

Potentiel géothermique du site de Meuse/Haute-Marne

Thème 2 – Maîtrise des risques liés à Cigéo

Contexte

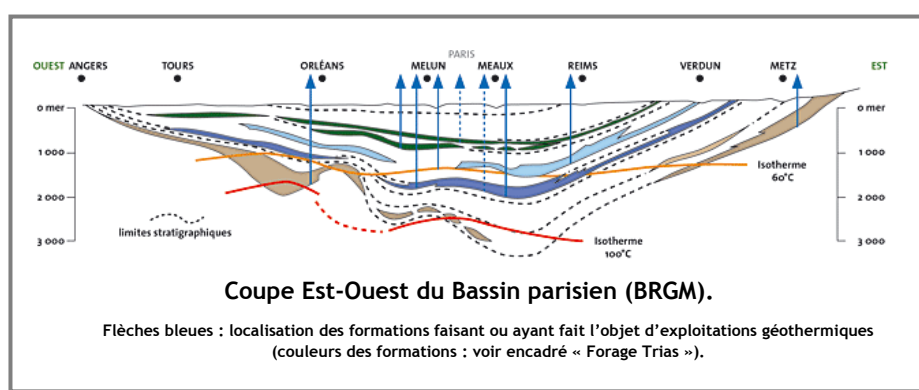
Dans le cadre du choix d'un site pouvant accueillir un stockage de déchets HA et MA-VL, les zones présentant un intérêt exceptionnel en termes de ressources souterraines doivent être évitées. Cette exigence répond à la volonté de ne pas priver les populations des bénéfices d'une ressource locale de grande importance et également de limiter le risque d'une intrusion dans le stockage au cas où la mémoire de son existence viendrait à être perdue.

La géothermie constitue une ressource naturelle exploitée de manière significative en France, dans le Bassin parisien notamment, en Ile de France et en Lorraine en particulier. Le potentiel géothermique des formations situées au droit de la zone d'implantation de Cigéo nécessite de ce fait d'être évalué.

Les notions clés

- **Bassin parisien**

Le Bassin parisien est une région géologique englobant le centre et le Nord de la France. Il se présente sous la forme d'une vaste cuvette constituée par un empilement de couches sédimentaires, d'une épaisseur maximale d'environ 3 000 m en son centre.



- **Aquifère**

Un aquifère est une formation géologique suffisamment poreuse ou fissurée pour stocker de l'eau et suffisamment perméable pour qu'elle puisse y circuler librement. Une telle formation peut alors constituer un réservoir exploitable d'eau souterraine, usuellement qualifié de nappe. De nombreuses couches calcaires (Dogger, Oxfordien...) et argilo-gréseuses (Trias) de l'Est de la France présentent de telles caractéristiques. A contrario, les roches à dominante argileuse (Callovo-Oxfordien, Lias), très peu perméables, ne sont pas des aquifères.

CONTACT :

IRSN
 01 58 35 88 88
 contact@irsn.fr
 www.irsn.fr/dechets

- Différents types de géothermie

La géothermie désigne l'ensemble des applications permettant de récupérer la chaleur contenue dans le sous-sol ou dans les nappes d'eau souterraines. Différents types de géothermie peuvent être distingués selon la température des formations géologiques exploitées :

- la géothermie **très basse énergie (TBE)** concerne l'exploitation de ressources de faible température ($T < 30^{\circ}\text{C}$). Elle peut reposer, soit sur des dispositifs de récupération de la chaleur emmagasinée dans les couches superficielles du sol (de quelques dizaines de cm à quelques dizaines de m de profondeur), soit sur le pompage de l'eau d'aquifères peu profonds (généralement jusqu'à 100 m). Associée à des pompes à chaleur, elle est utilisée pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et/ou le rafraîchissement de pavillons individuels ou de bâtiments résidentiels ou tertiaires ;
- la géothermie **basse énergie (BE)** concerne l'exploitation de ressources dont la température est typiquement de l'ordre de 50 à une centaine de degrés Celsius. Elle repose sur l'exploitation d'aquifères compris entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres de profondeur. La chaleur contenue dans les eaux souterraines peut être directement utilisée dans des réseaux de chauffage urbain ou pour certaines applications industrielles. En France, 29 des 38 réseaux de chaleur géothermique actuellement exploités sont localisés en Ile-de-France. L'eau géothermale y est captée à environ 2 000 m de profondeur dans l'aquifère calcaire du Dogger ; sa température atteint 80°C . Typiquement, un réseau permet de chauffer environ 4 000 à 5 000 équivalent-logements ;
- la géothermie **moyenne et haute énergie (ME et HE)** concerne l'exploitation de ressources dont la température est généralement supérieure à 100°C ($>150^{\circ}\text{C}$ pour HE). Elle repose sur l'exploitation d'aquifères profonds ou localisés dans des environnements géologiques particuliers (zones volcaniques en particulier). Ce type de géothermie est essentiellement destiné à la production d'électricité, éventuellement couplé à une valorisation thermique (cogénération). Une forme particulière de géothermie HE, dite géothermie « profonde » (profondeur $> 3\ 000\ \text{m}$), consiste à puiser la chaleur dans des zones cristallines naturellement fracturées en y faisant circuler un fluide en circuit fermé (cf. expérimentations en cours sur le site de Soultz-sous-Forêts, en Alsace).

Pour en savoir plus sur la géothermie :

- www.geothermie-perspectives.fr (BRGM et ADEME)
- www.developpement-durable.gouv.fr/-Geothermie,422-.html (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie)
- www.brgm.fr/content/geothermie (BRGM)

Questionnement

- Existe-t-il un potentiel géothermique en Meuse/Haute-Marne et quelles sont ses caractéristiques ?
- Ce potentiel peut-il compromettre l'implantation de Cigéo ?

Caractérisation du potentiel géothermique du site de Meuse/Haute-Marne

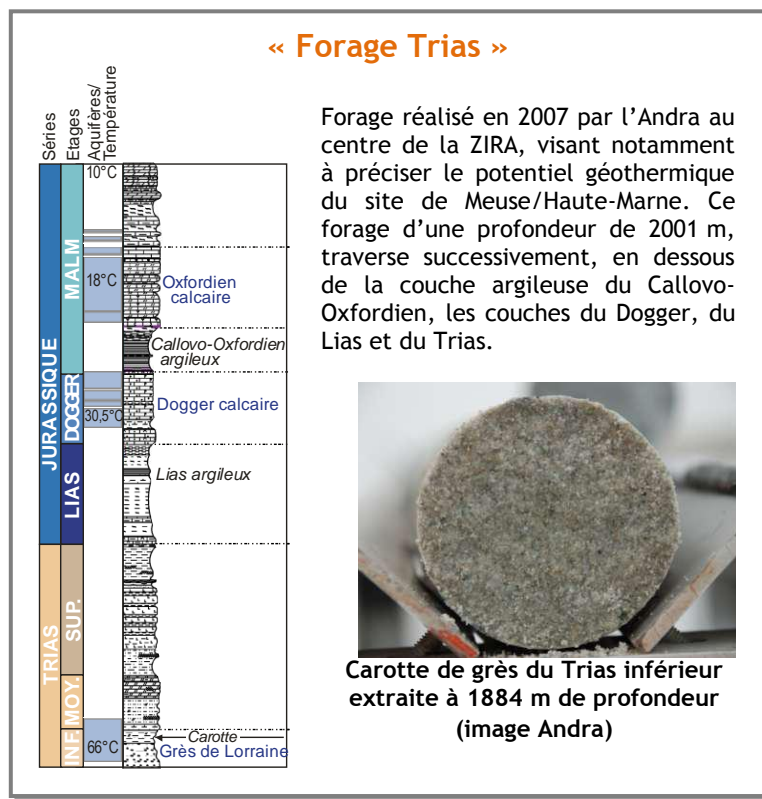
Les formations géologiques superficielles, à l'aplomb du site de Meuse/Haute-Marne comme en tout autre point du territoire, présentent un potentiel exploitable par **géothermie TBE** jusqu'à une profondeur d'environ 100 m. Les formations concernées étant situées bien au-dessus du Callovo-Oxfordien, une exploitation géothermique de ce type ne constitue pas un enjeu de sûreté pour le stockage géologique. Les perturbations occasionnées ne pourraient en effet induire aucune conséquence particulière sur l'installation en profondeur et la construction de Cigéo ne compromettrait pas a priori l'exploitation de ce type de géothermie.

Le potentiel géothermique des formations plus profondes peut être évalué à partir des données de forages réalisés entre 1956 et 1994 dans le secteur de Meuse/Haute-Marne. Ces informations ont été complétées en 2007 par la réalisation d'un forage atteignant le Trias inférieur à 2 000 m de profondeur. Ce forage a été réalisé par l'Andra dans la zone d'intérêt pour la recherche approfondie¹ (ZIRA).

¹Zone géographique étudiée par l'Andra présentant des propriétés favorables pour l'implantation d'un centre de stockage géologique

Il ressort de ces données que :

- le Trias inférieur présente une perméabilité ($\sim 10^{-5}$ à 4×10^{-5} m/s) et une température ($\sim 66^\circ\text{C}$) du même ordre de grandeur que celles du Dogger, exploité en Ile-de-France. Comme ces formations, le Trias de Meuse/Haute-Marne est donc potentiellement exploitable pour de la géothermie BE ;
- le Lias (comme le Callovo-Oxfordien) n'est pas un aquifère. Compte-tenu par ailleurs de sa profondeur et de sa température au niveau du secteur de Meuse/Haute-Marne, il ne présente donc pas d'intérêt d'un point de vue géothermique ;
- le Dogger et l'Oxfordien, bien que localement aquifères, présentent une perméabilité de 2 à 3 ordres de grandeur plus faible que le Trias et des températures inférieures à 30°C . Ils ne sont donc pas intéressants pour la géothermie BE (ni a fortiori pour la géothermie ME et HE).



Parmi les formations recoupées par le « forage Trias », seule la **formation argilo-gréseuse du Trias inférieur** présente donc un potentiel géothermique. Celui-ci pourrait être compatible avec une **exploitation de type BE**. Ce type d'exploitation est associé à des usages permettant une valorisation directe de la chaleur, par exemple dans des réseaux de chauffage urbains. La valorisation économique de ce potentiel géothermique est en effet conditionnée par la présence, à l'aplomb de la ressource, d'un besoin localisé en chaleur, par exemple une zone d'habitats collectifs dense ou une zone d'activité de taille significative (typiquement quelques milliers d'équivalent-logements) desservie par un réseau de chaleur. Il est à noter que, plus à l'est, dans la région de Nancy, la formation du Trias inférieur est présente à faible profondeur et exploitée en géothermie TBE (et non BE).

Aucune des formations comprises dans les 2 000 premiers mètres de profondeur ne présente de potentiel utilisable pour la production d'électricité. La **géothermie ME et HE** nécessiterait d'exploiter des couches beaucoup plus profondes que le Trias. Le forage Trias a permis de confirmer que l'augmentation de température avec la profondeur en Meuse/Haute-Marne (max. $3^\circ\text{C}/100\text{ m}$) correspond à une valeur normale pour la France métropolitaine. Ainsi, il serait nécessaire d'atteindre des profondeurs minimales de 3 000 m pour de la géothermie ME et de 5 000 m pour de la géothermie HE. Sous le Trias, les connaissances actuelles indiquent l'existence d'un bassin argilo-gréseux daté du Permien, qui s'étend de l'Île de France aux Vosges et pourrait renfermer des niveaux aquifères potentiellement exploitables. Cependant, les zones où un bassin permien similaire est susceptible d'exister sont nombreuses et étendues en France. Par ailleurs, d'autres régions présentent un gradient thermique nettement plus favorable (par exemple, le Massif Central et l'Alsace). Au droit du site d'implantation de Cigéo, la ressource hypothétique en géothermie ME et HE n'a donc pas de caractère exceptionnel.

La géothermie BE dans les formations argilo-gréseuses

L'exploitation d'une ressource géothermique BE nécessite l'utilisation d'un puits unique ou, lorsque la salinité de l'eau de l'aquifère est trop élevée pour être rejetée en surface, d'un puits de pompage et d'un puits de réinjection ; on parle alors de **doublet géothermique**.

En Lorraine (Nancy, Lunéville, Puttelange, Longwy...), le Trias est (ou a été) exploité à faible profondeur par puits unique avec rejet direct des eaux en rivière en raison de leur faible salinité.

Plus à l'Ouest en Meuse/Haute-Marne, le Trias, non exploité actuellement, devient plus chaud, plus profond, moins épais, et la salinité de ses eaux augmente. En cas d'exploitation, celle-ci imposerait alors le recours à des doublets géothermiques. La réinjection peut nécessiter l'emploi de techniques complexes lorsque le fluide est

très salé (risque de corrosion des équipements), lorsqu'il est chargé en argiles (risque de colmatage de la zone de réinjection), ou par exemple lorsque le contraste de température entre extraction et réinjection est fort (risque de dépôt dans les conduites).

Avis ZIRA de l'IRSN

En 2009, l'Andra a sélectionné une zone d'intérêt (ZIRA) de 30 km² qu'elle considère comme particulièrement propice à l'implantation des installations souterraines d'un stockage dans le secteur de Meuse/Haute-Marne, afin d'y mettre en œuvre des techniques de reconnaissance géologique approfondie.

En 2009, dans son avis sur la ZIRA, l'IRSN concluait à l'absence de potentiel géothermique exploitable à l'aplomb de la zone retenue sur la base du « forage Trias ». Ceci doit être entendu dans le sens où cette zone ne présente pas de potentiel d'un intérêt économique tel qu'il remettrait en cause le choix du site d'implantation du stockage, au sens des critères définis par l'ASN.

En France, toutes les tentatives d'exploitation durable avec réinjection dans des grès du Trias ont à ce jour échoué en raison notamment de la difficulté de développer des techniques adaptées aux caractéristiques des eaux de ces grès, cumulant une teneur très élevée en sel ainsi qu'en particules d'argile. Ces difficultés ont été notamment rencontrées à Melleray (Loiret), où une exploitation géothermique a fonctionné en doublet pendant un an. Le débit de réinjection trop limité a finalement conduit à l'abandon du projet.

Des tentatives d'exploitation de ressources géothermales BE dans des réservoirs gréseux avec réinjection ont été expérimentées dans d'autres pays européens (notamment à Neustadt-Glewe en Allemagne ou Thisted au Danemark). Ces exploitations restent toutefois peu nombreuses (moins d'une dizaine).

En conclusion, il peut être noté que l'exploitation du potentiel géothermique BE dans des formations argilo-gréseuses reste à ce jour très marginale. Les techniques permettant la réinjection sont spécifiques à chaque site et la faisabilité et la rentabilité de chaque projet géothermique sont généralement établies sur la base d'essais pilotes. Au droit du site Cigéo, il apparaît probable que les caractéristiques du Trias inférieur conduiraient à des difficultés d'exploitation.

Position IRSN

Le secteur de Meuse/Haute-Marne présente une ressource géothermique de type Basse Energie localisée dans le Trias inférieur.

Compte tenu de la salinité du Trias à l'aplomb du site, l'exploitation de son potentiel est conditionnée par la possibilité d'y réinjecter l'eau. Or, l'expérience montre la difficulté à mettre en œuvre cette réinjection dans ce type de formation argilo-gréseuse. Dans d'autres types de formation, en particulier les calcaires du Dogger du centre du Bassin parisien, des ressources géothermiques Basse Energie sont actuellement exploitées sans rencontrer ces difficultés.

Les formations plus profondes, dont celles du Permien, pourraient présenter un potentiel géothermique de type Moyenne à Haute Energie. Le secteur de Meuse/Haute-Marne ne présente toutefois pas de caractère exceptionnel ni d'intérêt particulier par rapport à d'autres parties du territoire français sur lesquelles un potentiel géothermique est démontré et l'augmentation de la température avec la profondeur est plus rapide.

Compte-tenu des éléments précédents, l'IRSN considère que, au regard des critères définis par l'ASN, le potentiel géothermique du secteur de Meuse/Haute-Marne n'est pas de nature à remettre en cause le choix du site d'implantation du projet Cigéo. Toutefois, dans l'hypothèse de l'oubli de la présence du stockage, il ne peut être exclu que ce potentiel puisse conduire dans le futur à la réalisation de forages venant traverser l'installation. L'IRSN estime que ce type de situation doit faire l'objet d'une analyse spécifique, au titre de la démonstration de sûreté de Cigéo, afin d'apprécier notamment son incidence sur les capacités de confinement du stockage.