

# LES ÉTUDES SUR LE STOCKAGE PROFOND

## INTRODUCTION

Pour mener ses recherches sur le stockage profond, l'Andra mobilise la communauté scientifique dans de nombreuses disciplines (sciences de la Terre et de l'environnement, chimie, science des matériaux, mathématiques appliquées, sciences humaines et sociales...) au travers de partenariats avec des organismes de recherche et des établissements universitaires français. L'Andra est également fortement impliquée dans des coopérations internationales, notamment avec ses homologues étrangers, au travers de collaborations ou d'instances internationales.

Les recherches menées depuis plus de 20 ans ont ainsi permis de montrer la faisabilité et la sûreté du stockage profond. Elles permettent aujourd'hui de préparer la construction et l'exploitation de Cigéo, sa fermeture et sa surveillance.



6.1.	LES OUTILS DE L'ANDRA	.....page 66
6.2.	LES CHAMPS ET LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE SCIENTIFIQUE	.....page 68
6.3.	LES FINALITÉS DES RECHERCHES	.....page 68
6.4.	COMMENT SONT ÉVALUÉES LES RECHERCHES DE L'ANDRA ?	.....page 71













### LES MOYENS DE SIMULATION ET DE CALCULS NUMÉRIQUES

Ces outils permettent de représenter des **phénomènes complexes sur des échelles de temps et d'espace** qui ne sont pas accessibles aux expérimentations en laboratoire. Les méthodes numériques constituent ainsi un moyen privilégié pour répondre aux questionnements scientifiques requis par le stockage et permettre en particulier l'évaluation de sa sûreté sur le long terme.

Les études sont également menées afin d'analyser les incertitudes et les prendre en compte dans la conception du stockage.

### L'OBSERVATOIRE PÉRENNE DE L'ENVIRONNEMENT (OPE)

Ce dispositif inédit s'inscrit dans un grand nombre de **réseaux scientifiques nationaux ou internationaux**. Il a été labellisé « **Système d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement** » par l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (Allenvi).



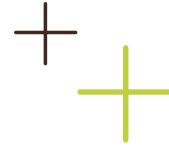
Tour à flux implantée dans le cadre de l'OPE.



### LA R&D DE L'ANDRA EN QUELQUES CHIFFRES

- **15 forages** réalisés depuis la surface entre 2007 et 2008
- plus de **1 200 mètres de galeries** creusés au Laboratoire souterrain
- plus de **10 organismes** ou **établissements universitaires** partenaires
- **8 groupements de laboratoires**
- plus de **70 laboratoires académiques** associés
- participation à **12 programmes européens** depuis 2006
- **membre du groupe exécutif de la plate-forme européenne sur les stockages géologiques « IGD-TP »** (*Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform*)
- **28 thèses soutenues** depuis 2006
- **50 à 70 publications scientifiques internationales** par an depuis 10 ans
- une **vingtaine de brevets** déposés depuis 5 ans
- **5 colloques internationaux organisés** entre 2002 et 2012 « *Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement* »





## 6.2. Les champs et les objectifs de l'étude scientifique



**En 2025, l'Andra disposera de plus de 20 ans de retour d'expérience au Laboratoire souterrain.**

Les études scientifiques conduites depuis plus de 20 années sur le projet Cigéo reposent sur des approches et des disciplines complémentaires. Elles visent d'abord à acquérir des données fondamentales destinées à construire un socle robuste pour le développement du projet. On retiendra notamment :

- **les processus de transfert des éléments dans les matériaux, le milieu géologique ou la biosphère** tels que la diffusion et la convection pour déterminer de quelle façon, en quelle quantité et sur quelles échelles de temps et d'espace se déplacent les éléments dans le milieu géologique ;
- **la dynamique des phénomènes géologiques** comme l'érosion ou les circulations hydrogéologiques dans les couches du bassin de Paris pour s'assurer de la stabilité du stockage sur de longues échelles de temps.

Ces résultats ont été acquis par l'Andra et ses partenaires scientifiques, dans le cadre de programmes nationaux et internationaux, ils ont été soumis à l'analyse par les pairs, publiés dans des revues scientifiques, présentés dans des colloques et ont fait l'objet de thèses. La R&D contribue ainsi à fixer les orientations du développement de Cigéo et à accompagner son exploitation. Elle permet de définir une géométrie optimale (taille, orientation...) pour les ouvrages de stockage, de les dimensionner et de vérifier que leur construction n'altère pas les propriétés de confinement du milieu géologique.

## 6.3. Les finalités des recherches

### 1 / IMPLANTER CIGÉO

La caractérisation du milieu géologique, reposant sur des études régionales, des forages, des mesures géophysiques et des observations en Laboratoire souterrain, a permis de disposer d'une connaissance détaillée (géométrie, structuration, stabilité, homogénéité, continuité...) des formations. C'est sur celle-ci que repose le choix progressif de l'implantation de Cigéo, le déploiement de

ses installations et, par la suite, l'accompagnement de son exploitation.

### 2 / DÉFINIR LES MODALITÉS DE STOCKAGE DES DÉCHETS

Les recherches reposent sur une connaissance détaillée des colis de déchets et contribuent à identifier les modalités de stockage (colisages, matériaux utilisés,

répartition des colis dans les alvéoles...) qui permettent de maîtriser au mieux l'évolution des déchets, d'exploiter en toute sécurité le stockage et de limiter sur le long terme le relâchement des radionucléides.

### 3 / DÉTERMINER LE COMPORTEMENT DU STOCKAGE AU COURS DE SON EXPLOITATION ET APRÈS SA FERMETURE

L'identification et la quantification des processus thermiques (échauffement de la roche par les colis de déchets), mécaniques (endommagement et convergence du massif rocheux), hydrauliques (mouvements des fluides) et chimiques (altération des matériaux et interactions avec les déchets) qui se dérouleront depuis l'ouverture du stockage jusqu'au million d'années sont indispensables à la conception de Cigéo et à l'analyse de sa sûreté. Ces processus ont été reproduits au travers d'expériences, observés au Laboratoire souterrain et simulés pour évaluer leur évolution sur le long terme.



### 4 / DIMENSIONNER LES OUVRAGES POUR ASSURER LA SÛRETÉ EN EXPLOITATION ET PRÉSERVER LE MILIEU GÉOLOGIQUE

La connaissance du comportement des composants du stockage obtenue dans le cadre d'expérimentations et d'essais technologiques est un élément indispensable au dimensionnement des colis et des ouvrages de stockage. On peut ainsi sélectionner les meilleures formulations de matériaux (acier, bétons, argiles), définir les modalités de leur mise en place ainsi que les caractéristiques des ouvrages réalisés (épaisseur, densité...).

### 5 / TESTER LES SOLUTIONS INDUSTRIELLES

Sur la base des connaissances acquises au travers des recherches décrites plus haut, des essais technologiques peuvent être mis en œuvre pour tester les solutions industrielles qui pourraient être utilisées pour construire, exploiter et fermer le stockage (essais de réalisation de conteneurs et d'alvéoles de stockage, tests de manutention des colis, de moyens de surveillance et de fermeture du stockage...).



Expérimentation sur les scellements menée dans une galerie du Laboratoire souterrain.



### Le creusement et le soutènement

Les 1 200 mètres de galeries creusés au Laboratoire souterrain permettent de tester différentes méthodes de réalisation pour les galeries du stockage et de suivre l'évolution des ouvrages dans le temps.

### L'exploitation

Les conséquences des conditions d'exploitation et notamment de la ventilation au cours des différentes phases de la vie du stockage ont été étudiées au Laboratoire souterrain, permettant ainsi d'observer les réactions de la roche dans différentes conditions représentatives du futur stockage. Des prototypes de conteneurs de stockage et d'engins de manutention ont également été réalisés. Ils permettent de tester à l'échelle 1 des procédés qui pourraient être utilisés pour mettre en place les colis dans les alvéoles de stockage, et les récupérer le cas échéant.

### La fermeture

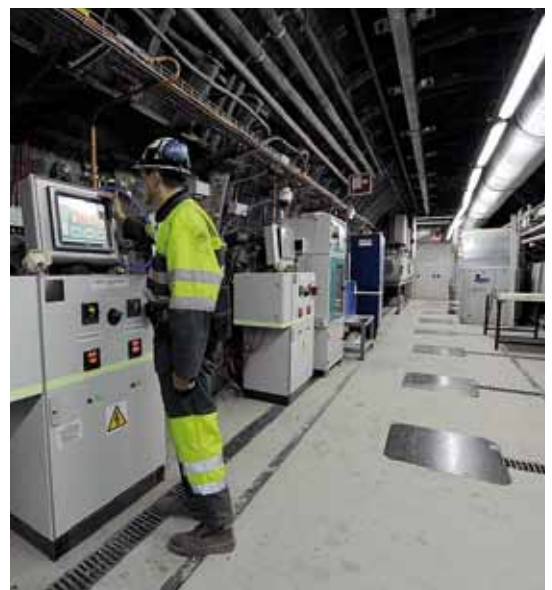
Les scellements participent à la sûreté après fermeture de Cigéo, en contribuant à s'opposer à la circulation de l'eau dans le stockage. L'Andra a mis en place un programme d'essais important pour vérifier leur faisabilité en vue de la demande d'autorisation de création de Cigéo. Un essai industriel en vraie grandeur est en cours de réalisation. Il vise à tester, à l'échelle de Cigéo, la construction d'un noyau à base d'argile gonflante avec ses massifs de confinement en béton. Cet essai est réalisé dans le cadre d'une coopération européenne initiée par la plate-forme technologique IGD-TP. Plusieurs essais sont également en cours au Laboratoire souterrain (tests de compression ou d'interruption de la zone endommagée, réalisation d'un noyau de scellement à l'échelle 1/2, qui sera ensuite resaturé...). Ces essais préparent la réalisation de démonstrateurs de scellement dans Cigéo, qui seront mis en œuvre dès la première tranche de Cigéo.

## 5 / ASSURER LE SUIVI DE L'EXPLOITATION ET FOURNIR LES ÉLÉMENTS POUR LA RÉVERSIBILITÉ

Une stratégie d'ensemble englobant le contrôle des colis, l'observation et la surveillance des ouvrages et de l'environnement est développée dans le cadre du projet Cigéo. Elle permettra de contrôler le bon fonctionnement de l'installation et d'acquérir un retour d'expérience qui sera exploité pour la conception des tranches suivantes de l'installation ainsi que pour les réexamens périodiques de sûreté et des conditions de réversibilité de Cigéo. Plus spécifiquement, assurer la gestion réversible du stockage sur une période de l'ordre de la centaine d'années

impose de mettre en œuvre des moyens d'observation et de surveillance adaptés. Les résultats des études scientifiques permettent notamment d'identifier les évolutions à surveiller, d'assurer la redondance, la complémentarité et la robustesse du système de mesures, de mettre à disposition des capteurs discrets, robustes dans le temps et autonomes. En parallèle et dans le souci d'accompagner les travaux techniques sur la réversibilité, des recherches sont menées en sciences humaines et sociales sur la thématique de la transmission intergénérationnelle et de l'appréhension des longues échelles de temps et de la mémoire.

**L'entrée du projet Cigéo dans une phase de conception industrielle ne réduit pas la nécessité pour l'Andra de maintenir une R&D de haut niveau.** Il s'agit notamment d'apporter les éléments scientifiques et techniques en support à la demande d'autorisation de création puis aux réexamens réguliers dont le stockage fera l'objet. Plus généralement, la poursuite de la R&D sur les déchets radioactifs, leur conditionnement et leur stockage, participera à la sûreté et à la réversibilité de Cigéo et permettra de proposer des optimisations technico-économiques au fur et à mesure de son exploitation.



Expérimentations scientifiques menées dans les galeries du Laboratoire souterrain.

## 6.4.

### Comment sont évaluées les recherches de l'Andra ?

Les activités de R&D de l'Andra sont régulièrement évaluées par différentes instances :

- la **Commission nationale d'évaluation (CNE)**. Le rapport annuel de la CNE est transmis au Gouvernement et au Parlement (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques) et est rendu public ;
- l'**Autorité de sûreté nucléaire (ASN)** qui s'appuie sur l'expertise scientifique et technique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et sur des Groupes Permanents d'experts ;
- le **Conseil scientifique de l'Andra**. Il évalue la stratégie scientifique de l'Agence et l'activité des services. Il est consulté sur les programmes de recherche et de développement conduits par l'Agence et en évalue les résultats. Le Comité d'orientation et de suivi du

L'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES) affirme que l'Andra est « **le leader internationalement reconnu du stockage en milieu argileux souterrain** » et peut se prévaloir d'une « **maîtrise technique exceptionnelle** », et ce grâce aux outils de recherche spécifiques que l'Agence a développés (Rapport d'évaluation de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs - septembre 2012).

Laboratoire souterrain, rattaché au Conseil scientifique, est plus particulièrement chargé de l'évaluation des expérimentations réalisées au Laboratoire souterrain.

Les grands dossiers scientifiques et techniques que l'Andra remet dans le cadre de la loi font l'objet, à la demande de l'État, de revues internationales sous l'égide de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE).

L'Andra a également été évaluée en 2012 par l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES).

Enfin, des expertises sont régulièrement commandées par le Comité local d'information et de suivi du Laboratoire souterrain sur les grands dossiers de l'Andra ou sur des sujets plus ciblés.



#### RAPPORT D'ÉVALUATION N°6 DE LA COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION NOVEMBRE 2012

- *Les verres et l'argile d'une couche géologique profonde sont des barrières efficaces de confinement des produits de fission et des actinides pour des centaines de milliers d'années. Cette durée suffit à abaisser leur nocivité à un niveau tel qu'elle ne pose plus de problème pour les populations vivant au-dessus du stockage ;*
- *le site géologique de Meuse/Haute-Marne a été retenu pour des études poussées, parce qu'une couche d'argile, de plus de 130 m d'épaisseur et à 500 m de profondeur, a révélé d'excellentes qualités de confinement : stabilité depuis 100 millions d'années au moins, circulation de l'eau très lente, capacité de rétention élevée des éléments ;*
- *la conception de l'ouvrage à implanter - puits, galeries, alvéoles, ventilation, scellements - et la mise au point des méthodes et procédures nécessaires à sa sûreté, en exploitation et après sa fermeture définitive, sont en cours d'étude. Elles sont assez avancées pour engager la phase industrielle conformément à la loi. C'est un travail de réalisation concrète, avec toutes les étapes de développement, d'innovation et d'ingénierie nécessaires. Il doit être suivi avec soin. L'examen en 2015 de la demande de création du stockage constituera un jalon important de ce suivi.*