

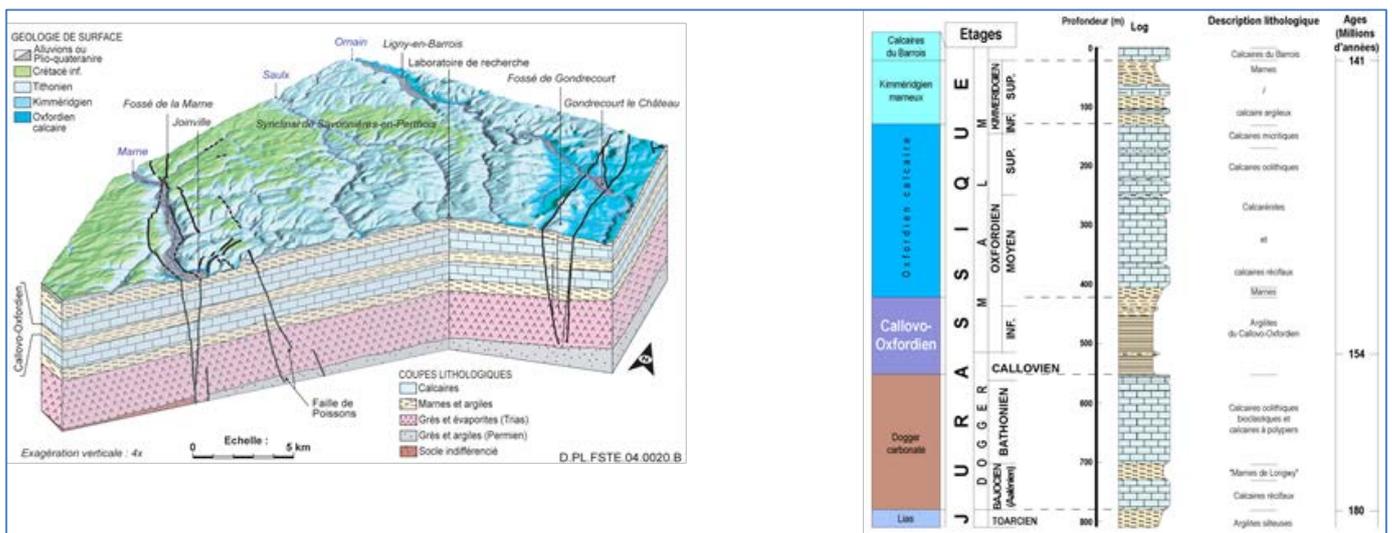
Conséquences de forages d'intrusion humaine sur la sûreté à long terme de Cigéo

Contexte

La sûreté à long terme de Cigéo est assurée de manière passive (sans intervention de l'homme), bien que l'on cherche à préserver aussi longtemps que possible la mémoire de Cigéo. Par ailleurs, les travaux de caractérisation du site du projet Cigéo ont montré que le site ne présentait pas de ressources exceptionnelles, par exemple géothermale, conformément au guide de sûreté relatif au stockage géologique émis par l'Autorité de Sûreté Nucléaire, de sorte que l'on peut considérer comme peu probable une intrusion humaine, plus particulièrement par forages.

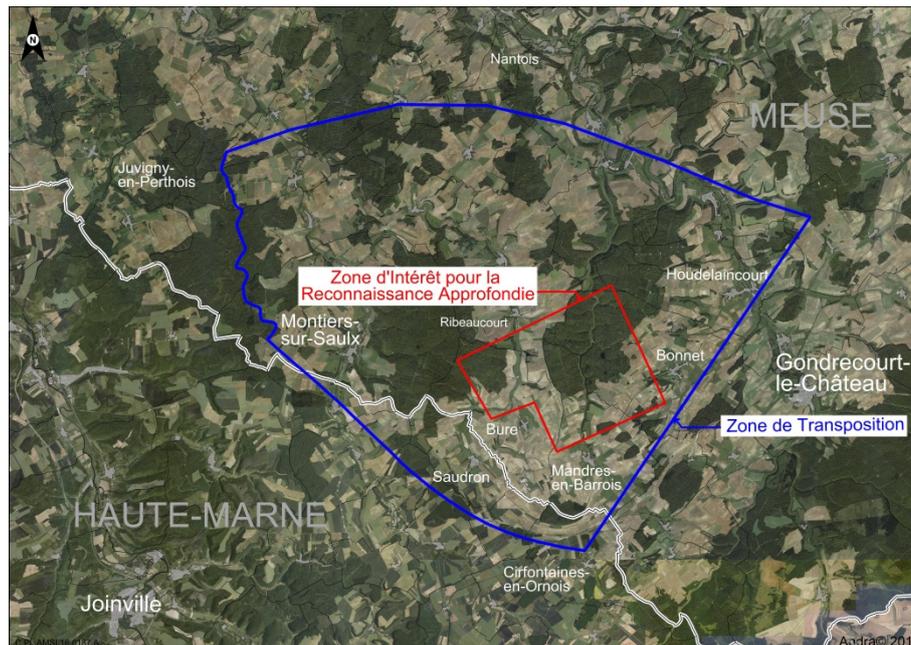
Néanmoins, bien que peu probables, l'Andra prend en compte des situations de forages intrusifs, dans l'évaluation de la sûreté à long terme de Cigéo. Leurs conséquences, plus particulièrement sur la migration des radionucléides et *in fine* les impacts radiologiques sur l'homme et l'environnement, ont été évaluées à chaque grande étape du développement du projet Cigéo, notamment pour le Dossier d'Options de Sûreté (DOS) de Cigéo adressé à l'ASN au mois d'avril 2016, et sur lequel l'Autorité a rendu un avis au mois de janvier 2018.

Le contexte géologique et hydrogéologique du site de Cigéo



Sur le site du projet Cigéo, les formations géologiques sont une alternance de formations sédimentaires à dominante argileuse ou calcaire, de bas en haut (cf. figure ci-dessus) :

- La formation calcaire du Dogger (surmontant le Lias et le Trias) ;
- La formation argileuse du Callovo-Oxfordien, la roche hôte du projet Cigéo ;
- La formation calcaire de l'Oxfordien moyen à supérieur ;
- Le Kimméridgien marneux ;
- Les Calcaires du Tithonien (dits Calcaires du Barrois), à l'affleurement sur le site.



Les situations de forage étudiées vis-à-vis de la sûreté à long terme de Cigéo

Un examen des différentes « situations de forage » envisageables a été mené afin de définir celles physiquement possibles et susceptibles d'avoir des conséquences en termes d'impact radiologique, au regard de trois aspects :

- les objectifs du forage et la formation géologique cible : exploration, exploitation d'eau souterraine, exploitation de ressources autres (gaz, pétrole)... ;
- la localisation du forage, par rapport à l'architecture fond du projet Cigéo (par exemple, dans une alvéole, dans une galerie...) et par rapport au contexte hydrogéologique ;
- les phases de vie du forage (réalisation, exploitation puis abandon).

L'Andra a ainsi retenu 4 scénarios de forages qui couvrent le domaine de situations possibles. Ces scénarios, partagés avec l'IRSN dans le cadre de l'instruction du DOS de Cigéo, correspondent à des forages supposés abandonnés et pérennes sur le million d'années :

- un forage de reconnaissance atteignant le stockage :
 - Ce forage peut engendrer un écoulement hydraulique atteignant la garde supérieure du Callovo-Oxfordien ;
- un forage de reconnaissance traversant le Callovo-Oxfordien et le stockage et atteignant le Dogger :
 - Ce forage peut mettre en contact les gardes supérieures et inférieures du Callovo-Oxfordien ;
- un forage de production d'eau arrivant dans l'Oxfordien calcaire :
 - Ce forage peut venir pomper l'eau dans l'Oxfordien calcaire (même si les quantités d'eau sont faibles) et entraîner des radionucléides qui l'atteindraient ;
- un forage d'exploitation géothermique allant jusqu'au Trias (formation située en dessous du Trias, lui-même sous le Dogger, cf. figure ci-dessus, soit à une profondeur d'environ 2000 m).

Le postulat des études conduites par l'Andra est que ces situations interviennent dès 500 ans après la fermeture du stockage, soit la période au-delà de laquelle la perte de mémoire de Cigéo peut être jugée plausible.

Les conséquences de forages sur la sûreté de Cigéo en après fermeture

Au-delà des conséquences immédiates pour l'opérateur du forage, l'enjeu de sûreté et du risque est de générer par le forage une voie préférentielle et durable de circulation des radionucléides.

Les conséquences hydrauliques de forages

Intuitivement, il serait logique de penser qu'un forage qui s'arrêterait au fond de l'installation du projet Cigéo ou qui la traverserait, mettant notamment en communication les formations supérieures et inférieures du Callovo-Oxfordien dans lesquels de l'eau circule (même faiblement), constituerait un drain hydraulique qui permettrait notamment une circulation d'eau importante, par exemple en aspirant de l'eau dans Cigéo et de ce fait les radionucléides contenus dans cette eau.

Toutefois, cette vision ne s'applique pas au contexte de Cigéo, comme l'ont démontré l'ensemble des travaux menés. En effet, en considérant différentes hypothèses comme le nombre de forages (forage unique, doublet ou triplet de forages), leur localisation (forage traversant ou non la couche du Callovo-Oxfordien, ou encore l'objet du forage (exploitations d'eau ou d'hydrocarbures non conventionnels), les conséquences hydrauliques restent limitées, considérant :

- le **contexte hydrogéologique favorable du site de Cigéo**, qui limite les circulations d'eau induits par le forage :
 - La couche du Callovo-Oxfordien a une très faible perméabilité à l'eau ;
 - La différence de pression d'eau entre le Dogger et l'Oxfordien carbonaté est faible. Combiné avec la faible perméabilité du Callovo-Oxfordien, il en résulte de très faibles flux d'eau verticaux au sein du Callovo-Oxfordien :
 - Dans les pires hypothèses retenues, le volume d'eau passant au mètre carré de Callovo-Oxfordien serait au plus de 1 cm³ par an. La faible perméabilité du Callovo-Oxfordien et le faible gradient de charge hydraulique qui lui est appliqué, expliquent que les radionucléides ne peuvent se déplacer majoritairement que par diffusion (déplacement dans l'eau par différence de concentration dans cette eau) et non par convection (entraînement par l'eau qui se déplace).
 - Cigéo n'est pas constitué de vide. Tous les matériaux qui composent le projet Cigéo, en particulier le remblaiement des galeries, limitent les effets hydrauliques du forage par pertes de charge hydraulique (i.e. frein au déplacement de l'eau) sur les centaines de mètres de galeries.
- la **taille du / des forages** : celle-ci est de l'ordre de quelques décimètres (la taille maximale prise en compte est de l'ordre de 50 cm). C'est une valeur très inférieure aux dimensions des ouvrages de Cigéo (galerie de 10 à 12 m de diamètre), ce qui conduit à limiter l'extension de la perturbation hydraulique qu'il induit (effet de « trou d'épingle »).
- la **profondeur du / des forages** : un court-circuit hydraulique total du Callovo-Oxfordien par un forage traversant toute la couche conduit à un équilibre hydraulique par les pressions d'eau des formations sus et sous-jacentes du Callovo-Oxfordien, ce qui limite la capacité de drain hydraulique du Callovo-Oxfordien par le forage.
 - La situation qui conduirait à une perturbation hydraulique maximale dans l'installation fond du projet Cigéo par un forage est celle d'un forage traversant cette installation mais qui ne traverserait pas complètement le Callovo-Oxfordien (le forage s'arrêterait dans le Callovo-Oxfordien au-dessous de Cigéo) : dans ce cas, l'essentiel de l'eau drainée provient du Callovo-Oxfordien, mais la quantité d'eau drainée reste toujours faible du fait de la faible perméabilité du Callovo-Oxfordien.

- **l'extension spatiale de la perturbation hydraulique autour des forages vs le nombre de forages** : ces extensions spatiales des perturbations hydrauliques de chaque forage sont limitées à quelques dizaines de mètres au maximum. Ainsi, même en cas de doublet ou triplet de forages, par exemple pour une exploitation géothermale (forages distants de plusieurs centaines de mètres entre eux), les forages sont hydrauliquement indépendants et ne génèrent pas notamment des effets de circulation d'eau en « U » formé par les forages et l'installation fond du projet Cigéo.

Les conséquences de forages en terme de migration de radionucléides

La faible influence d'un (ou plusieurs) forage(s) sur le fonctionnement hydraulique de l'installation fond du projet Cigéo se traduit par une influence faible sur le relâchement et la migration des radionucléides des colis vers le forage : ce dernier n'attire pas ainsi tous les radionucléides contenus dans Cigéo, mais uniquement tout ou partie de ceux des colis à proximité immédiate. La quantité de radionucléides ainsi mise en jeu est faible, d'où des conséquences radiologiques limitées. Cela ne remet pas en cause les propriétés et le fonctionnement global du stockage, notamment le confinement par la couche d'argile.