

Depuis les débats précédents, y-a-t-il des éléments techniques nouveaux qui nécessiteraient un nouvel examen de la faisabilité du stockage géologique profond (Cigéo) ?

Réponse de l'Andra à la fiche de FNE

L'Andra a pris connaissance avec intérêt des arguments avancés par FNE dans sa note. On peut néanmoins relever dans cette note un certain nombre de confusions, d'erreurs ou d'inexactitudes liées sans doute à un manque de connaissances techniques du sujet. C'est pourquoi nous nous proposons d'apporter un éclairage scientifique sur les différents thèmes abordés par FNE.

En préalable, nous souhaitons rappeler que les fondements scientifiques et techniques du projet Cigéo s'appuient sur plus de 20 ans de recherche menées en partenariat avec les organismes de recherches reconnus, et régulièrement évaluées par l'ASN, l'IRSN, la CNE, etc.

Sur le dépôt du Dossier d'options de sûreté et son instruction au niveau national et international :

Pour rappel, à la suite du débat public, le conseil d'administration de l'ANDRA a indiqué qu'elle remettrait à l'ASN un dossier d'options de sûreté (DOS) pour préparer l'instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo. L'ASN a accueilli favorablement cette décision de réaliser un DOS, qui s'insère bien dans un processus de développement par étapes.

Il est rappelé que l'objectif de cette instruction comme dans tout processus normal d'instruction d'un dossier d'options de sûreté est d'une part de souligner les points positifs mais aussi de mentionner les sujets à renforcer en vue de l'étape d'après qui est la demande d'autorisation.

Souhaitant aussi disposer du regard de pairs internationaux dans le cadre de l'instruction du DOS, l'ASN a également demandé à l'AIEA d'organiser une revue internationale par des experts appartenant à des autorités de sûreté étrangères.

Elle a en particulier demandé une expertise sur les documents présentant les options de sûreté « DOS » et le plan directeur de l'exploitation « PDE » au regard des standards établis par l'AIEA ainsi qu'aux expériences et pratiques reconnues au niveau international. L'ASN a demandé à l'AIEA que soit examiné en particulier le programme de R&D en lien avec le développement du projet, la surveillance de Cigéo prévue par l'Andra ainsi que la définition des scénarios pour la sûreté en exploitation comme à long terme.

Comme mentionné par l'ASN, le processus formel d'autorisation d'une installation de stockage en couche géologique profonde ne débutera qu'avec le dépôt d'une demande d'autorisation de création et du dossier l'accompagnant.

Sur les principales conclusions des experts appartenant à des autorités de sûreté étrangères dans le rapport publié par l'AIEA

La fiche FNE ne reprend que certains éléments formulés dans le rapport d'avis des experts internationaux sans en reprendre ni le contexte ni l'extrait complet, ni sans reprendre par ailleurs les points positifs formulés tout au long du rapport.

Il est à noter que le rapport mentionne ensuite que « Le contenu du DOS et les discussions engagées au cours de la mission ont donné à l'équipe de revue une assurance raisonnable quant à la robustesse du concept de stockage ».

Compte tenu du développement par étapes du projet, l'équipe d'experts a bien noté « que, dans de nombreux domaines, la recherche est toujours en cours pour la démonstration ou la confirmation de la sûreté » et a donc identifié « quelques domaines supplémentaires qu'il serait utile d'approfondir, afin de renforcer la confiance existante dans la démonstration de sûreté ».

La seconde série d'éléments extrait de l'avis des experts est une autre illustration de propos sortis de leur contexte par FNE puisque ces derniers sont précédés par les observations suivantes : « le processus global de gestion mis en oeuvre par l'Andra, pour la définition systématique et la recherche de scénarios de sûreté, est bon. L'ERI apprécie l'utilisation de scénarios hypothétiques (« what-if ») en ce qu'ils permettent à l'Andra d'acquérir une bonne compréhension du comportement du système du centre de stockage en conditions extrêmes, ainsi que d'illustrer la robustesse du système de stockage.

L'équipe d'experts souligne notamment que « la méthodologie de l'Andra pour l'évaluation de la sûreté de l'exploitation est complète et systématique. »

Sur les principales conclusions de l'avis de l'IRSN

Les extraits de l'avis mentionnés dans la fiche sont également sortis de leur contexte. **La fiche de FNE ne reprend qu'une partie de l'avis et évite de formuler les avis positifs qui sont pourtant mentionnés en amont des demandes d'amélioration.**

A titre d'illustration, l'extrait de la fiche FNE oublie de mentionner le texte de l'IRSN qui relève la qualité de la connaissance acquise sur les caractéristiques du site : « *S'agissant des données relatives au site de Meuse/Haute-Marne, l'Andra a désormais acquis une connaissance détaillée qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage et qui constitue un référentiel de qualité en appui de sa démonstration de sûreté. Sur cette base, l'IRSN estime comme l'Andra que les caractéristiques du site ne présentent pas de point rédhibitoire pour la mise en œuvre des concepts retenus au stade du DOS.* ». En effet, les demandes citées par la fiche de la FNE sont des précisions demandées par l'IRSN afin de « conforter la démonstration de sûreté ».

Sur les caractéristiques de la couche géologique et le confinement

FNE estime que la connaissance des caractéristiques de la couche géologique est insuffisante et met en doute ses capacités de confinement.

Sur ce point, l'Andra rappelle que le milieu géologique et plus particulièrement la formation du Callovo-Oxfordien destinée à recevoir Cigéo a fait l'objet de travaux de caractérisation depuis plus de 20 ans au fur et à mesure du développement du projet Cigéo. Cette bonne connaissance de la géologie du site de Cigéo est confirmée par l'ASN qui indique que l'Andra a « *acquis une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne, qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implémentation du stockage* ».

Sur l'implantation du stockage, le transport des radionucléides et les capacités de confinement de la roche, FNE affirme que « d'aucuns doutent des capacités de confinement de la roche où sera aménagée l'installation » et que « les galeries de stockage horizontale sortiront immanquablement du COX dit favorable ». L'Andra rappelle que l'on dispose ainsi aujourd'hui d'une représentation cohérente et fine du milieu géologique du site de Cigéo, notamment sur la zone appelée « ZIRA », zone où a été établi plus particulièrement un modèle géométrique 3D du Callovo-Oxfordien et qui se situe au sein de la zone de transposition (ZT), zone de 250 km² autour du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute Marne au sein de laquelle la faisabilité de principe du stockage géologique a été établi dans le dossier 2005 :

- Les limites et les profondeurs du Callovo-Oxfordien, encadrées par les formations calcaires du Dogger et de l'Oxfordien carbonaté, sont bien identifiées et leurs incertitudes bien quantifiées, grâce aux nombreux forages et lignes sismiques répartis de manière homogène sur toute la ZT et la ZIRA. Ainsi, sur la ZIRA, l'épaisseur de la formation du Callovo-Oxfordien varie d'environ 140 m à 160 m du Sud-Ouest vers le Nord-Est, avec une incertitude de 6 m au maximum.
- Le Callovo-Oxfordien présente deux grandes unités géologiques, différenciées par leur composition minéralogique, et que l'on retrouve sur toute la ZT (et la ZIRA), soit de bas en haut :
 - o L'unité dite argileuse (UA), la plus épaisse (100 m à 120 m environ), la plus homogène verticalement et la plus riche en minéraux argileux.
Elle représente environ les 2/3 inférieurs du Callovo-Oxfordien.
 - o L'unité dite silto-carbonatée (USC), plus riche en carbonates que l'UA ;
Son épaisseur varie de 20 m à 30 m, avec en verticale des alternances de marnes et de siltites carbonatées.

Le passage entre l'USC et l'UA se fait de manière continue par une unité de transition (UT), de quelques mètres à la dizaine de mètres d'épaisseur.

L'UA au sens large (intégrant l'UT) et l'USC correspondent respectivement aux zones géotechniques B/C/D/E et A du dossier 2005.

Il est prévu que Cigéo soit localisé à au moins 50 m du sommet du Callovo-Oxfordien, donc au sein de l'UA (au sens large). On rappelle que le niveau principal du Laboratoire souterrain est situé dans l'UA.

Toutes les zones A/B/C/D/E définies dans le dossier 2005, et par définition l'UA et l'USC, sont favorables à l'implantation d'un stockage. Ainsi, il n'y a pas de différences majeures entre l'UA et l'USC (i.e. zones A/B/C/D/E) en termes de propriétés favorables à la limitation de la migration des radionucléides, en particulier en termes de perméabilité à l'eau ou de rétention de la majorité des substances radioactives.

On observe une grande homogénéité latérale de la formation du Callovo-Oxfordien sur la ZT, tant sur le plan géologique (continuité latérale des unités UA et USC) que sur le plan des propriétés favorables à la limitation de la migration des radionucléides ; c'est ce qui a contribué à la définition de la ZT.

Sur le sujet de l'endommagement de la roche, soulevé par FNE, l'Andra souhaite rappeler qu'il s'agit d'un processus classique et bien connu dans les travaux souterrains profonds : le creusement d'ouvrages souterrains dans le Callovo-Oxfordien induit une fracturation des argilites en champ proche de ces ouvrages (quelques mètres). Après 15 ans de fonctionnement du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne :

1. La zone endommagée est aujourd'hui bien caractérisée :
 - Elle est similaire quelles que soient la taille et la méthode de creusement (typologie des fractures, organisation spatiale des fractures...).
 - Son extension (i.e. sa forme géométrique) est anisotrope, en fonction de l'orientation de l'ouvrage souterrain. La valeur de l'extension est fonction du diamètre de l'ouvrage mais sa valeur maximale ne dépasse pas 1 diamètre environ ;
 - Ses propriétés hydrauliques sont similaires quelles que soient la taille et le mode de creusement de l'ouvrage. Il s'agit d'une perméabilité liée aux fractures et les blocs de roche entre les fractures conservent une perméabilité proche de celle de la roche intacte ;
 - Aucune évolution significative de la zone endommagée, notamment en termes d'extension, n'a été observée dans le temps ;
 - La cicatrisation hydraulique des fractures (et donc de la zone endommagée), à savoir le fait que leur perméabilité tend dans le temps vers celle de la roche intacte, a été montrée systématiquement dans l'UA. Cette cicatrisation est liée aux minéraux de type smectites contenus dans la roche et qui ont la propriété remarquable de gonfler en présence d'eau et de constituer ainsi un milieu à faible perméabilité.
2. La capacité à réaliser des ouvrages souterrains est acquise :
 - Différentes méthodes d'excavation et de revêtement/soutènement ont été testées : aucune difficulté particulière n'a été rencontrée, et ce quelle que soit l'orientation de l'ouvrage par rapport aux directions des contraintes mécaniques *in situ* ;
 - La faisabilité d'ouvrages jusqu'à 9 m de diamètre a été montrée : aucun « effet falaise » avec le diamètre n'a été observé pour les différentes méthodes de construction testées ;
 - Après plus de 15 ans, l'étude de la tenue mécanique des ouvrages construits ne montre aucun problème particulier et le comportement observé est conforme aux prédictions.

Sur le sujet de l'altération des verres mentionné par FNE, la citation de l'IRSN telle que relevée par FNE est tronquée. Le rapport de l'IRSN¹ souligne la qualité des études menées par l'Andra et le fait que cette dernière s'est effectivement engagée à consolider les données sur l'influence du matériau de remplissage sur l'altération du verre. Ces travaux ont déjà été lancés et seront présentés dans le dossier de DAC.

¹ « L'IRSN souligne la qualité des nombreuses études menées par l'Andra pour caractériser l'évolution de ces composants et considère, comme pour le site, qu'un référentiel important de connaissances a été constitué. L'IRSN estime notamment que les modèles de relâchement des radionucléides hors des colis établis par l'Andra sont globalement satisfaisants et note que l'Andra s'est engagée à les consolider, notamment en précisant l'influence des matériaux d'environnement sur la phénoménologie d'altération des verres et en démontrant l'absence d'effet défavorable du matériau de remplissage à l'extrados du chemisage des alvéoles HA. ».

Le projet Cigéo est-il suffisamment modulaire pour s'adapter à un éventuel changement de la politique de traitement ? si non, quelles modifications introduire ?

Réponse de l'Andra à la fiche de FNE

FNE souligne que « des incertitudes demeurent sur la liste des déchets qui pourraient être stockés ». En effet, l'inventaire des déchets à stocker dans Cigéo pourrait être amené à évoluer si des modifications de politique énergétique intervenaient. C'est précisément la raison pour laquelle Cigéo est conçu de façon à pouvoir s'adapter à ces évolutions. Ainsi l'Andra prend en compte un inventaire dit « de référence » établi sur les hypothèses de politique énergétique actuelle, mais elle doit également démontrer, dans le dossier de demande d'autorisation de création que le stockage pourra s'adapter afin de couvrir les différents scénarios de politique, c'est l'objet de l'inventaire dit « de réserve ». Cela est rendu possible notamment par le fait que les installations seront construites progressivement.

FNE indique que « *Cigéo n'est pas adaptable car les roches impactées après creusement, ne sont pas reconstituables (EDZ)*. Or, étant données les précisions ci-dessus, il n'y a aucun lien entre l'adaptabilité de Cigéo et la présence de l'EDZ.

FNE formule également plusieurs remarques sur les caractéristiques géologiques du Callovo-Oxfordien, l'homogénéité de la couche, l'implantation du stockage. Sur ces sujets, l'Andra a apporté les réponses dans la fiche concernant la faisabilité.

Concernant les deux affirmations de FNE : « Hors de ces niveaux favorables, la charge en Calcium (supérieure à 30% dans tous les cas) pose plus d'une question : rétractation des roches en désaturation hydrique, réaction de cette roche basique avec les « bétons bas pH », avec les flux d'hydrogènes issus des colis, avec les circulations d'eaux intempestives dans des roches calcaires hétérogènes, etc. » et « Par ailleurs, des éléments de contraintes physico-chimiques sont cités page 61. S'il y est bien fait référence au « gonflement des smectites » en saturation... il n'est pas analysé, la rétractation évidente des dites smectites en désaturation (aération). Or il est bien dit que l'endommagement associé peut porter sur plusieurs décimètres. », l'Andra souhaite apporter les précisions suivantes :

- La teneur en carbonates dans les argilites du Callovo-Oxfordien est de l'ordre de 30 % dans l'unité argileuse et localement supérieure à 60 % dans l'unité silto-carbonatée. Il ne s'agit pas de bancs carbonatés et les observations réalisées aussi bien dans le puit que dans la niche du Laboratoire souterrain au sommet du Callovo-Oxfordien (donc dans l'USC) ne montrent pas d'écoulement d'eau.
- Le phénomène de « rétractation » des argiles avec la désaturation, et corrélativement celui de la fissuration par dessiccation sont bien connus et étudiés depuis longtemps. Ils ont fait l'objet d'études pour le Callovo-Oxfordien : compte tenu de la structure et de la taille de la porosité de la roche, les essais montrent qu'il faut des désaturations très élevées (correspondant à des humidités relatives très faibles) pour initier une rétractation significative et une fissuration. Ces conditions ne sont pas représentatives de celles attendues dans Cigéo. Ces phénomènes n'ont pas été observés dans le Laboratoire souterrain, notamment pas de sur-endommagement de la roche autour des ouvrages par désaturation ;
- L'interaction entre les argiles et les matériaux cimentaires, appelée perturbation alcaline, est étudiée depuis de nombreuses années (notamment depuis 1999 à travers les projets européens ECOCLAY I et ECOCLAY II). Cette perturbation tient principalement à l'écart de pH entre l'argile (pH neutre) et les bétons classiques (pH basique $\geq 12,5$) et dans une moindre mesure les bétons bas-pH (pH ~ 11). Ces travaux montrent que, quel que soit le type de béton, l'extension de la perturbation alcaline induite dans le Callovo-Oxfordien est très limitée, au plus d'ordre métrique. Elle concerne donc la zone endommagée et son extension est très faible en regard de la garde de Callovo-Oxfordien sain (au moins 50 m) autour de Cigéo.
- Le comportement du Callovo-Oxfordien face à une pression de gaz, par exemple l'hydrogène, a été étudié sur échantillons et au Laboratoire souterrain. Les résultats montrent qu'il faut des pressions de gaz très élevées, supérieures au poids des terrains, pour que l'hydrogène pénètre dans la roche saine et la fracture. Ce comportement est bien expliqué par la structure compacte et la très petite taille de la porosité de la roche ; il est observé dans d'autres roches argileuses. Par ailleurs, les travaux montrent que les pressions d'entrée de l'hydrogène gazeux dans les matériaux du stockage et la zone endommagée de roche en champ proche des ouvrages sont

(bien) inférieures à celle de la roche saine, de sorte que l'hydrogène sous forme gaz ne quittera pas le stockage par le Callovo-Oxfordien.

Enfin, FNE affirme que « l'ensemble de ces éléments connus depuis bien longtemps expliqueraient l'effondrement d'une galerie du laboratoire souterrain de Bure en janvier 2016 [...] ». Sur ce point l'Andra souhaite rappeler que l'accident est dû à la chute d'une partie d'un front de taille et non pas à l'écrasement de la roche ou d'une galerie. L'accident en question est un accident de chantier survenu au niveau d'un front de taille qui venait d'être creusé au fond d'une galerie d'expérimentation, lors d'une opération de confortement mainte fois réalisée par le passé. Les trois intervenants posaient alors des boulons radiaux au cours d'un cycle de creusement - soutènement. C'est une étape intermédiaire nécessaire dans la série d'opérations à accomplir pour assurer le confortement de la galerie. Il ne s'agissait donc pas d'un effondrement de la voûte (i.e. de la galerie) et cela ne remet pas en cause la stabilité de la roche (et de manière plus générale celle des ouvrages souterrains dans la couche du Callovo-Oxfordien). Cet accident est intervenu après que d'une part de nombreuses galeries du Laboratoire souterrain aient été construites depuis 15 ans, avec des diamètres et des méthodes de creusement et de revêtement différents, et que d'autre part de nombreuses opérations de confortement aient été réalisées dans ce cadre. Les observations faites dans le Laboratoire souterrain ne montrent pas d'instabilité des ouvrages jusqu'à présent.