



Châtenay-Malabry, le 23 janvier 2013

Monsieur Jean-Louis CANOVA
Président du Comité Local d'Information
et de Suivi du Laboratoire de Recherche
de Bure - CLIS

Le directeur général adjoint

Rue des Ormes - Le Lavoir
55290 Bure

TEL. 01 46 11 80 01

Affaire suivie par : Sébastien Farin

N/réf : DG/DIR/13-0023

Objet : Assemblée générale du CLIS du 4 février 2013

Monsieur le Président,

Dans la perspective de l'Assemblée générale du CLIS du 4 février 2013, je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint les réponses de l'Andra aux critiques des associations sur la ressource géothermique dans la zone d'étude du projet Cigéo. Ces éléments ont également été communiqués à l'avocat des associations par lequel la mise en demeure nous a été transmise.

Je vous laisse le soin de transmettre ces éléments, si vous le jugez opportun, à Mr Drouot et lui indiquer que l'Andra est à sa disposition pour toute information complémentaire.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes meilleures salutations.

Jean-Paul BAILLET
Directeur général adjoint

PJ : Réponses de l'Andra aux critiques des associations sur la ressource géothermique dans la zone d'étude du projet Cigéo (C.NSY.ACOC.13.0003).

Copie :

- Monsieur Jean-Louis CANOVA
Président du Comité Local d'Information et de Suivi du Laboratoire de Recherche de Bure - CLIS
Mairie d'Ancerville - Place Municipale - 55170 ANCERVILLE
- Monsieur Robert FERNBACH
Vice-président du Comité Local d'Information et de Suivi du Laboratoire de Recherche de Bure
Mairie d'Houdelaincourt - 15 rue d'Orléans - 55130 HOUDELAINCOURT
- Monsieur Benoît JAQUET
Secrétaire général du Comité Local d'Information et de Suivi du Laboratoire de Recherche de Bure
CLIS - 18 avenue Gambetta - 55000 BAR LE DUC

RÉPONSES DE L'ANDRA AUX CRITIQUES DES ASSOCIATIONS SUR LA RESSOURCE GÉOTHERMIQUE DANS LA ZONE D'ÉTUDE DE CIGÉO

Page : 1/13

Ce document, bien que propriété de l'Andra, peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation

23/01/2013



1. Synthèse	4
2. Éléments techniques de réponse au dossier des associations	6
<i>2.1 Sur les conditions de forage et de réalisation des tests</i>	<i>6</i>
<i>2.2 Sur le programme de tests</i>	<i>6</i>
<i>2.3 Sur l'interprétation des tests</i>	<i>7</i>
<i>2.4 Sur les résultats des mesures et des tests</i>	<i>7</i>
<i>2.5 À propos de la transparence du processus</i>	<i>9</i>
<i>2.6 Quelle ressource géothermique dans le Trias de Meuse/Haute-Marne ?</i>	<i>9</i>
<i>2.7 La géothermie dans les schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie</i>	<i>10</i>
Annexe 1 : Documents des associations	12
Annexe 2 : Références bibliographiques du programme TAPSS	13

1. Synthèse

Les associations Réseau Sortir du Nucléaire (RSN), Bure Stop 55, CEDRA, ASODEDRA, Les Habitants Vigilants et MIRABEL LNE ont fait une demande de réparation d'un prétendu préjudice - à hauteur de 10.000 euros - que leur aurait causé l'« appréciation délibérément partielle de l'ANDRA des données » relatives aux ressources géothermiques (voir annexe 1), présentée dans la « synthèse du programme de reconnaissance géologique de la zone de transposition 2007-2008 » du 21 juillet 2008 (réf. D.RP.ALS.08.1356).

Les associations affirment en effet :

- que l'Andra aurait dissimulé délibérément le potentiel géothermique de la zone potentielle d'implantation du futur centre Cigéo ;
- que les conclusions de l'étude de 2009 seraient erronées du fait du non-respect par l'Andra de méthodes d'études respectueuses des règles de l'art.

Ainsi, selon elles, la zone actuellement étudiée pour l'implantation potentielle du centre Cigéo serait en violation des dispositions du « Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets en formation géologique profonde » du 12 février 2008, édité par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (voir annexe 1).

Au préalable, l'Andra souhaite rappeler que le Guide de sûreté mentionne comme critère technique de choix du site l'absence de stérilisation de ressources souterraines extractibles, le site devant « être choisi de façon à éviter des zones pouvant présenter un intérêt exceptionnel en termes de ressources souterraines » (p12). L'annexe 2.2.1 de ce Guide précise les conséquences de l'absence d'intérêt exceptionnel en matière de méthodologie d'analyse de risques, en indiquant que le scénario d'intrusion humaine pour la recherche de ressources géothermiques peut ne pas être étudié « car les sites retenus ne devront pas présenter d'intérêt particulier de ce point de vue ». Par conséquent, les études de synthèse de l'Andra s'attachent à rechercher s'il existe ou non une ressource géothermique exceptionnelle, la notion d'intérêt particulier n'étant pas définie par le Guide comme un critère de sélection du site.

Les associations affirment en premier lieu que la ZIRA serait située sur un site présentant un « intérêt tout à fait particulier en ce qui concerne la géothermie ». Elles citent pour étayer cette affirmation les propos d'A. Mourot s'appuyant sur des données géologiques du BRGM de 1979 (figure 1 page 1 du document « Synthèse générale – Dossier technique »). Désormais, l'article qui fait référence sur le sujet est l'article « *Lower triassic sequence stratigraphy of the western part of the Germanic basin (west of the Black Forest) : fluvial system evolution through time and space* » de S. Bourquin, S. Perin et M. Durand dans la revue *Sedimentary geology* n°186 de 2006 (pages 187 à 211).

Aucune des caractéristiques intrinsèques habituellement recherchées (salinité, température et productivité) pour caractériser un potentiel géothermique ne présente un caractère exceptionnel en tant que ressource potentielle pour une exploitation géothermique basse énergie des grès du Buntsandstein de Meuse/Haute-Marne (voir ci-dessous). Concernant plus spécifiquement la productivité, l'Andra reconnaît que la phrase « La production mesurée en test dans EST433 (5 m³/h) est nettement inférieure à la gamme de débits des exploitations géothermiques (150 à 400 m³/h) » constitue un raccourci qui pouvait porter à confusion. Le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) de Lorraine (décembre 2012) qui étudie le potentiel de développement des filières d'énergies renouvelables (dont la géothermie), et élaboré sur la base notamment des données BRGM les plus récentes, confirme que le potentiel régional de développement de la géothermie profonde est très faible.

Il n'existe donc pas de ressource géothermique présentant un intérêt exceptionnel dans la zone étudiée, ce que confirment les résultats obtenus dans le forage EST433.

Les associations contestent par ailleurs les méthodes utilisées par l'Andra pour réaliser ses mesures et tests dans ce forage EST433 et, par conséquent, la fiabilité et la validité des résultats obtenus en s'appuyant sur une étude d'A. Godinot.

Le rapport d'A. Godinot a uniquement été établi à partir de données bibliographiques, alors que les analyses de l'Andra se fondent sur des années d'études et de recherches supplémentaires pour compléter les connaissances.

Toutes les explications aux points techniques soulevés par l'étude d'A. Godinot sont données ci-après. En synthèse, il convient de retenir que le maintien de la boue dans le forage est nécessaire à sa stabilité du fait de la présence de petits lits argileux dans les grès. Il est habituel de réaliser des essais de type slug-test en boue, cela n'obère en rien les résultats qui peuvent en être tirés. Les conditions réelles au moment du test sont prises en compte dans les interprétations qui en sont faites.

Les principales données acquises lors de ce forage sont donc le résultat de mesures fiables et d'interprétations robustes. Elles ne sont d'ailleurs pas contestées par les associations et sont en accord avec la connaissance actuelle sur les grès du Buntsandstein (voir l'article de 2006 suscitée) et sont conformes aux formations retrouvées dans le forage de recherche pétrolière de Germisay, réalisé antérieurement aux reconnaissances menées par l'Andra.

Le travail d'étude de l'Andra est donc loin d'être « radicalement erroné » comme essayent de le démontrer les associations. Par ailleurs, la fiabilité et la pertinence de ce travail a été évaluée dans le cadre du dossier 2009 qui a servi de base à la définition de ZIRA et qui reposait notamment sur les conclusions du rapport de synthèse de 2008. À cet égard, il convient de rappeler que l'ASN, auteur du Guide de sûreté, prétendument non respecté, a estimé que les critères retenus par l'Andra pour choisir la ZIRA étaient « pertinents » et « cohérents avec le Guide de sûreté ».

En outre, il convient de rappeler que ces études ont été réalisées en toute transparence et ont fait l'objet d'un travail concerté avec de nombreux organismes extérieurs à l'Andra. Le programme d'échantillonnage, de diagraphies et d'essais *in situ* spécifique à ce forage a été établi en lien avec un groupement de 22 organismes de recherche.

Les équipes de scientifiques travaillant sur ce programme ont été présentes sur le chantier tout au long de la réalisation de ce forage. L'ensemble des éléments relatifs à l'étude du potentiel géothermique a été transmis au CLIS, et l'expert mandaté par celui-ci a eu connaissance du programme de tests en amont de la réalisation du forage et de ses résultats. Il n'a émis aucune objection quant à la fiabilité et la qualité du travail accompli.

Les résultats sur lesquels s'appuie l'Andra pour conclure à une absence de ressource géothermique exceptionnelle sont donc fiables et ont été obtenus selon des méthodes respectueuses des règles de l'art.

En conséquence, les allégations quant au caractère « péremptoire », « erroné », voire « délibérément partial », des conclusions de l'Andra relatives aux qualités de la ZIRA et à l'absence d'intérêt particulier exceptionnel de cette zone d'un point de vue géothermique ne reposent sur aucun fondement technique sérieux et ne sont pas susceptibles de justifier une quelconque demande d'indemnisation, en l'absence de toute faute imputable, volontaire ou involontaire, à l'Andra.

2. Éléments techniques de réponse au dossier des associations

2.1 Sur les conditions de forage et de réalisation des tests

Du fait des difficultés techniques inhérentes aux horizons argilo-gréseux, peu de doublets géothermiques réalisés en France dans ces formations géologiques ont connu un succès, et encore très relatif. De telles conditions de foration et de test ont été rencontrées au cours du forage EST433.

Les associations affirment que plusieurs décisions lors de la conduite et de l'interprétation des tests auraient été prises en désaccord avec les règles de l'art.

Les associations indiquent dans leur mémoire que : « *Non seulement les tests ont été réalisés dans un forage rempli de boue, mais l'Andra a en plus fait injecter des mètres cubes de cette boue à l'intérieur même du train de test.* » (Annexe 3 page 1 du dossier des associations).

Prétendre, comme l'écrivent les associations qu'il y aurait eu, volontairement, une injection de boue pour fausser les résultats de test est une contre vérité que des hydrogéologues responsables n'admettraient pas. Ainsi, **le maintien de la boue dans le forage pendant les tests était nécessaire à la stabilité du forage** du fait de la présence de petits lits argileux dans les grès, car le forage était en trou nu sur toute la hauteur de ces grès. Cependant, des particules argileuses du terrain (sédiments) passent dans la boue. Le recyclage de la boue de forage permet d'en évacuer une grande partie, le reste sédimente dans le fond du forage. La réussite de l'opération impliquait un compromis dans la gestion de la boue dans le forage pour à la fois garantir la tenue du trou nu pendant les tests et la réalisation des tests, qui nécessitait d'arrêter la circulation de la boue pendant toute leur durée. La colonne de boue dans le forage faisant alors plus de 1800 mètres de hauteur, la boue a partiellement sédimenté induisant de pertes de charge lors des pompages. La perméabilité des grès a néanmoins été approchée, et de l'eau de formation prélevée, selon les objectifs de ce forage de recherche.

Il est habituel de réaliser des essais de type slug-test en boue, et cela n'obère en rien les résultats qui peuvent en être tirés. Les conditions réelles au moment du test sont prises en compte dans les interprétations qui en sont faites.

La dégradation des polymères avant test hydraulique ne se fait que lorsque la formation testée est dure et les parois du forage stables, et après avoir isolé cette formation. Les exemples donnés par les associations correspondent à des formations calcaires (Dogger du Bassin de Paris alimentant les forages géothermiques de la région parisienne) ou granitiques (site de Schäfisshheim en Suisse), qui n'ont pas de problème de stabilité de paroi de forage et ne sont donc pas transposable au forage EST433.

2.2 Sur le programme de tests

Le forage EST433 était un forage de reconnaissance dont l'un des objectifs était de caractériser les formations profondes du Trias du point de vue de leur potentiel géothermique. En tant que tel, son mode de foration et son équipement était différent d'un forage à but d'exploitation géothermique permettant de tester la productivité de l'aquifère à grande échelle pour évaluer un débit d'exploitation commercial en conditions réelles.

Chaque test hydraulique dans le forage EST433 a été constitué de plusieurs phases enchainées :

- slug- test par extraction d'eau, puis suivi de la remontée en pression,
- slug- test par ajout d'eau, puis suivi du retour à la pression initiale,
- phase de pompage, puis suivi de la remontée en pression,
- phase d'injection, puis suivi du retour à la pression initiale.

Le pompage de longue durée au cours de la séquence de test avait pour objectif principal de prélever de l'eau représentative de la formation, notamment pour déterminer sa salinité. Cela imposait d'utiliser une pompe Moyno de petit gabarit, dont le débit a été constamment ajusté pour extraire un volume significatif d'eau (six fois le volume de la chambre de test dans le test 2).

2.3 Sur l'interprétation des tests

Les associations contestent les méthodes d'interprétation. (Synthèse des associations pages 3 à 5 et annexe 3 du dossier des associations). Les associations indiquent dans leur mémoire que « .../les données rentrées en logiciel sont "choisies", arbitrairement en toute subjectivité. C'est le cas de la solution "nominale", seule reprise par la Synthèse Andra 2009. » (annexe 3 page 1 du dossier des associations).

La valeur de transmissivité de l'ordre de 10^{-3} m²/s pour le test 2 a été estimée de manière concordante en utilisant à la fois des techniques analytiques classiques (diagramme d'Horner) et des techniques d'interprétations sophistiquées permettant de s'affranchir des effets spécifiques du puits (diamètre, boue...).

Le modèle de Horner mis en avant dans le dossier des associations est une méthode d'interprétation de tests hydrauliques en forage relativement simple et rapide d'où sa large utilisation. Les critiques des associations vis-à-vis du modèle de Horner (§ IV) utilisent alternativement les 2 paramètres kintrin et K pour prétendre à une volonté de l'Andra d'ignorer les variations de caractéristiques du fluide. Toutes les interprétations conduites par l'Andra ont intégré les caractéristiques des fluides en place : les paramètres indiqués par l'Andra s'appliquent au droit des réservoirs testés, sans aucune ambiguïté, et « sans tromperie ». D'ailleurs, les associations, dans cette annexe, admettent (paragraphes III & IV) que les valeurs de paramètres proposées par l'Andra sont correctes. Il est donc évident que les pertes de charges ont été prises en compte, et vouloir insinuer le contraire est un prétexte irrecevable. Par contre les associations extrapolent de façon hasardeuse cette valeur sur une épaisseur de formation non fondée sur des données géologiques, et anticipent un débit permanent considérable avec un rabattement de 30 m. Comme le note le BRGM dans son rapport sur le potentiel géothermique du Trias clastique du Bassin de Paris, les formations argilo-gréseuses sont caractérisées par une grande variabilité spatiale des faciès. Du point de vue de leur exploitation géothermique, cette variabilité de faciès se traduit par la variabilité des propriétés hydrauliques qui y sont associées.

Dans le cadre des études de sites pour le stockage de déchets radioactifs, l'utilisation du modèle de Horner est en général complétée par l'utilisation de modèles numériques plus sophistiqués. Ces modèles permettent une analyse plus fouillée que ne le permet le modèle de Horner :

- test d'un grand nombre de paramètres tels que des modèles d'écoulements composites et des facteurs influençant les tests (par exemple pertes de charge en paroi de forage, positives lorsqu'il y a colmatage ou négatives lorsqu'il y a augmentation de perméabilité par endommagement lors de la foration),
- analyses de sensibilité sur les paramètres qui sont peu ou mal connus (compressibilité, salinité, pression).

Quel que soit le modèle utilisé, toutes les techniques de restitution des mesures passent par une discrétisation de leurs évolutions, ce qui ne retient en général qu'une partie de ces mesures. On peut y voir un côté arbitraire, comme le font les associations, mais elles-mêmes ont suivi la même démarche dans leur annexe 3 (dont item c) au paragraphe IV.

Le résultat obtenu est plus robuste que la simple utilisation du modèle de Horner. On peut noter par ailleurs que les valeurs de perméabilité données par les associations ne diffèrent pas significativement de celles provenant des interprétations conduites par l'Andra.

2.4 Sur les résultats des mesures et des tests

Les caractéristiques des grès du Buntsandstein dans le forage EST433 sont en accord avec la connaissance actuelle sur cette formation géologique (l'article qui fait référence sur le sujet est l'article « *Lower triassic sequence stratigraphy of the western part of the Germanic basin (west of the Black Forest) : fluvial system evolution through time and space* » de S. Bourquin, S. Perrin et M. Durand dans la revue *Sedimentary geology* n°186, 2006, pages 187 à 211).

Leur transmissivité hydraulique est bonne dans le niveau supérieur (test n°2 10^{-3} m²/s) et en accord avec sa porosité libre de 10 à 15 %, l'horizon inférieur plus argileux ayant une porosité libre plus

faible, et donc une transmissivité plus basse (test n°1 2.10^{-4} m²/s). Elle est du même ordre de grandeur que celle constatée dans les forages d'Achères et de Melleray.

Dans la Synthèse des associations page 3, il est indiqué que les valeurs de débit et de transmissivité présentées par l'Andra seraient physiquement incompatibles : « *L'information qu'apporte cette synthèse est donc une impossibilité physique* ». **Lorsque les associations associent ces valeurs de paramètres (qui sont exacts) et le couple (volume produit de 35 m³ – rabattement de 30m), cela pourrait être assimilé à une tromperie. En effet, ces deux notions sont totalement différentes et n'ont pas été confondues par l'Andra. Il y a manifestement là une volonté d'induire le lecteur externe vers une appréciation négative du travail conduit par l'Andra.**

La forte valeur de la salinité de l'eau de formation (179 g/l) a été mesurée au bout de 8 h de pompage (35 m³ extraits au cours du test n°2), ce qui garantit sa représentativité.

Les valeurs du gradient géothermique fournies par l'Andra seraient fausses : « *Bien avant ce forage, l'Andra avait déjà menti sur la valeur du "gradient géothermique" pour minimiser l'intérêt d'une exploitation géothermique* » (Synthèse des associations page 7).

Seul le flux de chaleur provenant des profondeurs de la Terre est constant sous un point donné de la surface du globe. La température des différentes formations géologiques de la croûte terrestre est le résultat de la dissipation de la chaleur dans ces formations au fur et à mesure de sa remontée vers la surface du sol.

Le gradient de température, dit gradient géothermique, est la pente locale de la courbe de température en fonction de la profondeur. Elle dépend de la conductivité thermique de la roche à la profondeur considérée. Par abus de langage, on appelle souvent gradient géothermique la différence de température constatée entre le haut et le bas d'un forage divisée par sa profondeur.

De façon générale, les écrits des associations ne font pas du tout référence à cette notion de flux de chaleur terrestre, et à son lien avec les gradients géothermiques par le biais des conductivités thermiques des roches. Il en résulte certains raccourcis et extrapolations très discutables. **La conductivité thermique des roches sédimentaires pouvant varier de 1,3 (formations très argileuses) à 5 W/m²/°C (formations salifères), le gradient géothermique moyen peut varier en un même lieu suivant la profondeur des forages réalisés.** C'est pourquoi, dans le cas du site de Meuse/Haute-Marne, le gradient géothermique moyen a varié de 2,5-2,7°C/100 mètres dans les forages de 700 m de profondeur au maximum à 3°C/100 mètres dans le forage EST433 de 2000 mètres.

Concernant la température naturelle dans les grès du Buntsandstein, l'annexe 2 du dossier des associations fait deux critiques : l'une sur la prise en compte des effets de mémoire de la dernière glaciation, l'autre sur la correction à apporter à la température mesurée dans l'eau en cours de pompage.

La première critique est caduque puisque les mesures dans le forage EST433 sont largement au-delà de la limite d'influence de l'onde thermique de la glaciation, qui est de 1000 mètres. Qui plus est, cette annexe des associations ne cite pas les travaux les plus récents (J. Marjorowicz et S.Wybraniec : « *New Terrestrial heat flow map of Europe after regional paleoclimatic correction application* », publié dans *Int J Earth Sci* (2011) 100-881-887), qui montrent que le site de Meuse/Haute-Marne se situe dans une zone où la correction à apporter est parmi les plus faibles de l'Europe continentale.

La seconde se base sur une méthode éprouvée, mais peu précise, pour tenir compte d'une stabilisation thermique imparfaite pendant le pompage, qui aboutit à une température de 69°C à 1920 mètres de profondeur. Or, l'Andra a mesuré une température de 66°C à 1875 mètres de profondeur après 7 mois de stabilisation, ce qui est une mesure beaucoup plus précise. **En tenant compte du gradient géothermique, l'écart entre les deux valeurs n'est que de l'ordre d'un degré. On peut donc considérer les deux estimations comme identiques compte tenu des méthodes approchées utilisées par les associations. L'Andra n'a donc pas minimisé la température des grès du Trias.**

Les données acquises lors de ce forage sont donc le résultat de mesures fiables et d'interprétation robuste. Elles ne sont d'ailleurs pas contestées par les associations.

2.5 À propos de la transparence du processus

Le forage EST433 a fait partie d'une campagne de reconnaissance, comprenant 12 forages et des profils de sismique réflexion 2D, réalisée en 2007 et 2008 avec pour objectifs :

- Apporter les données permettant d'appréhender les variations éventuelles de la couche du Callovo-Oxfordien en support à la proposition d'une ZIRA,
- Compléter la connaissance sur les écoulements et des transferts dans les formations sus- et sous-jacentes à la couche.
- Caractériser les formations profondes (Lias et Trias), tant du point de vue de leur impact sur les transferts globaux que de leur potentiel géothermique.

Ce forage a été approfondi jusqu'à 2000 m pour répondre à ce dernier objectif. Il a accueilli aussi un programme de recherche multidisciplinaire et multi-organismes (Universités, CNRS, IFPEN, BRGM, IRSN) dont la thématique était « Transferts actuels et passés dans un système sédimentaire aquifère – aquitard : un forage de 2000 mètres dans le Mésozoïque du Bassin de Paris (TAPSS) » (voir annexe 2) : 22 laboratoires y ont participé.

De ce fait, le programme d'échantillonnage, de diagraphies et d'essais in situ spécifique à ce forage a été établi en concertation avec ce groupement d'organismes.

Les équipes de scientifiques travaillant sur le programme TAPSS ont été présentes sur le chantier tout au long de la réalisation de ce forage. Elles ont tenu plusieurs réunions de travail au cours desquelles elles ont échangées leurs résultats. L'Andra y a également présenté les résultats de ses recherches en lien avec les trois grands objectifs définis ci-avant. Dans le cadre de ce programme, 7 thèses ont été soutenues à partir de données provenant de ce forage, 6 articles scientifiques ont été publiés dans des revues internationales à comités de lecture et 2 sont actuellement sous presse (voir références en annexe 2).

Les conditions de réalisation du forage, des diagraphies et des essais in situ ainsi que l'interprétation de ces derniers ont fait l'objet de rapports détaillés, de même que les essais réalisés sur les échantillons prélevés. L'ensemble des résultats a été repris dans le rapport de synthèse D.RP.ALS.08-1356.

Il est à noter que l'ensemble des éléments relatifs à l'étude du potentiel géothermique a été transmis au CLIS, et que l'expert mandaté par celui-ci a eu connaissance du programme de tests en amont de la réalisation du forage.

2.6 Quelle ressource géothermique dans le Trias de Meuse/Haute-Marne ?

À la différence des énergies fossiles les plus utilisées aujourd'hui, dont les réserves sont situées dans quelques sites particuliers, la chaleur du sous-sol est présente partout. L'énergie de ce flux de chaleur est plus ou moins facile à extraire selon la structure des formations géologiques ou la composition des roches (Brochure BRGM « La géothermie », 2004).

Deux paramètres déterminent la chaleur disponible pour extraction : la température de la ressource et la productivité possible des puits qui détermine le débit, mais la profondeur de la ressource détermine directement le coût d'investissement et donc la valeur de cette ressource : ainsi une ressource à 30°C à 300 mètres de profondeur peut-elle être considérée comme exceptionnelle, mais pas une ressource à 66°C à 1850 mètres de profondeur.

Le gradient géothermique moyen de 3°C par 100 mètres sur le site de Meuse/Haute-Marne est dans la moyenne basse. Les exploitations géothermiques en région parisienne ou bordelaise sont des zones de gradient géothermique moyen le plus souvent supérieur ou égal à 3,5°C par 100 mètres.

La productivité de l'ouvrage de captage (c'est-à-dire le débit d'eau que l'on peut extraire de façon constante sur la durée de fonctionnement de l'installation) dépend évidemment de la transmissivité hydraulique de la formation aquifère exploitée, mais également des caractéristiques géométriques de l'ouvrage et des moyens mis en œuvre pour extraire l'eau (puissance de la pompe, techniques de développement de puits utilisées, équipement de l'ouvrage). Si la transmissivité intrinsèque du niveau aquifère le plus productif des grès du Buntsandstein de Meuse/Haute-Marne est bonne, son

caractère argilo-gréseux peut fortement influencer sur la productivité réelle d'un ouvrage sur plusieurs dizaines d'années (développement de puits plus difficile, production de fines à maîtriser).

Par ailleurs, d'autres paramètres importants viennent déterminer l'exploitabilité de la ressource, tels que la salinité de l'eau et la nature de la formation.

La forte salinité naturelle de l'eau de l'aquifère (179 g/l) implique un potentiel de corrosion important qui complexifiera l'exploitation de l'installation et donc la renchéra (utilisation d'inhibiteurs de corrosion à forte concentration, renouvellement prématuré des installations, utilisation de matériaux moins sensibles à la corrosion, précipitation d'une partie des sels et plus particulièrement des sels de fer lors de la réinjection de l'eau dans la formation à une température plus basse).

Les caractéristiques argilo-gréseuses de la formation imposent également une complétion de puits de réinjection et des protocoles de développement des deux puits (production, injection) spécifiques pour avoir une exploitation fiable, Il est clair que cela aura également des répercussions sur les coûts de réalisation, qui seront plus élevés qu'un doublet type au Dogger.

Mais surtout, le facteur qui détermine l'intérêt de la ressource est le niveau de risque sur la ressource attendue. En effet, les maîtres d'ouvrage sont réticents à prendre des risques dans les projets de géothermie, car la géothermie a un usage local, et la prise de risque joue sur un seul forage à la fois, alors que par exemple les pétroliers peuvent moyenniser leurs risques sur plusieurs champs. Ainsi, le Dogger en région parisienne présente un risque assez faible parce que (relativement) prédictible dans ses propriétés. À contrario, la variabilité des faciès dans les grès clastiques rend hasardeuse la ressource potentielle à chaque forage.

Aucune de ces caractéristiques ne confère un caractère exceptionnel en tant que ressource potentielle pour une exploitation géothermique basse énergie aux grès du Buntsandstein de Meuse/Haute-Marne, la salinité étant plutôt médiocre, de même que la température compte de la profondeur de cet aquifère.

La conclusion de l'Andra sur la faible ressource géothermique serait fautive : « *La conclusion de la synthèse, indiquant que "la ressource géothermique à l'échelle de la zone de transposition est faible"*, est écrite en déni des données » (Synthèse des associations page 6).

Les associations assimilent abusivement ressource géothermique et productivité en eau de l'aquifère.

Concernant la productivité d'une exploitation géothermique dans les grès du Buntsandstein, la phrase de conclusion de la version B de la synthèse faite par l'Andra : « *La production mesurée en test dans EST433 (5 m³/h) est nettement inférieure à la gamme de débits des exploitations géothermiques (150 à 400 m³/h)* » porte en effet à confusion. La CNE a d'ailleurs corrigé cette confusion dans son rapport n°4 de juin 2010, en indiquant que « ...la productivité observée lors des tests ne peut être considérée comme représentative de celle d'une installation industrielle réalisée dans les règles de l'art ».

Quant aux potentialités d'une ressource géothermique, elles doivent également prendre en compte la température de l'aquifère et les conditions d'exploitation. C'est pourquoi, il aurait été préférable de qualifier cette ressource de banale plutôt que de faible. La CNE dans ce même rapport n°4 de juin 2010 aboutit aux mêmes conclusions : « *le Trias dans la région de Bure ne représente pas une ressource géothermique potentielle attractive dans les conditions technologiques et économiques actuelles* ».

Enfin, il ne faut pas oublier qu'à la différence de l'énergie tirée des éoliennes, la géothermie est par nature une énergie locale, à consommer sur place par des usagers résidant au plus à quelques kilomètres de la source de production de chaleur.

2.7 La géothermie dans les schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie

La loi portant engagement national pour l'environnement (dite loi Grenelle II), promulguée le 12 juillet 2010, instaure les schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE). Ces schémas étudient le potentiel de développement des filières d'énergies renouvelables (dont la géothermie).

De manière générale les SRCAE sont élaborés conjointement par le préfet de région et le président du conseil régional, qui s'appuient sur un comité de pilotage rassemblant les représentants de l'État, des établissements publics de l'État et de la Région, ainsi que sur un comité technique réunissant l'ensemble des acteurs et parties prenantes.

Le SRCAE de Lorraine indique que « *Le potentiel régional de développement de la géothermie profonde est très faible. Cependant, il peut être compensé par le développement de la géothermie basse et très basse énergie recourant à l'utilisation de pompes à chaleur. Cette filière connaît un fort développement ces dernières années, notamment chez les particuliers. Cette solution technique constituera à l'avenir un levier important pour l'atteinte des objectifs.* » (p 64).

Annexe 1 : Documents des associations

Les documents sont disponibles sur Internet sur le site Internet du Réseau sortir du nucléaire, à cette adresse : <http://groupes.sortirdunucleaire.org/Bure-l-Andra-s-arrange>

Analyse détaillée

http://groupes.sortirdunucleaire.org/IMG/pdf/Synthe_se_ge_ne_rale-1.pdf

Lettre de mise en demeure

http://groupes.sortirdunucleaire.org/IMG/pdf/LMD_ANDRA_17_12_12.pdf

Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde

www.asn.fr/index.php/content/download/26511/159256/file/guide_RFSIII_2_fv1_2_.pdf

Annexe 2 : Références bibliographiques du programme TAPSS

Thèses soutenues

- REBEIX, R. - Temps de résidence et origine des eaux souterraines profondes : application au site de stockage de déchets nucléaires (CEREGE – GIS Nîmes)
- BENSENOUCI, F. – Apport des traceurs naturels à la compréhension des transferts au sein de formations argileuses compactées (IDES/IRSN).
- SMITH, T. – Étude du transfert des gaz rares dans le Mésozoïque du bassin de Paris du forage profond (CNAB).
- BARSOTTI, V. - Recherche et caractérisation de micro-organismes dans des compartiments géologiques profonds (CNAB/BRGM)
- PLOQUIN, F. - Paléo-conditions diagénétiques des séries triasiques du forage EST 433 : Approches minéralogiques et pétrographiques (Hydrasa Poitiers)
- KARS M. - Calibration et application du géothermomètre magnétique MagEval dans les roches sédimentaires.
- BLAISE, T. - Histoire thermique et interactions fluides-roches dans l'Est du Bassin de Paris (G2R Nancy).

Articles publiés

- BLAISE et al. (2011). – Vertical and lateral changes in organic matter from the Mesozoic, eastern Paris Basin, *International Journal of Coal Geology*, 88, 2-3, 163-178.
- BOULIN P.F., BRETONNIER P., GLAND N., LOMBARD J.M. (2011) – Contribution of the steady state method to water permeability measurement in very low permeability porous media. *Oil and Gas Science and Technology*, 59-69.
- BATTANI A., SMITH T., ROBINET J.C., BRUHLET J., COELHO D. & LAVIELLE B. (2011) – The use of logging tools in modeling Helium transfer across the Mesozoic sequence of East Paris Basin. Comparison with helium depth profile data. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 75, 7566-7584.
- FOURRÉ E., JEAN-BAPTISTE P., DAPOIGNY A., LAVIELLE B., SMITH T., THOMAS B. & VINSOT A. (2011) – Dissolved helium distribution in the Oxfordian and Dogger deep aquifers of the Meuse/Haute-Marne area. *Physics and Chemistry of the Earth*. 36, 17-18, 1511-1520.
- REBEIX R., LE GALL LA SALLE C., MICHELOT J.P., VERDOUX P., NORET A., MONTVOISIN G., GIANESINNI S. & LANCELOT J. (2011) – Tracing the origin of water and solute transfers in deep groundwater from Oxfordian, Dogger and Trias formations in the east of the Paris Basin – France. *Physics and Chemistry of the Earth*. 36, 17-18, 1496-1510.
- LINARD Y., VINSOT A., VINCENT B., DELAY J., WECHNER S., DE LA VAISSIÈRE R., SCHOLZ E., GARRY B., LUNDY M., CRUCHAUDET M., DEWONCK S. & VIGNERON G. (2011) - Water flow in the Oxfordian and Dogger limestone around the Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory. *Physics and Chemistry of the Earth*. 36, 17-18, 1450-1468.

Articles acceptés ou sous presse

- BENSENOUCI et al. - Profiles of chloride and stable isotopes in pore-water obtained from a 2000 m-deep borehole through the Mesozoic sedimentary series in the eastern Paris Basin, *Physics and Chemistry of the Earth*.
- LANDREIN et al. - Lithologie, hydrodynamisme et thermicité dans le système sédimentaire multicouche recoupé par les forages Andra de Montiers-sur-Saulx (Meuse). *Bull. Soc. Géol. France*.