

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

# Barrière géologique

## Thème 2 - Maîtrise des risques liés à Cigéo

### Contexte

A très long terme, le relâchement des radionucléides induit par la dégradation des colis, puis leur migration et leur dispersion dans la roche hôte du stockage, doivent être considérés. La roche hôte constitue une barrière géologique naturelle dont la fonction est d'isoler le stockage des perturbations de surface (intrusions humaines, glaciations, érosion) et de confiner la radioactivité au plus près des ouvrages qui contiennent les déchets. Elle doit assurer la sûreté « passive » du stockage après sa fermeture, c'est-à-dire sans intervention de l'homme. Pour ce qui concerne le projet Cigéo, la formation argileuse du Callovo-Oxfordien est étudiée dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne pour vérifier, au moyen de campagnes de reconnaissance géologiques, si cette couche possède des propriétés favorables à l'implantation d'un futur stockage.

### Les notions clés

- **Zone de transposition (ZT) et Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie (ZIRA)**  
La ZT (250 km<sup>2</sup>) correspond à la zone dans laquelle les résultats du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne peuvent être transposés. La ZIRA (30 km<sup>2</sup>) a été sélectionnée dans un second temps au sein de la ZT comme possible zone implantation implantations souterrains.
- **Diffusion et convection**  
La diffusion est un mode de transfert permettant de rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques dans un milieu : à cette fin, les espèces se déplacent des zones concentrées vers les zones moins concentrées. La convection est un mode de transfert qui implique un écoulement : c'est la circulation d'eau qui entraîne le mouvement des espèces dans le milieu.
- **Zone endommagée par l'excavation ou Excavation Damaged Zone (EDZ)**  
Zone de roche qui se fracture autour des ouvrages souterrains durant leur creusement (puits, galeries et alvéoles).

### Questionnement

- Quelles sont les fonctions de sûreté associées à la barrière géologique ?
- Quels sont les arguments en faveur du Callovo-Oxfordien comme roche hôte d'un stockage géologique ?
- Quel sera l'impact d'un stockage géologique sur les propriétés initiales du Callovo-Oxfordien ?

#### CONTACT :

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

## Fonctions de sûreté associées à la barrière géologique

Lorsque les colis auront perdu leur étanchéité, les radionucléides vont se déplacer et se disperser au sein de la roche hôte. La barrière géologique constituera alors le dernier rempart entre le stockage et l'environnement. Elle participe aux **fonctions de sûreté** suivantes :

- Isoler les déchets des perturbations géologiques de surface et des intrusions humaines,
- S'opposer à la circulation d'eau au contact des composants ouvrages et des colis de déchets,
- Confiner la radioactivité, en assurant un lent déplacement des radionucléides, de par sa capacité à retenir chimiquement les éléments (sorption, précipitation) et à maintenir une circulation d'eau extrêmement lente (mécanisme de diffusion prépondérant).

### Caractéristiques géologiques et propriétés de confinement du Callovo-Oxfordien

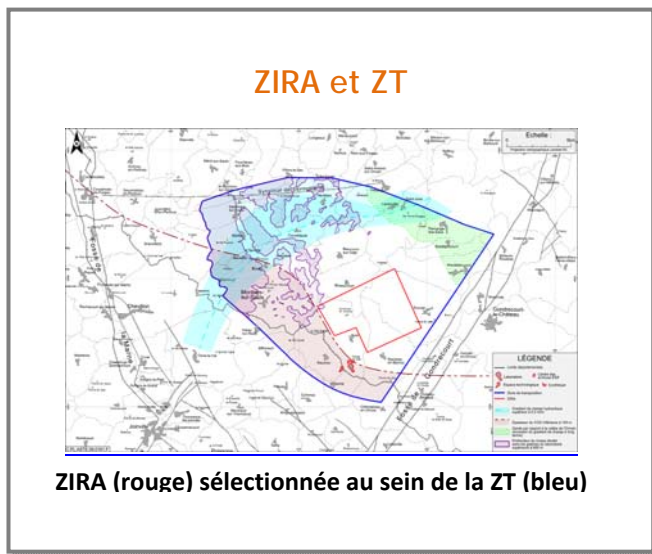
Pour assurer ces fonctions de sûreté, la roche doit posséder les propriétés favorables suivantes :

- Afin d'isoler l'installation de stockage de façon durable des perturbations de surface, telles que l'érosion et les changements climatiques, la barrière géologique doit d'une part être localisée dans un site suffisamment stable géologiquement pour que l'ampleur et l'impact de ces perturbations soit limités, d'autre part être suffisamment profonde pour ne pas être affectée par ces perturbations.
- Pour confiner la radioactivité au plus près de l'installation de stockage, le milieu géologique doit posséder des propriétés de confinement particulièrement favorables, c'est-à-dire une faible perméabilité, une faible porosité et une forte capacité de rétention des espèces radioactives. La barrière géologique doit également, être suffisamment épaisse pour que les temps de migration entre les ouvrages contenant les déchets et l'environnement soient suffisamment longs pour permettre la décroissance significative<sup>1</sup> de la majeure partie de la radioactivité. Elle doit enfin être caractérisée par l'absence de discontinuités structurales (failles) telles qu'elles pourraient constituer des court-circuits importants de la barrière géologique.

A cet égard, la couche géologique du Callovo-Oxfordien a fait l'objet d'une **reconnaissance géologique approfondie** par l'Andra. Après l'expertise de ces travaux de reconnaissance et des résultats obtenus dans le laboratoire souterrain, il est possible de conclure au **contexte géologique adapté** du Callovo-Oxfordien pour un stockage profond (épaisseur supérieure à 100 m, profondeur de l'ordre de 500 m, absence de failles réhibitoires), ainsi qu'à des **propriétés de transport favorables au confinement** des radionucléides (faible porosité, faible perméabilité, transport diffusif majoritaire, forte capacité de rétention des radionucléides).

Au cours de ses instructions des dossiers de l'Andra, l'IRSN a porté une attention particulière aux études destinées à qualifier les propriétés de la barrière géologique. L'Institut a notamment fondé son avis sur les résultats de ses recherches propres, menées dans la station expérimentale de Tournemire (cf. Encadré), portant notamment sur la validité des protocoles et méthodes permettant de déterminer les propriétés structurales et de transport de la roche argileuse. Sur cette base, l'IRSN a conclu que les données acquises par l'Andra sur les **propriétés de transport** de la formation argileuse de Bure ne devraient permettre que des transferts lents d'activité relâchée par les colis. Pour ce qui concerne plus spécifiquement l'absence de failles, l'IRSN a conclu lors d'une récente instruction ([Rapport IRSN 2013-001](#)) que les méthodes de caractérisation les plus poussées (telles que la sismique 3D) n'ont pas révélé de structures réhibitoires pour l'implantation d'un stockage définitif de déchets, mais que l'Andra devrait tenir compte des incertitudes résiduelles en retenant à titre de précaution dans son évaluation de sûreté de l'installation de stockage un scénario comprenant une ou plusieurs discontinuités traversant le Callovo-Oxfordien afin d'évaluer la robustesse du stockage, même si la vraisemblance d'un tel scénario est faible.

A l'issue de ce processus, l'Andra a ainsi identifié une **zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie** (ZIRA) de 30 km<sup>2</sup> (environ 2 fois la superficie requise pour l'implantation du stockage). Dans ce secteur, l'épaisseur est d'au moins 140 m et son inclinaison est faible. La profondeur du milieu de la couche varie de 420 m à 600 m (520 m au barycentre de la ZIRA).



<sup>1</sup> La radioactivité d'un échantillon décroît au fil du temps de par la désintégration des atomes radioactifs qui le constituent. Cette décroissance est proportionnelle à la période de l'isotope radioactif considéré (temps nécessaire pour qu'un échantillon de cet isotope perde la moitié de sa radioactivité).

## Evolution des capacités de confinement du Callovo-Oxfordien

Les travaux de réalisation du stockage (creusement, mise en place des colis et des matériaux composant l'installation) vont entraîner des **perturbations d'origine thermique, hydrique, chimique et mécanique** susceptibles d'altérer les propriétés de confinement initialement favorables de la barrière géologique. De nombreuses études visant à maîtriser l'effet de ces perturbations sont en cours ou ont été menées par l'Andra. Les résultats obtenus à ce jour tendent à montrer que les perturbations de la roche par les phénomènes thermiques, hydriques et chimiques ne devraient avoir que des conséquences limitées sur les propriétés favorables du milieu géologique. A titre d'exemple, la perturbation dite « alcaline » induite par l'introduction de matériaux cimentaires au sein du stockage est certes susceptible d'altérer fortement les caractéristiques des minéraux argileux au contact du ciment, mais l'extension de cette perturbation alcaline restera très locale, d'ordre métrique après plusieurs milliers d'années, et ne devrait pas donc réduire de façon notable les propriétés de confinement du Callovo-Oxfordien. Ces connaissances sont globalement confirmées par les modélisations et les études expérimentales que l'IRSN mène, en particulier sur des analogues dits « ouvragés » mis en place dans la Station Expérimentale de Tournemire.

Les principales incertitudes sur les perturbations de la barrière argileuse concernent désormais **l'endommagement mécanique** induit par le creusement des ouvrages. En effet, ce creusement induit la fracturation de la roche à proximité des ouvrages de stockage, qui se traduit dans le laboratoire souterrain par l'apparition de fractures connectées observées en avant du front de creusement et sur les parois (zone endommagée par l'excavation ou EDZ). Au-delà de cette zone, les perméabilités retrouvent des valeurs comparables à celles de la roche saine. Lors de son instruction des dossiers de l'Andra et sur la base de ses recherches propres, l'IRSN a estimé que des progrès étaient nécessaires pour mieux comprendre le comportement mécanique de la roche afin de disposer d'une interprétation consolidée des observations disponibles et de la possible évolution de l'EDZ dans le temps ([cf. Avis IRSN 2013-057](#)).

### La station expérimentale de Tournemire

Le programme de recherche mis en place par l'IRSN visant à maintenir et développer les connaissances et compétences propres qui lui sont nécessaires pour son expertise des dossiers de l'Andra s'appuie notamment sur les recherches expérimentales menées dans la station de Tournemire. Le site de Tournemire présente en effet des caractéristiques suffisamment comparables à celles du site étudié par l'Andra à Bure pour autoriser l'extrapolation de certaines observations et soulever des questions pertinentes pour l'expertise.

La station expérimentale de Tournemire est l'un des quatre laboratoires de recherche souterrain en milieu argileux en Europe, avec les laboratoires de Mol (Belgique), du Mont-Terri (Suisse) et de Bure (Meuse/Haute-Marne, France). Elle a été intégrée, en 2007, au réseau des centres d'excellence de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).



### Position IRSN

Les principaux enjeux de sûreté après la fermeture du stockage consistent à caractériser les propriétés de la barrière géologique et à montrer que les perturbations causées par le stockage (principalement d'ordre thermique, chimique, mécanique) n'amointriront pas significativement sa capacité de confinement. S'agissant de Cigéo, l'IRSN estime que les recherches effectuées par la communauté scientifique permettent de confirmer, d'une part, les caractéristiques favorables du site de Meuse/Haute-Marne, d'autre part, que les perturbations engendrées par le stockage devraient être maîtrisables. Des compléments importants restent néanmoins attendus concernant l'endommagement mécanique de la roche hôte.

A cet égard, l'IRSN estime que la réalisation de démonstrateurs à grande échelle dans la roche hôte est nécessaire en vue d'accumuler un retour d'expérience suffisant sur l'éventuelle évolution des perturbations mécaniques induites sur la roche. Ces démonstrateurs destinés à confirmer que la perturbation mécanique est bien maîtrisée, mais qui pourront également servir à confirmer le bien-fondé des méthodes retenues pour la construction et l'exploitation des ouvrages du stockage, devront avoir livré des résultats probants avant la mise en stockage du premier colis.