est difficile de concilier deux objectifs différents dans un même forage ».

A la vue des complications rencontrées lors de la réalisation des tests entre obturateurs, cette crainte formulée par l'Andra s'est avérée justifiée. Nous pensons que cela est en partie dû au caractère multiple des objectifs du forage ainsi qu'au nombre et à la variété des intervenants qui ont effectués les différents tests dans le forage.

Le dimensionnement, les conditions de réalisation, le type de boue, les conditions de pression, etc. d'un forage géothermique sont très spécifiques et diffé-

¹ Les tests d'injectivités sont réalisés pour tester la productivité d'un réservoir, en termes de débit. Comme une opération d'injection d'eau (pompe de surface) est plus simple et moins onéreuse qu'une opération de pompage (pompe de submersion au fond du puits), ce type de test est préféré aux tests de pompage. Il est ensuite supposé que l'injectivité est égale à la productivité.

rent des forages réalisés dans d'autres domaines, comme les forages pétroliers par exemple. A nouveau, nous sommes d'avis qu'un forage qui n'a pas pour unique objectif de caractériser la ressource géothermique n'est pas une solution optimale et que cela peut entraîner certaines complications.

Lors de la réalisation d'un forage géothermique, l'expérience de l'équipe de forage dans la réalisation de ce type d'installation et dans les conditions attendues sont déterminantes.

5.2 Tests hydrauliques

Le programme des tests hydrauliques tel que prévu dans le CDE nous semble tout à fait pertinent pour une première évaluation du potentiel géothermique au Trias.

Les tests entre obturateurs sont réalisés sur des intervalles de 25 m. Les valeurs de transmissivité sont donc valables sur ces mêmes intervalles. La question se pose sur la représentativité de ces valeurs pour l'estimation du Trias sur l'entier de son épaisseur. Pour rappel, l'épaisseur du Trias dans le forage EST433 est de 125 m.

Les tests entre obturateurs réalisés au Trias dans le forage EST 433 sont de relative courte durée (quelques heures). Leur interprétation permet, sous certaines réserves, de déterminer les propriétés du Trias dans l'environnement immédiat du forage. Nous nous posons la question de la représentativité des valeurs mesurées par rapport aux propriétés à échelle régionale.

Les tests de longue durée et les tests d'injectivités auraient peut-être permis d'évaluer la productivité du Trias sur toute son épaisseur et sur une plus grande zone. Malheureusement, la réalisation des tests entre obturateurs s'est avérée plus compliquée que prévu et des sondes ont été perdues en fond de trou. Tous les tests n'ont donc pas pu être réalisés.

Nous regrettons l'absence de tests spécifiques dans la partie inférieure du Buntsandstein, comme dans les grès de base par exemple.

5.3 Logging

Le programme de logging tel que prévu dans le CDE est tout à fait pertinent pour contribuer à l'évaluation du potentiel géothermique au Trias. En effet, il est explicitement demandé dans le CCE_FZT2 de procéder aux logging de température sur l'intégralité du forage et de manière différée. Seuls des loggings différés permettent d'obtenir des températures représentatives des conditions naturelles du sous-sol. En effet les opérations de forage ont pour effet de modifier localement la température autour du forage. Des mois sont requis pour retrouver un équilibre thermique.

Les différents logs thermométriques réalisés entre Juin 2008 et Février 2009 démontrent que les conditions étaient en équilibre thermique (D.PL.ALS.09-0264/A).

6 Seconde opinion sur l'interprétation des tests hydrauliques/logging

Trois tests hydrauliques entre obturateurs étaient prévus :

- Test 1 dans les grès Vosgiens (Buntsandstein Moy.),
- Test 2 dans les grès à Voltzia (Buntsandstein Sup.),
- Test 3 prévu dans le Muschelkalk Moyen à Inférieur (non réalisé).

Seuls les Test 1 et Test 2 ont été réalisés.

Les rapports d'opération des tests hydrauliques entre obturateurs au Trias, montrent un très fort colmatage de la crépine par les boues de forage. Le colmatage de la crépine par les boues a pour effet de créer un très fort effet pariétal (skin-effect), ce qui rend l'interprétation de tels tests difficile.

Les outils complexes d'interprétation des tests hydrauliques utilisés par les opérateurs constituent l'état de l'art en la matière. Ils permettent de prendre en compte de tels effets. Ils arrivent ainsi à déterminer à la fois la conductivité hydraulique de la couche de colmatage ainsi que celle la formation.

A la vue de la qualité des données, de la difficulté rencontrée par les opérateurs pour interpréter ces tests et des différences constatées lors de l'interprétation des différentes phases des tests hydrauliques, nous sommes néanmoins d'avis que les conductivités hydrauliques estimées sont sujettes à une très forte incertitude.

Des intervalles de confiance sont donnés pour les valeurs interprétées (voir *Figure 1*). Ces intervalles de confiance sont extrêmement faibles. A notre sens, il s'agit ici d'un intervalle de confiance mathématique liée aux méthodes utilisées pour l'interprétation des tests. Cet intervalle de confiance ne semble pas représentatif des variabilités possible de la conductivité hydraulique au sein de la formation du Trias. Nous nous attendrions à des variabilités de la conductivité hydraulique pouvant tout au plus atteindre un facteur 10. Ceci est confirmé par les différentes tentatives d'interprétation des tests hydrauliques dans le forage EST-433, qui ont amené à de très grandes variabilités des conductivités hydrauliques interprétées. Pour différentes raisons invoquées par les opérateurs, ces dernières n'ont cependant pas été retenues.

Les valeurs de conductivités hydrauliques retenues nous semblent néanmoins convenir à ce type de formation géologique, mais doivent être considérées comme indicatives.

- Le test 1 donne une conductivité hydraulique de $1.04 \cdot 10^{-5}$ m/s,
- Le test 2 donne une conductivité hydraulique de $4.43 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Partant de cette hypothèse, nous pouvons accepter que ces valeurs soient retenues comme valeurs de conductivité hydraulique représentatives du Trias au droit de la zone de transposition.

En terme de transmissivité sur les zones testées (intervalles de 25 m), cela donne bien des transmissivités de $2.6 \cdot 10^{-4}$ m²/s (test 1) et de $1.11 \cdot 10^{-3}$ m²/s (test 2).

Concernant les logs de températures, le programme différé a permis d'obtenir des profils représentatifs des conditions naturelles, soit non perturbée par les opérations de forage. Le gradient géothermique moyen est de l'ordre de 3K/100 m (première approximation), ce qui représente une valeur normale moyenne dans le monde. La température au sein du Trias est de l'ordre de 66°C.

7 Revue du potentiel géothermique du Trias en Meuse/Haute Marne

Le potentiel géothermique, de même que la faisabilité économique d'un projet géothermique, est classiquement évalué sur la base de trois propriétés essentielles du réservoir :

- La profondeur (et l'épaisseur),
- La température,
- La transmissivité (ou la conductivité hydraulique).

Les propriétés hydrochimiques, tels que la salinité, sont également à prendre en compte.

La profondeur du réservoir est déterminante pour la faisabilité économique d'un projet géothermique. Plus le réservoir est profond, plus les coûts de forages seront élevés. L'aquifère du Trias est localisé à une profondeur d'environ 2000 m. Pour comparaison, le projet actuel de géothermie de St.Gall prévoit d'exploiter un réservoir à une profondeur de 4500 m. Le forage géothermie de Riehen à Bâle est de 1500 m environ. Les forages du Dogger dans la région Parisienne ont des profondeurs du même ordre de grandeur. Avec les techniques de forage modernes, cette profondeur est tout à fait conventionnelle et ne présente aucune difficulté particulière (contrairement à des forages supérieurs à 5000 m, par exemple). Les coûts de forage restent relativement modérés.

La température au sein du Trias a pu être déterminée au moyen de logs thermométriques, réalisés plusieurs mois après la fin du forage, soit après équilibrage thermique. Ces logs montrent un gradient moyen de l'ordre de 3K/100 m, ce qui correspond à la moyenne en Europe et mondiale. Les logs indiquent une température de 66°C à 1855 m, soit au toit du Buntsandstein. Du fait des problèmes rencontrés lors des tests hydrauliques, la température n'a pas pu être mesurée jusqu'au fond du forage. Par extrapolation, il est possible de ren-

contrer des températures légèrement supérieures, atteignant peut-être les 70°C. Cette estimation est toutefois spéculative.

Ces niveaux de température ne sont pas suffisamment élevés pour la production d'électricité mais sont tout à fait suffisants pour une exploitation pour du chauffage direct, par exemple par l'intermédiaire de réseaux de chauffage à distance (si existants). Des utilisations agricoles ou industrielles peuvent également être envisagées. Une utilisation en cascade des niveaux de température peut également être envisagée pour accroître l'intérêt économique d'éventuelles installations géothermiques.

Le troisième critère est la transmissivité du réservoir. La transmissivité est le produit de la conductivité hydraulique par l'épaisseur du réservoir. Il convient de rappeler que la transmissivité est souvent exprimée en termes exponentiels (puissance de 10). Une transmissivité de 10^{-5} m²/s est 10 fois plus petite qu'une transmissivité de 10^{-4} m²/s. Comme la productivité d'un réservoir géothermique (débit/température) est directement proportionnelle à la transmissivité, une incertitude sur ce paramètre peut entraîner de grandes différences sur l'évaluation du potentiel géothermique et sur la faisabilité économique d'un projet. Ce paramètre est donc déterminant. Il est malheureusement souvent sujet à de grandes incertitudes, et cela d'autant plus dans les régions mal explorées.

La grande difficulté de la plupart des projets géothermiques consiste en l'estimation de la transmissivité du réservoir, et cela avant la réalisation du premier forage. Dans des régions bien connues, comme le Dogger Parisien ou le Malm dans le Bassin Münichoïse, des prédictions relativement bonnes peuvent être faites déjà lors de la phase de faisabilité. Cela réduit les risques d'exploration. Dans les régions moins connues, les risques demeurent souvent élevés.

L'objectif des tests du forage EST433 sur l'évaluation de la transmissivité du Trias au droit de la zone de transposition était donc capital, afin d'estimer la qualité et la quantité des ressources géothermiques.

Les opérateurs de l'Andra ont une très grande expérience dans l'interprétation de tests hydrauliques et disposent d'outils informatiques de pointe permettant la meilleure interprétation possible des tests hydrauliques effectués dans le forage EST433. L'effet pariétal lié au colmatage de la crépine est d'ailleurs pris en compte de manière explicite par les simulations (skin-effect et modèle composite). Une estimation des propriétés de la formation est possible, malgré cet effet.

L'interprétation des tests hydrauliques effectués dans le forage du Trias ont donc permis d'obtenir des estimations de la perméabilité du Trias au droit de la zone de transposition. Mais à notre sens, les résultats obtenus par l'Andra sont à prendre avec précaution, à cause des raisons suivantes :

- Colmatage important de la crépine lors des opérations de tests hydrauliques entre obturateurs,

- absence de tests dans la partie inférieure du Buntsandstein,
- absence de test d'injectivité,
- absence de tests sur l'ensemble du Buntsandstein (transmissivité totale de l'aquifère du Trias),
- Intervalles de confiance très faibles.

L'Andra a néanmoins retenu deux valeurs de conductivités hydrauliques qui ont été retranscrites dans le rapport de synthèse en section 4.3.3 (D.RP.ALS.08.1356.B) et sur laquelle se sont basées les conclusions finales, à savoir que le potentiel géothermique est faible.

Les valeurs de conductivités hydrauliques retenues sont les suivantes :

- Le test 1 donne une conductivité hydraulique de $1.04 \cdot 10^{-5}$ m/s,
- Le test 2 donne une conductivité hydraulique de $4.43 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Il convient de rappeler que les conductivités hydrauliques obtenues sont représentatives des intervalles testés, soit deux intervalles de 25 m.

En l'absence de tests sur l'ensemble de la formation du Trias, la question se pose sur la représentativité de ces valeurs pour l'ensemble de la formation.

La productivité d'un réservoir dépend bien évidemment de la conductivité hydraulique, mais surtout de la transmissivité du réservoir, soit le produit de la conductivité hydraulique par l'épaisseur du réservoir.

Le passage d'une conductivité hydraulique obtenue par des tests entre obturateurs (intervalle de 25 m) à la transmissivité total d'une formation (comme le Trias dont l'épaisseur est de 125 m), doit être traité avec la plus grande précaution et est sujette à interprétation. Un effet d'échelle très important est à prendre en considération (upscaling).

En l'absence de tests sur l'ensemble de l'épaisseur et en l'absence de tests sur la partie inférieure du Buntsandstein, des hypothèses doivent être faites et seule une gamme de transmissivité peut être donnée.

Les zones testées ont une épaisseur de 25 m, ce qui correspond à l'intervalle entre les obturateurs. La transmissivité des deux zones testées sont donc de $2.6 \cdot 10^{-4}$ m²/s (test 1) et de $1.11 \cdot 10^{-3}$ m²/s (test 2).

Un scénario pessimiste d'un point de vue du potentiel géothermique pourrait considérer que seuls les deux intervalles testés sont transmissifs. Les autres unités du Buntsandstein seraient totalement imperméables. Dans ce cas, la transmissivité minimale du Buntsandstein correspondrait à la somme des deux transmissivités, soit un total de $1.4 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

Nous sommes d'avis que le reste de la formation (non testée) peut également présenter de bonnes perméabilités et que les unités inférieures peuvent contribuer à la transmissivité totale du Trias.

Il nous paraît donc tout à fait probable, compte-tenu des incertitudes sur les interprétations, que les transmissivité du Trias au droit de la zone de transposition se situe dans la gamme des transmissivités rencontrées dans le Dogger

en région parisienne, qui selon les données tirées de la littérature sont comprises entre $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ à $9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Ungemach & Antics, 2013).

En termes de productivité (débit), des valeurs de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ sont mentionnées et comparées à la gamme de débits des exploitations géothermiques en région parisienne ($150\text{-}400 \text{ m}^3/\text{h}$ – Andra, 2008).

Un débit de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ n'est à notre sens pas du tout représentatif des débits pouvant être obtenus à partir de formations présentant de telles transmissivités, et cela même dans le cas de scénarios pessimistes. Pour rappel, cette valeur a été obtenue lors des tests hydrauliques entre obturateurs qui étaient clairement affectés par du très fort colmatage. Si ce colmatage permet d'estimer les conductivités hydrauliques de la formation (avec certaines réserves), il a par contre pour effet de diminuer très fortement les débits (pour un rabattement donné).

Il convient également de rappeler que lors de la réalisation de forages géothermiques, des opérations de nettoyage et de purge de l'aquifère sont généralement réalisées pour en augmenter la productivité. Des opérations de stimulation chimique par injection d'acides peuvent également être envisagées. Finalement, l'installation d'un massif filtrant correctement dimensionné est également à prendre en compte. Tous ces aspects font que la productivité du réservoir peut encore être augmentée.

Avec les transmissivités mesurées, nous estimons qu'il est possible d'obtenir des débits du même ordre de grandeur que les débits d'exploitation obtenus en région parisienne.

De par sa haute salinité, l'exploitation du Trias à des fins de géothermie peut entraîner quelques contraintes et coûts supplémentaires, notamment au niveau de la réinjection. Avec de tels niveaux de salinité, il convient d'évaluer si une réinjection au sein du réservoir est obligatoire (aspects légaux et environnementaux), auquel cas un deuxième forage de réinjection serait nécessaire. La faisabilité économique d'une telle installation doit être évaluée.

En termes de potentiel géothermique de la région, le Trias a été considéré comme seule formation pouvant présenter un intérêt géothermique. Nos investigations se sont basées sur ce postulat de base. Néanmoins, le potentiel géothermique d'une région donnée se doit de considérer l'ensemble des formations aquifères présentes dans une région, de même que les technologies modernes type EGS. Ces formations peuvent concerner des aquifères superficiels pouvant être exploités pour du froid industriel, pour du stockage géothermique saisonnier, éventuellement au moyen de pompes à chaleur.

Il convient également de vérifier si des réservoirs plus profonds que le Trias sont présents dans la région et si ces derniers peuvent présenter un potentiel géothermique intéressant d'un point de vue économique.

Finalement, les récents développements des technologies type EGS (Enhanced Geothermal System) ou réservoirs stimulés sont également à considérer lors de l'évaluation du potentiel géothermique pour une région donnée.

8 Conclusions

Les investigations menées dans la présente étude permettent de formuler les conclusions suivantes. Ces conclusions sont basées sur l'état de nos connaissances actuelles et des informations et données disponibles dans les documents consultés. Si de nouvelles données ou informations venaient compléter les documents consultés, nos conclusions pourraient être revues et modifiées en conséquence.

Les conclusions formulées ci-dessous se veulent aussi factuelles que possible. Elles contiennent néanmoins une part interprétative. Tout aspect interprétatif n'engage que GEOWATT AG et ne saurait être utilisé comme base de dimensionnement d'ouvrage ou pour des prises de décision, sans une consultation préalable de GEOWATT AG. Des investigations complémentaires peuvent s'avérer nécessaires.

Nos conclusions sont les suivantes :

- Dans l'ensemble, les prestations décrites par le cahier des charges CCE_FZT2 ont été réalisées comme prévu, mis à part les prestations listées ci-dessous :
 - o Sur les trois tests hydrauliques prévus au Trias entre obturateurs dans le forage EST433, seuls deux tests ont été réalisés.
 - o Les logs de températures prévus en différé sur l'intégralité du forage, s'arrêtent à une profondeur de 1855 m. Les 140 derniers mètres n'ont pas été mesurés par les diagraphies différées.
 - o Les pompages de longue-durée, des diagraphies géochimiques et un test d'injectivité prévus après le départ de l'appareil de forage n'ont pas été réalisés.
- Les tests hydrauliques réalisés au Trias entre obturateurs ont permis d'obtenir 2 valeurs de conductivité hydraulique pour deux intervalles de 25 m du Trias. Ces valeurs sont considérées comme plausibles et peuvent être considérée comme valeur indicative de la conductivité hydraulique du Trias au droit de la zone de transposition.
- Du fait des forts effets de colmatage, la qualité des données lors des tests hydrauliques est relativement mauvaise, ce qui rend l'interprétation de ces tests très difficile.
- Au vue de la qualité des données ou des difficultés rencontrées pour l'interprétation des tests hydrauliques, nous estimons que les intervalles de confiance des conductivités hydrauliques sont d'un facteur 5 à 10 environ.
- Il est regrettable que les tests d'injectivité et que des tests de longue durée sur l'intégralité de l'épaisseur du Trias n'aient pas pu être réali-

sés. Ces derniers aurait permis d'obtenir une estimation de la transmissivité de l'intégralité de la formation du Buntsandstein.

- La transformation des conductivités hydrauliques obtenue par interprétation d'essai de pompage entre obturateurs en une valeur de transmissivité pour la formation du Trias est sujette à de grandes incertitudes. Seule une plage de transmissivité peut être déterminée.
- La transmissivité mesurée dans le forage EST433 est supérieure aux valeurs rencontrées dans les installations en exploitation du Bassin de Paris. Compte-tenu de l'incertitude sur les interprétations, nous pensons que la transmissivité du Buntsandstein au droit de la zone de transposition se situe dans la gamme des transmissivités rencontrées dans le Dogger parisien.
- A notre sens, les valeurs de productivités retenues par l'Andra ($5\text{m}^3/\text{h}$) ne sont pas représentatives des débits d'exploitation qu'il serait possible d'obtenir, si un ouvrage géothermique était réalisé selon l'état de l'art des connaissances et techniques actuelles. Des débits comparables à ceux obtenus dans le Dogger parisien devraient pouvoir être obtenus.
- Les tests de diagraphies ont permis de déterminer une température de 66°C au Trias ainsi qu'un gradient géothermique d'environ $3\text{K}/100\text{m}$, ce qui représente une valeur moyenne standard en Europe voir dans le monde.
- Les salinités des eaux de la formation du Trias sont élevées. Cet aspect n'est pas favorable à la réalisation d'une installation géothermique. Néanmoins, les difficultés techniques que cela peut engendrer peuvent aujourd'hui être contournées par l'emploi de techniques et de matériel appropriés.
- Les gammes de températures rencontrées dans l'aquifère du Trias permettent une utilisation des ressources géothermiques pour du chauffage direct (éventuellement couplé à un réseau de chauffage à distance), ou pour des besoins agricoles ou industriels. Une utilisation en cascade des plages de températures peut améliorer la rentabilité économique d'un projet.
- D'autres ressources géothermiques peuvent également être considérés, comme les aquifères superficiels (rafraîchissement, utilisation de pompage à chaleur), des aquifères plus profond que le Trias (si existants), ainsi que les technologies EGS.
- Compte-tenu des données et informations disponibles, nous sommes d'avis que les ressources géothermiques au Trias dans la région de Bure peuvent aujourd'hui être exploitées de manière économique avec l'emploi de techniques et de matériel appropriés.

- La réalisation d'une étude de faisabilité technique et financière par un bureau d'ingénieur spécialisé et indépendant devrait permettre de confirmer ces suppositions.

Les conflits liés à l'utilisation du sous-sol ne sont pas nouveaux. La présence d'une ressource énergétique au droit de la zone de transposition est indiscutable, vu que les ressources géothermiques sont présentes partout sous la Terre. Il s'agit donc de définir des priorités sur les aspects liés à l'utilisation du sous-sol.

Les ressources géothermiques concernées par l'enfouissement des déchets radioactifs peuvent facilement être quantifiées en termes d'énergie stockée ou d'énergie exploitable au moyen des techniques actuelles. Elles peuvent donc également être quantifiées d'un point de vue économique.

L'enfouissement des déchets radioactifs empêche l'accès aux ressources géothermiques dans une région donnée et crée ainsi une perte au niveau économique.

A notre sens, il convient de quantifier ces pertes afin de pouvoir les mettre dans la balance au moment de la définition des priorités sur l'utilisation du sous-sol.

9 Bibliographie

Andra. (2005). *Dossier 2005 Argile - Référentiel du site de Meuse/Haute-Marne, Rapport Andra n° C.RP.ADS.04.0022.*

Andra. (2008). *Synthèse du programme de reconnaissance de la zone de transposition 2007-2008, Centre de Meuse/Haute-Marne, Rapport Andra n° D.RP.ALS.08.1356.*

Ungemach, P., & Antics, M. (2013). *International course on drilling, completions and testing of geothermal wells.* IGA Education.

10 Annexe 1: Revue des prestations

La table suivante est un document de travail. Les Items renvoient à des sections spécifiques du CCE_FZT2.

Item	Description	Remarques	CONTROLE
1	Forages EST413/423/441	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
2	Forage EST 433	couvert par la prestation	
3			
4			
5			
6	Objectif Trias	OK	OK
7	Forage en boue à base d'huile ou polymère de la zone de transposition.	OK	OK
8	Phase chantier		
9	Phase de forage à air déjà rédigée	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
10	Phase de forage à boue/huile	OK	OK
11			
12	Phase de mesures long-terme	non réalisée car sonde bloquée	non réalisée car sonde bloquée
13			
14	Mesure en laboratoire hors-site	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
15			
16			
17			
18			
19			
20	Type de boue		
21	3 objectifs pour un même forage		discutable
22	Objectifs du forage EST433 profond		
23	- acquisition d'un profil complet de différents traceurs géochimiques, sur échantillons, sur l'ensemble de la série		OK
24	- obtenir des données pour évaluer le potentiel géothermique des séries du Trias inférieur		Température, Transmissivité
25	--acquérir un log de température à équilibrage thermiques		OK
26	-- mesurer les propriétés hydrodynamiques		OK
27	-- acquérir des données géochimiques sur les fluides.		non réalisé car sonde bloquée
28	300 derniers mètres de l'approfondissement au Trias (EST433) forés et carottés en boue à base d'eau		OK
29			
30			
31			
32	Superviseur forage	non vérifié	

Item	Description	Remarques	CONTROLE
33	MOeZ responsable des opérations scientifiques	non vérifié	
34	Reporting	non vérifié	
35	Logiciel suivi des travaux	non vérifié	
36	Rapport journalier d'opération	non vérifié	
37	Rapports techniques	non vérifié	
38	Etat préliminaires des synthèses	non vérifié	
39	Dossier d'ouvrage exécuté	non vérifié	
40	Sécurité	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
41			
42	Tâches du superviseur de forage (section 5.4)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
43	CHAPITRE 6 Travaux de forage et prestations connexes	OK	OK
44	Réalisation de EST433 objectif Trias	OK	OK
45	Forages en boue à base d'huile et d'eau (section 6.1)	OK	OK
46	Approvisionnement, équipement, descentes de tubage, cimentation par stinger ou bouchons, ...	OK	OK
47	Alimentation en eau	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
48	Transport des déblais	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
49	Gestion des déchets	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
50	Assistance aux autres prestataires scientifiques	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
51	Plan masse des plates-formes (section 6.2)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
52	Matériel et personnel (Section 6.3)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
53	Propriétés et formulation boue (Section 6.4)		
54	Personnel (section 6.5)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
55	Spécifications particulières (section 6.6)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
56	Evacuation des effluents (section 6.7)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
57			
58	CHAPITRE 7 Suivi géologique (LOT G02)		
59	Suivi géologique et échantillonnage		
60	Objectifs		Les objectifs sont repris.
61	identifier les terrains traversés		Les objectifs sont repris.
62	préciser la géométrie des différents horizons traversés		Les objectifs sont repris.
63	prélever des échantillons		Les objectifs sont repris.
64	contribuer au calage des données sismiques		Les objectifs sont repris.
65	assurer la sauvegarde et la transmission des données acquises	OK	Les objectifs sont repris.
66			
67	Déterminer et fournir en temps réel les cotes d'arrêt des phases de forage		Chronogramme d'exécution fournis.
68	Prélèvement et conditionnement des carottes pour la description lithologique, la réalisation d'analyse (Calci-métrie) et l'archivage selon les spécifications détaillées	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
69	Intégration dans le modèle géologique Meuse/Haute Marne	OK	Repris dans les objectifs du suivi géologique
70	Description technique de la prestation (section 7.1.2)		

Item	Description	Remarques	CONTROLE
71	Installation sur site (section 7.1.3)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
72	Moyens humains et matériel (section 7.1.4)		OK
73	Forage au Trias fera l'objet de suivi par mudlogging.		OK
74	Equipe suivi géologique (10 personnes sur site)		OK
75	Pour la partie Trias, 7 personnes seulement (page 53 du CC)		OK
76	Trias : équipe de base + équipe diagraphiste		
77	L'équipe de suivi est réduite lors de tests hydrogéologiques		
77.1	Matériel utilisé		OK
78	SECTION 7.2 / CONTENU DU SUIVI GEOLOGIQUE		
79	Levé géologique sur carotte (7.2.1) - 1 carotte tous les 50 m dans le Trias		OK
80	Levé géologique sur cuttings (7.2.2)		OK
81	1.5kg env., tous les 4m, sac numéroté		OK
82	quartage, nettoyage, conditionnement		OK
83	Traitement de l'échantillon pour description (7.2.2.2)		OK
84	Description (7.2.2.3)		OK
85	analyse lithologique et biostratigraphique		OK
86	traitement de l'échantillon pour archivage (7.2.2.4)	OK	OK
87	mesures sur site (7.2.3)	partiellement non couvert	
	7.2.3.1 Mesures de teneur en eau		OK
	7.2.3.2 Mesures de calcidolométrie		OK
88	Etablissement du log stratigraphique (7.2.4)		OK
89	Opération de mud-logging (7.2.5)		OK, détaillés dans le rapport Mesures de forage eST433 (DRPOGRS080006)
90	Estimation des épaisseurs de formation (7.2.6)		OK
91	Documents à produire (7-2-7)		OK (Rapport d'opération, RJ et RDM non couverts)
92	Chapitre 8: Diagraphies différées, tests géomécaniques		
93	8.1 Diagraphies différées : LOT1		
94	Programme dans les forages au Callovo-Oxfordien (8.1.1)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
95	Programme dans les forages au Trias (8.1.2)		
96	Tableau 10 page 69 !!!		
	Gamma-rAy		OK
	Diameter		OK
	Resistivité		OK
	Sonic		OK
	Densité		OK
	Porosité		OK
	imagerie acoustique et électrique		OK
	contrôle cimentation		OK
	Température		OK

Item	Description	Remarques	CONTROLE
97	Contraintes techniques imposées (8.1.3)		Supposé OK
98	8.2 Profils sismiques verticaux PSV (Lot2)	documentation non vérifiée, mais log réalisé	OK
99	8.2.1 mode de réalisation - 3 campagnes, une pour EST433	OK	OK
100	8.3 TESTS géomécaniques	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
101	CHAPITRE 9: TESTS HYDROGEOLOGIQUES ENTRE OB-TURATEURS		
102	9.1 Programme des tests prévisionnels		
103	9.1.1 Callovo Oxfordien	non couvert par la prestation	
104	9.1.2 Trias		
	Triassic section tested in three intervals with length of 27m	Three tests of 25 m.	Pourquoi le grès de base n'a-t-il pas été testé.
		Test 1: 1927.6 to 1952.59 m bgl - Buntsandstein - Grès Vosgiens	Clogging (page 13)
		Test 2: 1878.65 to 1903.64 m bgl - Buntsandstein - Grès à Voltzia	Back flushs (injections)
		Test 3: 1785.6 to 1810.49 bgl - Muschelkalk Moyen à Inférieur	Clogging (page 13) - Slug test only - PAS REUSSI
105	9.2.1 Préparation avant-test	Pas d'info	Pas l'impression qu'il y a un travail de nettoyage.
106	9.2.2 Management of the test		
107	9.2.3 Interprétation		
	below the lower packer, in the tubing, and annulus above the upper packer		OK
	analysis in real-time - data analysis - diagnostic plots		OK/OK
	simulations		OK/OK
	detailed follow-up analysis		OK
108	9.2.4 Reports		Pas consulté, mais références aux rapports individuels
109	9.2.5 Electronic Data		Pas couvert
110	9.3 Equipement		?
111	9.3.1 Equipement de fond		?
112	9.3.2 Equipement de surface		?
113	9.4 Historique du forage		OK
114	9.5 Méthode des tests appliqués		-
115	9.5.1. Pulse-test		non couvert
116	9.5.2 Slug test		
117	9.5.3 Drill stem test		non couvert
118	9-5-4 Test de pompage		
119	9.6 Procédure		
	Définition des paramètres et des phases de test		Test 1: OK / Test 2:
	Gonflage des obturateurs INF		OK/OK
	Période de dissipation des contraintes COM		? / ?
	Phase de récupération de pression statique PSR		OK/ OK
	Pulse de diagnostic Slug DST		OK/ OK

Item	Description	Remarques	CONTROLE
	Test de production		OK / OK
	Critères d'achèvement et d'extension des phases de test		
120	9.7 Simulations des tests pour répondre aux objectifs du programme		OK
121	9.7.1 Callovo-Oxfordian		non-couvert
122	9.7.2 Test au Trias EST433		OK
123	10 fourniture et pose de capteurs à cordes vibrantes.		non-couvert
124	11 Scratch tests		non-couvert
125	12 Pompage et diagraphies géochimiques		voir partie III
126	13 Suivi hydrogéochimique et échantillonnage		voir partie III
127	14 Gestion des eaux de pompage		voir partie III
128	Partie II - Programme de mesures scientifiques pendant les forages		OK
129	Partie II-A: Forage EST413		non-couvert
130	Partie II-B: Forage EST423		non-couvert
131	Partie II-C: Forage EST433		OK
132	4.4. Forage EST432		non-couvert
133	4.5. Forage EST 433		OK
134	4.5.1 Travaux de forage EST433		OK
	Carottage ponctuel 6" conventionnel à l'eau de 1700 à 2000 m - 4 car.x9m (K2-18 à K2-21)	OK	Carottage réalisé. Différences de côtes, mais objectifs conforme au CC.
	Forage destructif 6" ponctuel de 1700 à 2000 m - boue à base d'eau	OK	Forage destructif avec carottage ponctuel de 770 à 2001 m
135	4.5.2 Suivi géologique du forage EST433 (2 Phases, seule phase 2 couverte)	OK	OK
136	4.5.2.1 phase 515 à 760 m	non couvert	non couvert par la prestation
137	4.5.2.2 échantillonnage à but géomécanique	non couvert	non couvert par la prestation
138	4.5.2.3 échantillonnage à but géochimique	non couvert	non couvert par la prestation
139	4.5.2.4 échantillonnage pour le groupement multiorganisme "TRIAS"	non couvert	non couvert par la prestation
140	4.5.2.5 Synthèse échantillonnage EST433 pour la phase 515 m à 760 m	non couvert	non couvert par la prestation
141	4.5.2.6 Travaux de suivi géologique et échantillonnage dans la phase 760 m à 2000m (carottage discontinu)		OK
142	Carottes K2-1-18		OK - Conductivité thermique disponible, différence de profondeur
143	Carotte K2-1-19		OK - Conductivité thermique disponible, différence de profondeur
144	Carotte K2-1-20		OK - Conductivité thermique disponible, différence de profondeur
145	Carotte K2-1-21		OK - Conductivité thermique disponible, différence de profondeur
146	4.5.3 Programme de diagraphies forage EST433	LOT M19-1	OK
147	Phase 1 et 2 de 515 m à 1700 m	non-couvert	non couvert par la prestation
148	Phase 3 de 1700 à 2000 m		OK

Item	Description	Remarques	CONTROLE
	GR Spectral		OK
	Diamètreur		OK
	Résistivité		OK
	Imagerie de paroi électrique et acoustique		OK
	Sonic		OK
	Densité		OK
	Porosité (CMR)		OK
	contrôle cimentation		OK
	Température du fond du forage jusqu'en surface		OK
149	4.5.4 PSV forage EST433		OK
150	4.5.5 Test entre obturateur EST 433		OK
151	5 tests callovo-oxfordian	non-couvert	non couvert par la prestation
152	3 tests trias inférieur	seulement 2 tests on réussis	OK
153	4.5.6 Autres investigations		
154	contraintes par fracturation hydraulique	Pas d'information	Pas d'information
155	Partie II-D - forage EST441	non-couvert	non couvert par la prestation
156	Partie III Programme après départ de l'appareil		
157	Forage EST433		
158	2 Pompage longue durée et diagraphies géochimiques	Pas réalisé car sonde bloquée	Pas réalisée
159	Test d'injectivité	Pas réalisé car sonde bloquée	Pas réalisée
160	3 Suivi hydrogéochimique et analyses hors-site		
161	4 Gestion des eaux de pompage	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
162	5 Autres mesures en forage EST 433		
	Log thermométriques	OK	OK
163	6 Caractérisation géomécanique par essai de scratch-test	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
164	Partie IV Programme d'analyse en laboratoire hors site	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation

RESUME

Lot F11	Déménagement, forage, descente, tubage, cimentation, mises eau...	OK	OK, seule les pressions de boues de forage semble discutables.
Lot G02	Suivi Géologique (GEO-RS)	OK	OK
Lot I19	Fournitures et pose de capteurs à cordes vibrantes	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
Lot L06	Analyses minéralogiques et géochimiques sur roche	non couvert par la prestation, mesures de laboratoire hors-site	non couvert par la prestation
Lot L07	Caractérisations physico-mécanique	non couvert par la prestation, mesures de laboratoire hors-site	non couvert par la prestation
Lot L08	Analyses géochimiques sur fluides	non couvert par la prestation, mesures de laboratoire hors-site	non couvert par la prestation
Lot L09	Acquisition de profil géochimique sur échantillons	non couvert par la prestation, mesures de laboratoire hors-site	non couvert par la prestation

Item	Description	Remarques	CONTROLE
Lot L11	Scratch test	non couvert par la prestation, mesures de laboratoire hors-site	non couvert par la prestation
Lot M19-1	Diagraphies différées (Schlumberger)	OK	OK
Lot M19-2	Test Géomécaniques (Diagraphies différées) (MESY)	non couvert par la prestation	non couvert par la prestation
Lot M19-3	PSV (Schlumberger)	documentation non consulté, mais réalisée le 24-25/05/2008	OK
Lot M23	Tests hydrogéologiques entre obturateurs	documentation consultée	OK
Lot M26:	Pompage et diagraphies géochimiques	non réalisé, car sonde bloquée	non réalisé, car sonde bloquée
Lot M27:	Suivi hydrogéochimique et échantillonnage	non réalisé, car sonde bloquée	non réalisé, car sonde bloquée
Lot M35	Gestion des eaux de pompages	non réalisé, car sonde bloquée	non réalisé, car sonde bloquée