

LE LABORATOIRE SOUTERRAIN

Un outil scientifique  
unique pour concevoir  
un stockage réversible  
profond





## Des recherches fructueuses pour le stockage réversible profond grâce au Laboratoire souterrain



Chargée par la loi du 30 décembre 1991 de conduire des études sur le stockage profond des déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL), l'Andra a commencé ses recherches à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne en 1994. À partir de 2000, elle s'est appuyée sur les investigations menées au Laboratoire souterrain, construit à 490 mètres de profondeur. L'ensemble de ces études a permis à l'Andra de conclure en 2005 à la faisabilité de la réalisation d'un stockage profond dans une couche de roche argileuse datant d'environ 160 millions d'années, située à une profondeur de 500 mètres. En 2006, une deuxième loi retient le stockage réversible profond comme solution pour la gestion à long terme des déchets HA et MA-VL. L'Andra est chargée de poursuivre ses études scientifiques et techniques pour concevoir et implanter un centre de stockage dont la mise en service est prévue vers 2025, si l'autorisation de création est donnée après 2015.

Les expérimentations, toujours conduites au sein du Laboratoire souterrain pour mieux connaître la compatibilité de la roche à une exploitation industrielle, se poursuivront si sa demande d'exploitation au-delà de 2011 est acceptée.

**Le dossier 2005 a conclu à la faisabilité de la construction du stockage profond des déchets HA et MA-VL qui soit sûr pendant un million d'années, dans un périmètre de 250 km<sup>2</sup> autour du Laboratoire souterrain**

## Qui est l'Andra ?

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs est un établissement public. Placée sous la tutelle des ministères en charge de l'énergie, de l'environnement et de la recherche, elle est chargée de trouver, de mettre en œuvre et de garantir des solutions sûres pour protéger les générations présentes et futures des risques que présentent les déchets radioactifs français.



## Les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL)



**Déchets MA-VL**

Un français produit en moyenne 20 grammes de déchets HA et MA-VL par an, soit un peu moins que le poids de trois pièces d'un euro. Les déchets HA et MA-VL représentent moins de 4 % du volume des déchets radioactifs français (soit 44 050 m<sup>3</sup> sur 1 152 553 m<sup>3</sup> de déchets produits fin 2007) mais ils concentrent plus de 99 % de la radioactivité totale de ces déchets. Ils proviennent pour l'essentiel des centrales nucléaires françaises. Aujourd'hui, ils sont entreposés en surface sur leur site de production ou de conditionnement à la Hague dans la Manche, à Marcoule dans le Gard et à Cadarache dans les Bouches-du-Rhône, en attendant l'ouverture du centre de stockage. Les déchets HA sont conditionnés dans du verre et de l'inox. Les déchets MA-VL sont, quant à eux, conditionnés dans des colis métalliques ou en béton.



**Un colis de déchets HA**

## Garantir un stockage sûr pendant des centaines de milliers d'années

En France, comme dans de nombreux pays, le stockage est la solution choisie pour la gestion des déchets radioactifs à long terme. Les centres de stockage sont conçus pour protéger les générations présentes et futures du danger des déchets radioactifs. La sûreté d'un stockage repose sur plusieurs composantes combinées pour les déchets HA et MA-VL :

- ★ le colis qui contient les déchets ;
- ★ l'alvéole, sorte de tunnel dans lequel sont placés les colis ;
- ★ la géologie du site qui constitue une barrière naturelle pour isoler les déchets radioactifs de l'environnement.





# Pourquoi le Laboratoire souterrain est-il implanté en Meuse et en Haute-Marne ?

Entre 1994 et 1996, l'Andra a mené des études géologiques dans le Gard, la Vienne et à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, départements candidats pour accueillir un Laboratoire souterrain dédié aux recherches pour le stockage réversible profond.

## Les travaux entrepris pour qualifier un site d'implantation pour le Laboratoire

Pendant ces trois années, en Meuse/Haute-Marne, des forages en profondeur ont mesuré les propriétés des différentes roches traversées, notamment la capacité de l'argile à retenir les substances radioactives que contiennent les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL). Une auscultation du sous-sol, grâce à des ondes générées par des camions vibrateurs, a permis d'obtenir une image en trois dimensions et très précise du site du futur Laboratoire. Enfin, un suivi hydrogéologique a été réalisé pour s'assurer de l'absence de circulation d'eau importante et un réseau d'écoute sismique a été mis en place pour confirmer la stabilité des terrains.

## 2000, l'année de la concrétisation

Après trois ans de recherches géologiques depuis la surface, l'instruction du dossier et deux mois d'enquête publique, le Gouvernement fait le choix du site de Meuse/Haute-Marne pour installer un Laboratoire souterrain. Le 3 août 1999, l'Andra reçoit l'autorisation de créer et d'exploiter ce Laboratoire sur la commune de Bure. Les travaux de construction débutent en janvier 2000. Conformément au décret d'autorisation, ce Laboratoire ne contient pas et ne contiendra jamais de déchets radioactifs.

## Les points forts d'une couche de roche argileuse datée du Callovo-Oxfordien

Les études qui vont être menées à la surface et dans les galeries du Laboratoire souterrain vont démontrer les propriétés remarquables d'une couche de roche argileuse datée du Callovo-Oxfordien (160 millions d'années).

Compatible avec le stockage, elle est située à une profondeur suffisante, environ 500 mètres, pour mettre les déchets à l'abri de l'érosion et d'une intrusion humaine accidentelle. Elle est aussi épaisse (+ de 130 m), stable, homogène et sans faille, très faiblement perméable et possède de fortes capacités de rétention des éléments chimiques. Autant de propriétés qui permettent de retarder et d'atténuer la migration des substances radioactives contenues dans les déchets de sorte, qu'à leur sortie, leur impact présente aussi peu de risques que celui de la radioactivité naturelle. De surcroît, les études ont montré que la région ne possède pas de ressources exploitables présentant un caractère « exceptionnel » (pétrole, ressources minières et géothermiques, nappes phréatiques...) comme le recommande la loi.



Des camions vibrateurs sillonnent le secteur pour dresser une échographie du sous-sol. Des forages profonds ont aussi été réalisés : la roche est étudiée sous toutes ses coutures.

## Le Laboratoire souterrain en chiffres

(1<sup>er</sup> semestre 2010, chiffres arrondis)

320 personnes y travaillent  
dont 80 salariés de l'Andra

3 100 capteurs installés dans la roche

31 000 photos réalisées

39 000 échantillons de roche prélevés

378 forages réalisés en surface et dans les galeries souterraines

900 mètres de galeries souterraines

## L'architecture du Laboratoire souterrain

Le Laboratoire s'étend sur un terrain de 17 hectares.

À la surface, il comprend des bâtiments techniques et administratifs, un bâtiment réservé à l'accueil du public et l'entrée des deux puits d'accès aux galeries souterraines du Laboratoire.

Le réseau de galeries du Laboratoire souterrain d'environ 900 mètres de long est creusé à 490 mètres de profondeur directement dans la couche de roche argileuse du Callovo-Oxfordien. C'est ici que sont réalisées les principales expérimentations concernant les propriétés de la roche.

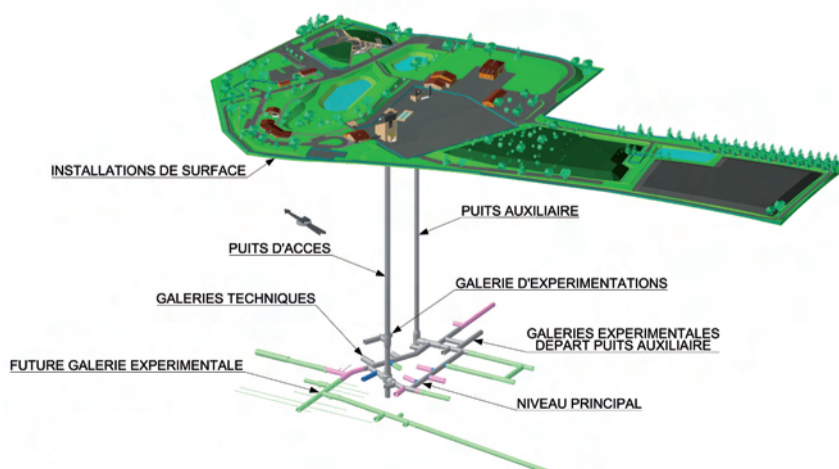
Une galerie expérimentale, longue de 41 mètres et située à - 445 mètres, sert pour des observations et des mesures scientifiques réalisées dans la partie supérieure de la couche de roche argileuse.

Au moyen d'ascenseurs, deux puits de 4 et 5 mètres de diamètre assurent la liaison entre la

surface et les galeries souterraines. Le puits principal est utilisé pour le transport du personnel et du matériel, l'extraction des roches de creusement et le flux d'air entrant pour la ventilation du Laboratoire souterrain. Le puits auxiliaire permet le transport de charges exceptionnelles, et sert d'issue de secours et de sortie d'air.

De nouveaux travaux d'extension ont démarré en avril 2008. Si le Laboratoire souterrain est autorisé à poursuivre son exploitation au-delà de 2011, ces travaux permettront aux équipes scientifiques et techniques de disposer d'environ 1 500 mètres de galeries, d'ici 2015. Elles seront utiles à l'acquisition de données scientifiques et techniques complémentaires pour la

conception industrielle et l'évaluation de sûreté du stockage et mener des essais dans les conditions réelles (creusement, fermeture des ouvrages de stockage).



Le Laboratoire souterrain



# Expérimenter et concevoir un stockage sûr à long terme

Les expérimentations scientifiques, menées en collaboration avec de nombreux partenaires français (BRGM, CEA, CNRS...) et internationaux (homologues suédois, belges, suisses...) permettent d'étudier au cœur de la roche et en temps réel le milieu géologique. L'objectif des expérimentations est, d'une part, d'éprouver la capacité de confinement de la roche argileuse et, d'autre part, de

compléter les données déjà acquises à partir d'échantillons sur ses caractéristiques mécaniques, thermiques, géochimiques et hydrauliques. Ainsi, les scientifiques étudient les réactions de la roche aux perturbations que provoquera le stockage, notamment son creusement ou son échauffement. Parallèlement, des essais techniques sont réalisés afin de tester des métho-

des pour le creusement, la construction et la fermeture d'alvéoles de stockage. Enfin, les galeries du Laboratoire souterrain servent également à expérimenter des dispositifs (capteurs, par exemple) qui pourraient être utilisés pour observer et suivre l'évolution du stockage lors de son exploitation. Retrouvez l'emplacement des principales expérimentations à l'aide des ronds de couleur.

## La capacité de la roche à retenir les substances radioactives

Ces recherches portent notamment sur l'étude de la composition de l'eau contenue dans l'argile, les mouvements de cette eau et des essais de diffusion, c'est-à-dire l'étude du déplacement des substances radioactives dans la roche. Les analyses chimiques de l'eau sont nécessaires car avec le temps, l'eau corrodera les conteneurs et favorisera le relâchement des substances radioactives dans la couche de roche argileuse. Les mesures de perméabilité dans la roche ont confirmé que les mouvements de l'eau étaient extrêmement lents, quelques centimètres tous les 10 000 ans.

Les mesures de diffusion ont pour but d'estimer le temps de parcours des éléments radioactifs dans la roche. Réalisées à l'aide d'une solution injectée dans la roche qui contient de très faibles quantités de traceurs radioactifs (naturels ou utilisés en médecine), elles ont démontré que la plus grande partie des substances radioactives sont fixées dans la roche. Les plus mobiles se déplacent très lentement au cœur de la roche, par simple différence de concentration, comme le thé qui infuse dans l'eau.



## Les effets de la chaleur sur la roche

Les déchets radioactifs de haute activité dégagent de la chaleur qui diminue au fil du temps avec la décroissance radioactive. Pour représenter cet effet thermique et analyser ses éventuelles conséquences sur les propriétés de la roche, des sondes chauffantes y ont été placées.

Les études ont conduit l'Andra à fixer la température maximum des colis qui seront au contact de la roche à 100°C. Pour atteindre cette température, les colis de déchets de haute activité devront donc refroidir pendant au moins une soixantaine d'années avant leur stockage, dans des entrepôts sur leur lieu de production. Le nombre de colis de déchets par alvéole, les dimensions des alvéoles et leur espacement ont été calculés pour répartir la charge thermique afin qu'elle soit toujours inférieure à 100°C. L'effet cumulatif de la chaleur continue d'être étudié avec le placement, au même endroit dans la roche, de trois sondes chauffantes.

## Le savez-vous ?

La température naturelle de l'argile est de 23,2°C.

## Des essais de creusement des alvéoles de stockage pour les déchets de haute activité

Le concept de stockage de référence pour les déchets HA est celui d'une alvéole horizontale d'environ 70 cm de diamètre où seront placés les conteneurs qui renferment les colis de déchets radioactifs. Des essais pour creuser les alvéoles sont réalisés à l'aide d'une machine appelée microtunnelier. L'objectif est de définir comment les creuser, quels matériaux utiliser pour leur revêtement... Ce sont les premiers éléments du stockage testés à taille réelle.



Creusement des galeries et mesure de la pression d'eau dans la roche

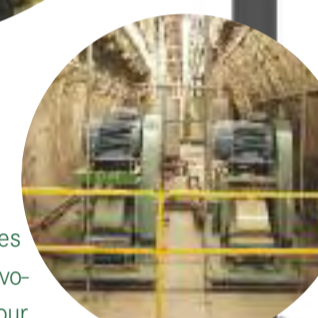


## Les interactions entre la roche et les matériaux du stockage

Des matériaux différents seront utilisés dans le stockage : du verre et de l'acier pour les colis de déchets de haute activité, du béton pour les colis de déchets de moyenne activité à vie longue, de l'argile gonflante (bentonite) pour fermer certaines parties du stockage... Des expérimentations sont mises en place pour s'assurer que ces matériaux n'altèrent pas les propriétés de confinement de la roche.

## Albraque

C'est ici que les eaux des couches calcaires situées au-dessus du Callovo-Oxfordien sont collectées chaque jour dans une citerne. Elles sont ensuite remontées à la surface, dans les bassins d'orage, par deux pompes.



## Scellement des galeries

Un prototype de fermeture de galerie est à l'étude. Il consiste à introduire dans la galerie de la bentonite, argile connue pour son important pouvoir d'absorption, et à l'hydrater pour qu'elle gonfle. Les scientifiques vont ensuite s'intéresser au comportement du bouchon ainsi formé, c'est-à-dire vérifier que sa perméabilité est suffisamment faible et que son contact avec la roche assure l'étanchéité.

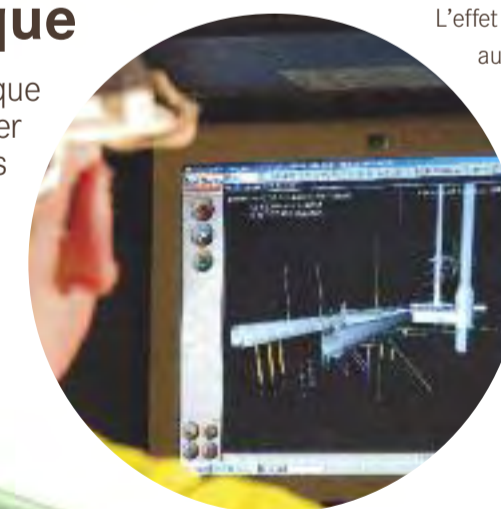
## La réaction de la roche au creusement

Le creusement des puits a été l'une des premières expérimentations. Il a été réalisé à l'aide d'explosifs tandis que celui des galeries a été effectué à l'aide d'un brise roche hydraulique, machine qui agit à la manière d'un marteau piqueur de grande taille. Il a permis de vérifier, mètre après mètre, si les couches géologiques traversées étaient bien régulières et n'avaient pas été altérées par des phénomènes naturels, comme des séismes ou des glaciations. Des capteurs placés dans des forages de 10 à 30 mètres mesurent en continu pendant et après le creusement, les déformations et les fissures qui apparaissent à proximité d'une zone

creusée. Les informations permettent d'obtenir une cartographie de l'endommagement de la roche. Ces zones endommagées ont pour conséquence d'augmenter localement la perméabilité de la roche. Pour refermer ces fissures provoquées par le creusement et interrompre les éventuelles circulations d'eau dans ces zones, des tests ont démontré l'efficacité d'un bouchon réalisé avec de l'argile gonflante (bentonite). D'autres expérimentations ont aussi révélé cette caractéristique remarquable que possède la roche argileuse de s'autocolmater progressivement grâce au gonflement d'une partie des minéraux qu'elle contient. Les zones endommagées par le creusement sont suivies régulièrement pour connaître leur évolution dans le temps et en fonction de l'orientation des galeries.

## L'informatique

Un système informatique permet aux chercheurs d'accéder à distance à toutes les informations recueillies par les différentes expérimentations et de piloter ces dernières en temps réel.



## Le matériel

Les outils et les machines utilisés dans le Laboratoire souterrain descendent en pièces détachées, comme ci-contre le brise roche hydraulique. De nouveaux engins sont aussi éprouvés. Ainsi, depuis novembre 2009, les galeries sont creusées à l'aide d'une machine dite à attaque ponctuelle.



## Estimer les mouvements de la roche

Les galeries ont en général une forme circulaire ou en fer à cheval qui assurent leur tenue. Un soutènement, réalisé à l'aide de cintres métalliques,

maintient la voûte car la roche se déforme dans le temps sous l'effet du poids des terrains. Connaître ces déformations au fil du temps est essentiel pour assurer la stabilité des ouvrages souterrains. Des mesures sont réalisées

en tendant des filins dans la largeur des galeries. Elles estiment au 10<sup>e</sup> de millimètre près les mouvements de la paroi. Aujourd'hui, les galeries se referment d'1 millimètre par an.

La machine à attaque ponctuelle







**UNE VISITE GRATUITE ?**  
**APPELEZ LE**  
**N° Vert 0 805 107 907**  
APPEL GRATUIT DEPUIS UN POSTE FIXE



**AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION  
DES DÉCHETS RADIOACTIFS**  
Centre de Meuse/Haute-Marne  
Route départementale 960  
BP 9  
55290 Bure  
[www.andra.fr](http://www.andra.fr)

© Andra • 377 B • DCOM-10-0049 • Juillet 2010 • 2 000 exemplaires • Conception graphique : Dis merci à la dame • Crédits photos : Andra (Marc-Antoine Martin, Eric Poirot, Eric Sutre, Bertrand Tinoco), P. Demail, E. Le Gars, F. Mercadier, V. Paul, A. Rezzoug • Impression certifiée Imprim'Vert avec des encres végétales sur un papier partiellement recyclé, certifié FSC • Gratuit - Ne peut être vendu