

cigéo mag

Supplément thématique au Journal de l'ANDRA

MIEUX COMPRENDRE LE PROJET DE CENTRE INDUSTRIEL DE STOCKAGE GÉOLOGIQUE

édito

Dans le cadre de la préparation du débat public organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP) sur le projet de création d'un stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse / Haute-Marne, nous vous proposons une série de suppléments spéciaux au Journal de l'Andra spécifiquement consacrée à ce projet. Ce numéro fait le point sur les études et recherches menées depuis 1991, date à laquelle l'Andra s'est vu confier l'étude de faisabilité d'un stockage profond pour les déchets français les plus radioactifs. Quelles sont les différentes thématiques étudiées par l'Andra ? De quelle façon sont-elles abordées ? Avec quels moyens et quels outils ? Autant de questions auxquelles vous trouverez des réponses à la lecture de ce supplément.

Je vous en souhaite une excellente lecture.

Marie-Claude Dupuis,
Directrice générale de l'Andra



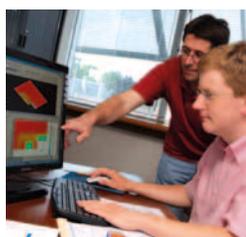
SCIENCE ET CONNAISSANCES, OÙ EN EST-ON ?



LE MILIEU GÉOLOGIQUE

garant de la sûreté du stockage

P.4



LA SIMULATION NUMÉRIQUE

support indispensable aux expérimentations

P.9



UNE RECHERCHE OUVERTE

sur l'international

P.12

Patrick Landais, directeur R&D de l'Andra

EN 1991, L'ANDRA S'EST VU CONFIER L'ÉTUDE DE LA FAISABILITÉ D'UN STOCKAGE PROFOND POUR LES DÉCHETS LES PLUS RADIOACTIFS. RENCONTRE AVEC PATRICK LANDAIS QUI EXPLIQUE L'ÉVOLUTION DES PROBLÉMATIQUES DE RECHERCHE POUR MENER À BIEN CETTE MISSION AU FUR ET À MESURE DE L'AVANCEMENT DU PROJET.

Quelle a été la démarche scientifique de l'Andra ?

Nous avons d'abord eu à travailler sur ce que pouvait être un milieu géologique capable d'accueillir un tel stockage. Toute la recherche à l'Andra s'est alors structurée autour de trois mots : la source, le vecteur, le piège. La source, ce sont les déchets radioactifs : il a fallu les caractériser, connaître leur composition, la façon dont ils sont conditionnés et comprendre leur comportement. Le vecteur, c'est l'eau : où est-elle, par où passe-t-elle, comment, à quelle vitesse, dans quel sens, pour faire quoi?... Enfin, le dernier élément de cette trilogie, le piège, est composé principalement par l'argile de la formation géologique, dont les caractéristiques géochimiques et géophysiques ont été étudiées à la loupe.

Il a ensuite fallu envisager la façon dont nous pourrions construire un tel stockage (quelles méthodes de creusement, quels soutènements, avec quels matériaux?) et étudier les conséquences de cette construction et de l'introduction des colis de déchets dans ce système géologique. Le stockage est un assemblage complexe, qui se compose des déchets, des colis, de barrières ouvragées et enfin du milieu géologique. Tous ces éléments interagissent entre eux. Ce sont ces interactions que l'Andra et ses partenaires se sont attachés à comprendre, en



processus immédiats, tels que la désintégration radioactive et à d'autres qui vont s'étaler sur des périodes très longues, comme le déplacement de l'eau et de certains éléments dans l'argile. Nous travaillons ainsi sur une échelle de temps qui va de la seconde à la dizaine de milliers d'années. De même, en ce qui concerne l'espace, on étudie des échelles de grandeur qui vont du nanomètre (milliardième de mètre), pour la compréhension fine des phénomènes qui se produisent dans l'argile et les matériaux du stockage, au millier de kilomètres, en ce qui concerne l'étude de la géologie du Bassin parisien dans son ensemble.

L'autre spécificité de ce projet réside dans la quantité de disciplines impliquées et imbriquées : les géosciences bien sûr, mais aussi la physique, la chimie, les mathématiques, les sciences des matériaux, la biologie, sans oublier les sciences humaines et sociales. Cette approche à la fois multi-échelle et multidisciplinaire est absolument indispensable. Car oublier les interfaces entre les disciplines, c'est simplifier les problématiques, au risque de se tromper. De même, ne pas s'intéresser à toutes les échelles, c'est forcément oublier des processus, ne pas comprendre les détails et ne pas être *in fine* capable de comprendre l'ensemble... et de convaincre.

« Nous avons affirmé en 2005 que le stockage profond était sûr et faisable. Aujourd'hui, nous pouvons affirmer que nous avons le niveau de connaissance nécessaire pour passer en phase de conception industrielle. »

se basant sur l'observation d'abord, puis sur l'expérimentation, grâce au laboratoire souterrain, qui nous a permis d'aller tester la roche *in situ*, et enfin sur la modélisation et la simulation numérique qui permettent d'extrapoler des résultats à des échelles de temps inaccessibles *via* l'expérimentation. Cette démarche est au cœur de la recherche à l'Andra : on observe, on expérimente, on analyse, on modélise, on identifie des incertitudes, on en déduit des pistes de progrès et on recommence. Avec toujours le même objectif : comprendre de plus en plus finement les processus et réduire les incertitudes. C'est le fondement de la recherche scientifique.

Quelles sont les spécificités de la recherche autour de Cigéo ?

Elle est atypique parce que Cigéo est en lui-même un projet atypique. D'abord parce qu'il nous confronte à des échelles de temps et d'espace extrêmement variables. Nous nous intéressons à la fois à des

Convaincre ? Qui faut-il convaincre ?

La communauté scientifique d'abord, pour qu'elle accepte de collaborer avec nous sur ce projet pour y apporter des réponses pertinentes. Cela n'a pas toujours été facile. Donner envie aux meilleurs chercheurs de s'intéresser à nos problématiques implique de proposer des sujets de recherches passionnants, dans un environnement intéressant, avec des données d'entrée fiables. Les liens de confiance que l'Andra a tissés depuis vingt ans avec la communauté scientifique attestent du sérieux et de la qualité de notre démarche.

Les instances chargées d'évaluer nos recherches ensuite, pour qu'elles disposent de l'ensemble des éléments permettant de valider les choix de l'agence en matière de sûreté et nous orientent sur les sujets à approfondir.

Enfin et surtout, le grand public, qui veut être sûr que nous maîtrisons bien tous les tenants et les aboutissants du projet. Nous avons démontré en

2005 que le stockage profond était sûr et faisable. Cette démonstration repose sur des expérimentations et sur des simulations, qui nous permettent d'extrapoler les résultats lorsque ceux-ci ne sont pas accessibles par l'expérimentation, sur de très grandes échelles de temps par exemple. Ces outils nous permettent d'évaluer et de maîtriser les incertitudes qui peuvent subsister. Aujourd'hui, nous pouvons affirmer que nous avons le niveau de connaissance nécessaire pour préparer la conception et l'exploitation de Cigéo.

Dans ce cas, pourquoi est-ce nécessaire de poursuivre encore les recherches ?

Il est nécessaire de poursuivre la recherche pour continuer à optimiser le stockage : le rendre plus respectueux de l'environnement, l'améliorer d'un point de vue économique, affiner notre compréhension des processus qui s'y déroulent... Cela est d'autant plus indispensable que nous sommes aujourd'hui arrivés à un stade où nous avons besoin de passer à l'échelle industrielle pour continuer à avancer. Plus que jamais, nous avons besoin du Laboratoire souterrain, pour tester, *in situ* et à taille réelle, nos solutions et nos prototypes, dimensionner les infrastructures, affiner les spécifications des matériaux qui seront utilisés pour le stockage... Nous avons aussi besoin de développer les capteurs qui nous permettront de surveiller ce qui se passera à l'intérieur des alvéoles pendant les cent ans d'exploitation du stockage, période pendant laquelle il doit être réversible.

Cigéo va être exploité pendant une centaine d'années. Pendant tout ce temps, les technologies vont évoluer et nous devons faire en sorte que les solutions que nous mettons en œuvre bénéficient de ces progrès en maintenant une réelle expertise scientifique autour de ce projet.

« On apprend pas à pas : on observe, on expérimente, on analyse, on modélise, on identifie des incertitudes, on en déduit des pistes de progrès et on recommence. Avec toujours le même objectif : comprendre de plus en plus finement les processus et réduire les incertitudes. »

John Ludden,

directeur exécutif du British Geological Survey, équivalent anglais du BRGM* et président du comité nommé par l'AERES (Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur)** pour évaluer la stratégie scientifique de l'Andra en 2012.

« Un acteur important du dispositif de recherche national »



Quelles sont les principales conclusions du rapport réalisé par le comité à l'issue de l'évaluation de l'Andra ?

Notre rapport souligne plusieurs points forts. Le premier est la très bonne intégration des compétences scientifiques et la forte mobilisation des partenaires. L'originalité des questions scientifiques soulevées par l'Andra suscite un réel intérêt auprès de la communauté scientifique, ce qui lui a permis de fédérer les meilleurs laboratoires français, constituant ainsi un réseau scientifique de haute qualité sur ses thématiques. Cette stratégie d'intégrateur de recherche a permis d'obtenir des avancées scientifiques indéniables et mérite d'être poursuivie. Autre atout majeur : la maîtrise d'outils scientifiques clés, tels que le Laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne, l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE). Grâce à ces sites d'expérimentation uniques, particulièrement bien connectés aux réseaux scientifiques locaux et nationaux, et à la qualité de la recherche qu'elle y a développé, l'Andra peut se prévaloir d'une maîtrise technique exceptionnelle.

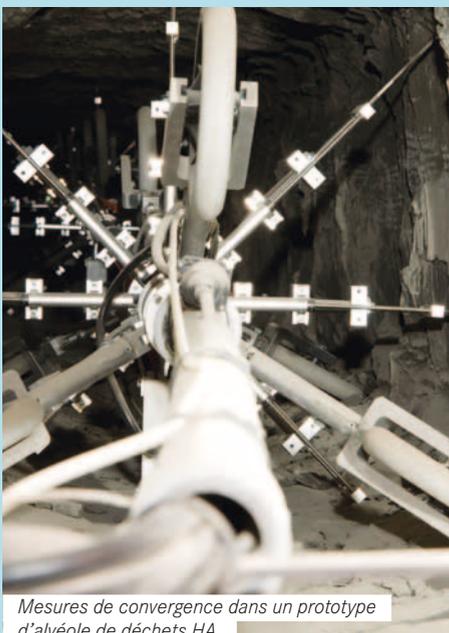
Y a-t-il des points à améliorer ?

Pour asseoir son statut d'acteur majeur de la recherche scientifique française dans ses disciplines de référence, elle doit cependant se rendre plus visible, notamment à l'international. Pour accompagner la phase industrielle de Cigéo, il lui faudra maintenir l'effort de recherche fondamentale afin d'assurer une maîtrise scientifique et technique sur les outils de mesure et de modélisation numérique, et intensifier ses recherches dans le domaine des sciences humaines et sociales.

* Bureau de recherches géologiques et minières.

** L'AERES est une autorité administrative indépendante mise en place en 2007, chargée d'évaluer les formations, les unités de recherche et les établissements d'enseignement supérieur et de recherche. L'évaluation de l'Andra a été menée du 28 au 30 mars 2012 par une commission composée de professeurs et de chercheurs d'organismes publics et privés.

LA R&D DE L'ANDRA C'EST PAR EXEMPLE :



Mesures de convergence dans un prototype d'alvéole de déchets HA.

- **15 forages** réalisés depuis la surface entre 2007 et 2008, pour 10,45 km
- Plus de **1 200 mètres de galeries creusées** dans le Laboratoire souterrain
- Plus de **10 organismes** ou établissements universitaires partenaires
- **8 groupements de laboratoire**
- Plus de **70 laboratoires académiques** associés
- Participation à **12 programmes européens** (VI^e et VII^e PCRD) depuis 2006
- **Membre actif de la Plate-forme technologique européenne IGD-TP** (Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technological Platform)
- **28 thèses** Andra soutenues depuis 2006
- **Entre 50 et 100 publications scientifiques** internationales par an depuis plus de 10 ans
- **5 colloques internationaux** organisés entre 2002 et 2012 « Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement ».



Le milieu géologique garant de la sûreté du stockage

DEPUIS LE MILIEU DES ANNÉES 1990, LES ÉTUDES ET RECHERCHES CONDUITES PAR L'ANDRA SUR LE MILIEU GÉOLOGIQUE ONT VISÉ À MIEUX CONNAÎTRE LES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES DIFFÉRENTES COUCHES DU SOUS-SOL ET LES PROPRIÉTÉS DES ROCHES QUI LES CONSTITUENT AFIN DE S'ASSURER DE LA CAPACITÉ DU SITE DE MEUSE / HAUTE-MARNE D'ACCUEILLIR UN STOCKAGE SOUTERRAIN.

Selon Patrick Lebon, directeur adjoint de la Recherche & Développement de l'Andra, « la géologie du Bassin parisien était déjà bien connue dans ses grandes structures. Le travail des géologues de l'Andra a donc été d'approfondir les recherches pour étudier les variations d'épaisseur des différentes couches géologiques, identifier les types de roches qui les constituent et vérifier leur homogénéité. »

Une connaissance de plus en plus fine de la géologie du site

La surface d'investigation, très large au départ (comprenant l'intégralité de la Meuse et une partie de la Haute-Marne) s'est progressivement focalisée sur une zone d'environ 1 000 km², puis 250 km² en 2005, puis 30 km² en 2009, après plusieurs campagnes d'auscultation du sous-sol. Ces travaux de reconnaissance ont confirmé la stabilité géologique du secteur (la région de Meuse/Haute-Marne est une zone de très faible sismicité) et l'absence de ressources naturelles exceptionnelles (minéral, nappes phréatiques, géothermie...). « Ils ont

abouti à l'élaboration d'un modèle conceptuel géologique, grâce auquel on sait précisément ce que l'on va trouver, à l'endroit où l'on pourrait creuser, ajoute Patrick Lebon. Nous avons ainsi une vision très détaillée de la géométrie en 3D des couches géologiques dans la zone concernée et pouvons garantir qu'elle n'est traversée par aucune faille pouvant avoir un impact sur la sûreté du stockage. »

Les propriétés de la roche argileuse et des couches adjacentes désormais bien connues

L'eau étant le principal vecteur de migration des éléments radioactifs, sa circulation au sein des différentes couches géologiques et notamment celle susceptible d'accueillir le stockage profond, a été particulièrement étudiée. « Grâce aux données accumulées à partir des échantillons prélevés lors des forages, puis, dès 2004, aux expérimentations réalisées dans le Laboratoire souterrain, nous avons désormais une connaissance approfondie des propriétés de confinement de la couche argileuse, de ses propriétés de transfert (mouvements de l'eau

et des éléments dissous dans l'eau, des gaz, de la chaleur) mais aussi de ses propriétés chimiques et mécaniques, qui joueront un rôle important lors de la construction et l'exploitation du stockage. »

Ces propriétés sont aujourd'hui bien comprises, de même que les contextes géographique, climatique et géologique qui les ont structurées depuis 145 millions d'années. « C'est le deuxième volet du modèle conceptuel géologique, qui nous permet d'expliquer les variations de propriétés que l'on peut observer d'un point à l'autre de la couche et de les prendre en compte dans la conception et l'évaluation de sûreté du stockage. »

Les écoulements dans les formations géologiques situées au-dessous et au-dessus de la couche argileuse ont également été évalués : l'eau s'y déplace de quelques mètres en un siècle au plus. « Le modèle hydrogéologique élaboré par l'Agence dans les années 1990 a bénéficié de l'évolution des outils de calcul et de nos connaissances, ajoute Patrick Lebon. Il nous permet désormais de visualiser précisément et en 3D la circulation de l'eau dans l'ensemble du système géologique. »



UN BOUCHON DE BENTONITE POUR SCELLER LES OUVRAGES DE STOCKAGE

Une fois rempli, Cigéo est destiné *in fine* à être fermé. C'est pourquoi l'Andra réalise différents tests de scellement avec de la bentonite, un type d'argile qui a la faculté de gonfler au contact avec l'eau tout en conservant une très faible perméabilité.

En gonflant, la bentonite va occuper les vides laissés, puis appliquer une pression sur la paroi de la galerie. Une expérimentation a été montée afin d'étudier l'impact de cette pression sur les fissures apparues au voisinage de la paroi lors du creusement. L'effet du gonflement de la bentonite a d'abord été simulé à l'aide d'un énorme vérin hydraulique qui appuie sur la paroi. Un premier chargement a été fait sans présence d'eau, il a provoqué une fermeture des fissures et une diminution importante de la perméabilité de la roche. Puis de l'eau a été injectée dans les fissures sous la plaque du vérin, sans appliquer de pression. Les chercheurs ont alors constaté que l'écoulement d'eau diminuait au cours du temps. Un phénomène lié au gonflement des particules argileuses de la roche, qui ont tendance à boucher les fissures existantes.

LES CLÉS POUR COMPRENDRE

Une couche âgée d'environ 160 millions d'années!

Le Callovo-Oxfordien est une couche de roche argileuse âgée d'environ 160 millions d'années. Au niveau du site de Meuse/Haute-Marne, cette couche est épaisse de 130 à 160 m. Située à une profondeur d'environ 500 m, elle présente l'avantage d'être relativement plane, ce qui est de nature à faciliter la construction et l'exploitation des installations souterraines. C'est une roche dont la perméabilité est très faible – l'eau parcourt quelques centimètres dans la roche en 10 000 ans – et qui présente de fortes capacités de rétention des éléments chimiques. Ces deux propriétés permettent de retarder et de limiter le déplacement des radionucléides contenus dans les déchets. Pour s'assurer de la représentativité des paramètres qui permettent de décrire le comportement des éléments chimiques dans le milieu géologique, l'Andra a réalisé des expériences à des échelles allant du cm à la dizaine de mètres.



Forage pour l'approfondissement des études géologiques jusqu'au trias à -2000 mètres.

L'impact du stockage sur le milieu géologique à l'étude

L'Andra a dû s'assurer que les perturbations créées par la construction et l'exploitation du stockage resteront faibles et, dans tous les cas, qu'elles ne modifieront pas les propriétés de confinement de la roche. Pour cela, de nombreuses expérimentations ont été conduites ou sont en cours dans le Laboratoire souterrain de l'Andra.

Entre autres, certaines portent sur le soutènement des galeries. Elles s'attachent à prévoir la déformation du terrain durant toute l'exploitation du stockage, à comprendre les évolutions de la perméabilité de la roche autour de la zone creusée et à voir comment les microfractures générées par le creusement vont se colmater dans le temps.

D'autres s'intéressent aux conséquences de l'apport de matériaux (ciment ou acier) pouvant avoir des interactions chimiques avec la roche, ou encore à l'effet de l'introduction de matières radioactives parfois chaudes sur l'argile.

Enfin, la ventilation des installations souterraines, nécessaire pendant l'exploitation du stockage, provoque une évaporation de l'eau contenue dans la roche autour des galeries. Des mesures permettent d'évaluer comment ces zones se comporteront après la fermeture du stockage et comment l'eau va revenir dans les pores de la roche.

AVIS D'EXPERT

Michel Cathelineau,

directeur de recherche au Centre national de recherche scientifique (CNRS) et responsable de l'équipe Interactions fluides-roches au laboratoire Géologie et Gestion des ressources minérales et énergétiques (UMR G2R) de l'université de Lorraine à Nancy.

« Le Laboratoire de l'Andra : un pont entre la nature et nos laboratoires »



Nous travaillons avec l'Andra depuis les années 1990. Nous avons notamment participé à plusieurs études sur différents sites dans l'optique de trouver

celui qui offrirait les meilleures caractéristiques géologiques. L'expertise de l'université de Lorraine en matière de connaissance des argiles est reconnue et confortée par la collaboration avec les équipes de l'Andra, qui nous donne accès à des moyens importants et uniques, comme le forage à 2 000 m de profondeur ou le Laboratoire souterrain. Cela nous conduit à faire des découvertes passionnantes, par exemple sur les interactions fluides-roches du passé liées à l'enfouissement des sédiments et sur les produits se formant au contact fer-argilite du point de vue expérimental. Le Laboratoire de Bure est, en quelque sorte, un pont entre la nature et nos propres laboratoires! Cela nous permet d'avancer sur des questions de recherche fondamentale: les transformations minéralogiques et la stabilité des phases argileuses, la compréhension intime des propriétés de l'argile, et ceci de l'échelle kilométrique à l'échelle nanométrique. Les problématiques posées par l'Andra nous conduisent à des questions en amont et forcent à la stimulation intellectuelle.



Le comportement des déchets étudié à la loupe

LES ÉTUDES SUR LES DÉCHETS EUX-MÊMES RELÈVENT PRINCIPALEMENT DES PRODUCTEURS. TOUT CE QUI CONCERNE LEUR COMPORTEMENT AU SEIN DU STOCKAGE EST EN REVANCHE DU RESSORT DE L'ANDRA.

Plusieurs types de déchets pourraient être stockés dans Cigéo : ceux de haute activité (déchets vitrifiés) et ceux de moyenne activité à vie longue (déchets métalliques, organiques et bitumes). « Jusqu'en 2005, nous nous étions essentiellement focalisés sur le relâchement des radionucléides contenus dans ces différents types de déchets : sous quelle forme sont-ils relâchés ? En quelle quantité ? À quelle vitesse ? explique Stéphan Schumacher, responsable du service Colis et Matériaux à la direction Recherche & Développement à l'Andra. Depuis 2005, nous avons approfondi nos connaissances sur ce sujet et élargi les recherches aux gaz et aux éléments chimiques libérés par les déchets et susceptibles d'accélérer

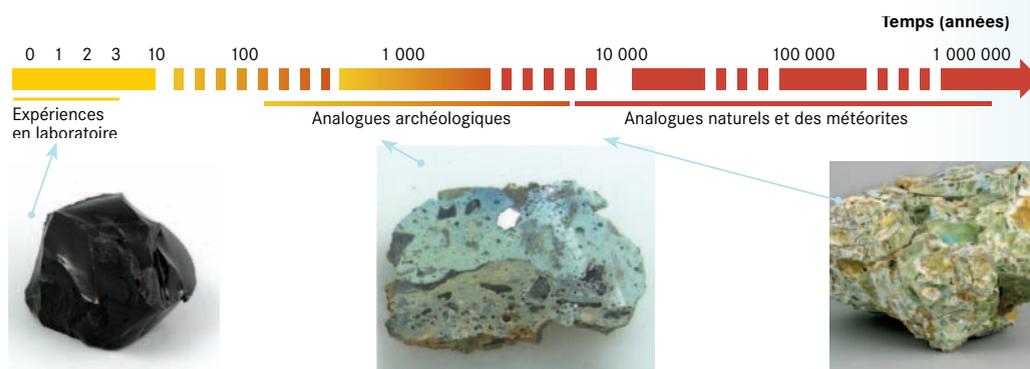
la migration des radionucléides, ainsi qu'aux interactions entre les déchets et les matériaux du stockage. » Objectif : avoir une idée encore plus précise du comportement des déchets dans les conditions réelles du stockage, pour mieux le modéliser.

Déchets vitrifiés : une altération du verre sur le très long terme

Plusieurs centaines ou milliers d'années après la fermeture du stockage, lorsque les ouvrages humains se seront dégradés, les déchets stockés dans Cigéo seront inévitablement au contact de l'eau. C'est la raison pour laquelle il est indispensable d'étudier les processus d'altération des déchets et notamment des déchets vitrifiés qui ont fait l'objet d'importantes

recherches conduites par l'Andra sur leur comportement à long terme en conditions de stockage. « Après avoir établi en 2005 un premier modèle d'altération du verre dans de l'eau pure, nous étudions ce phénomène dans de l'eau argileuse, plus conforme à la réalité du stockage. Nous nous intéressons aussi à l'altération du verre par la vapeur d'eau, pendant la période où une partie du verre est non immergée, ainsi qu'à l'impact de la corrosion des conteneurs métalliques sur la matrice vitrifiée. » Ces sujets de recherche fondamentale requièrent la mise en œuvre d'expérimentations dédiées et de modélisations sophistiquées réalisées notamment avec le CEA.

L'Andra s'intéresse également aux combustibles usés. « Ces derniers ne sont actuellement pas considérés pour Cigéo, dans le cadre de la politique française de traitement, précise Stéphan Schumacher. Pour autant, nous étudions les modalités de relâchement des radionucléides qu'ils contiennent, s'ils étaient amenés à être stockés dans Cigéo. »



Déchets métalliques et organiques : corrosion, relâchements gazeux et gonflement

Pour les colis de déchets métalliques, c'est la vitesse de corrosion qui conditionne le relâchement des radionucléides. Des expérimentations sont en cours avec EDF pour mesurer les vitesses de corrosion de différentes nuances d'alliages utilisées dans les réacteurs. La corrosion de ces déchets entraîne également une production d'hydrogène, que l'Andra quantifie. Les relâchements de gaz et de molécules organiques par les déchets organiques sont aussi l'objet de programmes de recherches avec le CEA et Areva, visant à caractériser et à quantifier les espèces libérées et évaluer leur migration.

Enfin, dans le cas des boues bitumées, c'est essentiellement le phénomène de gonflement, dû à la production d'hydrogène et à la reprise d'eau, qui est étudié. « Tous ces phénomènes ne remettent pas en cause la sûreté à long terme du stockage, qui repose essentiellement sur la géologie du site, conclut Stéphan Schumacher. Mais leur compréhension est nécessaire pour affiner les données d'entrée de la phase de conception industrielle de Cigéo et répondre à toutes les questions. »

DES VERRES VIEUX DE PLUS DE 1 000 ANS

Pour prédire le comportement sur plusieurs centaines de milliers d'années des verres utilisés pour le conditionnement des déchets de haute activité, il faut comprendre leurs mécanismes d'altération afin de bâtir des modèles. Ces derniers pourront ensuite être validés par des expériences sur des durées plus courtes (de quelques années à une vingtaine d'années), réalisables en laboratoire ou au sein du Laboratoire souterrain. Outre l'expérimentation, la validation passe également par l'étude d'analogues archéologiques ou naturels : blocs de verre issus d'épaves datant de l'antiquité, verres basaltiques, ou encore les laitiers de haut-fourneau du XVI^e siècle constituant un analogue du système « verre/métal/argile » soumis à une altération par l'eau. Bien que la composition chimique et les conditions d'altération de ces verres ne soient pas strictement identiques à celles des verres utilisés pour les déchets, leur étude permet de tester la robustesse des modèles proposés et de progresser dans la compréhension des mécanismes d'altération.



Didier Crusset, adjoint du chef de service Colis et Matériaux et responsable du groupement de laboratoires Verre/Fer/Argile à la direction R&D de l'Andra

Matériaux et interactions : vers une compréhension globale des processus

OUTRE LE MILIEU GÉOLOGIQUE ET LES COLIS DE DÉCHETS, L'ANDRA ÉTUDIE LE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LE STOCKAGE ET LEURS INTERACTIONS AVEC LA ROCHE ENVIRONNANTE ET AVEC LES DÉCHETS. ELLE S'APPUIE POUR CELA SUR DES GROUPEMENTS DE LABORATOIRES PLURIDISCIPLINAIRES AFIN DE COMPRENDRE LES PROCESSUS DANS LEUR GLOBALITÉ.

Outre les argiles, deux grandes familles de matériaux seront utilisées dans Cigéo : les métaux (essentiellement les aciers) sont considérés pour le conditionnement des déchets de haute activité (HA) et le soutènement des alvéoles dans lesquelles ils seraient stockés. Les matériaux cimentaires constituent les colis et les structures des alvéoles de stockage des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL). Ils composent également le soutènement des galeries et entrent dans la construction des systèmes de scellement.

Ces deux types de matériaux seront directement en contact avec les déchets et la couche argileuse.

Une approche pluridisciplinaire

« Jusqu'en 2005, les thématiques liées à ces différents matériaux – comportement de l'argile, corrosion des aciers, altération des bétons – étaient étudiées indépendamment, via des groupements de laboratoires constitués autour de chacune de ces disciplines, explique Didier Crusset, adjoint du chef de service Colis et Matériaux et responsable du groupement de laboratoires Verre/Fer/Argile.

« Depuis 2006, nous avons opté pour une approche pluridisciplinaire qui consiste à amener des laboratoires reconnus dans leurs domaines d'expertise respectifs à bâtir en commun des programmes de recherche qui prennent en compte l'ensemble des interactions entre les matériaux. L'objectif est d'intégrer les connaissances acquises dans chacune des disciplines concernées pour avoir une compréhension globale des processus et être plus proche de la réalité du stockage où ces différents éléments interagiront entre eux. »

C'est notamment l'objet du groupement « Verre/Fer/Argile » qui étudie l'altération et les interactions entre les déchets vitrifiés, les aciers et l'argilite ou de celui consacré à l'« Évolution des Structures Cimentaires » qui s'intéresse au comportement

chimique et mécanique des matériaux cimentaires et à leurs interactions avec l'argile et les déchets.

Modéliser l'évolution du stockage

L'Andra étudie la façon dont ces interactions vont évoluer dans le temps. « Ici encore, nous multiplions les angles d'approche pour avoir une connaissance la plus complète possible du phénomène étudié, ajoute Didier Crusset. La compréhension des processus de corrosion des métaux et les modèles qui en résultent témoignent de cette démarche. Fruits de multiples expérimentations (dont celles en laboratoire souterrain) sur la corrosion généralisée, la corrosion localisée (piqûres) ou encore la corrosion sous contrainte, ils s'appuient aussi sur l'étude d'analogues archéologiques (cf. encadré). Ces différentes approches permettent de mieux comprendre la façon dont les métaux se corrodent sur le très long terme. » Ces résultats sont pris en compte dans le projet Cigéo pour affiner les spécifications concernant le choix des types d'aciers et le dimensionnement des conteneurs de stockage et l'habillage des alvéoles (chemisage). Ils apportent également des précisions sur les niveaux d'incertitudes, qui seront ensuite intégrés dans les choix de sûreté et l'optimisation du stockage.



L'APPORT DES ANALOGUES ARCHÉOLOGIQUES

Les études d'objets archéologiques en fer, matériau proche de l'acier qui serait utilisé pour Cigéo, et prélevés dans des conditions proches de celles du stockage (milieu argileux pauvre en oxygène) donnent des informations

précieuses sur la façon dont les métaux se corroderont sur le long terme. Ces objets datant de plusieurs centaines d'années (épées, clous, lingots...) ont été soumis à la corrosion sur des durées comparables à la durée de vie des matériaux métalliques utilisés dans le stockage. Les analyses approfondies réalisées sur certains d'entre eux permettent de mettre en évidence des conditions où les vitesses de corrosion sont limitées pendant des durées parfois millénaires et renseignent sur les conditions de formation des couches de produits de corrosion, leur nature chimique, structurale et morphologique ainsi que leur évolution.

AVIS D'EXPERT

Damien Féron,

directeur de recherche au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et membre du groupement de laboratoires « Verre/Fer/Argile »

« Réunir les compétences, avant d'intégrer les résultats »



Depuis cinq ans, le groupement de laboratoires Verre/Fer/Argile réuni autour de l'Andra, le CEA, le CNRS, EDF, l'université de Nancy, le Centre français de l'anti-corrosion (CEFRACOR),

plusieurs experts indépendants ainsi que tous les laboratoires qui participent aux études. L'objectif est double : tout d'abord, mettre en commun les résultats et permettre une multidisciplinarité. En effet, si chacun est spécialiste dans son domaine, le partage d'informations enrichit tout le monde ! L'assemblage verre/fer/argile n'est pas courant. Afin d'étudier son évolution, il était nécessaire de réunir toutes les compétences pour parvenir à une compréhension globale des phénomènes qui seront observés dans le stockage profond. Le second objectif est l'intégration des résultats et des connaissances. Le Laboratoire souterrain nous permet de prolonger « in situ » les expérimentations faites en laboratoire « de jour ». La force de notre groupement est d'avoir réussi cette double intégration des experts et de leurs travaux. Et, grâce aux avancées obtenues, les résultats ont aujourd'hui un impact plus large, auprès des archéologues par exemple !

« Appréhender le comportement du stockage dans sa globalité »

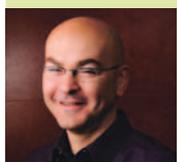
L'INTÉGRATION DE TOUTES LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ACQUISES EST ESSENTIELLE POUR APPRÉHENDER LE SYSTÈME COMPLEXE QUE SERA CIGÉO ET ÉTUDIER SON COMPORTEMENT. LES EXPLICATIONS DE **FRÉDÉRIC PLAS**, ADJOINT AU DIRECTEUR R&D ET COORDINATEUR DU PROGRAMME DE SIMULATION À L'ANDRA.

AVIS D'EXPERT

Pascal Guitton,

directeur de la recherche de l'Institut national de recherche en informatique et automatique (INRIA) et professeur à l'université Bordeaux 1

« Observer l'avenir grâce à la modélisation et la simulation numérique »



L'Andra travaille avec des équipes de l'INRIA depuis déjà plusieurs années et le partenariat signé en 2009 a permis d'étendre nos relations. L'analyse de

processus complexes sur des échelles de temps et d'espace très larges représente un enjeu très important face auquel nous avons souhaité impliquer nos équipes de recherche aux côtés des experts de l'Andra. L'objectif est de pouvoir aborder par la modélisation (décrire les phénomènes) et la simulation numérique (résoudre les équations dérivant de ces modèles) des sujets comme l'évolution des matières, l'interaction entre les matériaux et la géologie, l'impact des aménagements, etc. Pouvoir appliquer nos recherches à des problématiques concrètes et porteuses de véritables enjeux pour l'avenir est une de nos priorités stratégiques; participer à l'avancement de projets comme ceux de l'Andra est donc très stimulant et très enrichissant pour nous.

Comment intégrer l'ensemble des connaissances acquises ?

Au fil des années, l'Andra a acquis des connaissances sur le milieu géologique, les déchets et les matériaux du stockage. Cet ensemble constitue un terreau qu'il faut agréger. C'est tout l'objet du processus d'intégration, qui vise à rassembler toutes ces connaissances, à les structurer, à les rentrer dans la logique de l'objet « stockage », pour étudier le comportement de cet « objet » dans sa globalité. C'est un peu comme un puzzle: ce n'est que quand on a rassemblé toutes les pièces que l'image apparaît dans son ensemble et que celle-ci prend un sens.

Quel est le rôle de la simulation dans cette démarche ?

La simulation permet de se projeter dans des échelles de temps et d'espace inaccessibles par l'expérimentation et d'appréhender des processus complexes, qui font intervenir un grand nombre de paramètres. Elle est un outil puissant d'intégration au service d'un objectif, qui consiste à décrire le plus finement possible l'évolution dans le temps de l'état du stockage et du milieu géologique environnant, sur les plans thermique (quelle sera la température dans et autour des alvéoles de déchets exothermiques?), hydraulique (présence et circulation d'eau: où, dans combien de temps, à quelle vitesse?), chimique (quelle sera la dégradation chimique des colis dans le temps? Quel sera le relâchement des radionucléides et à quelle distance migreront les radionucléides relâchés) et mécanique (quelle sera la tenue des ouvrages du stockage dans le temps?). La simulation permet en outre d'identifier, parmi les processus en jeu, ceux qui sont dominants et ceux qui sont secondaires et de mesurer le poids des

incertitudes. Autant d'informations nécessaires pour les études de sûreté, le dimensionnement et l'optimisation du stockage. Enfin, elle nous donne des clés de lecture pour la gestion réversible du stockage ainsi que sa surveillance (savoir ce que l'on va trouver dans les alvéoles, quel sera l'état des colis si on doit retourner les chercher, qu'est-ce que l'on doit observer, où, pendant combien de temps).

Et celui de l'expérimentation ?

Pour reprendre l'analogie du puzzle, le fait de tout assembler permet de repérer les pièces manquantes. De la même manière, l'intégration permet d'identifier les points qui ont besoin d'être approfondis. Il faut alors revenir vers l'acquisition de connaissances en montant des expérimentations dans le Laboratoire souterrain ou en surface qui permettront de répondre aux questions précises que l'on se pose. Ces allers-retours continus entre la connaissance élémentaire de chaque processus et la compréhension du tout sont essentiels pour appréhender la réalité du stockage dans toute sa complexité. Ces dernières années, l'Andra a développé de plus en plus de démonstrateurs dans le Laboratoire souterrain. L'objectif est de comparer les résultats obtenus avec les simulations avec ceux observés grâce à l'expérimentation et de s'assurer que les prévisions du modèle sont cohérentes avec ce que l'on observe. On démontre ainsi la crédibilité de la simulation sur des échelles de temps beaucoup plus grandes.



La simulation numérique, support indispensable aux expérimentations

EN RAISON DES ÉCHELLES DE TEMPS CONSIDÉRÉES, DE LA COMPLEXITÉ DES PHÉNOMÈNES ÉTUDIÉS ET DU GRAND NOMBRE DE COMPOSANTS À PRENDRE EN COMPTE, LA SIMULATION NUMÉRIQUE EST INDISPENSABLE POUR RÉPONDRE AUX QUESTIONNEMENTS SCIENTIFIQUES REQUIS PAR LE STOCKAGE.

La simulation numérique permet de décrire, d'expliquer ou de prévoir des phénomènes qui existent ou existeront. C'est souvent le seul moyen d'obtenir des résultats inaccessibles par l'expérience du fait de la complexité et de l'interaction des phénomènes à étudier ou des grandes échelles de temps et d'espace sur lesquelles ils se déroulent.

Simuler, mais comment ?

Pour représenter les phénomènes que l'on veut étudier, on utilise des modèles physiques et mathématiques qui sont alimentés par des données acquises sur le terrain, en laboratoire et dans la littérature scientifique. Ces derniers servent à mener des expériences virtuelles qui, en temps réel, se dérouleraient sur des milliers voire des millions d'années, ou à analyser des processus qui intéressent de très grands volumes de roche ou des territoires très étendus.

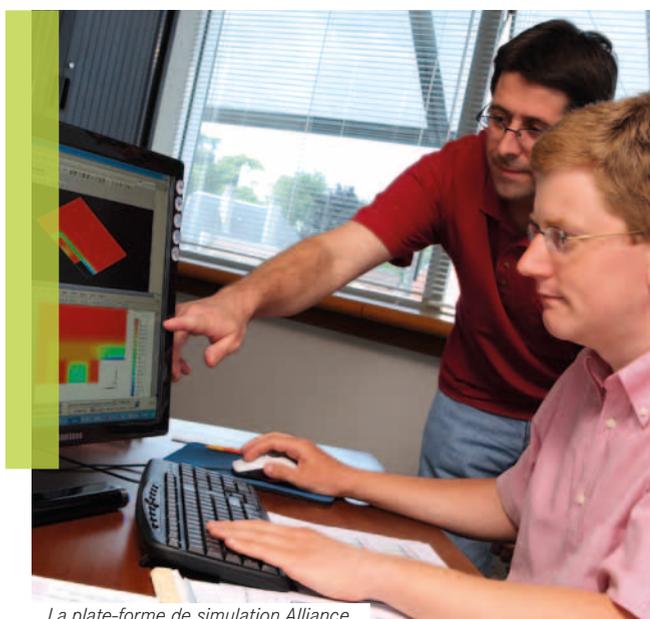
La simulation permet aussi de prendre en compte la multiplicité des composants qui entrent dans la conception du stockage : les déchets, les matériaux de construction et de conditionnement mais aussi le milieu naturel. Grâce aux outils qu'elle a développés (cf. encadré), l'Andra peut étudier toutes sortes de phénomènes liés, par exemple, à la chaleur, au déplacement de l'eau ou aux échanges chimiques et analyser comment ces composants se comportent aujourd'hui et comment ils évolueront dans le futur. La simulation constitue dans ce cadre une aide à la décision pour la conception et la gestion progressive du stockage dans lequel des personnes seront amenées à travailler en toute sécurité. Elle permet d'anticiper ce qui arrivera pendant la phase d'exploitation du stockage, c'est-à-dire tant qu'on y apportera des colis, et également après sa fermeture.

Traiter les incertitudes

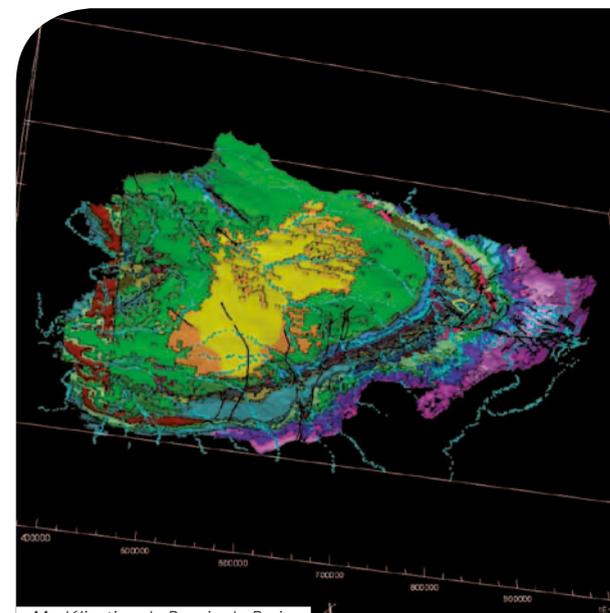
Les incertitudes que l'Andra doit analyser et prendre en compte dans la conception de son stockage sont de deux ordres. Les premières sont liées

aux limites de la précision des mesures relevées sur le terrain ou issues d'expérimentations en laboratoire. Par exemple, lorsque des capteurs sont placés dans une couche géologique, ils sont positionnés en des points stratégiques pour avoir la mesure la plus représentative possible de tous les composants de la roche. Si, entre deux points, on considère que les valeurs relevées ne changent pas, ceci constitue une incertitude. Tout l'enjeu de la démarche que l'Andra mène en partenariat avec l'INRIA (lire encadré ci-contre) est alors de savoir quelle est son incidence sur les résultats. Aujourd'hui, les incertitudes sont quantifiées et les paramètres sur lesquels elles risquent d'influer sont identifiables. Grâce à l'expérimentation et à l'amélioration de la sensibilité des capteurs, ces imperfections sont corrigées avant de lancer une nouvelle simulation.

Les secondes consistent à traiter des questions du type « et si ceci ou cela arrivait ? » L'Andra a ainsi simulé une dizaine de situations ou d'événements qui ont été envisagés à tous les stades de la vie du stockage : des catastrophes naturelles de type séisme ou inondation, mais aussi des accidents tels qu'un forage, un scellement ou un colis défaillant... La simulation constitue dans ce cadre un outil indispensable pour évaluer la sûreté du stockage.



La plate-forme de simulation Alliance.



Modélisation du Bassin de Paris.

LES OUTILS DE CALCUL NUMÉRIQUES DÉVELOPPÉS PAR L'ANDRA

L'Andra a mis en œuvre un plan de développement d'outils numériques (méthodes, codes et machines) pour répondre aux besoins des programmes de simulation. Si une partie de ces travaux est confiée à des organismes extérieurs, l'agence a développé, depuis plus de douze ans, ses propres compétences en simulation numérique. Cette maîtrise des outils de calcul est nécessaire pour garantir l'indépendance de l'Agence dans un de ses cœurs de métiers qui est l'évaluation de la sûreté à long terme. Les capacités des outils existants ont donc été renforcées et de nouveaux outils ont été développés (plate-forme Cassandra) ou acquis en collaboration avec d'autres organismes (mise en commun de moyens de calcul avec le CNRS et l'INRIA). Pour résoudre certains problèmes particulièrement complexes, l'Agence fait par ailleurs appel aux performances du GENCI (Grand équipement national de calcul intensif).

Un laboratoire souterrain pour aller au plus près de **la réalité du stockage**

CONSTRUIT À PARTIR DE 2000, LE LABORATOIRE SOUTERRAIN DE L'ANDRA EN MEUSE / HAUTE-MARNE, CONSTITUE UN OUTIL UNIQUE POUR CONDUIRE LES EXPÉRIMENTATIONS SCIENTIFIQUES ET LES ESSAIS TECHNIQUES NÉCESSAIRES AU PROJET CIGÉO.

Suite à la loi de 1991, l'Andra a mené un ensemble de travaux conduisant à localiser son Laboratoire souterrain en Meuse / Haute-Marne. Autorisée en 1998, sa construction a démarré en 2000. Deux puits permettent d'accéder à un réseau de plus de 1 km de galeries, situé principalement à 490 m de profondeur.

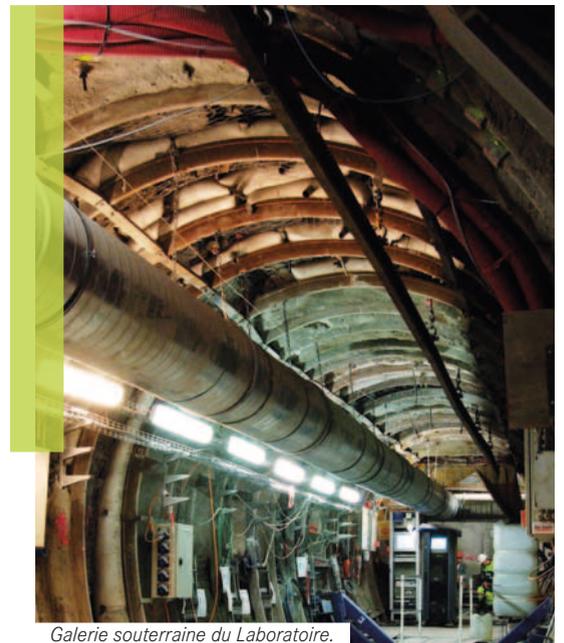
Des essais au cœur de la roche

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 comportement du 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 y étudient les réactions de la roche aux perturbations que provoquera le stockage, notamment son creusement ou son échauffement, et caractérisent le comportement des matériaux dont on prévoit l'utilisation dans le stockage (ciment, argile, acier). Parallèlement, des essais techniques sont réalisés

afin de tester des méthodes pour le creusement, la construction et la fermeture d'alvéoles de stockage. Enfin, les galeries du Laboratoire souterrain servent également à tester des dispositifs (capteurs, par exemple) qui pourraient être utilisés pour observer et suivre l'évolution du stockage lors de son exploitation.

Autorisation d'exploitation prolongée

Accordée dans un premier temps jusqu'en 2011, l'autorisation d'exploiter le Laboratoire a été prolongée jusqu'en 2030. Ce délai permettra d'approfondir les connaissances sur les phénomènes à cinétique lente qui se produiront au sein du stockage, de préparer sa construction et sa mise en service. Le Laboratoire souterrain accompagnera ainsi Cigéo au moins jusqu'à sa phase de démarrage (2025 - 2030) et pourra aussi contribuer à la formation du personnel.



Galerie souterraine du Laboratoire.

LES CHIFFRES CLÉS DU LABORATOIRE

- Plus de **40** expérimentations mises en place dans les différentes galeries du Laboratoire.
- **220** forages réalisés.
- Près de **3 000** points de mesure installés dans la formation argileuse (capteurs de pression, déformation, débit, températures...).
- **40 000** échantillons de roche prélevés.



Vue aérienne du Laboratoire souterrain de l'Andra.

SOMET : UNE INFRASTRUCTURE NATIONALE DE RECHERCHE

Les équipements scientifiques concentrés sur le site de Meuse/Haute-Marne (Laboratoire souterrain, Observatoire pérenne de l'environnement, Écothèque) constituent la Structure pour l'observation et la mémoire de l'environnement et de la Terre (SOMET), récemment labellisée Infrastructure nationale de recherche. SOMET a une vocation de recherche et d'enseignement et devrait à terme accueillir le Centre de la mémoire porté par l'Andra et la Géothèque nationale portée par le BRGM.

L'environnement autour de Cigéo surveillé pendant au moins 100 ans

MIS EN PLACE PAR L'ANDRA DÈS 2007, L'OBSERVATOIRE PÉRENNE DE L'ENVIRONNEMENT VISE À DÉCRIRE PRÉCISÉMENT L'ENVIRONNEMENT DU FUTUR STOCKAGE AVANT SA CONSTRUCTION ET PENDANT TOUTE SA DURÉE D'EXPLOITATION.

L'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) regroupe un ensemble de dispositifs d'observation, d'expérimentation et de conservation de l'environnement, dont un grand nombre s'inscrit dans des réseaux nationaux et internationaux.

Un outil unique en France

L'originalité de l'OPE réside d'abord dans sa durée : au moins cent ans, sans compter les dix ans d'observation pour bâtir un état initial de référence avant la construction du centre. Exceptionnel, l'OPE l'est aussi par la surface étudiée : une zone de 900 km² à cheval entre la Meuse et la Haute-Marne, au sein de laquelle un secteur de référence de 250 km² autour de la zone où pourrait être implanté Cigéo a été défini pour des études plus détaillées. L'OPE permet non seulement d'observer les différents compartiments de l'environnement (eau, sol, air, biodiversité) des différents écosystèmes étudiés (forêt, prairie, cultures, systèmes aquatiques) mais aussi d'évaluer leurs interactions et les échanges de matière et d'énergie qui s'y déroulent. Toutes ces informations sont intégrées dans une base de données couplée à un système d'information géographique. Les échantillons prélevés seront conservés dans une écothèque, véritable bibliothèque du vivant qui sera opérationnelle en 2013.

D'importants moyens d'observation et d'expérimentation

Pour assurer ce suivi hors norme, un ensemble complet de stations de mesure a été déployé. En forêt d'abord, avec la mise en place d'une tour à flux et de trois placettes expérimentales pour mesurer les échanges d'éléments entre l'atmosphère, la végétation et le sol. Deux stations étudient ces mêmes échanges dans les prairies agricoles. Une station atmosphérique dotée de capteurs météorologiques et de préleveurs d'airs mesure en continu la qualité de l'air et les gaz à effet de serre. Elle fait partie du réseau mondial qui analyse ces phénomènes atmosphériques. Le suivi des eaux et du milieu aquatique est réalisé en lien avec l'agence de bassin, à

l'aide de 16 stations de prélèvement, dont cinq sont équipés de sondes et de capteurs permettant de surveiller en continu la qualité des eaux. Enfin, pas moins de 2 000 points d'observation ont été définis pour le suivi et l'inventaire de la faune et de la flore. Au total, plus de 85 000 données sont ainsi récoltées chaque année. Des images satellites et aériennes viennent compléter le dispositif.

Un nœud de réseaux

Au-delà de ses objectifs liés à la surveillance environnementale du futur centre Cigéo, l'Andra a souhaité mettre ses moyens d'observation, qui ont pour la plupart bénéficié d'un soutien du Grenelle de l'environnement, à la disposition de la communauté scientifique. L'objectif est de pouvoir partager les données obtenues et les comparer avec celles observées à plus grande échelle. Les programmes de recherche développés dans le cadre de l'OPE sont donc menés en collaboration avec de nombreux partenaires (Institut national de la recherche agronomique (INRA), Muséum national d'histoire naturelle, Centre national de la recherche scientifique (CRNS)...). L'OPE fait aujourd'hui partie d'une dizaine de réseaux nationaux et européens de suivi de l'environnement et 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).



Station de suivi de la forêt de Montiers-sur-Saulx.

La communauté scientifique mobilisée

PARALLÈLEMENT À LA MAÎTRISE DES TROIS OUTILS SPÉCIFIQUES QUE SONT LE LABORATOIRE SOUTERRAIN, L'OBSERVATOIRE PÉRENNE DE L'ENVIRONNEMENT ET LES MOYENS DE SIMULATION NUMÉRIQUE, L'ANDRA A TISSÉ DEPUIS 20 ANS DES LIENS ÉTROITS AVEC LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE, NOTAMMENT DANS LE CADRE DE PARTENARIATS DURABLES.

Si l'Andra fait ainsi régulièrement appel à des laboratoires, bureaux d'études ou organismes spécialisés pour réaliser des prestations en réponse à des besoins ponctuels, c'est avant tout au travail de la mise en place de partenariats avec une douzaine d'organismes de recherche (BRGM, CEA, CNRS, INRA...) et d'institutions d'enseignement supérieur (Université de Lorraine, Université de technologie de Troyes, Écoles de Mines) qu'elle organise avec efficacité les recherches à conduire en rapport au projet Cigéo. Le but de ces partenariats est de partager, sur plusieurs années, des recherches sur des sujets communs.

Pour répondre aux questions nécessitant une forte interdisciplinarité et/ou des moyens techniques et scientifiques complémentaires, elle est aussi à l'initiative de groupements de laboratoires associant des organismes de recherche et des établissements universitaires et industriels français et étrangers. Ces groupements sont organisés autour de huit grandes thématiques : données thermodynamiques, transfert des radionucléides, Verre/Fer/Argile, transfert des gaz, géo-mécanique, évolution des structures cimentaires, moyens et stratégies d'auscultation et transmission intergénérationnelle et longues échelles de temps. Ils ont été évalués très positivement lors de la récente évaluation de l'AERES.

Enfin, elle participe à différents programmes européens, en tant que pilote ou membre actif. Ces participations lui permettent d'enrichir son savoir-faire et son expérience.

Une recherche ouverte sur l'international

DEPUIS LE DÉBUT, LA RECHERCHE MENÉE PAR L'ANDRA AUTOUR DU STOCKAGE PROFOND SE NOURRIT DE NOMBREUSES COLLABORATIONS AVEC LA COMMUNAUTÉ INTERNATIONALE ET RÉCIPROQUEMENT. UN PARTAGE DES CONNAISSANCES ESSENTIEL POUR PERMETTRE À TOUS LES PAYS DE PROGRESSER ENSEMBLE SUR CE SUJET COMPLEXE.

Partager les expériences avec les autres laboratoires souterrains

Depuis sa création, l'Andra participe à des expérimentations dans plusieurs laboratoires étrangers tels Mol en Belgique, Aspö en Suède, Mont-Terri et Grimsel en Suisse, ou encore URL au Canada. Ces collaborations ont débouché sur la mise au point de techniques et d'instrumentations dans les différents milieux géologiques étudiés, qui ont pu être mises en œuvre directement dans le Laboratoire souterrain de Meuse / Haute-Marne. Un retour d'expérience qui a permis à la France de gagner de nombreuses années et de figurer parmi les premiers pays qui déposeront une demande d'autorisation de création de stockage.

L'Agence n'hésite pas non plus à ouvrir les portes de son Laboratoire souterrain à ses homologues étrangers : mesures avec des capteurs sans fils avec les japonais de RWMC, caractérisation de la zone endommagée par le creusement avec les allemands du BGR, transmission de l'organisation pour la réalisation des programmes expérimentaux avec les indiens du BARK et bientôt avec les chinois...

Enfin, en tant que membre du Réseau international des laboratoires souterrains créé par l'AIEA, elle

échange régulièrement avec les autres pays appartenant à ce réseau et organise des ateliers à l'attention de ceux qui souhaitent mettre en place un stockage géologique pour leurs déchets radioactifs.

Contribuer à la programmation de la recherche au niveau européen

L'Agence participe activement à la plate-forme technologique européenne IGD-TP (Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technological Platform). Créée en 2009, cette plate-forme regroupe une cinquantaine d'organismes de 14 pays européens. Sa mission : conseiller la commission européenne sur l'orientation des recherches à mener en matière de stockage géologique. L'Andra, qui l'a présidée jusqu'en janvier 2012, en assure désormais le secrétariat. En 2011, la plate-forme a notamment élaboré un agenda stratégique de recherche qui identifie les grandes priorités de la recherche pour les quinze prochaines années, assorti d'un plan de déploiement.

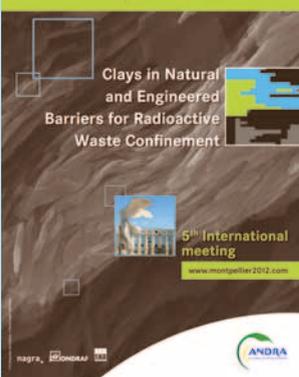
Depuis 2006, l'Andra a par ailleurs participé à une douzaine de programmes européens de recherche, assurant plus spécifiquement le pilotage de trois d'entre eux : BIOCLIM, consacré à l'étude de l'évolution de la biosphère au cours du temps, ESDRED,

dans le domaine des démonstrateurs technologiques et MoDeRn, sur les méthodes et techniques de surveillance du stockage géologique. Le dernier programme en date (DOPAS) concerne la réalisation, à l'échelle 1, d'ouvrages de fermeture de stockages.

Participer à l'organisation de la R&D au niveau international

Au-delà de l'Europe, l'Andra contribue à des réflexions communes sur des sujets jugés importants au sein des grandes instances internationales comme l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) et l'Agence internationale à l'énergie atomique (AIEA). On peut notamment citer l'exemple du Clay club, créé 1990 par l'AEN pour examiner les propriétés des roches argileuses susceptibles d'accueillir des stockages géologiques. Composé de 16 membres de 9 pays différents et présidé par le directeur scientifique de l'Andra depuis 2008, ce dernier a déjà une quinzaine de rapports à son actif. Son objectif : réaliser l'état de l'art des connaissances sur les milieux argileux, et y associer d'autres domaines d'activités que les déchets radioactifs, tels que l'industrie pétrolière ou les géosciences.

Montpellier
October 22-25, 2012



PARTAGER LES RÉSULTATS AVEC LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

Que ce soit à travers des programmes de recherche communs, des publications scientifiques, des interventions lors de congrès, ou encore l'envoi de jeunes chercheurs chez ses homologues, l'Andra multiplie les occasions d'échanger les résultats avec le reste de la communauté scientifique internationale. Quelques chiffres témoignent de cette culture du partage :

- 50 à 100 publications dans des revues internationales chaque année depuis plus de 10 ans.
- Depuis 2001, l'Agence a organisé cinq colloques internationaux sur l'argile, dont le dernier s'est tenu à Montpellier en octobre 2012 et a réuni plus de 550 participants.
- Chaque année, elle envoie en moyenne 3 post-doctorants chez ses homologues à l'étranger.

Cigéomag - Science et connaissances où en est-on ?

Andra - Direction de la communication
1/7 rue Jean Monnet - Parc de la Croix-blanche - 92298 Châtenay-Malabry Cedex
Tél. : 01 46 11 80 88 - journal-andra@andra.fr

Directrice de la publication : Marie-Claude Dupuis • Directeur de la rédaction : Sébastien Farin • Rédactrice en chef : Annabelle Comte • Ont participé à la rédaction, pour l'Andra : Gilles Armand, Didier Crusset, Patrick Landais, Patrick Lebon, Frédéric Plas, Stéphane Schumacher ; pour Rouge Vif : Domitille Bertrand, Élodie Seghers • Responsable iconographie : Sophie Muzerelle • Crédits photos : Andra, Véronique Paul, Studio Durey, P. Maurein, Éric Poirot, Olivier Dussausse, Pierre-François Grosjean, Inria/Kaksonen, DR, David D, CEA • Création-réalisation : Rouge Vif - www.grouperougevif.fr • Impression : Paton • Imprimé sur du papier issu de forêts durablement gérées dans une imprimerie certifiée imprim'vert • © Andra - 491-1 • DCOM/12-0221 • ISSN : en cours • Tirage : 184 000 ex.

