

## Synthèse générale

### Dossier technique

L'Andra, Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, est chargée de rechercher un lieu pour l'implantation d'un Centre industriel de stockage géologique (dit "CIGEO") pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Parmi les critères à prendre en compte pour le choix du site, figure celui de l'absence de ressources géothermiques potentiellement exploitables.

En effet, le rapport du groupe de travail présidé par le professeur Goguel relatif au stockage des déchets radioactifs en formation géologique jugeait préférable d'éviter les zones potentielles de gîtes minéraux risquant fort d'attirer de futurs habitants (voir document 1 : *Groupe Goguel 1987, p. 42*). Cela est devenu par la suite un objectif législatif général de sûreté avec le paragraphe 4.4.2 de la Règle Fondamentale de Sûreté (RFS) III.2.f : « Au plan de la gestion du sous-sol, le site devra être choisi de façon à éviter des zones dont l'intérêt connu ou soupçonné présente un caractère exceptionnel » (voir document 2 : *RFS III.2.f de 1991, § 4.4.2, p. 474*). Les RFS définissent des objectifs à retenir dans les phases d'études et de travaux pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde afin d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stockage. La RFS III.2.f a été abrogée et remplacée par le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde du 12 février 2008 (voir document 3 : *ASN 2008 Annexe II, p. 31*). Dans l'annexe 2 de ce guide, intitulée « Sélection de situation à étudier dans le cadre de l'analyse de sûreté », point A2-2.2.1, il est indiqué, concernant la géothermie et le stockage de chaleur, que « cette situation n'est pas à étudier car les sites retenus ne devront pas présenter d'intérêt particulier de ce point de vue ».

### L'Andra a caché les atouts géothermiques du site de Bure

C'est un géophysicien haut-marnais retraité, André Mourot (aujourd'hui décédé), qui en décembre 2002 révèle pour la première fois que le site choisi fin 1993 à la limite Meuse-Haute-Marne, connu depuis sous le nom du village de Bure, est situé juste au dessus d'une ressource géothermique estimée importante (voir document 4 : *Mourot 2002*). Elle a été décrite par le Service Géologique de l'État, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), lors des grands inventaires de cette ressource qui ont suivi les chocs pétroliers fin 1973 et fin 1979 (voir figure 1), puis localement confirmée par un forage pétrolier en 1989.

Figure 1 : Inventaire du Service Géologique de l'État

(voir document 16 : *Maget & Rambaud, 1979, BRGM, S4 Synthèse Trias*)

Données côté Champagne (représentées jusqu'à la limite de région)

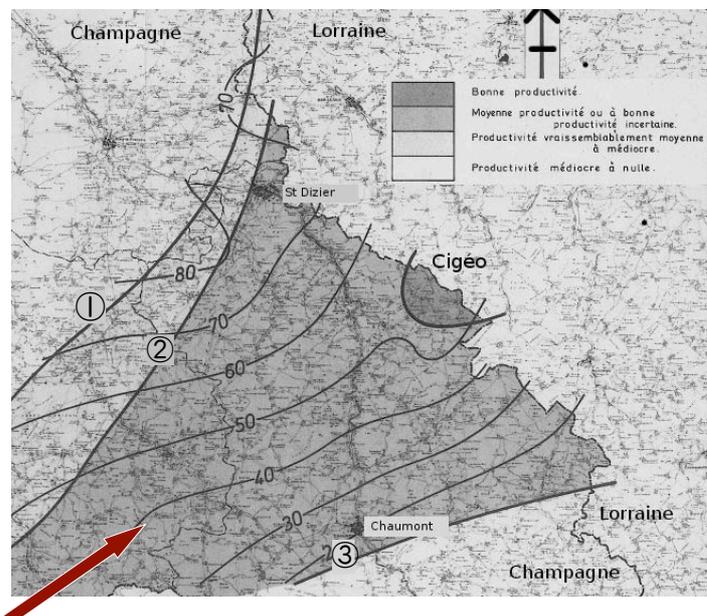
#### Aquifère géothermique du Trias

(= les zones colorées entre les traits gras 1, 2, 3)

Ces grès qui s'étalent ensuite sur la Lorraine sont venus du Sud-Ouest par cet entonnoir de couleur sombre qui commence en bas à gauche de la figure : = le "golfe" d'apport orienté SW-NE.

Au centre du "golfe", la porosité est supérieure à 15 % et l'épaisseur > 100 m lorsque l'on arrive dans la zone la plus foncée (demi-cercle face et contre Cigéo) d'où le terme "Bonne productivité" mis à cet endroit, et uniquement pour cette zone et sans conditionnel par les géothermiciens du BRGM.

(la température estimée au sommet des grès est aussi figurée avec des chiffres)



Suite à la révélation d'A. Mourot, dès les premiers jours de 2003, de nombreuses demandes ont été faites au sein du Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS) du Laboratoire de Bure, organisme de liaison entre l'Andra et différents représentants locaux, afin que soit vérifiée rapidement la présence de géothermie par un ou plusieurs forages dans le Trias. Cinq ans plus tard, début juin 2008, l'Andra fait finalement prolonger un forage (EST433) jusqu'à l'aquifère géothermique (voir pièce annexe 1).

L'Andra est le donneur d'ordre. Elle a choisi un groupement d'opérateurs pour réaliser des tests : Saunier & Associés - Solexperts – Intera (SIS). Le rapport définitif des opérateurs SIS est rendu en janvier 2009.

Six mois plus tard, en juillet 2009, l'Andra émet une Synthèse du programme de reconnaissance de la zone de transposition 2007-2008 comportant deux paragraphes sur l'évaluation du potentiel géothermique du Trias qui reste à ce jour la dernière référence sur ce sujet (voir document 5 : §4.3.3, p. 104-110 et 5.3, p. 114).

Tout ce que dit cette synthèse des tests au Trias tient dans les phrases suivantes (les parties mises en gras le sont par nous) :

*"(...) une transmissivité de  $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Un test de pompage réalisé sur l'intervalle du test (25 m) a produit  $35 \text{ m}^3$  d'eau de formation... (...) ( $4 \text{ à } 5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) sous un rabattement de 30 m." (p. 105)*

*"Une formation montrant des bonnes transmissivités ( $8,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ) et **produisant environ  $5 \text{ m}^3/\text{h}$** ..."*  
*"(...) **La production mesurée en test dans EST433 ( $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) est nettement inférieure à la gamme de débits des exploitations géothermiques ( $150 \text{ à } 400 \text{ m}^3/\text{h}$ ).**" (conclusion de §4.3.3, p. 109)*

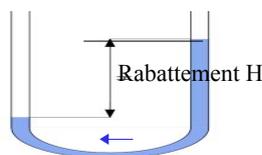
*"... montrent des transmissivités moyennes à bonnes ( $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ) et des productivités en test de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  (sur 25 m)"*

*"... L'ensemble de ces résultats indique, **en référence à des installations géothermiques existant dans le bassin de Paris dans les mêmes gammes de température, que la ressource géothermique à l'échelle de la zone de transposition est faible.**" (conclusion de §5.3, p. 114)*

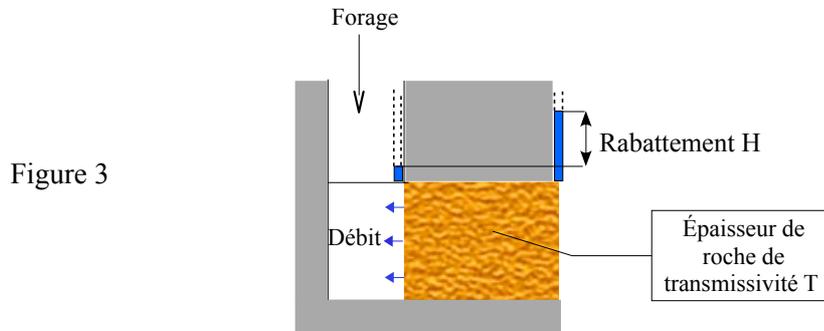
La transmissivité, parfois indiquée comme bonne, correspond à un débit qui n'est jamais omis :  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  (pour un rabattement de 30 m). Ce débit assimilé à la ressource géothermique est qualifié de "*faible*" et de "*nettement inférieur*" aux productions d'exploitations géothermiques. Les termes de "transmissivité" et de "rabattement" ne sont pas définis dans la synthèse.

Ces affirmations posent problème. En effet, la transmissivité,  $T$ , est la perméabilité (la facilité de l'eau à voyager dans la roche) multipliée par l'épaisseur (la perméabilité étant par définition la transmissivité pour une épaisseur de 1 m). Le rabattement  $H$  est une hauteur. C'est une manière visuelle traditionnelle de représenter une différence de pression (qui est cette hauteur  $\times$  la densité  $\times$  l'accélération de la pesanteur). Imaginons un tube en U (voir figure 2). Si l'on parvient à baisser le niveau d'un côté, le rabattement est la différence entre les deux niveaux d'eau (50 cm, 1 m, etc.). On comprend que dès qu'il y a rabattement, et plus il sera important, plus l'eau voudra aller du côté le plus haut vers le plus bas et dans ce cas, va couler dans la partie horizontale de la droite vers la gauche. L'hydrogéologie est l'application de cette règle.

Figure 2



Voici un schéma symbolique de forage (voir figure 3). En gris, sont dessinées des parties imperméables. Hormis la cavité du forage, la seule partie où l'eau peut passer est l'épaisseur de roche représentée. Si nous superposons par dessus le tube en U (représentation du rabattement/pression), la partie haute est à droite, la partie basse est au niveau du trou de forage à gauche. L'eau va donc vouloir aller de la droite vers la gauche, mais ici elle ne passe plus dans un tube mais dans la roche, puisque celle-ci est perméable. Elle coule donc dans le forage.



Les ouvrages d'hydrogéologie indiquent que, pour une configuration donnée (diamètre du forage par exemple), en régime permanent, le débit est calculé mathématiquement par :

$$\text{Transmissivité} \times \text{Rabattement} = \text{Débit}$$

(voir pièce annexe 3-II)

Dans la synthèse 2009 de l'Andra, la transmissivité est dite "bonne" et le rabattement de 30 m est important. Pourtant, le débit apparaît très faible. Or, il n'est pas possible d'avoir :

$$\text{Transmissivité bonne} \times \text{Rabattement important} = \text{Débit faible.}$$

L'information qu'apporte cette synthèse est donc une impossibilité physique. La conclusion annoncée ne peut pas être la bonne. Alors pourquoi un faible débit ?

### Une boue qui n'aurait jamais dû être là

Un forage consiste à creuser un trou de petit diamètre avec un trépan que l'on descend petit à petit en ajoutant à partir de la surface des tubes solides creux. Le tout tourne (système dit rotary). Un fluide est injecté au centre via cette colonne creuse. Il sort au niveau du trépan et remonte jusqu'à la surface sur les côtés. Afin de lubrifier la roche au niveau du trépan, de remonter plus facilement tous les débris et éviter des pertes d'eau dans les roches perméables traversées, on rend cette eau boueuse.

A la surface, on réalise un mélange, soit à partir de poudre, soit à partir de concentrat, avec l'eau afin d'avoir une boue ayant les propriétés désirées. Pour ces usages, la boue de type polymère (avec de longues molécules) a des propriétés gélatineuses. En pratique, un forage est donc presque toujours rempli d'eau boueuse. Précisons bien qu'il s'agit d'une boue artificielle, non issue du milieu. Si c'est la partie profonde qui intéresse, on tube la partie haute du forage (tubes étanches cimentés aux parois). La partie haute n'est plus alors qu'une voie de passage pour accéder à la zone d'intérêt en "roche nue" au fond.

C'est alors que l'on procède aux tests hydrauliques pour mesurer la perméabilité/transmissivité. On descend dans le forage rempli de boue un "train de test" (voir figure 4) composé d'un tuyau central creux qui se termine à la base, puis 25 m plus haut, par des obturateurs. Ces obturateurs sont des sortes de "chambres à air" qui entourent le tuyau central, que l'on gonfle via de petits tuyaux à partir de la surface, pour isoler cet intervalle des parties au dessous et au dessus.

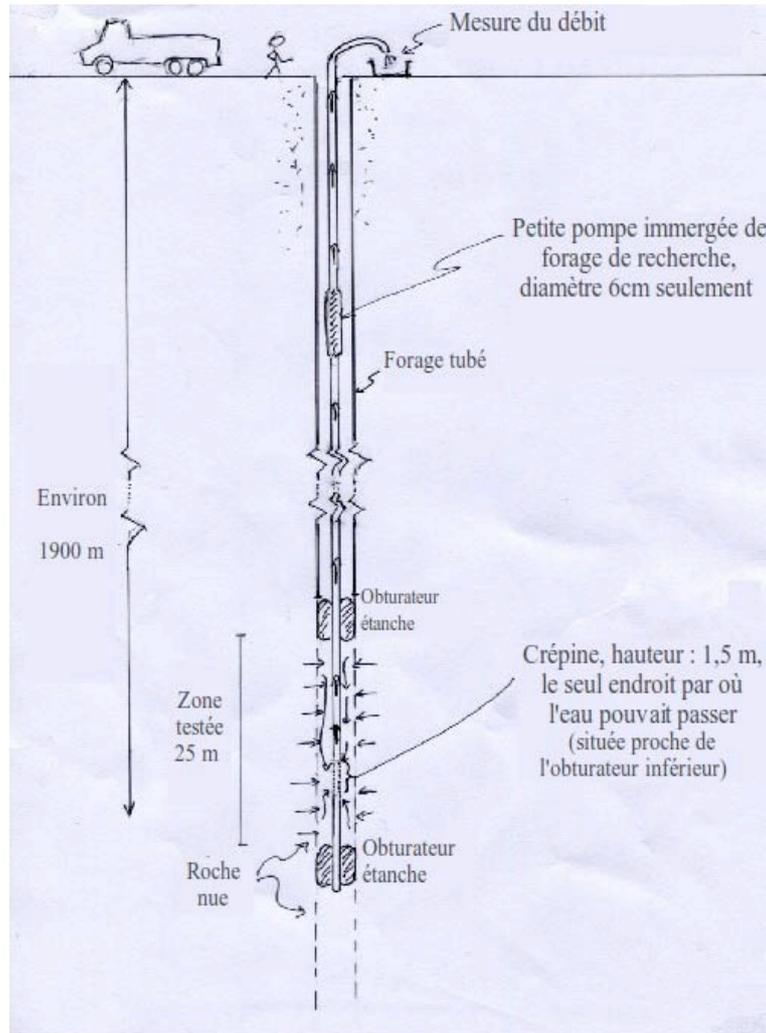


Figure 4 : Train de tests hydrauliques

Cet intervalle isolé est toujours traversé par le tube central étanche creux, colonne vertébrale qui tient le tout, mais qui comporte cette fois une longueur avec des trous, la crépine, sorte de passoire et le seul endroit par lequel on pourra échanger de l'eau (pompage ou injection) avec l'intervalle de test.

Au forage EST433, cette crépine n'était haute que de 1,5 m (voir document 6 : SIS 2009, p. 109 "screen") et tout le débit devait passer par là. A cette étape, le puits est encore rempli de la boue de forage indésirable pour des tests hydrauliques de précision. Rappelons qu'un des buts de la boue est précisément de limiter les échanges d'eau avec les aquifères traversés dans les couches géologiques supérieures (sinon on a des pertes d'eau importantes, ce qu'on veut éviter pendant le forage). Il est cependant facile d'évacuer cette boue. Pour cela, une fois le train de test mis en place, seul l'obturateur inférieur est gonflé, pas l'obturateur supérieur. On envoie alors de l'eau propre par le conduit central. Cette eau sort par la crépine située à dessein en bas de l'intervalle de test et l'eau remonte à la surface sur les côtés. Après injection d'un certain volume, on sait que toute la boue polymère a été évacuée de l'intervalle de test. On gonfle alors l'obturateur supérieur et les tests peuvent commencer dans de bonnes conditions.

**Or, la lecture du rapport final des opérateurs SIS (en anglais et très technique) révèle qu'ils ont dû réaliser les tests dans le forage alors que l'intervalle étudié était toujours rempli de la boue polymère, ce que la synthèse Andra 2009 se garde bien de dire.**

La boue a notamment entouré et empli la crépine (voir figure 5). Il apparaît ainsi que l'appareillage était affecté de multiples obstructions.

Figure 5 : Photo du rapport des opérateurs et sa légende

**Crépine ressortie du forage**

Cylindrique, elle est suspendue verticale au centre couleur sombre métallique (elle a un sillon central) et est enveloppée de boue. Les ouvertures pour le passage de l'eau, des fentes horizontales très très fines et rapprochées, forme comme une sorte de décoration dont on voit aussi l'empreinte sur le pan de boue ouvert à droite (encore plus à droite il y a un câble et des choses en arrière plan).

Le manteau de boue dense et épais (ou "cake") couvre encore la crépine à gauche, il est ouvert en haut à droite et cassé en bas à droite (voir document 6 : SIS 2009, p. 130)

**Il est très difficile à l'eau de passer dans de telles conditions.**



**Photo 3 :**

Enveloppe de boue polymère et de sédiments autour de la crépine dans l'intervalle de test

Le rapport final des opérateurs (voir document 6 : SIS 2009, p. 13) indique que :

*"l'outil de test a alors été retiré du forage et montrait une épaisse peau de boue autour de la crépine (Appendice B.3.2 [figure 5 ci-dessus]). De plus, la crépine était remplie de boue solide jusqu'à proximité de son sommet."*

Lorsque les forages étaient réalisés pour la géothermie dans le bassin de Paris il y a 30 ans, on les finissait presque toujours uniquement à l'eau salée avec moins de 10 % (poids de sel) de polymères biodégradables. Puis les contacts étaient traités à l'acide et dégorgés. Les nombreux rapports de ces forages, accessibles sur internet, montrent qu'il n'y avait aucune boue résiduelle au moment de commencer les tests (ex. Garges-les-Gonesse ; voir document 7 : BRGM 1983, p. 16).

De plus, l'équivalent suisse de l'Andra (voir document 8 : Nagra; Moe et al. 1990, p. A8, A10, A12...) met à disposition sur le net une étude sur des tests anciens (1983-85) de son forage de Schafisheim près de Zurich qui montre que tous les tests qui avaient été réalisés en boue, et uniquement ceux-là, présentaient des traces d'obstruction de l'outil avec un résultat accompagné de la phrase suivante :

*".. ne devraient pas être considérés comme représentatifs."*

Il allait donc de soi que deux hydrogéologues de l'Andra en 1994, dont celui qui deviendra directeur scientifique du laboratoire de Bure au moment du forage EST433, donnent la marche à suivre pour les reconnaissances des sites de stockage.

Après avoir expliqué pourquoi on utilisait de la boue en forage, ils écrivent (voir document 9 : Delay et Aranyossy 1994, p. 55 ; mis en gras par nous) :

***"la destruction du cake avant les tests est donc impérative"***

*"... avant chaque série de tests, on réalise un nettoyage de l'ouvrage. L'opération consiste à remplacer le fluide chargé de boue et de cuttings [débris] par de l'eau. Lorsque la boue est à base de polymères, le "cake" est facilement dégradé et le test peut se dérouler dans des conditions idéales. Cette opération doit systématiquement être réalisée sous la surveillance de l'hydrogéologue et doit être considérée comme première étape d'un programme de test."*

De même, 6 mois avant le forage, l'expert privé du CLIS du Laboratoire de Bure, après un long échange avec le directeur du Laboratoire de Bure et un troisième hydrogéologue de l'Andra, ce dernier présent sur place

lors des tests hydrauliques du forage EST433 (voir document 10, *CLIS de Bure plénière du 27/11/2007*) indique que :

*"(...) nous pourrions imaginer que la boue puisse colmater partiellement autour du forage la roche, ce qui évidemment nous empêcherait d'avoir une idée très claire du débit possible" (p. 17)*

*"(...) en règle générale pour nettoyer un puits après forage, nous pompons rapidement un certain nombre de volumes d'eau, huit à dix fois le volume d'eau. D'autres techniques permettent éventuellement de s'assurer que toute la boue a bien été nettoyée pour avoir fait des prélèvements fiables et caractéristiques de la base du Trias." (p. 18)*

C'est donc l'inverse des bonnes pratiques et des règles de l'Art et l'inverse de ce qui avait été annoncé que l'Andra a fait réaliser à ses opérateurs.

C'est ainsi que le contrôleur, Egis-géotechnique, écrit que le test n° 1 n'est pas interprétable (voir document 11 : *Egis-géotechnique 2008, p. 6*) ainsi qu'une bonne partie du test n° 2. Seule une séquence de ce dernier est utilisable (voir document 11 : *Egis-géotechnique 2008, p. 8-9*).

## **En quoi la présentation de l'Andra est fautive**

Les opérateurs SIS, malgré la présence de boue, déterminent la perméabilité de la roche. La synthèse 2009 de l'Andra lie les 5 m<sup>3</sup>/h à un rabattement de 30 m, en cachant la réalité physique. Elle met en lien des chiffres qui n'ont rien à voir les uns avec les autres.

Les opérateurs SIS ne donnent que la perméabilité/transmissivité (voir document 6 : *2009 tableau 1 p. 8* ; avec deux autres paramètres mais qui sont hors propos ici). Cela peut paraître paradoxal mais ça ne l'est pas. En effet, en présence d'un écran de boue sur les parois d'un forage, la perméabilité peut néanmoins être estimée notamment par un modèle pétrolier de référence, celui de Horner (voir pièce annexe 3-IV).

Si l'on applique l'égalité  $\text{Transmissivité} \times \text{Rabattement} = \text{Débit}$ , avec la transmissivité ainsi calculée par les opérateurs SIS, on obtient un débit de l'ordre de 190 à 380 m<sup>3</sup>/h pour l'ensemble de ces grès (voir pièce annexe 3-II).

La transmissivité/perméabilité (seule grandeur recherchée) est "*bonne*". Ainsi, le Trias est un bon aquifère géothermique. Cela confirme donc les rapports du Service géologique de l'État établis 30 ans auparavant et le terme "*bonne productivité*" indiqué depuis longtemps sous l'emplacement proposé pour CIGEO (voir figure 1).

La Commission Nationale d'Évaluation (CNE) indique, dans son rapport 2010 (voir document 12 : *annexes, p. 14*), que la transmissivité moyenne des exploitations géothermiques du bassin de Paris (référence utilisée par l'Andra) est de 1 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s. Cela n'est autre que la valeur mesurée à Bure, mais pour une épaisseur de 25 m. Comme les grès Trias font au moins 120 m d'épaisseur (voir document 5 : *Andra 2009, p. 106*), la transmissivité, et donc la productivité d'exploitation géothermique sous la zone de Bure, sera forcément supérieure à celles des exploitations parisiennes.

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. Si le débit a été faible pour une valeur importante de rabattement et une bonne perméabilité, c'est à cause de l'impressionnant filtre de boue. Cela n'a rien à voir avec la roche puisque la simple égalité  $\text{transmissivité} \times \text{rabattement} = \text{débit}$  ne fonctionne plus.

Comme l'écrit la CNE (voir document 12 : *CNE 2010, p.14*) :

*" la productivité observée lors des tests ne peut être considérée comme représentative de celle d'une installation industrielle"*

Ces 5 m<sup>3</sup>/h sont inhérents au protocole expérimental destiné à évaluer la perméabilité/transmissivité. Ces petites pompes à faible débit sont utilisées dans la plupart des tests de pompage. Ces 5 m<sup>3</sup>/h correspondent à la puissance maximale de la petite pompe de recherche utilisée dans les conditions extrêmement mauvaises de ce test. Aucun test de productivité à grande échelle pour évaluer un débit d'exploitation commercial réel n'a été réalisé. Cette valeur de 5 m<sup>3</sup>/h n'a absolument rien à voir avec le potentiel géothermique de l'aquifère.

Finalement, l'Andra a rebouché ce forage au Trias neuf mois après l'avoir fait (voir document 13 : *Andra 2010 t.1, p. 38*), alors même que plusieurs autres, plus anciens ou du même âge, sont maintenus ouverts (voir document 13 : *Andra 2010 t1 p. 16, p. 91*).

Cette fermeture, plutôt discrète, a été réalisée en dépit des recommandations de la CNE dans son rapport 2008 (voir document 14 : *CNE 2008, p. 28*) :

*« La Commission recommande que le forage au Trias qui constituera un ouvrage exceptionnel d'accès à un aquifère profond du Bassin parisien soit conservé pour être inclus dans le dispositif de surveillance à long terme de l'Andra et pour permettre des recherches futures sur le comportement hydrodynamique et hydrochimique du Trias. »*

Cette présentation erronée du débit attendu en exploitation n'est pas un acte isolé.

Bien avant ce forage, l'Andra avait déjà menti sur la valeur du "gradient géothermique" pour minimiser l'intérêt d'une exploitation géothermique (voir pièce annexe 2).

La ressource géothermique a ainsi été présentée pendant des années comme inintéressante alors qu'il n'en est rien (voir pièce annexe 4).

#### Pièces jointes

Pièce annexe 1 : Géothermie : le facteur temps

Pièce annexe 2 : Géothermie sous la zone de Bure : températures

Pièce annexe 3 : Éléments techniques

Pièce annexe 4 : Bure, un site géothermique unique : puissance et durabilité